



**TURUN
YLIOPISTO**

Valitun datan vaikutus toimitusketjun päästölaskentamallin tuloksiin

Toimitusketjujen johtamisen
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Veera Antonen

Ohjaaja
KTT Tomi Solakivi

23.2.2025
Turku

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

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: Toimitusketjujen johtaminen

Tekijä: Veera Antonen

Otsikko: Valitun datan vaikutus toimitusketjun päästölaskentamallin tuloksiin

Ohjaaja: KTT Tomi Solakivi

Sivumäärä: 91 sivua

Päivämäärä: 23.2.2025

Kuljetussektori on yksi merkittävimmistä päästöjen aiheuttajista ja tällöin myös yksi potentiaalisimmista sektoreista, josta voisi tulevaisuudessa vähentää päästöjä. Silti kuljetuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt kasvoivat vuonna 2022 yli 250 Mt:lla.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on ollut pitkään puheenaiheena, ja erilaisia sopimuksia, päästötavoitteita ja niihin tähtäviä säännöksiä on laadittu lukuisia. Päästölaskentaa käsittelevät ilmastotoimet kaipaavat kuitenkin yhtenäistämistä tietojen vertailtavuuden parantamiseksi. Vaikka yritykset kohtaavat yhä enemmän painetta laskea päästöjä ympäristölakien, kansainvälisten toimijoiden sekä tavallisten kuluttajienkin puolesta, vain 1,2 % kuljetustoimintaa yksin harjoittavista tahoista mittaavat kasvihuonekaasupäästöjään sellaisella tarkkuudella, että niitä voitaisiin käyttää kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästötietojen tuottamiseen.

Teoriaosuudessa käsitellään kuljetusmuotojen ominaispiirteitä ja tarkastellaan erilaisia kasvihuonepäästörajoituksiin ja -laskentaan liittyviä säädöksiä sekä olemassa olevia päästölaskentamalleja. Institutionaaliseen teoriaan pohjautuva viitekehys sitoo yhteen teoriaosuudessa esille tulleet pakottavat, normatiiviset ja jäljittelevät paineet laskea päästöjä tietyllä, yhtenäisellä tavalla.

Empiirinen osio tuo esille ongelman päästölaskennan yhtenäistämisen, sillä tulokset näyttävät, että samalle kuljetusketjulle voi saada useita päästötuloksia samalla standardin pohjalta luodulla päästölaskentamallilla. Erilaisten oletusarvojen käyttäminen päästölaskelmissa luo pelivaraa siihen, millaista dataa niihin voi syöttää. Näin ollen samasta kuljetusketjusta voi saada erilaisia tuloksia, joista jokainen on standardien mukainen. Tulokset tuovat esille, että pelkästään yhtenäisen päästölaskentamallin luominen ei riitä saamaan tuloksista vertailtavia, vaan huomiota tulisi kiinnittää seuraavaksi päästölaskentamalleissa sallittuihin datalähteisiin ja laskennan läpinäkyvyyteen. Sallitut datalähteet tuovat mukanaan ristiriitaa, sillä primääridatan avulla lasketut päästöt ovat tarkimpia, mutta se ei välttämättä aina ole paras tapa laskea. Mallinuksen ja oletusarvojen käyttö saattaa joissain tapauksissa olla käytännöllisempi ja tilanteeseen sopivampi tapa laskea.

Sidosryhmät institutionaalisten paineiden takana ovat merkittävässä osassa, kun pyritään määrittelemään, kuinka tarkka päästölaskenta on riittävää. Niiden vaatimukset määrittelevät sen, milloin yritys nähdään legitimiinä. Sidosryhmille tärkeää on ennen kaikkea päästölaskentamallien läpinäkyvyys, joka luo yritykselle luotettavuutta.

Tutkimus on tehty toimeksiantona logistiikka-alalla toimivalle yhtiölle, joka haluaa parantaa omaa päästölaskentaansa. Näin ollen empiirissä osiossa vertailtiin päästölaskentamallista saatuja tuloksia heidän tämänhetkisen päästölaskentansa tuloksiin. Tuloksista huomattiin, että heidän laskentatapansa antaa matalia päästötuloksia, mikä johtuu päivittämättömistä päästökertoimista ja yksinkertaisesta laskentamallista. Tutkimuksessa on esitetty ratkaisuna parempaan päästölaskentaan päästökertoimien päivittämistä ja tarkemman datan hankkimista tai vaihtoehtoisesti ulkoisen yrityksen, kuten EcoTransIT:n käyttöönottoa.

Avainsanat: kuljetusketjut, päästölaskenta, päästölaskentamalli, ISO 14083, GLEC viitekehys, institutionaalinen teoria, CountEmissionsEu

Sisällysluettelo

Lyhenteet ja akronyymit	7
1 Johdanto	9
1.1 Tutkimuksen aihe ja merkitys	9
1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet	12
1.3 Tutkimuskysymykset ja tutkielman rakenne	13
2 Kuljetusketjut ja eri kuljetusmuodot	15
2.1 Kuljetusketjut	15
2.1.1 Maantiekuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät	16
2.1.2 Rautatiekuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät	16
2.1.3 Merikuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät	18
2.1.4 Lentokuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät	18
2.2 Logistiikan solmukohdat ja niiden ilmastovaikutukset	19
3 Päästöjen rajoitus ja laskeminen	21
3.1 Ympäristösääntelyn luoma paine rajoittaa ja laskea päästöjä	22
3.1.1 Kansainväliset ilmastopimukset.....	22
3.1.2 Kansainvälisen merenkulkujärjestön ja Kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön ilmastotoimet.....	24
3.1.3 Euroopan unionin päästöjen rajoitus ja Vihreän kehityksen ohjelma	25
3.1.4 Markkinaehtoiset säädökset	27
3.2 Normatiivinen paine rajoittaa ja laskea päästöjä	28
3.2.1 Kasvihuonekaasuprotokolla.....	28
3.2.2 Kansainvälisen standardoimisjärjestön ISO 14083 -standardi.....	29
3.3 Jäljittelevän paineen aiheuttama tarve rajoittaa ja laskea päästöjä	30
4 Päästölaskentamallit	32
4.1 GLEC viitekehys	35
4.2 Päästölaskentatyökalut kaikille kuljetusmuodoille	36
4.2.1 EcoTransIT	36
4.2.2 BigMile	37
4.2.3 CarbonCare	37
4.3 Ref Tool päästölaskentatyökaluna solmukohdille	37
5 Päästölaskentamallit institutionaalisen teorian viitekehyksessä	39

6	Empiirisen tutkimuksen toteuttaminen	43
6.1	Menetelmien valinta	43
6.2	Tutkimusprosessi	43
6.2.1	Case-yritys	47
6.2.2	Kuljetusketjun muodostaminen.....	47
6.2.3	Kuljetustoimintokategorian päästölaskenta	48
6.2.4	Kuljetustoimintokategorioiden päästöintensiteetin laskenta	50
6.2.5	Solmukohtien päästölaskenta.....	52
6.2.6	Koko kuljetusketjun kasviuonekaasupäästöt ja päästöintensiteetti	53
6.3	Tutkimuksen luotettavuus	54
7	Tulokset	56
7.1	Koko kuljetusketjun tulokset ja niiden vertailu	56
7.2	Kuljetuselementtien tulokset.....	58
7.2.1	Maantiekuljetusten tulokset ja niiden vertailu	59
7.2.2	Merikuljetuksen tulokset ja vertailu.....	64
7.2.3	Case-yrityksen tulosten vertailu päästölaskentamallin tuloksiin nähden.....	66
8	Keskustelu ja johtopäätökset	68
8.1	Päästölaskentamallin vaihtelevat tulokset	68
8.2	Sidosryhmien vaikutus riittävän tarkan laskentamallin syntyyn	73
8.3	Case-yrityksen laskentamallin kehittäminen.....	75
8.4	Teoreettinen merkitys	75
8.5	Käytännön merkitys	76
8.6	Rajoitukset ja jatkotutkimus.....	77
	Lähteet.....	79

Kuvioluettelo

KUVIO 1	INSTITUTIONAALINEN TEORIA KULJETUSKETJUN PÄÄSTÖLASKENNASSA. (LÄHDE: DIMAGGIO & POWELL, 1983; SCOTT, 2008.)	41
KUVIO 2	KULJETUSKETJUN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN LASKENTAVAIHEET ISO 14083 -STANDARDIN MUKAAN. LÄHDE: (ISO, 2023).	45
KUVIO 3	KULJETUSKETJU JAETTUNA KULJETUSELEMENTTEIHIN JA TOIMINTOIHIN.	48
KUVIO 4	KOKO KULJETUSKETJU. LASKETUT PÄÄSTÖT JA PÄÄSTÖINTENSITEETIT.	57
KUVIO 5	KOKO KULJETUSKETJU. PÄÄSTÖT, JOS KULJETUSTOIMINNOT 1 JA 3 KÄYTTÄISIVÄT HVO POLTTOAINETTA.	58
KUVIO 6	KULJETUSELEMENTIT 1 JA 3. PÄÄSTÖLASKELMIEN TULOKSET.	59
KUVIO 7	KULJETUSELEMENTIT 1 JA 3. PÄÄSTÖINTENSITEETTI TÄYTTÖASTE HUOMIOIDEN.	60
KUVIO 8	KULJETUSELEMENTTI 1. OLETUSARVOISEN POLTTOAINEEN INTENSITEETIN (L/TKM) KÄYTTÖ GLEC VIITEKEHYKSEN MUKAAN.	61
KUVIO 9	KULJETUSELEMENTTI 3. OLETUSARVOISEN POLTTOAINEEN INTENSITEETIN (L/TKM) KÄYTTÖ GLEC VIITEKEHYKSEN MUKAAN.	61
KUVIO 10	KULJETUSELEMENTTI 2. PÄÄSTÖLASKELMIEN TULOKSET.	64
KUVIO 11	KULJETUSELEMENTTI 2. PÄÄSTÖINTENSITEETIN VERTAILUA.	65
KUVIO 12	LASKENTAMALLIEN VAIHTELEVIEN TULOSTEN SYITÄ.	70

Taulukkuuettelo

TAULUKKO 1	PÄÄSTÖLASKENTAMALLIEN VERTAILU. LÄHTEET: (BIGMILE, 2024; CARBONCARE, 2024; DHL, 2024; ECOTRANSIT WORLD, 2021; EMISIA, 2022; GEODIS, 2024; GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 2015; IATA, 2024; JALKANEN YM., 2012; KUEHNE+NAGEL, 2024; NETWORK FOR TRANSPORT MEASURES, 2024; SCHRAMM & LEHNER, 2024; SMART FREIGHT CENTRE, 2023; US EPA, 2016).	34
TAULUKKO 2	KULJETUSELEMENTTIEN 1 JA 3 EROT TULOSSA.	62
TAULUKKO 3	KULJETUSELEMENTTIEN 1 JA 3 EROT TOISIINSA NÄHDEN.	63
TAULUKKO 4	MERKITTÄVIMMÄT EROT KULJETUSELEMENTIN 2 TULOSSA.	65
TAULUKKO 5	CASE-YRITYKSEN LASKELMAT VERTAILTUNA LASKENTAMALLIN TULOSSIIN.	66

Lyhenteet ja akronyymit

CEN=	Euroopan standardointikomitea / The European Committee for Standardization
CO2 =	Hiilidioksidi
DWT=	Aluksen kantavuus / Deadweight Tonnage
EF=	Päästökerroin / Emission Factor
EGD=	Euroopan vihreän kehityksen ohjelma / European Green Deal
EU=	Euroopan unioni
GHG=	Kasvihuonekaasu / Greenhouse Gas
Gt=	Miljardia tonnia / Gigatonne
HOC=	Solmukohdan toimintakategoria / Hub Operation Category
HVO=	Uusiutuva diesel / Hydrotreated vegetable oil
ICAO=	Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö / International Civil Aviation Organization
IMO=	Kansainvälinen merenkulkujärjestö / International Maritime Organization
IPCC=	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli / Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO=	Kansainvälinen standardoimisjärjestö / International Organization of Standardization
Mt=	Miljoonaa tonnia / Megatonne
NDC=	Kansallisesti määritellyt panokset / Nationally Determined Contributions
TCE=	Kuljetusketjuelementti / Transport Chain Element
TOC=	Kuljetustoimintakategoria / Transport Operation Category
TTW=	Polttoaineen käytön tuottamat päästöt / Tank-To-Wheels

UNFCCC=	YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus / UN Framework Convention on Climate Change
WBCSD=	Maailman kestävän kehityksen yritysneuvosto / World Business Council on Sustainable Development
WRI=	Maailman luonnonvarainstituutti / World Resource Institute
WTT=	Polttoainetuotannon aiheuttamat päästöt / Well-To-Tank
WTW=	Polttoaineen tuotannon ja käytön aiheuttamat päästöt / Well-To-Wheels
YK=	Yhdistyneet kansakunnat

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen aihe ja merkitys

Kuljetussektori on yksi merkittävimmistä päästöjen aiheuttajista maailmanlaajuisesti. Se aiheutti neljäsosan maailman kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2021, jonka lisäksi 95 % kuljetuksiin tarvittavasta energiasta saatiin edelleen fossiilisista polttoainesta. (United Nations, 2021) Näin ollen se on yksi potentiaalisimmista sektoreista, josta voisi tulevaisuudessa vähentää päästöjä. Vuonna 2022 kuljetuksista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt kasvoivat kuitenkin yli 250 Mt:lla. Tämä oli 3 % enemmän kuin vuoden 2021 kasvu. Näin ollen kokonaispäästöt nousivat lähes 8 Gt:iin palautuen melkein vuoden 2019 tasolle sen jälkeen, kun vuoden 2020 koronapandemia aiheutti huomattavan päästöjen laskun. (International Energy Agency, 2023)

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on ollut pitkään puheenaiheena, ja erilaisia sopimuksia, päästötavoitteita ja niihin tähtäviä säännöksiä on laadittu lukuisia. Merkittävimpiä monikansallisia sopimuksia päästöjen vähentämiseksi on vuonna 1992 sovittu ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimus (engl. The United Nations Framework Convention on Climate Change), 1997 sovittu Kioton pöytäkirja (engl. Kyoto Protocol) sekä 2015 sovittu Pariisin ilmastopöytäkirja (engl. The Paris Agreement) (Euroopan komissio, 2024d). Erilaisia ilmastotoimia on säädetty myös esimerkiksi Euroopan unionin (EU) sekä Kansainvälisen standardoimisjärjestön (ISO) toimesta. Tällaisia ovat Euroopan vihreän kehityksen ohjelma ja siihen kuuluva ”Fit for 55” -valmiuspaketti, johon liittyy lukuisia ehdotuksia ilmastotoimista, joista osa koskee kuljetussektoria. ISO puolestaan on julkaissut yli 25 000 kansainvälistä standardia, joista osa koskee kuljetussektoria. (Euroopan komissio, 2024c; ISO, 2024)

Tavoitteeseen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä liittyy olennaisesti päästölaskenta, sillä sen avulla voidaan helpommin asettaa tavoitteita sekä vertailla ja löytää keinoja vähentää päästöjä. Kuitenkin vielä viime vuosina päästölaskentaa on ohjannut sekoitus valtion tukemia standardeja, järjestöjen itse kehittämiä standardeja, tutkimuslaitosten suosituksia, alueellisia lähestymistapoja ja standardeja yksittäisille liikennemuodoille. Yhdenmukaistettu, maailmanlaajuinen standardi on puuttunut. (Wild, 2021) Hajanainen ja alueellinen ilmastonmuutospolitiikka on ongelmallista. Kun päästöasetusta sovelletaan vain ympäristöongelmaan vaikuttavien lähteiden osajoukkoon, säänneltyjen lähteiden voi olla

vaikeampi kilpailla sääntelystä vapautetuilla lainkäyttöalueilla toimivien yritysten kanssa. Tuotannon muutokset ja niihin liittyvät "päästövuodot" (engl. emissions leakage) voivat merkittävästi kompensoida tai jopa kumota säännellyllä sektorilla saavutetut päästövähennykset. Tämä vuoto on erityisen ongelmallinen silloin, kun päästövahingot ovat riippumattomia lähteen sijainnista, kuten kasvihuonekaasujen tapauksessa. (Fowlie ym., 2016)

Yritysten painetta laskea kasvihuonekaasupäästöjä koko toimitusketjussa lisää kasvava määrä ympäristölakeja, mutta yritykset kohtaavat yhä enemmän painetta niin kansainvälisten toimijoiden kuin tavallisten kuluttajienkin puolesta (Chelly ym., 2019). Kuluttajien lisäksi myös muut kuljetusalan sidosryhmät ovat yhä kiinnostuneempia kuljetusten aiheuttamista kasvihuonekaasupäästötiedoista (Euroopan komissio, 2023b). Näitä erilaisia paineita, joita yritykset kohtaavat päästölaskennan osalta, voidaan tutkia institutionaalisen teorian kautta. Esimerkiksi DiMaggion ja Powellin (1983) logiikan mukaan isomorfismi eli yritysten tarve omaksua samanlaisia rakenteita syntyy kolmen paineen kautta. Pakottavana paineena voidaan pitää erilaisia ilmastopäätöksiä ja regulaatioita, kun taas normatiivinen paine liittyy ammatillisiin normeihin. Jäljittelevä paine on usein yritysten pyrkimystä ottaa mallia toisilta yrityksiltä.

Paineista huolimatta kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästöjen laskeminen on edelleen hyvin vähäistä. Kuljetuspalvelun käyttäjät eivät yleensä saa tarkkaa tietoa kuljetuspalveluiden suorituskyvystä, koska kuljetuspalvelun järjestäjät, kuten liikenteenharjoittajat, eivät laske järjestelmällisesti kasvihuonekaasupäästöjään (Euroopan komissio, 2023b). Nykyään lähes 600 000 tahoja EU:n kuljetusalalla mittaa kasvihuonekaasupäästöjään, mutta vain 21 660 niistä erittelee tulokset tasolla, jolla niitä voitaisiin käyttää kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästötietojen tuottamiseen. Tämä on vain 1,2 % kuljetustoimintaa yksin harjoittavista tahoista. Merkittävä osa EU:n kuljetusmarkkinoilla toimivista tahoista ovat mikroyrityksiä sekä pieniä ja keskisuuria yrityksiä (pk-yrityksiä), mitkä osallistuvat harvoin kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. (Euroopan komissio, 2023a)

Maailmanlaajuisten päästölaskennan standardin luomiseen on nähty paljon vaivaa, jotta sidosryhmien keskuudessa voitaisiin yhdenmukaistaa päästöjen mittausta. Jotta kaikkien eri liikennemuotojen päästöt olisivat johdonmukaisia ja vertailukelpoisia, viitekehyksen olisi oltava samaan aikaan, luotettava, avoin, merkityksellinen ja tarkka. Lisäksi sen tulisi helpottaa tietojen keräämistä ja vaihtamista kuljetusketjun osapuolten välillä. (Fancello ym., 2023)

Uusimmat päästölaskentaan vaikuttavat säädökset pyrkivätkin yhtenäistämään sitä, miten päästöjä tulee laskea. Tällä hetkellä ajankohtaisimpia aloitteita, jotka koskevat erityisesti kuljetusten päästölaskentaa, ovat ISO 14083 -standardi sekä EU:n asetus kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästöjen laskennasta, ”CountEmissionsEU”. (Euroopan komissio, 2023a; ISO, 2023)

Tämän tutkimuksen aiheena on kuljetusketjun päästölaskentamallit ja niiden luotettavuus, ja sen tarkoituksena on selvittää, miten käytetty data vaikuttaa toimitusketjujen päästölaskentamallin tuloksiin. Tutkimus pyrkiikin selvittämään sitä, miten uusien standardien ja regulaatioiden raameissa tehtyjen laskentamallien tulokset muuttuvat riippuen siitä, käytetäänkö laskennassa primääridataa vai oletusarvoisia tai mallinnettuja lukuja. Lisäksi tutkin sitä, millainen päästölaskentamalli olisi riittävän tarkka sidosryhmien näkökulmasta ja miten case-yritys voisi kehittää päästölaskentaansa.

Päästölaskentamallien tutkiminen on suhteellisen uusi aihe. Vaikka tutkimukset päästöjen laskennasta on yleistynyt erityisesti viimeisen vuosikymmenen aikana, esimerkiksi Chelly ym. (2019) mukaan tutkimuksia on vielä vähän siitä, miten päästölaskentamalleja muodostetaan ja mitkä ovat laskennallisten mallien rajat. Lisäksi tutkimuksen mukaan tulevaisuudessa olisi tärkeää luoda sellainen malli, joka käyttää useampaa kuin yhtä tapaa saman hiilidioksidipäästölähteen mallintamiseen toimitusketjun sisällä, jotta voitaisiin määrittää päästölaskentamallin vaikutus sen tulokseen ja määrittää, mikä tapa olisi sopivin jokaisen hiilidioksidipäästölähteen mallintamiseen. Tutkimukseni pyrkii täyttämään osaltaan tätä tutkimusaukkoa.

Tutkimuksen yhteiskunnallinen merkitys on siinä, että se avaa, millaisia päästölaskentamalleja tällä hetkellä on ja antaa tietoa siitä, miten standardit ja regulaatiot muovaavat päästölaskentamalleja lähitulevaisuudessa. Tutkimus luo pohjaa laajemmalle tutkimukselle uusista päästölaskennan standardeista ja malleista. Käytännössä tutkimukseni on merkityksellinen yrityksille, jotka pohtivat omaa päästölaskentaansa ja niiden soveltuvuutta uusiin standardeihin. Case-yritys pystyy hyödyntämään tuloksia ja kehittämään päästölaskentaansa tai päättää aloittaa käyttävänsä jo olemassa olevia laskentamalleja. Toisaalta myös muut yritykset pystyvät hyödyntämään tietoa omissa laskelmissaan ja mukauttamaan sen pohjalta omaa toimintaansa.

1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet

Tällä hetkellä standardit ja regulaatiot sallivat oletusarvojen käyttämisen päästölaskelmissa, mikä vähentää tiedon luotettavuutta sekä sen vertailumahdollisuuksia. Esimerkiksi Kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO (International Organization for Standardization) julkaisi vuonna 2023 uuden kansainvälisen standardin ISO 14083, joka koskee kuljetusketjujen kasvihuonekaasujen laskemista ja raportointia. Standardi sisältää vaatimuksia ja ohjeita kasvihuonekaasupäästöjen mittaamiseen ja raportoimiseen niin matkustajien kuin rahdin kuljetuksissa kaikilla kuljetusmuodoilla. Se määrittelee, miten dataa hankitaan laskentaa varten. ISO 14083 -standardissa on kuitenkin pelivaraa siinä, miten kasvihuonekaasupäästöjä lasketaan, ja näin ollen se jättää mahdollisuuden saada eri tuloksia samasta kuljetuksesta. (ISO, 2023)

Samoin EU jätti vuonna 2023 ehdotuksen ”CountEmissionsEU” –aloitteesta, jonka ideana on yhtenäistää, miten kuljetustoimintojen kasvihuonekaasupäästöjä lasketaan eri kuljetusmuodoissa. EU asettaa laskennan etusijalle primääridatan, mutta mahdollistaa myös sekundääridatan, kuten oletusarvojen ja mallinnusten, käytön. Näin ollen myös EU:n ehdotus jättäisi pelivaraa siihen, mitä dataa päästölaskuihin voi syöttää. (Euroopan komissio, 2023a)

Se, että on yritykset voivat laskea saman kuljetusketjun päästöt monella eri tapaa pysyen silti standardin raameissa, luo tilanteen, jossa on mahdollista antaa todellisuutta parempi kuva kuljetusketjun päästöistä. Esimerkiksi Schrammin ja Lehnerin (2024) mukaan voidaan olettaa, että osa päästölaskentamalleista antaa tarkempia ja luotettavampia tuloksia kuin toiset. Lisäksi se voi myös mahdollistaa sen, että tietyillä alueilla pyritään laskemaan päästöt mahdollisimman mataliksi, jotta välttyttäisiin erilaisilta päästömaksuilta. Esimerkiksi EU:ssa, jossa päästömarkkinat laajenee yhä kattavammin koskemaan eri sektoreita ja tiukentuu entisestään, yritykset voivat pyrkiä minimoimaan päästönsä myös laskelmien avulla eikä niinkään muuttamalla toimintaansa vähäpäästöisemmäksi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena onkin tuoda esille, miten erilaisia tuloksia standardin puitteissa tehdyt laskentamallit antavat ja millaisia ongelmia tai mahdollisuuksia se tuo päästöjen laskentaan. Tämän lisäksi sen tavoitteena on tuoda esille kuljetusten laskentaan liittyvää kompleksisuutta ja arvioida, kuinka tarkan päästölaskentamallin luominen on riittävää sidosryhmien näkökulmasta. Tutkimuksen tarkoituksena on myös tarkastella sitä, miten case-yrityksen olisi järkevä kehittää omaa päästölaskentaansa.

1.3 Tutkimuskysymykset ja tutkielman rakenne

Edellä mainitun tutkimusongelman sekä tutkimuksen tavoitteiden pohjalta muodostui seuraavat tutkimuskysymykset:

Pääkysymys

- Miten standardien pohjalta tehdyn päästölaskentamallin tulokset eroavat riippuen siitä, mitä dataa päätetään käyttää?

Apukysymykset

- Kuinka tarkan päästölaskentamallin tekeminen on riittävän luotettavaa eri sidosryhmien näkökulmasta?
- Miten case-yritys voisi kehittää päästölaskentamalliaan?

Odotettavissa on, että standardien pohjalta tehdyllä päästölaskentamallilla voi saada erilaisia tuloksia samasta kuljetusketjusta. Luultavasti joidenkin parametrien muutokset vaikuttavat tuloksiin enemmän kuin toiset. Koska oletusarvot voivat perustua melkein mihin vain aiheuttaen ali- tai yliarviointia, luo se ongelmia laskentamallien luotettavuuteen. Toisaalta esimerkiksi ISO 14083 -standardi hyväksyy vain tiettyjä lähteitä oletusarvoihin, mikä puolestaan pyrkii pitämään oletusarvot ajankohtaisina ja mahdollisimman paikkaansapitävinä.

Päästöjen laskenta on kompleksista, sillä kuljetusketjut voivat olla pitkiä ja kulkea monella eri kuljetusmuodolla. Mitä enemmän kuljetusketjussa on eri osia, joiden päästöt lasketaan erikseen, sitä enemmän siitä saadaan eri tuloksia ja sitä vaikeampaa tuloksia on vertailla. Varsinkin pitkien kuljetusketjujen kauimman pään kuljetuksista voi olla vaikea saada luotettavaa tietoa, ja näin ollen liian tarkkojen arvojen vaatiminen laskentamalleissa voi tuottaa merkittävän suuren työn ja kustannuksen yrityksille, jolloin laskenta yrityksen näkökulmasta ei ole kannattavaa. Toisaalta uudet säädökset esimerkiksi EU-alueella pakottavat yritykset laskemaan päästöjään ja raportoimaan niistä riippumatta siitä, onko se yritykselle kannattavaa vai ei. Esimerkiksi EU:n uusi kestävyysraportointidirektiivi (CSRD) vaikuttaa moniin yrityksiin ja sen toteuttaminen voi olla haastavaa varsinkin yrityksille, joilla ei ole aiempaa kokemusta kestävyysraportoinnista (Kosi & Relard, 2024). Tämän lisäksi EU

on hyväksymässä aloitetta “CountEmissionsEu”, jonka tullessa voimaan kuljetusketjujen päästölaskennalle olisi tulevaisuudessa tarkemmat vaatimukset (Euroopan komissio, 2023a).

Tämä tutkimus koostuu johdannosta, teoreettisesta viitekehystä, metodeista, tutkimustuloksista ja johtopäätöksistä. Johdannossa esitellään tutkimuksen aihe ja tutkimusongelma sekä tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja tutkimukseen liittyvä tutkimusaukko. Ensimmäisessä teoreettisessa luvussa käsitellään kirjallisuuden avulla kuljetusketjut, rahdin kuljetusmuodot sekä solmukohdat keskittyen niiden eroavaisuuksiin ja niistä aiheutuviin päästöihin. Toisessa teoreettisessa luvussa siirrytään tarkastelemaan päästöjen rajoitusta eri paineiden aiheuttamien tekijöiden näkökulmasta. Kolmannessa luvussa käydään läpi päästölaskentaa ja annetaan esimerkkejä yleisesti käytössä olevista päästölaskentamalleista. Lisäksi muodostetaan tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Tutkimus suoritetaan kvantitatiivisena tutkimuksena. Tutkimuksen metodeja käsitellään tarkemmin empiirisen osion luvussa. Metodien perusteluiden jälkeen muodostetaan standardien perusteella päästölaskentamalli ja lasketaan muodostetun kuljetusketjun päästöt, jonka jälkeen analysoidaan mallista saatuja tuloksia.

2 Kuljetusketjut ja eri kuljetusmuodot

2.1 Kuljetusketjut

Kuljetukset ovat keskeinen osa toimitusketjun toimintaa, mutta myös hyvin tärkeä osa kansainvälistä kauppaa (Rodrigue ym., 2013). Kuljetusjärjestelmät kuvataan yleisesti verkostojen avulla, joissa on kuljetusten lisäksi erilaisia kuljetusrakenteita, kuten solmukohtia, linkkejä, käytäviä ja tavaravirtoja. Kuljetukset yhdistävät ensisijaisesti sijainteja, joita usein luonnehditaan solmuiksi. Solmukohdat toimivat jakeluverkon liittymäpisteinä tai kuljetusverkon sisäisinä välittäjäpaikkoina. Kuljetustermiinaaleista tulevat tavaravirrat päätyvät tai siirretään solmusta toiseen. Solmukohdat vaikuttavat kuljetusjärjestelmien tehokkuuteen, koska ne vaikuttavat suoraan tavaravirtoihin. Ne tuovat kuljetusketjuun joustavuutta tavaravirtojen keskittämisen kautta. (Rodrigue ym., 2013; Vieira & Luna, 2016)

Kuljetussektorin osuus EU:n kasvihuonekaasupäästöistä on noin 26 %. Vaikka ajan myötä kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ovat vähentyneet 24 %:lla EU:ssa, kuljetussektorin päästöt ovat nousseet 33 %:lla. (European Environment Agency, 2022) Kuljetussektori onkin yksi fossiilisista polttoaineista riippuvaisimpia sektoreita (Robaina & Neves, 2021). EU:ssa rahtia kuljetettiin 3392 miljardia tonnikielometriä vuonna 2019, josta 52 % kuljetettiin maantiekuljetuksina ja 28,9 % merikuljetuksina. (European Environment Agency, 2022)

Maantie- ja merikuljetusten lisäksi rautatie- ja lentokuljetukset kuuluvat tärkeimpiin rahdin kuljetusmuotoihin. Seuraavissa alaluvuissa käydään tarkemmin läpi näiden kuljetusmuotojen ympäristövaikutukset sekä päästölaskentaan vaikuttavat kuljetusmuotojen perusominaisuudet. Ympäristövaikutuksia kuvaillaan seuraavissa luvuissa sekä hiilidioksidipäästöinä että kasvihuonekaasupäästöinä. Kasvihuonekaasupäästöihin lasketaan mukaan hiilidioksidipäästöjen lisäksi muut suoraan ilmastomuutokseen vaikuttavat kaasut, kuten metaanipäästöt ja typpioksiduulipäästöt. Näihin voidaan viitata myös hiilidioksidiekvivalentteina. (OECD, 2022) Lisäksi putkikuljetukset ovat merkittävässä osassa kuljetusketjun elinkaarta. Putkikuljetusten avulla kuljetetaan esimerkiksi talteen otettua hiilidioksidia, jotta se voidaan varastoida maan alle (Onyebuchi ym., 2018). Lisäksi öljytuotteiden kuljetuksissa putkikuljetukset ovat yleisimpiä. Öljy- ja kaasuputkiverkostot monimutkaistuvatkin koko ajan, sillä niiden kokonaispituus kasvaa edelleen ympäri maailmaa. (Huang ym., 2021)

2.1.1 Maantiekuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät

Vuonna 2022 rahtia kuljetettiin maantiekuljetuksilla Euroopassa yli 13,6 miljardia tonnia ja 1920 miljardia tonnikilometriä (Eurostat, 2023c). Tavaraliikenne aiheuttaa 15 % koko Euroopan hiilidioksidipäästöistä. Lisäksi maanteiden tavaraliikenteen hiilidioksidipäästöt ovat 53 % tavaraliikenteen kokonaishiilidioksidipäästöistä ja osuuden oletetaan kasvavan 56 %:iin vuoteen 2050 mennessä, jos samanlainen kehityssuunta jatkuu. (McKinsey, 2022) Toisaalta vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten sähkön ja paineistetun maakaasun tai biokaasun, käyttö tulee kasvamaan tulevaisuudessa myös kuljetusalalla (Pamucar ym., 2021; Yuan ym., 2021). Näin ollen maantiekuljetusten ilmastovaikutukset pienenevät. On kuitenkin huomioitava, että vaikka sähköautoilla ei ole pakokaasupäästöjä ja uusiutuvien polttoaineiden ei katsota tuottavan hiilidioksidipäästöjä palamisen kautta, näiden energiamuotojen tuotantoon voi joskus liittyä merkittäviä ympäristövaikutuksia (Gustafsson ym., 2021).

Yksittäisen maantiekuljetuksen päästöihin vaikuttaa muun muassa paino, tilavuus, reitin pysähdysten määrä ja kuljetettu matka. Lisäksi valitun reitin liikennejärjestelyt ja esimerkiksi ruuhkan määrä vaikuttaa päästöihin. Toisaalta myös muiden ajoneuvojen aikataulut ja hyötykuormakapasiteetti vaikuttavat yksittäiselle tavaralle allokoituihin päästöihin, sillä ne vaikuttavat siihen, missä kulkuneuvossa tavara kulkee ja mikä on valikoidun kulkuneuvon reitti. (Kellner, 2016)

Maantiekuljetuksille ominaista on ajoneuvojen mahdollisuus kuljettaa tavaraa suoraan vastaanottajalle, sillä kuljetusmuodolla ei ole tarvetta jättää tavaraa solmukohtiin, kuten satamiin tai terminaaleihin. Tämä joustavuus ja sen lisäksi kustannustehokkuus ovat maantiekuljetusten vahvuus. Toisaalta esimerkiksi mittakaavaetujen hyödyntäminen on rajallista tiekuljetuksissa. (DHL Freight, 2022; Logistiikan Maailma, 2021) Pienet kuljetettavat lastit aiheuttavat enemmän päästöjä varsinkin suhteessa muihin kuljetusmuotoihin, jotka voivat kuljettaa yhdellä matkalla enemmän tavaraa. Lisäksi maanteiden tavaraliikenteen yksi haaste koskee tyhjiä paluukuormia. Kaupan tavaravirtojen epätasapainon vuoksi noin 20 % kaikista kulkevista kuorma-autoista on tyhjiä. (Rodrigue, 2020)

2.1.2 Rautatiekuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät

Euroopan unionissa rahtia kuljetettiin rautatiekuljetuksina 398 miljardia tonnikilometriä vuonna 2022. Tästä EU:n sisäisen liikenteen osuus oli noin 50,2 %. Kansainvälisten

purkausten osuus oli 19,8 % ja kansainvälisten lastausten osuus oli 17,7 %. Kansainvälisillä purkauksilla ja lastauksilla tarkoitetaan sitä, että tavara kulkee EU:n ulkopuolelle tai se tuodaan EU:n ulkopuolelta. Kauttakulkuurahdin osuus oli 12,3 %, jolla tarkoitetaan kuljetuksia, jossa tavara kulkee EU-alueen läpi, mutta sitä ei lastata tai pureta EU:ssa. (Eurostat, 2023b)

Olenneista kuljetusmuodoista rautatiekuljetukset ovat päästötehokkain, ja uusiutuvalla energialla toimivat sähköjunat voivat tarjota käytännössä päästöttömiä kuljetuksia. Esimerkiksi EU:ssa rautatiekuljetusten osuus liikenteen kokonaishiilidioksidipäästöistä on alle 1,5 %. (UIC & CER, 2015) On kuitenkin huomioitava, että osa nykyisistä rautatiereiteistä ei ole vielä sähköistynyt melko korkeiden investointikustannusten vuoksi etenkin reiteillä, joissa on pienempi liikennetiheys ja melko pitkät välimatkat. Siksi huomattava määrä dieselvetureita on edelleen kansallisten ja yksityisten rautatieyhtiöiden kalustossa. (Kljaić ym., 2023) Lisäksi on otettava huomioon, että sähköjunienkin päästöt riippuvat siitä, miten sähkö on tuotettu. Vain 28 % nykyisestä energiantuotannosta on peräisin uusiutuvista lähteistä ja noin 72 % fossiilisista polttoaineista. Raideliikenteen hiilestä irtautuminen ei ole mahdollista niin kauan kuin energiaa tuotetaan fossiilisista polttoaineista. (Brzeziński & Pyza, 2023) Rautatiekuljetuksia on kuitenkin pidetty usein keinona vähentää kuljetusten kokonaispäästöjä. Esimerkiksi intermodaalisen rautatie-/maantieliikenteen käyttäminen pelkän maantieliikenteen sijaan voi vähentää liikenteen kuljetuksen kokonaispäästöjä. (Heinold, 2020)

Rautatiekuljetuksien etu on junien kyky kuljettaa suuria määriä rahtia pitkiä matkoja kohtuullisella nopeudella. Maantiekuljetukseen verrattuna rautatiekuljetus on tehokkaampi kuljetusmuoto. Toisaalta rautatieliikenteen haittapuolena on sen joustamattomuus, sillä junat liikkuvat kiinteillä reiteillä ja niiden kuljettama rahti tulee purkaa ja uudelleen lastata terminaaleissa. (Rodrigue, 2020) Rautatiekuljetukset omaavatkin eniten maantieteellisiä rajoitteita kaikista kuljetusmuodoista. Lisäksi vaihtelevat raideleveydet tuottavat ongelmia kansainväliselle rautatieliikenteelle, sillä se tekee rautatiepalvelujen integroinnista monimutkaista, koska junien on matkan aikana siirryttävä rautatiejärjestelmästä toiseen. Rautatieliikennettä yritetään laajentaa maanosien ja alueiden yli, mutta raideleveys on yksi merkittävä este esimerkiksi Ranskan ja Espanjan, Itä- ja Länsi-Euroopan sekä Venäjän ja Kiinan välillä. (Rodrigue, 2020)

2.1.3 Merikuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät

EU:n satamissa käsiteltävien tavaroiden kokonaisbruttopainoksi arvioitiin 3,5 miljardia tonnia ja EU:n meriliikenteen tavarakuljetukset olivat noin 3 miljardia tonnia vuonna 2022. Suurin osa kuljetuksista (67,5 %) oli kansainvälisiä EU:n ulkopuolisia kuljetuksia eli tavara kuljetettiin EU:n ulkopuolisiin satamiin tai satamista. Tämä tekee meriliikenteestä tonnimääräisesti yleisimmän kuljetusmuodon EU:hun tai EU:sta lähtevien tavaroiden kaukokuljetuksissa. Kansainvälinen EU:n sisäinen liikenne eli EU:n satamien väliset rajat ylittävät kuljetukset muodostivat 21,2 % tavaroiden merikuljetuksista vuonna 2022, kun taas kansallisten satamien väliset tavarakuljetukset muodostivat 7,5 % EU:n koko merikuljetuksista. Lisäksi 96 miljoonaa TEU:ta (engl. twenty foot equivalent unit) kontteja käsiteltiin EU:n tärkeimmissä satamissa. (Eurostat, 2023a)

Meriliikenteen suurin etu on sen mittakaavaedut, mikä tekee siitä muihin liikennemuotoihin verrattuna yksikköhinnaltaan halvimmän. Lisäksi suuremmat laivat, joihin mahtuu enemmän rahtia, ovat yleensä energiatehokkaampia rahtiyksikköä kohden. Kun aluksen lastinkuljetuskapasiteetti kaksinkertaistuu, tarvittava teho ja polttoaineen käyttö tyypillisesti kasvavat noin kaksi kolmasosaa, joten polttoaineen kulutus rahtiyksikköä kohden vähenee. (Lindstad & Eskeland, 2015; Rodrigue, 2020) Näin ollen myös päästöt pienenevät. Kansainvälinen meriliikenne aiheuttaa noin 3 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä (Chen ym., 2019). Jos tarkasteluun otetaan vain hiilidioksidipäästöt, merenkulun osuus on noin 2 % (IMO, 2020). Konttialukset, irtolastialukset ja säiliöalukset muodostavat yhdessä 55 % merenkulun kokonashiilidioksidipäästöistä (Taskar & Andersen, 2020).

Merenkulun kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat merkittävästi sääolosuhteet. Aluksen nopeus, vaadittu teho ja potkurin ominaisuudet ovat yleensä arvioitu rauhallisissa vesiolosuhteissa. Matkan aikana alus kuitenkin kohtaa erilaisia meriolosuhteita ja monesti meritie vaikuttaa vastus- ja työntövoimaominaisuuksiin. Kun sääolosuhteet huononevat eli aallonkorkeus ja tuulen nopeus kasvavat, aluksen käyttäytyminen poikkeaa enemmän siitä, mitä on arvioitu rauhallisissa sääolosuhteissa. Tällaiset sääolosuhteet kasvattavat aluksen polttoaineen kulutusta, jolloin niihin liittyvät päästötkin nousevat. (Prpić-Oršić ym., 2016)

2.1.4 Lentokuljetusten ilmastovaikutukset ja päästölaskentaan vaikuttavat tekijät

Lentoliikenteen päästöjen osuus pelkistä maailmanlaajuisista energiaan liittyvistä hiilidioksidipäästöistä on 2 % (IEA, 2023). On otettava huomioon, että lentoliikenteestä

syntyvät muut kuin hiilidioksidipäästöt, kuten typen oksidien, nokihiukkasten, hapettuneiden rikkilajien sekä vesihöyryn päästöt ovat vähintään yhtä merkittäviä kuin hiilidioksidipäästöt (EASA, 2020). Lentoliikenteen suorat päästöt aiheuttivat noin 4 % EU:n kasviuonekaasupäästöistä. Se on EU:n kuljetussektorin toiseksi suurin päästöjen lähde maantiekuljetusten jälkeen aiheuttaen noin 14 % sektorin kasviuonekaasupäästöistä. (Euroopan komissio, 2024e)

Lentoliikenteen aiheuttamiin kasviuonekaasupäästöihin vaikuttavat monet eri tekijät. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi lentokoneen ja moottoreiden tyyppi sekä vaikeammin ennustettavissa olevat täyttöaste ja sääolosuhteet. Lisäksi lentokoneen polttoaineenkulutus lento- ja laskeutumisvaiheissa ei riipu matkustetusta etäisyydestä niin kuin esimerkiksi maantiekuljetuksissa, jossa polttoaineenkulutus on lineaarinen. Tämän takia lyhyiden lentomatkojen polttoaineenkulutus voi olla suurempi kuin keskipitkien tai pitkien lentojen. (Iken & Aguessy, 2022)

2.2 Logistiikan solmukohdat ja niiden ilmastovaikutukset

Logistiikan solmukohdat ovat merkittävä osa kuljetusprosessia. Tavaraliikennettä johdetaan yhä enemmän kuljetuslogistiikan solmukohtissa. Esimerkiksi Saksassa terminaaleissa ja varastoissa käsitellään vuosittain lähes kaksi miljardia tonnia rahtia, ja niihin liittyvän toiminnan osuus logistiikkamarkkinoiden liikevaihdosta on noin 10 %. Suurten kuljetuslogistiikan solmukohtien, kuten satamien tai lentokenttien, rinnalla on suuri määrä pienempiä, mutta erittäin tärkeitä logistiikkaliikenteen solmukohtia, kuten huolintaverkkoja, jotka käsittelevät vuosittain noin 200 miljoonaa lähetystä. (Huber ym., 2015)

Vielä vuonna 2018 McKinnonin (2018) mukaan rakennusten ja terminaalien kasviuonekaasupäästöistä oli olemassa vain vähän dataa. Varastoille tai muille logistiikkarakennuksille ei ollut olemassa sellaisia makrotason päästötietokokonaisuuksia, jotka olisivat verrattavissa hallitusten ja kansainvälisten organisaatioiden kokoamiin päästötietoihin tavarakuljetuksista. Tämä on kuitenkin tällä hetkellä muuttumassa varsinkin EU-alueella, sillä EU:n direktiivi kestävyysraportoinnista (CSRD) vaatii yrityksiä raportoimaan yhä tarkemmin toimintansa päästöistä koko toimitusketjussa. Lisäksi ISO 14083 -standardin käyttöönotto tukee sitä, että datamäärä rakennusten ja terminaalien kasviuonekaasupäästöistä kasvaisi, sillä solmukohtien päästöjen laskeminen on tuotu standardissa kuljetusten päästöjen laskennan rinnalle. (Euroopan komissio, 2023b; ISO, 2023)

Solmukohtia on monenlaisia, ja niiden koko ja toiminta voivat erota toisistaan huomattavasti (Huber ym., 2015). Satamat ovat yksi merkittävimmistä solmukohtista ja niillä on tärkeä rooli talouden kannalta. Satamien päästöjen on arvioitu olevan noin 3 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä. Nämä päästöt johtuvat yleensä satamatoiminnoissa käytettävistä kuorma-autoista ja erilaisista laiturinostureista, jotka perinteisesti käyttävät dieseliä. (Yu ym., 2022) Huomattava osa merenkulun hiilidioksidipäästöistä syntyy satamassa olevista aluksista. Alukset ovat suurin yksittäinen satamiin liittyvä saastelähde, joka aiheuttaa noin kymmenen kertaa suuremmat päästöt kuin satamien oma toiminta. (Styhre ym., 2017)

3 Päästöjen rajoitus ja laskeminen

Yhteiskunnallinen paine ilmastonmuutoksen hillitsemisestä ja päästöjen rajoittamisesta vaikuttaa yhä enemmän yritysten toimintaan. Vaikka poliittinen ympäristö, jossa yritys toimii, vaikuttaa siihen, kuinka vahvaksi ilmastotekoihin liittyvät paineet koetaan, yleisesti lisääntyvä huoli merkittävien sidosryhmien keskuudessa ilmastonmuutokseen liittyvistä kysymyksistä luo yrityksille painetta tai jopa pakottaa käsitellä ilmastonmuutokseen liittyviä haasteita (Kumarasiri, 2017; Lah, 2017). Esimerkiksi hallitukset ovat laillisia ja yleensä voimakkaita sidosryhmiä, jotka voivat painostaa lainsäädännön ja politiikan kautta ilmastotoimiin. Toisaalta yrityksen omistajat ovat yritykselle voimakas sidosryhmä, joiden vaatimukset saavat yritykset toimimaan tietyillä tavoilla. Tämän lisäksi sidosryhmien painostus näkyy markkinapaineena. (Pålsson & Kovács, 2014) Esimerkiksi toimittajien, asiakkaiden, emoyhtiöiden, kauppakumppaneiden ja investoijien luomat paineet voidaan luokitella tekijöiksi, minkä takia yritykset muuttavat toimintaansa paremmin sopimaan erilaisiin vaatimuksiin (Kauppi & Luzzini, 2022). Gualandrisin ja Kalchschmidtin (2014) mukaan erityisesti asiakaspaine on avainasemassa yritysten ympäristöstrategioiden syntymisessä. Toimitusketjujen ja kuljetusten näkökulmasta vihreä logistiikka on herättänyt viime aikoina huomiota kuluttajien ja yritysten keskuudessa, ja osa kuluttajista suosivatkin vihreän logistiikan kautta kuljetettavia tuotteita perinteisen logistiikan sijaan (Dong ym., 2023).

Yhteiskunnallinen paine ja siitä syntyvät sidosryhmien vaatimukset yrityksille voidaan nähdä taustalla olevina tekijöinä, jotka luovat yrityksille erilaisia institutionaalisia paineita parantaa ilmastotoimia ja sitä kautta alkaa laskea tarkemmin päästöjä. Esimerkiksi Ng ym. (2022) mukaan institutionaaliset paineet ajavat yrityksiä olemaan eettisempiä ja sosiaalisesti vastuullisempia. Institutionaalisen teorian mukaan sosiaalinen oikeutus ja sosiaalinen velvoite ovat tärkeimpiä motiiveja organisaatorakenteiden ja innovatiivisten käytäntöjen omaksumiselle. Sen mukaan osa yrityksen toimista voidaan selittää pyrkimyksenä ylläpitää legitimitettiään keskeisten sidosryhmien keskuudessa eikä rationaalisena pyrkimyksenä toimia tehokkaasti. (Yang & Kang, 2020)

Pålssonin ja Kovácsin (2014) mukaan ympäristötoimien sisällyttäminen yrityksen toimintaan tapahtuu sekä ulkoisten että sisäisten paineiden kautta. Ulkoiset paineet asettavat tiettyjä vaatimuksia yritysten ympäristötoimille, kuten päästölaskennalle. Sisäiset paineet kilpailuedusta ja imagoedusta erottavat yritysten ympäristötoimet toisistaan. Yritykset pyrkivät osoittamaan sosiaalista vastuusta toimimalla edelläkävijänä ja ylittämällä

institutionaalisten paineiden vaatimukset saadakse kilpailuetua. Yritysten tapa ylittää nämä vaatimukset vaihtelevat, sillä ne pyrkivät vastaamaan omien keskeisten sidosryhmiensä vaatimuksiin. (Kumarasiri, 2017)

Päästöjen rajoitusta ja yritysten tarvetta laskea päästöjä voidaan katsoa pakottavan, normatiivisen ja jäljittelevän paineen näkökulmista. Se, päättääkö yritys laskea päästöjään ja millä tavoin, riippuu näiden kaikkien tekijöiden yhteisvaikutuksesta sekä yrityksen sisäisten strategioiden valinnasta.

3.1 Ympäristösääntelyn luoma paine rajoittaa ja laskea päästöjä

Ympäristösäädösten luoma paine on pakollista painetta institutionaalisen teorian mukaan (DiMaggio & Powell, 1983). Kauppi ja Luzzini (2022) jakavat pakottavan paineen kahteen eri luokkaan: sääntelyyn ja kilpailuun. Sääntelyyn liittyvät paineet ovat ilmastopimuksia, -tavoitteita ja -lakeja, joita erilaiset sääntelyelimet julkaisevat. Kilpailuun liittyvät paineet sen sijaan ovat seurausta kilpailuedun menettämisen uhasta. Kansainväliset ilmastopimukset sekä EU:n ilmastotoimet lukeutuvat pitkälti sääntelyyn liittyvään paineeseen, kun taas markkinaehtoiset säädökset voidaan luokitella kilpailuun liittyvään paineeseen. Sääntelytoimet ovat tärkeitä yrityksille, sillä ne selkeyttävät sitä, miten tulee toimia. Kun yritykset toimivat sääntelykehyksen puitteissa, ne pystyvät todistamaan toimivansa riittävän kestävästi. Toisaalta epäselvät ja heikot säädökset voivat toimia kannustimina yrityksille yliarvioida omia ilmastotoimiaan, koska kiinnijäämisen riski on tällöin pienempi. (Inês ym., 2023)

3.1.1 Kansainväliset ilmastopimukset

Vuosien varrella on tehty joitakin merkittäviä kansainvälisiä sopimuksia päästöjen rajoittamisesta, mitkä ovat ohjanneet erilaisten standardien ja regulaatioiden syntyä ja niiden sisältöä. Kansainvälisen ilmastojärjestelmän keskeinen osa on Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), joka allekirjoitettiin vuonna 1992. UNFCCC on pitkälti menettelyllinen väline, joka sisältää raportointi- ja tiedonvaihtovelvollisuuksia. Se ei sisällä sitovia velvollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, vaan luo enneminkin normatiivista painetta toimia tietyllä tavalla. Toisaalta siinä tunnustettiin tietyt teollisuusvaltiot, joiden odotettiin myöhemmin ottavan raskaammat päästövähennysvelvoitteet. (Wirth, 2017) Tämän mukaisesti vuonna 1997 allekirjoitetussa Kioton pöytäkirjassa määritellään

ilmastonmuutokseen myötävaikuttavien kaasujen määrälliset päästövähennykset 37 luetellussa teollisuusmaassa ja siirtymätalousmaassa sekä Euroopan unionissa (The UNFCCC secretariat, 2024). Kioton pöytäkirja astui voimaan vuonna 2005, ja pelkästään sen hyväksyminen oli merkittävä kansainvälinen saavutus. Nykyään sen on ratifioinut 192 maata. Pöytäkirja on ensimmäinen hyväksytty säädös, joka sisältää oikeudellisesti sitovia tavoitteita kasviuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Se toteuttaa UNFCCC:ta sitouttamalla teollisuusmaita ja siirtymätalouksia rajoittamaan ja vähentämään kasviuonekaasupäästöjä sovittujen yksittäisten tavoitteiden mukaisesti. (The UNFCCC secretariat, 2024; Yamin, 1998)

Pariisin ilmastopimus jatkoi UNFCCC:n ja Kioton pöytäkirjan jalanjäljissä, kun se hyväksyttiin vuonna 2015. Pariisin ilmastopimuksen mukana syntyi uudenlainen institutionaalinen konteksti, mikä mukauttaa valtiollisten ja muiden sidosryhmien toimia sen puitteissa. Useat sen sisällölliset tavoitteet ylittävät huomattavasti Kioton pöytäkirjan tavoitteet. Sopimuksessa asetetaan esimerkiksi tavoite keskimääräisen ilmaston lämpenemisen rajoittamisesta kahteen celsiusasteeseen, ja todetaan lisatarve pyrkiä rajoittamaan lämpeneminen 1,5 celsiusasteeseen. Sopimuksen osapuolet ovat kollektiivisesti velvoitettuja täyttämään uuden 1,5–2 celsiusasteen maailmanlaajuisen tavoitteen, mutta sopimuksessa yhdistyy paljolti sitovia ja ei-sitovia elementtejä. Pariisin ilmastopimuksen ytimessä ovat kansallisesti määritellyt tavoitteet (eng. Nationally Determined Contributions, NDCs), ja sopimuksen osapuolet ovat velvoitettuja valmistelemaan, viestimään ja ylläpitämään näitä. Sopimus ei kuitenkaan velvoita osapuolia täyttämään näitä lupauksia. (Held & Roger, 2018; Wirth, 2017)

UNFCCC:ssa vaadittiin, että kaikki maailmantalouden alat, kuljetussektori mukaan lukien, osallistuvat kasviuonekaasupäästöjen vakauttamiseen. Kansainvälinen lentoliikenne ja meriliikenne jätettiin kuitenkin nimenomaisesti Kioton pöytäkirjan soveltamisalan ulkopuolelle, ja ne ovat pysyneet suurelta osin koskemattomina. Myös Pariisin ilmastopimus hyväksyttiin ilman viittausta kansainväliseen lentoliikenteeseen ja meriliikenteeseen. Suurin syy erityisesti kansainvälisten kuljetusten päästöjen sivuuttamiselle on syntynyt niiden vaikeudesta jakaa vastuu maakohtaisesti. (Fuglestedt ym., 2023; Romera, 2016) Pariisin ilmastopimuksella on kuitenkin seurauksia näidenkin alojen sääntelylle. Esimerkiksi pitkän aikavälin tavoite nettonollapäästöistä, mikä käytännössä poistaisi fossiiliset polttoaineet käytöstä, edellyttää myös kuljetussektorin täydellistä hiilestä irtautumista. (Santos, 2017)

3.1.2 Kansainvälisen merenkulkujärjestön ja Kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön ilmastotoimet

Pariisin ilmastosopimuksen kahden celsiusasteen tavoitteen yhteydessä mainittiin tarve globaaleille sektorikohtaisille päästövähennystavoitteille sekä tarve siihen, että kaikki osapuolet työskentelisivät Kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön (International Civil Aviation Organization, ICAO) ja Kansainvälisen merenkulkujärjestön (International Maritime Organization, IMO) kautta globaalien poliittisten kehysten kehittämiseksi. (Romera, 2016) Näin ollen ICAO ja IMO ovat kriittisessä roolissa päästöjen vähentämisen tavoitteen edistämässä kyseisillä sektoreilla (Held & Roger, 2018).

ICAO toimitti ja hyväksyi vuonna 2016 hiilineutraalin kasvustrategian toteuttamisen, jossa vaadittiin parannuksia kaikkiin ilmailun teknisiin, operatiivisiin ja oikeudellisiin näkökohtiin. Tärkeä uusi elementti strategiassa oli pakollisen "CARBON Offsetting and Reduction Scheme, CORSIA" -ohjelman toteuttaminen. CORSIA tukee ICAO:n ilmastotavoitetta pysäyttämään kansainvälisen ilmailun hiilidioksidipäästöt vuoden 2020 tasolle. (Fichert ym., 2020) CORSIA:ssa on kaksi vapaaehtoista vaihetta: pilottivaihe vuosina 2021-2023 ja ensimmäinen vaihe vuosina 2024-2026. CORSIA on vuodesta 2027 alkaen pakollinen niille valtioille, joiden osuus kansainvälisestä ilmailusta on yli 0,5 % myydyistä tonnikipilometreistä. Kuitenkin 106 valtiota, jotka edustavat 77 % kansainvälisestä lentoliikenteestä, ovat liittyneet ohjelmaan jo ensimmäisessä vaiheessa. (Moldanova ym., 2021)

Toisaalta ICAO tunnusti vuonna 2019 yleiskokouksessaan, että kunnianhimoisemmille tavoitteille on tarvetta, jotta kestävä ilmailu toteutuisi. Lisäksi ICAO:n neuvostoa pyydettiin tutkimaan maailmanlaajuisia tavoitteita pitkällä aikavälillä ottaen huomioon Pariisin ilmastosopimuksen 1,5-2 celsiusasteen tavoitteen. (Fuglestedt ym., 2023)

Myös IMO julkaisi vuonna 2018 historiallisen kansainvälisen merenkulun kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteen. Tavoitteena on päästöjen vähentäminen vähintään 50 %:lla vuoteen 2050 mennessä vuoteen 2008 verrattuna. Se on ensimmäinen globaalille merenkulkualalle asetettu koko sektorin laajuinen tavoite. Tavoitteen lisäksi IMO hyväksyi aluksista aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä koskevan IMO:n alustavan strategian (eng. Initial Strategy), jossa ehdotetaan täytäntöönpanotoimenpiteitä. Ehdotuksena on suunnittelun, markkinaehtoisten, teknologisten ja operatiivisten toimenpiteiden yhdistelmä, ja näiden toteutus porrastetaan kolmeen aikaväliin: lyhyeen (2018–2023), keskipitkään (2023–2030) ja pitkäaikaiseen (vuoden 2030 jälkeen).

Toimenpiteistä neuvotellaan, niitä kehitetään ja niistä sovitaan edelleen IMO:n puitteissa. (Garcia ym., 2021)

3.1.3 Euroopan unionin päästöjen rajoitus ja Vihreän kehityksen ohjelma

EU:n toimet päästölaskennan osalta tulee yritysten näkökulmasta esille tavoitteiden ja raportointivelvollisuuksien kautta eikä suoraan yksittäisenä regulaationa. Nämä tavoitteet ja velvollisuudet, joita EU asettaa jäsenvaltioille, voidaan kuitenkin nähdä pakottavana paineena myös päästölaskentaan. Lähitulevaisuudessa, kun ”CountEmissionsEu” -aloite astuu voimaan, yritykset kohtaavat EU-tasolla pakottavaa painetta laskea päästöjään tietyllä tavalla.

Euroopan standardointikomitea (CEN) julkaisi vuonna 2012 standardin EN16258, joka pyrki luomaan yhtenäisen menetelmän kuljetuspalveluiden energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan. EN16258 -standardin laskelmat perustuvat ”well-to-wheels” (WTW) lähestymistapaan, jossa kuljetuspalvelun energia- ja kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa otetaan huomioon sekä ajoneuvon toiminnasta syntyvät päästöt että polttoaineen koko elinkaaren operatiivisessa vaiheessa syntyvät päästöt. WTW voidaan näin jakaa ”well-to-tank” vaiheeseen (WTT), joka sisältää elinkaaren operatiivisessa vaiheessa syntyvät päästöt, sekä ”tank-to-wheels” -vaiheeseen (TTW), joka sisältää ajoneuvon toiminnasta syntyvät päästöt. (Gialos ym., 2022)

Noudattaen Pariisin ilmastopimuksen tavoitteita Euroopan komissio esitteli vuoden 2019 lopussa Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (European Green Deal, EGD). Sen mukaan EU:n talouden tulisi olla vapaa kasvihuonekaasujen nettopäästöistä vuoteen 2050 mennessä ja talouskasvun ei tulisi perustua resurssien lisäämiselle. Tämän tavoitteen toteutuessa Eurooppa olisi ensimmäinen ilmastoneutraali maanosa. Osana vihreän kehityksen ohjelmaa EU esitteli ”Fit-for-55” -valmiuspaketin vuonna 2021, jonka tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä. Fit-for-55 vastaa EU:n ilmastolain vaatimukseen, mikä on merkittävä osa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa. Se ei kuitenkaan ole vielä valmis, vaikkakin vuonna 2023 hyväksyttiin kaksi viimeistä paketin pilaria, vaan se odottaa jäsenvaltioiden täytäntöönpanoa. (Euroopan komissio, 2019, 2023d)

Euroopan vihreän kehityksen ohjelmassa on tavoite liikenteen päästöjen vähentämiselle 90 %:lla vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen seuraamiseksi ja saavuttamiseksi EU esitteli vuonna 2023 aloitteen ”CountEmissionsEu”, joka on EU:n yhtenäinen lähestymistapa kasvihuonekaasupäästöjen laskemiselle ja vertailulle. Sen keskiössä on Euroopan

standardointikomitean (CEN) julkaisema ISO 14083 -standardia vastaava EN ISO 14083:2023-standardi. (Euroopan komissio, 2023a, 2023c) Oletusarvojen käyttöön liittyen EU:n komissio toteaa, että vertailukelpoisten päästölaskentatulosten varmistamiseksi oletusarvoista olisi luotava EU:n tietokanta. Tietokannat ovat kuitenkin hyvin alakohtaisia, kansallisia ja alueellisia, joten myös muut kolmansien osapuolten ylläpitämät asiaankuuluvat tietokannat ja tietoaaineistot olisi sallittava sillä ehdolla, että niille tehdään EU:n tasolla erityinen laatutarkastus. (Euroopan komissio, 2023b) Asetusta sovellettaisiin kaikkiin rahti- ja matkustajapalveluja EU:ssa tarjoaviin tai järjestäviin tahoihin, mutta se ei tekisi päästölaskennasta pakollista. Jos organisaatiot kuitenkin päättävät laskea päästöjään esimerkiksi raportointivelvollisuuden puitteissa, niiden on noudatettava laskennassaan asetuksen määrittelemiä käytäntöjä. (Euroopan parlamentti, 2023)

Vihreän kehityksen ohjelmaan kuuluu myös yritysten kestävyysraportoinnista annettu direktiivi CSRD, jonka komissio esitti vuonna 2021. Sen tavoitteena on edistää kestävä kehityksen raportointi samalle tasolle taloudellisen raportoinnin kanssa vahvistamalla voimassa olevia säädöksiä. Direktiivi tuli voimaan vuonna 2023 ja koskee tällä hetkellä suuria yrityksiä sekä julkisesti noteerattuja pk-yrityksiä. Näiden yritysten tulee raportoida eurooppalaisten kestävyysraportointistandardien (ESRS) mukaan. Käytännössä direktiivin johdosta noin 50 000 EU:n yritystä noudattaa yksityiskohtaisia kestävä kehityksen raportointisääntöjä, kun ennen direktiiviä sellaisia noudatti noin 11 000 yritystä. Ensimmäiset yritykset soveltavat uusia CSRD direktiivin sääntöjä tilikaudella 2024 vuonna 2025 julkaistaviin raportteihin. (Euroopan komissio, 2024a; Tenuta & Cambrea, 2022) EN ISO 14083:2023-standardin mukaan laskettuja ja kerättyjä kasvihuonekaasupäästöjä koskevia tietoja voidaan käyttää yritysraportoinnissa CSRD:n ja siihen liittyvän ESRS:n mukaisesti. (Euroopan komissio, 2023b)

EU:n oma päästökauppajärjestelmä yhdistettiin myös osaksi vihreän kehityksen ohjelmaa. EU ETS on maailman ensimmäinen hiilimarkkina ja edelleen yksi maailman suurimmista päästökauppajärjestelmistä. EU ETS:n päästökatto ilmaistaan päästöoikeuksina siten, että yksi päästöoikeus antaa oikeuden päästää yhden tonnin hiilidioksidiekvivalenttia. Päästöoikeuksia myydään huutokaupoissa, ja niillä voidaan käydä kauppaa. Kun katto laskee, niin laskee myös päästöoikeuksien tarjonta EU:n hiilimarkkinoille. Meriliikenteestä vuodesta 2024 alkaen EU ETS kattaa 50 % EU:n ulkopuolella alkavien tai päättyvien matkojen päästöistä ja 100 % kahden EU:n sataman välisten matkojen päästöistä. EU ETS kattaa lisäksi Euroopan talousalueen sisäisen lentoliikenne ja lähtevät lennot Sveitsiin ja Yhdistyneeseen

kuningaskuntaan. Nykyisen EU ETS:n rinnalle on luotu EU ETS2, joka ottaa huomioon sellaisia sektoreita, jotka jää EU ETS:n ulkopuolelle. Esimerkiksi tieliikenteen päästöt kuuluvat EU ETS2:een, joka tulee lopullisesti voimaan vuonna 2027. Ensimmäisenä vaiheena päästöjen tarkkailu ja raportointi aloitetaan kuitenkin jo vuonna 2025. (Euroopan komissio, 2024b)

3.1.4 Markkinaehtoiset säädökset

Markkinaehtoiset säädökset ovat esimerkki kilpailuun liittyvästä pakottavasta paineesta. Yritykset ovat riippuvaisia ulkoisista resursseista ja pelko jäädä niiden ulkopuolelle ajaa ne noudattamaan ympäristön odotuksia (Kauppi & Luzzini, 2022).

Markkinaehtoiset säädökset käyttävät hintoja tai muita taloudellisia muuttujia rahallisina kannustimina saastuttajille päästöjen vähentämiseksi. Ne pyrkivät toteuttamaan ”saastuttaja maksaa” -periaatetta ja sisäistää kasvihuonekaasupäästöjen ulkoiset kustannukset. Esimerkiksi ympäristöverot, tukien myöntäminen, erilaiset kompensointimekanismit ja päästökauppajärjestelmät lukeutuvat markkinaehtoiisiin säädöksiin. Tällaiset säädökset antavat sidosryhmien päättää, miten reagoida ja minimoida päästöjänsä kustannukset. Vastauksena näihin voi olla esimerkiksi logistiikkaan perustuvia toimenpiteitä, kuten nopeuden vähentämistä tai teknisiä toimenpiteitä, kuten investoiminen energiatehokkaampiin teknologioihin tai vaihtoehtoiisiin polttoaineisiin. (Lagouvardou ym., 2020; Psaraftis ym., 2021)

Bunkkerimaksu tai hiilimaksu on yksi esimerkki markkinaehtoisista säädöksistä, joita useita erilaisia on ehdotettu merikuljetuksille. Tällaisia ehdotuksia on alusten kasvihuonekaasupäästöjen kansainvälinen rahasto (GHG Fund), puhdas maksu bunkkeripolttoaineesta ja puhdas vero CO₂-ekvivalenteista päästöistä. (Psaraftis ym., 2021) Aiemmin mainittu lentokuljetuksiin kohdennettu CORSIA on kompensointijärjestelmä, joka kuuluu myös markkinaehtoiisiin säädöksiin. Lentoliikenteen päästöt ovat tarkoitus kompensoida ostamalla hiilihyvityksiä tai investoimalla hankkeisiin, jotka auttavat vähentämään muiden alojen hiilidioksidi- tai kasvihuonekaasupäästöjä. (Scheelhaase ym., 2018)

Kansainvälisten toimijoiden lisäksi myös yksittäiset tahot voivat asettaa samankaltaisia kannustinpohjaisia säädöksiä. Esimerkiksi satamat voivat tarjota erilaisia kannustimia satamissa päästöttömille aluksille. Kansalliset, kansainväliset tai hallitustenväliset ohjelmat

voivat tarjota avustuksia, joilla tuetaan tällaisia vähähiilisyteen tähtäviä toimenpiteitä. Toisaalta yksittäiset valtiot voivat käynnistää satamaviranomaisten kanssa omia kannustinohjelmia, jolloin ne koskevat kyseisen valtion satamia. (Alamouh ym., 2022) Tämän tapaisia alueellisia kannustinpohjaisia aloitteita on syntynyt varsinkin, kun kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä ei ole ollut koordinoitua maailmanlaajuisia sopimusta. Toisena esimerkkinä tällaisesta on erilaiset "cap-and-trade" -ohjelmat, kuten aiemmin mainittu EU:n päästökauppajärjestelmä (EU ETS). Näissä sääntelijät asettavat sallitun päästömäärän ylärajan ja jakavat vastaavan määrän kaupattavia päästölupia. (Fowlie ym., 2016)

3.2 Normatiivinen paine rajoittaa ja laskea päästöjä

Normatiiviset paineet kumpuavat ammattimaisuuteen liittyvistä vaikutteista ja ovat peräisin ammatillisista normeista ja normeista, joita työntekijät pitävät yhteisinä toimialansa, ammattiyhdistystensä ja koulutuksensa kautta (Kauppi & Luzzini, 2022). Yritysten keskittyminen vastuullisuuteen ja päästöjen laskentaan ei synny vain ulkoisten paineiden kautta, vaan yrityksen sisäisetkin paineet luovat sille tarpeen. Nämä paineet kumpuavat yrityksen esimiehiltä tai työntekijöiltä vaatimuksena kehittää vastuullisuutta yrityksessä. (Bhuiyan ym., 2023) Toisaalta myös erilaiset standardit voidaan nähdä liittyvän normatiivisiin paineisiin.

3.2.1 Kasvihuonekaasuprotokolla

Ensimmäiset pyrkimykset kasvihuonekaasujen laskentaan yritystasolla alkoivat vuonna 1997, kun energia-alan yritys BP julkisti suunnitelman sisäisen päästökauppaohjelman luomiselle. Tavoitteena oli vähentää BP:n päästöjä 10 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2010 mennessä. BP, yhdessä Monsanto, General Motorsin ja Maailman luonnonvarainstituutin (engl. World Resource Institute, WRI) kanssa julkaisivat lokakuussa 1998 kirjan "Safe Climate, Sound Business: An Action Agenda". Se haastaa yritykset puuttumaan ilmastonmuutokseen ja "mittaamaan, seuraamaan ja raportoimaan avoimesti toimintansa kasvihuonekaasupäästöjä". Lisäksi asiakirjan allekirjoittajat lupaavat tehdä yhteistyötä "kehittääkseen yhteisen protokollan kasvihuonekaasupäästöjen ja maailmanlaajuisen toimintamme ekotehokkuuden mittaamiseksi ja raportoimiseksi". "Safe Climate, Sound Business" -agendalla esitetyt toimet loivat perustan kasvihuonekaasuprotokollalle. (Ranganathan, 2004)

Kasvihuonekaasuprotokolla (engl. Greenhouse Gas Protocol) on yksi merkittävimmistä säädöksistä, jonka laativat Maailman luonnonvarainstituutti ja Maailman kestävän kehityksen yritysneuvosto (engl. World Business Council on Sustainable Development, WBCSD). Se on maailmanlaajuinen viitekehys yksityisen ja julkisen sektorin toimintojen, arvoketjujen ja hillintätoimien kasvihuonekaasupäästöjen mittaamiseen ja hallintaan. Säädös sisältää yritysten kirjanpito- ja raportointistandardin (engl. Greenhouse Gas Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard), joka on otettu laajalti käyttöön päästöraportointijärjestelmissä ympäri maailmaa. Kasvihuonekaasuprotokolla on tällä hetkellä yleisimmin käytetty viitekehys kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnille. Käytännössä kaikki kasvihuonekaasurekisterit, jotka eivät käy kauppaa päästöillä, vaan vaativat osallistujia vain raportoimaan niistä, käyttävät jotakin pöytäkirjan versiota. (Green, 2010; Kasperzak ym., 2023; Ranganathan, 2004)

Kasvihuonekaasuprotokolla erittelee kolme erillistä päästöjen ”laajuutta”. ”Scope 1” ja ”Scope 2” sisältävät yrityksen toiminnasta suoraan aiheutuvia päästöjä, mitkä tulee protokollan mukaan raportoida. ”Scope 3” mittaa muita epäsuoria päästöjä, jotka aiheutuvat mistä tahansa toiminnasta arvoketjussa. Tällaisten päästöjen ilmoittaminen ei kuitenkaan ole pakollista. Kuljetukset voivat käytännössä kuulua mihin tahansa laajuuteen riippuen yrityksen liiketoiminnasta. (Kasperzak ym., 2023)

3.2.2 Kansainvälisen standardoimisjärjestön ISO 14083 -standardi

Kansainvälinen standardoimisjärjestö (International Organization for Standardization, ISO) on itsenäinen kansalaisjärjestö, joka koostuu kansallisista standardointielimistä, ja se on ylivoimaisesti suurin kansainvälisten standardien toimittaja. ISO kieltäytyy asettumasta kummallekaan puolelle valtion ja kansainvälisen oikeuden välistä kuilua. Lisäksi sen säätämät normit ovat periaatteessa vapaaehtoisia, ja niillä on ”pehmeän” lain asema. (ISO, 2024; Lindahl, 2015) Tosin, kun ”CountEmissionsEU”-aloite tulee voimaan, se käytännössä muuttaa ISO 14083 -standardin pakolliseksi niille EU:ssa toimiville yrityksille, jotka kuljetusten päästöjä aikovat laskea. Näin ollen standardia ei voida yksiselitteisesti pitää normatiivisena paineena.

ISO 14083 -standardi, joka koskee kuljetusketjun toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen kvantifiointia ja raportointia, julkaistiin maaliskuussa 2023. Se on ensimmäinen standardi, joka antaa vaatimuksia ja ohjeita kasvihuonekaasupäästöjen kvantifiointiseksi ja raportoimiseksi koko kuljetusketjussa niin matkustajien kuin rahdin osalta. Se kattaa kaikki erilaiset kuljetusmuodot ja sisältää solmukohtien operatiiviset

kasvihuonekaasupäästöt. Lisäksi se pyrkii olemaan mahdollisimman laajasti sovellettavissa ottaen huomioon niin suuret monikansalliset yhtiöt kuin pienet paikalliset toimijatkin. Standardin tavoitteena on, että laskentatulokset voisivat mahdollistaa eri energiamuotojen johdonmukaisen vertailun liikenteenharjoittajien, käyttäjien ja muiden sidosryhmien välillä. (Fancello ym., 2023; ISO, 2023)

ISO 14083 -standardi täydentää useita olemassa olevia kansainvälisen standardoimisjärjestön julkaisemia standardeja. Se on esimerkiksi linjassa ISO 14064 -standardisarjan ja ISO 14067 -standardin kanssa. Lisäksi se vaikuttaa ISO 14067 -standardiin tuotteiden hiilijalanjäljestä ja edistää elinkaariarviointia ISO 14040 -standardiperheen ja ISO 14044 -standardin mukaisesti. (ISO, 2023)

Standardin mukaan päästöjä voi laskea joko primääridatan tai oletusarvojen ja mallinnusten kautta. Oletusarvojen käyttö on ensisijaisesti tarkoitettu organisaatioille tai yksityishenkilöille, jotka eivät suurelta osin tunne kuljetusketjujen kasvihuonekaasupäästöjen kvantifointi- ja raportointiprosessia. ISO 14083 -standardi määrittelee tietyt lähteet oletusarvojen löytämiselle. Yksi näistä on GLEC viitekehys v3 (engl. GLEC Framework v3), joka on vakiintunut maailmanlaajuiseksi vertailukohdaksi kasvihuonekaasujen laskennassa ja raportoinnissa tavaraliikenteessä. GLEC viitekehysten moduuli 2 sisältää laajan joukon kasvihuonekaasujen oletuspäästöintensiteettejä, joita päivitetään säännöllisesti. Koska nykyaikaiset tavaraliikenteen verkot ovat yhteydessä toisiinsa ja niitä käytetään maailmanlaajuisesti suhteellisen yhdenmukaisin varustein ja toimintatavoin, GLEC viitekehysten laatijat ovat pystyneet tarjoamaan kohtuullisen johdonmukaisen, laajasti sovellettavan tietokokonaisuuden. Logistiikan solmukohtien referenssipaikaksi standardi on määritellyt REff Tool®, joka on kasvihuonekaasupäästöjen arviointityökalu. Näiden lisäksi standardi hyväksyy kansallisten tietokantojen käytön, sillä useat maat ovat käyttäneet keräämiään liikennetietoja kansallisten tietokantojen kokoamiseen, joita ne odottavat tai suosittelevat käytettävän oman toimivaltansa puitteissa päästölaskelmissa. (ISO, 2023)

3.3 Jäljittelevän paineen aiheuttama tarve rajoittaa ja laskea päästöjä

Pakottavien ja normatiivisten paineiden lisäksi, yritys voi kokea painetta jäljitellä kilpailijoita. Jäljittelevä paine on yritysten taipumusta kopioida muiden yritysten toimia epävarmuuden hetkellä. Epävarmuus saattaa motivoida yrityksiä mukauttamaan toimintaansa samankaltaiseksi esimerkiksi samalla alalla toimivien yritysten kanssa. Yritykset eivät esimerkiksi halua investoida kalliisiin käytäntöihin, jos sen hyödyt eivät ole taattuina, joten

kokeiluun menevien kustannusten vähentämiseksi, menestyvän yrityksen jäljittelemine on houkutteleva vaihtoehto. Samalla alalla toimivilla yrityksillä onkin suuri merkitys yksittäisen yrityksen ympäristöstrategiaan. (Kauppi & Hannibal, 2017; Kauppi & Luzzini, 2022)

Yritykset voivat myös kohdata ulkoista painetta mukauttaa toimintaansa muiden yritysten toiminnan kaltaiseksi saadakseen oikeutettua toimintaansa tai päästäkseen mukaan kilpailuun. (Ji & Tate, 2021) Yangin ja Kangin (2020) mukaan merkittävin syy jäljentämislle on, että jäljittelijä pitää kilpailevan yrityksen menestystä kilpailijan strategisena valintana. Yritys voi näin ollen jäljitellä kilpailijaa, vaikka sitä ei voisi perustella taloudellisesti, vähentääkseen havaittuja riskejä tai vahvistaakseen omaa statustaan.

Toisaalta yrityksen strategiana voi olla kilpailuedun hakeminen, jolloin se pyrkii olemaan edelläkävijä, jota muut jäljittelevät. Silloin yrityksen on tarpeen olla suunnan näyttäjä, joka tekee vastuullisuuden eteen enemmän kuin laki velvoittaa. Strategia, joka keskittyy vastuullisuuteen, antaa valmiudet ajatella tuotteita, käytäntöjä ja liiketoimintastrategioita uudelleen pienemmän hiilijalanjäljen saavuttamiseksi. Tällainen ennakoiva sitoutuminen on yhdistetty kilpailullisesti parempaan asemaan varsinkin innovaatioiden ja erilaistumisen kautta, joiden ansoista yritys pystyy laajemmin palvelemaan yhä ympäristötietoisempia kuluttajia. Lisäksi se luo imagoa uudistuvasta ja vastuullisesta yrityksestä. (Tan ym., 2022) Se, että yritys pyrkii kilpailuetuun voi kiihdyttää esimerkiksi uusimpien standardien mukaisten laskentamallien käyttöönottoa, kun muut yritykset alkavat jäljittelemään oman alansa edelläkävijää.

4 Päästölaskentamallit

Edellytyksenä kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiselle on se, että käytettävissä on välineitä, joilla voidaan mitata ja laskea päästövähennystoimenpiteiden vaikutuksia. Logistiikka-alan päästömittaus on kuitenkin haastavaa, koska suurin osa rahdinlähettäjästä ulkoistaa suurimman osan rahtikuljetuksistaan logistiikkapalvelujen tarjoajille. Nämä logistiikkapalvelujen tarjoajat puolestaan jakavat merkittävän osan työstään alihankintana pienille kuljetusliikkeille. Näin ollen voi olla vaikeaa määrittellä, kenen vastuulla päästölaskenta on. Rahtipäästöjä mittaavien yritysten määrä on kuitenkin viime aikoina kasvanut, mutta mittauskäytännöt eivät ole vielä yleismaailmallisia. Kun yleistä standardia ei ole ollut, esimerkiksi logistiikan palveluntarjoajat ovat kehittäneet omia laskentatyökaluja, minkä seurauksena CO₂-päästölaskelmissa on suurta vaihtelua samankaltaisissakin kuljetuksissa. Yritysten omien laskentamallien lisäksi osa laskentamalleista on muodostettu alueellisesti ja osa taas kuljetusmuodon perusteella. Koska laskentamalleja on niin paljon ja niiden tulokset vaihtelevat keskenään, tulosten suora vertailtavuus on ollut hyvin vaikeaa. (Davydenko ym., 2014; Dente & Tavasszy, 2018; Euroopan parlamentti, 2023)

Toisaalta viime vuosina kuljetusketjujen päästöjen laskennassa ja raportoinnissa on edistytty huomattavasti. Aihe on esimerkiksi tuottanut laajan kirjallisuuden, päästöjen mittaustekniikoita on hiottu ja menetelmiä on harmonisoitu paljon enemmän. Kuitenkin edelleen on olemassa hajanainen määrä erilaisia laskentamalleja, joissa on erilaisia metodologisia lähestymistapoja. Päästölaskentamallien erilaisuuden ongelmana on siihen tarvittava tieto, sillä laskettujen päästöjen ja päästöintensiteettien tulokset riippuvat laskentamalliin tarvittavan tiedon saatavuudesta, spesifikaatiosta, laadusta ja tiedonvaihdosta. Monissa tapauksissa hiilijalanjäljen laskemiseen ei vielä ole saatavilla täydellistä reaali maailman tietoa, jolloin turvaututaan käyttämään päästöjen aggregoituja keskiarvotietoja eli oletusarvoja puuttuvien tietojen korvaamiseksi. (Hörandner ym., 2023)

Vaikka erilaisia päästölaskentamalleja on luotu varsin paljon, niistä vain harva ottaa huomioon kaikkia kuljetusmuotoja. Esimerkiksi Schramm ja Lehner (2024) käyttivät tutkimuksessaan jäseneltyä verkkohakua etsiessään verkossa olevia päästölaskentamalleja. Erilaisia malleja löytyi 42, mutta niistä malleista, jotka perustuivat johonkin maalimanlaajuisesti tunnettuun standardiin, vain kuusi otti huomioon kaikki kuljetusmuodot. Myös Saharidis ym. (2018) arvioivat useita eri päästölaskentamalleja raskaiden ajoneuvojen sataman konttikuljetuksista aiheutuvien päästöjen laskennassa. Kaikki kymmenen mainittua

laskentamallia ovat sellaisia, jotka keskittyvät tietyn kuljetusmuodon päästöihin. EU:n kehittämä COPERT päästölaskuri ja Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluviraston (EPA) kehittämä päästölaskuri MOVES olivat näistä suosituimmin käytettyjä. Molemmat niistä laskevat pelkästään maantiekuljetuksien kasvihuonekaasupäästöjä, kuten nähdään Taulukosta 1.

Taulukko 1 esittelee merkittäviä päästölaskentamalleja ja niiden eroavaisuuksia. Esimerkkinä yksittäisten kuljetusmuotojen päästölaskentamalleista ovat laivaliikenteen päästöjen arviointimalli STEAM2 (Ship Traffic Emissions Assessment Model 2) sekä IATA:n vuonna 2022 päivittämä rahdin hiilidioksidipäästöjen mittausmenetelmä Cargo CO2 Emissions Measurement Methodology 1678. (Huang ym., 2020; IATA, 2024; Jalkanen ym., 2012) Kasvihuonekaasuprotokolla (Greenhouse Gas Protocol) tarjoaa myös laajalti erilaisia Excel-pohjaisia laskukaavoja, joista yksi laskee kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjä (Greenhouse Gas Protocol, 2015). Näiden lisäksi on olemassa myös yrityskohtaisia työkaluja, kuten Kuehne&Nagelin päästöjen laskentatyökalu sekä DHL:n hiililaskuri (Auvinen ym., 2014; Schramm & Lehner, 2024).

Taulukko 1 Päästölaskentamallien vertailu. Lähteet: (BigMile, 2024; CarbonCare, 2024; DHL, 2024; EcoTransIT World, 2021; EMISIA, 2022; GEODIS, 2024; Greenhouse Gas Protocol, 2015; IATA, 2024; Jalkanen ym., 2012; Kuehne+Nagel, 2024; Network for Transport Measures, 2024; Schramm & Lehner, 2024; Smart Freight Centre, 2023; US EPA, 2016).

Päästölaskentamalli	Tuottaja	Kuljetusmuodot, jotka malli kattaa	Uusin standardin, johon malli pohjautuu	CO2 vai CO2e	TTW vai WTW
STEAM2	Ilmatieteenlaitos	Merikuljetukset	-	CO2	TTW ja WTW
Cargo CO2 Emissions Measurement Methodology 1678	IATA	Lentokuljetukset	IATA:n standardi RP1678, GLEC viitekehys	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
Globaali merirahdin CO2-laskuri	Kuehne&Nagel / EcoTransIT	Merikuljetukset	ISO 14083	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
MOVES	EPA	Maantiekuljetukset	EPA-standardit	CO2 ja CO2e	TTW
COPERT 4	EU, EMISIA	Maantiekuljetukset	EU-standardit	CO2	TTW ja WTW
CO2 calculator for logistics & transportation	LogWARD / EcoTransIT	Maantie-, meri- ja lentokuljetukset	ISO 14083	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
GHG Emissions from Transport or Mobile Sources – calculating tool	Greenhouse Gas Protocol	Kaikki	GHG Protokolla	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
EcoTransIT	EcoTransIT World	Kaikki	ISO 14083	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
BigMile™	BigMile	Kaikki	ISO 14083	CO2e	TTW ja WTW
CarbonCare	CarbonCare	Kaikki	ISO 14083	CO2e	TTW ja WTW
GLEC Framework	Smart Freight Centre	Kaikki	ISO 14083	CO2e	TTW ja WTW
NTMCalc Basic 4.0	Network for Transport Measures	Kaikki	EN16258:2012	CO2 ja CO2e	TTW ja WTW
DHL Carbon Calculator	DHL / EcoTransIT	Kaikki	ISO 14083	CO2e	TTW ja WTW
GEODIS Emissions Calculator	Geodis / EcoTransIT	Kaikki	ISO 14083	CO2 ja CO2e	WTW

Kuten luvussa 3 tuotiin esille, erilaiset tekijät luovat paineita yrityksille alkaa laskea päästöjään. Nämä paineet voidaan nähdä tällä hetkellä ajavan yrityksiä siihen kehityssuuntaan, että päästölaskentamallit alkavat yhtenäistymään ja tietyt päästölaskentamallit yleistyvät samalla, kun osa jätetään historiaan. Yhtäläisyyksiä näkyy jo nyt siinä, että suurin osa laskentamalleista tuottaa WTW päästötuloksia ja tulokset voidaan esittää hiilidioksidiekvivalentteina.

Kaiken kattavat päästölaskentamallit, jotka perustuvat uusimpiin standardeihin ja ovat eri yritysten tarpeisiin muokattavissa, jäävät mitä luultavammin suosituimmiksi vaihtoehdoiksi, kun laskentamallit kehittyvät. Kuten Taulukosta 1 huomataan, edistyneimmät päästölaskentamallit, kuten esimerkiksi NTMCalc basic 4.0, kattavat jo nyt kaikki kuljetusmuodot ja perustuvat uusimille maailmanlaajuisille standardeille. Normatiivisen paineen alla edistyneimmät mallit ovat ottaneet laskentamallien pohjaksi esimerkiksi ISO 14083 -standardin. Tällaisia malleja ovat GLEC viitekehys, BigMile, CarbonCare, GEODIS, EcoTransIT sekä LogWardin laskentamalli, joista viimeinen tosin jättää rautatiekuljetukset laskentamallissaan pois. Lisäksi Taulukosta 1 voidaan havaita pakottavan paineen luomaa jäljittelyä, sillä useimmat päästölaskentamallit pohjautuvat EcoTransIT:n päästölaskentamalliin. Toisaalta taas EcoTransIT on linjassa GLEC viitekeh്യksen kanssa. Näin ollen laskentamallit alkavat muistuttaa yhä enemmän toisiaan. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kuljetusketjujen päästötulokset välttämättä olisivat täysin vertailukelpoista tai luotettavaa.

Seuraavaksi käyn läpi merkittävimmät päästölaskentatyökalut, jotka ottavat huomioon kaikki kuljetusmuodot ja pohjautuvat uusimpiin standardeihin. Huomioon ei ole otettu DHL-, GEODIS- tai LogWard -laskentamalleja, sillä ne pohjautuvat suoraan EcoTransIT:n laskentamalliin. Lisäksi esittelen päästölaskentatyökalun, joka on tarkoitettu solmukohtien päästölaskentaan.

4.1 GLEC viitekehys

Global Logistics Emissions Council (GLEC) on tutkijoiden ja asiantuntijoiden tukema, vapaaehtoinen ja riippumaton yritysten vihreän rahtikuljetuksen ohjelmien ja toimialajärjestöjen kumppanuus, jota johtaa Smart Freight Centre. Se on edistänyt kasvihuonekaasupäästöjen laskentamenetelmien ja raportointistandardien standardointia julkaisemalla kansainvälisesti kehitetyn ja soveltuvan metodologisen viitekeh്യksen

kuljetusketjujen päästöjen laskemiseksi, GLEC viitekehysten (engl. GLEC Framework). GLEC viitekehys oli keskeinen elementti, jota käytettiin uuden ISO 14083 -standardin sisällön kehittämiseen. ISO 14083 -standardi on siis linjassa GLEC viitekehysten kanssa, ja viitekehys tukee standardin toteuttamista toimimalla ohjenuorana yrityksille. (Fancello ym., 2023; Smart Freight Centre, 2024)

Vain uusin GLEC viitekehys v3 on ISO 14083 -standardin mukainen. Viitekehys jakaa standardin mukaisesti kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt päästöihin, jotka liittyvät liikenteen tai solmukohdan toimintojen energiankäyttöön ja tämän energian toimittamiseen liittyviin päästöihin. Aiempi versio, GLEC viitekehys v2, luokitteli logistiikan päästöt kolmeen ulottuvuuteen noudattaen kasvihuonekaasuprotokollan esittämiä kirjanpidon periaatteita. (Smart Freight Centre, 2023)

4.2 Päästölaskentatyökalut kaikille kuljetusmuodoille

4.2.1 EcoTransIT

EcoTransIT World on yksi tärkeimmistä päästölaskentatyökaluista sen yksityiskohtaisen ja tarkan sekä maailmanlaajuisesti kattavan tietokantansa ansiosta. EcoTransIT onkin vakiinnuttanut asemansa yhtenä johtavista sovelluksista, joka tarjoaa helpon käyttöliittymän data- ja laskentatyökaluille, mutta kuitenkin kohtuullisen korkeat metodologiset pyrkimykset. (Auvinen ym., 2014)

EcoTransIT World on maailman laajimmin käytetty ohjelmisto energiankulutuksen, hiilipäästöjen, ilmansaasteiden ja ulkoisten kustannusten automaattiseen laskentaan. Menetelmä laskee päästöjä ISO 14083 -standardin ja GLEC viitekehysten vaatimusten mukaisesti. EcoTransIT World määrittää päästöt energiapohjaisella alhaalta ylös -lähestymistavalla. Tämä tarkoittaa, että päästöt määräytyvät kulutetun energian ja käytetyn polttoaineen perusteella. Tämä tekee suuren eron muutoin tavanomaiseen ylhäältä alaspäin suuntautuvaan lähestymistapaan, jossa gCO₂e tonnikipometriä kohtaan kerrotaan rahtipainolla ja etäisyydellä. Alhaalta ylös -lähestymistapa simuloi koko kuljetusjärjestelmää. Tämä menetelmä tekee EcoTransIT Worldista tulevaisuudenkestävän, koska uusien polttoaine- tai ajoneuvotekniikoiden kartoittamiseksi laskentatyökalussa tarvitsee säätää vain yksi parametri. (EcoTransIT World, 2021)

4.2.2 BigMile

BigMile™ on EcoTransIT:n tapainen päästölaskentamallityökalu. Se on itsepalvelualusta, joka kerää ja yhdistää tietoja rahdinantajien, logistiikkapalvelujen tarjoajien ja kuljetusliikkeiden päivittäisistä toiminnoista. Se tukee kaikkia merkittäviä laskentakehyksiä, kuten GLEC viitekehystä sekä EU:n säädöksiä ja ISO:n standardeja. (BigMile, 2024; Davydenko ym., 2019)

BigMile koostuu kolmesta moduulista, joista ensimmäinen on nimeltään Hiilijalanjälki (engl. Carbon Footprint), joka laskee sertifioidun hiilijalanjäljen. Toinen moduuleista on Hiilianalytiikka (engl. Carbon Analytics), joka on tarkoitettu päästöjen ja näyttöön perustuvien parannussuunnitelmien luomiseen. Kolmas moduuli on Tuottojen etsijä (engl. Profit Finder), jonka tarkoitus on olla apuna logistiikan suorituskyvyn parantamiseen. Työkalu on suunnattu sekä rahdinantajille että logistiikkapalvelujen tarjoajille, ja se kattaa kaikki mahdolliset polttoaineet. Se on hiilijalanjälkimenetelmästä tehty ohjelmisto, joka on joustava sen suhteen, mitä dataa siihen voi syöttää, jolloin voidaan käyttää erityyppisiä tietoja eri aggregointitasoilla. Näin ohjelmisto on hyödyllinen, vaikka siihen syötetty tieto olisikin eri tasoista. (Davydenko ym., 2019)

4.2.3 CarbonCare

CarbonCare on kaupallinen päästölaskentatyökalu, joka on verrattavissa EcoTransIT:iin ja BigMile:iin. Se on kokonaisvaltainen CO₂-päästölaskuri, joka arvioi kasvihuonekaasuja kaikkien kuljetusmuotojen lisäksi myös solmukohdista ja jäähdytysketjuista. Ensisijaisesti CarbonCare on tarkoitettu rahdinantajille, huolitsijoille ja kuljetusliikkeille. (Wild, 2021)

Laskurin perusteet kehitettiin 5-vuotisessa tutkimuksessa, johon osallistuivat Federal Institute of Technology (ETH) ja vastuussa olleet Sveitsin liittovaltion viranomaiset. Nykyään laskentatyökalu pohjautuu ISO 14083 -standardiin sekä GLEC viitekehukseen. Laskelmat perustuvat yli 14 miljoonaan mitattuun arvoon, joita päivitetään säännöllisesti. Paino, etäisyys ja kulkuväline muodostavat jokaisen laskelman perustan. (CarbonCare, 2024)

4.3 Reff Tool päästölaskentatyökaluna solmukohdille

REff Tool on Smart Freight Centren hyväksymä apuväline, joka tarjoaa metodologisesti GLEC viitekehysten mukaisia laskelmia rahti- ja logistiikkatoimintojen kasvihuonekaasupäästöistä. REff Tool tarjoaa mahdollisuuden tietojen syöttämiseen, jotta

kasvihuonekaasupäästöt voidaan laskea keskittyen logistiikkakohteisiin, kuten varastoihin, jakelukeskuksiin, jälleenlaivauspaikkoihin ja erilaisiin terminaaleihin. Se kattaa myös moduulit kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan ja laskentatulosten raportointiin. (REff Tool, 2024)

5 Päästölaskentamallit institutionaalisen teorian viitekehyksessä

Päästölaskenta voidaan liittää institutionaalisen teoriaan. Yhteiskunnallinen paine päästöjen rajoittamisesta ja niiden laskennasta ohjaa instituutioita toimimaan tietyllä tavalla, joka edelleen luo paineen yrityksille muuttaa toimintaansa. Päästöjen laskennan tapauksessa yritykset ovat instituutioiden paineen myötä siirtyneet kohti yhtenäisempää päästöjen laskentaa.

Institutionaalisen teorian tutkimus tutkii isomorfismin syitä eli tekijöitä, jotka johtavat organisaatiot omaksumaan samanlaisia rakenteita, strategioita ja prosesseja (Kauppi, 2013). Sen avulla voidaan tunnistaa ja tutkia vaikutuksia, jotka edistävät organisaatioiden selviytymistä kilpailuasetelmassa sekä niiden omaksumien käytäntöjen legitimizeettiä. Se pyrkii selittämään sitä, miten organisaatiot voivat paremmin turvata asemansa ja legitimizeettinsä noudattamalla sääntöjä ja institutionaalisen ympäristön normeja. (Glover ym., 2014) DiMaggio ja Powell (1983) ovat identifioineet kolme mekanismia, joiden kautta institutionaalinen isomorfinen muutos tapahtuu: pakottava paine, jäljittelevät paine sekä normatiivinen paine.

Pakottava paine johtuu sekä muodollisista että epävirallisista paineista, joita joko muut organisaatiot kohdistavat organisaatioihin tai joita syntyy kulttuurisista odotuksista yhteiskunnassa, jossa organisaatiot toimivat. Esimerkiksi asiakkaat, hallitukset ja kansalaisjärjestöt voivat ajaa yrityksiä kohti päästölaskentaa. Organisaatiot noudattavat pakottavaa painostusta sääntöjen tai lakien kautta, riippumatta siitä, valvotaanko niitä muodollisesti vai epävirallisemmin keinoin. (DiMaggio & Powell, 1983; Grob & Benn, 2014) Kansainväliset ilmastopöytäkirjat, EU:n sääntely ja markkinaehtoiset säädökset nähdään pakottavana paineena, joka johtaa yrityksiä implementoimaan päästölaskentaa omaan toimintaansa.

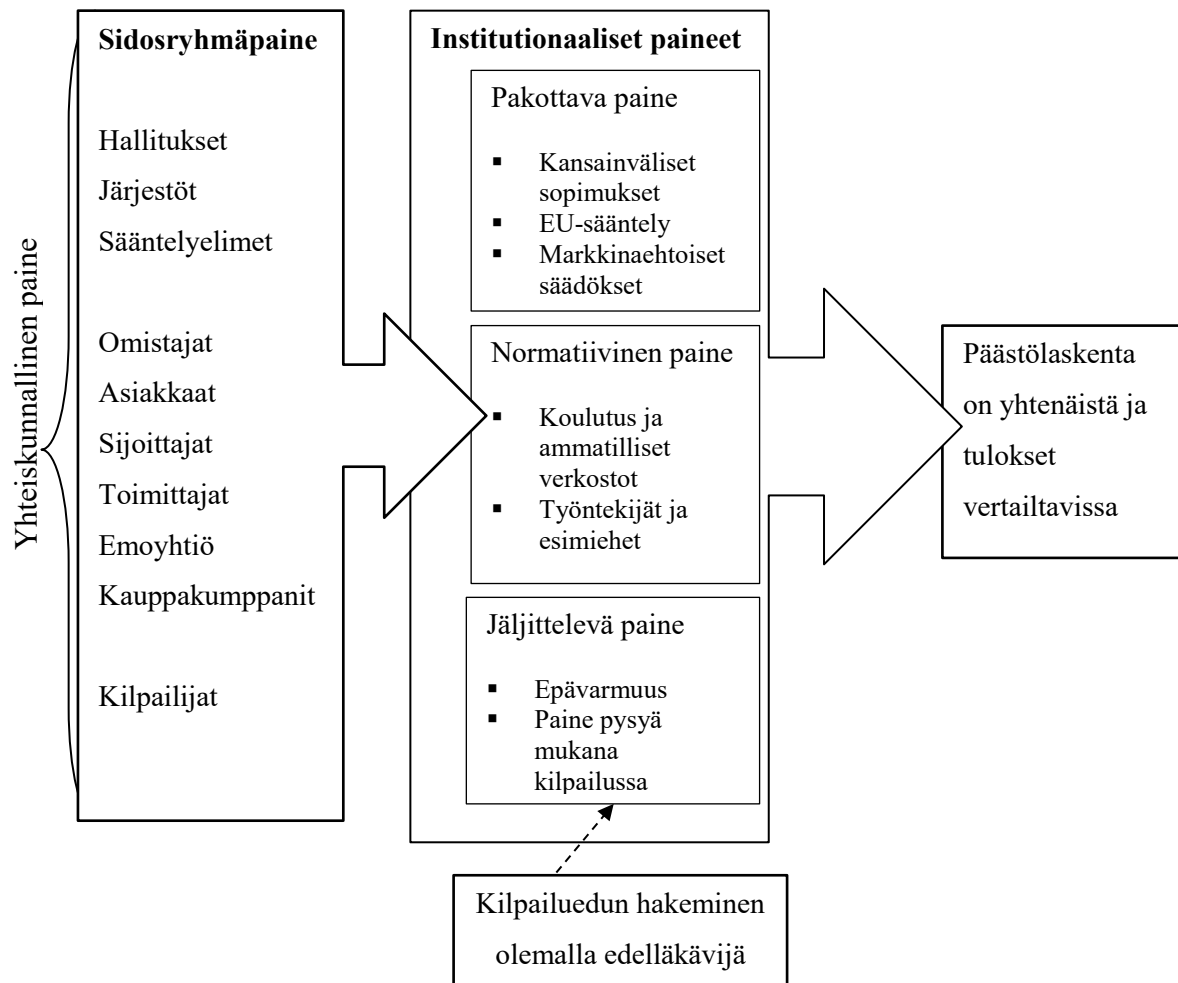
Kaikki institutionaalinen paine ei kuitenkaan ole peräisin pakottavasta paineesta. Jäljittelevä paine saattaa syntyä esimerkiksi epävarmuuden kannustamana. Epävarmuuden vallitessa, organisaatiot voivat mallintaa itsensä toiseen organisaatioon. Malleja voidaan levittää tahattomasti, välillisesti työntekijöiden siirron tai liikevaihdon kautta, tai nimenomaan sellaisten organisaatioiden kuten konsulttiyritysten tai toimialajärjestöjen toimesta. (DiMaggio & Powell, 1983) Jäljittelevä paine voi helpottaa yrityksiä omaksumaan päästölaskentaa liittyviä vapaaehtoisia välineitä, kuten laskentastandardeja. Tällaiset välineet

toimivat rinnakkain pakottavien välineiden kanssa. Kun yritys alkaa toimimaan vapaaehtoisten standardien mukaan, se erottuu kilpailijoistaan. Jäljittelevän paineen kautta saman alan yritykset omaksuvat samoja vapaaehtoisia välineitä tukemaan päästölaskentaansa, ja tämä voi nopeuttaa päästölaskennan vakiintumista. Lisäksi laskentamallien pohjautuminen tiettyyn päästölaskentamalliin, kuten EcoTransIT:iin, voidaan nähdä olevan jäljittelevän paineen seurausta.

Normatiivinen paine kumpuaa taas lähinnä ammattimaisuudesta. Kaksi ammattimaisuuden piirrettä ovat tärkeitä paineen lähteitä. Ensimmäinen on muodollinen koulutus ja legitimointi, jotka pohjautuvat yliopiston asiantuntijoiden tuottamaan kognitiiviseen pohjaan. Toinen on organisaatioiden välisten ammatillisten verkostojen kasvu ja kehittäminen, joiden kautta uudet mallit leviävät nopeasti. (DiMaggio & Powell, 1983) Normatiivisen paineen keskeinen voima on sosiaalinen velvoite. Grobin ja Bennin mukaan (2014) instituutioiden on osoitettu kyseenalaistavan ja arvioivan moraalisia ja eettisiä käsityksiä siitä, mikä on tarkoituksenmukaista käyttäytymistä sosiaalisen vastuun kannalta, eikä muodollisia sääntöjä, joiden väitetään olevan tehokkaampia tässä suhteessa. Esimerkiksi ammattimaisuutta tukevat tietopohjaiset välineet, kuten ympäristöraportit, tuovat yrityksen sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset esille. Tämä auttaa kannustamaan yrityksiä tekemään päätöksiä, jotka huomioivat eettiset ja moraaliset periaatteet, eivätkä keskity pelkästään taloudellisiin hyötyihin.

Scott (2008) on laajentanut DiMaggion ja Powellin teoriaa kolmen elementin kautta: kulttuuris-kognitiivinen, normatiivinen ja sääntelevä. Sääntelevät elementit korostavat nimensä mukaisesti sääntöjen asettamista, seurantaa ja sanktioita. Normatiiviset elementit ovat ikään kuin ohjaileva, arvioiva ja pakollisia yhteiskunnallisen elämän ulottuvuuksia, kun taas kulttuuris-kognitiiviset elementit korostavat yhteisiä käsityksiä, jotka muodostavat sosiaalisen tilanteen luonteen ja kehykset sen merkityksestä. Jokainen elementti tarjoaa erilaisen perustelun oikeutuksen vaatimiselle, olipa se sitten laillisesti rangaistavaa, moraalisesti auktorisoitua tai kulttuurisesti tuettua.

Kaupin (2013) mukaan institutionaalinen teoria tarjoaa hyödyllisen kehyksen erilaisten toiminnanohjaukseen ja toimitusketjun johtamiseen liittyvien käsitteiden moniulotteisten näkökulmien kattamiseen. Erityisesti institutionaalista teoriaa käytetään yhä enemmän selitettäessä ympäristöön liittyviä käytäntöjä toimitusketjussa.



Kuvio 1 Institutionaalinen teoria kuljetusketjun päästölaskennassa. (Lähde: DiMaggio & Powell, 1983; Scott, 2008.)

Kuvio 1 havainnollistaa, miten institutionaalinen teoria voidaan asettaa kuljetusketjujen päästölaskennan viitekehyykeksi. Yhteiskunnallinen paine vaikuttaa siihen, mitä sidosryhmät yritykseltä vaatii. Sidosryhmien paine vastaavasti vaikuttaa siihen, millaisia institutionaalisia paineita yritykset kohtaavat. Koulutuksen ja ammatillisten verkostojen kautta tulevat erinäiset päästölaskentaan liittyvät standardit sekä työntekijälähtöiset ideat yrityksen vastuullisuuden kehittämiseen voidaan nähdä synnyttävän normatiivisia paineita päästölaskentaan ja sen tarkentamiseen. Kansainväliset sopimukset sekä regulaatiot ja säädökset, kuten yritysten lisääntyvä raportointivelvollisuus, aiheuttaa pakottavaa painetta päästölaskentaan. Lisäksi varsinkin epävarmuuden vallitessa yritykset ottavat mallia toisiltaan pysyäkseen mukana kilpailussa, mikä nähdään jäljittelevänä paineena. Toisaalta osa yrityksistä ei pyri jäljittelemään muita, vaan olemaan edelläkävijä kilpailuedun saamiseksi, jolloin ne yritykset luultavasti omaksuvat uusimpien standardien ja vaatimusten mukaisia päästölaskentamalleja. Tämä voi kuitenkin vaikuttaa siihen, että edelläkävijää aletaan yhä enemmän jäljitellä, jolloin alla olevat yritykset alkavat omaksumaan samoja laskentaperiaatteita jäljittelevän paineen

kautta. Lopulta päästölaskennan osalta institutionaaliset paineet vaikuttavat siihen, että yritykset laskisivat päästöjään samankaltaisilla metodeilla. Tämän pitäisi taas vaikuttaa siihen, että tulokset olisivat paremmin vertailtavissa.

6 Empiirisen tutkimuksen toteuttaminen

6.1 Menetelmien valinta

Tutkimus toteutetaan kvantitatiivisena tutkimuksena. O'Dwyerin & Bernauerin (2014) mukaan kvantitatiivinen tutkimus pyrkii löytämään uutta tietoa yksinkertaistamalla monimutkaista tietoa keinotekoisien mallien avulla. Tutkimuksessani voidaan nähdä konstruktiiivinen ote, sillä se on metodin mukaisesti luonteeltaan kokeellista ja pyrkii ratkaisemaan reaali maailman ongelmaa (Kari Lukka, 2014).

Lukkan (2014) mukaan konstruktiiivinen tutkimusote voidaan rinnastaa Neilimon ja Näsin (1980) nelijakoiseen tutkimusotetypologiaan metodologisesti tutkimusotteena. Sen mukaiset neljä tutkimusotetta ovat käsiteanalyttinen tutkimusote, nomoteettinen tutkimusote, päätöksentekometodologinen tutkimusote sekä toiminta-analyttinen tutkimusote. Nomoteettinen tutkimusote on läheisesti kytkeytynyt positivismiin. Se luottaa kausaaliseen selitysmalliin ja pyrkii löytämään yleisiä säännönmukaisuuksia. Käsiteanalyttinen tutkimusote puolestaan tuottaa tietoa ensisijaisesti päättelyn avulla.

Päätöksentekometodologisessa tutkimusotteessa on samantapaisia oletuksia kuin nomoteettisessa tutkimusotteessa, mutta siinä on mukana normatiivinen elementti, joka yhtenäistää sitä konstruktiiivisen tutkimusotteen kanssa. Lähinnä konstruktiiivista tutkimusotetta on kuitenkin toiminta-analyttinen tutkimusote, joka pyrkii selvittämään tutkittavaa ilmiötä syvällisesti, mutta voi myös käsittää tutkijan aktiivisen osallistumisen muutosprosessiin. Suurin ero näiden välillä on kuitenkin se, että toiminta-analyttinen tutkimusote ei sisällä ongelmanratkaisuun tähtääviä normatiivisia tavoitteita.

Normatiiviset tavoitteet eli pyrkimys ongelmanratkaisuun on yksi konstruktiiivisen tutkimusotteen tunnuspiirteistä. Lisäksi konstruktiiivinen tutkimusote voidaan rinnastaa yhdeksi case-tutkimuksen muodoksi. (Kari Lukka, 2014) Tutkimukseni tehdään toimeksiantona case-yritykselle ja siinä pyritään löytämään vastauksia päästölaskennan ongelmaan, jolloin konstruktiiivinen tutkimusote sopii luonnollisesti analyysimenetelmäksi.

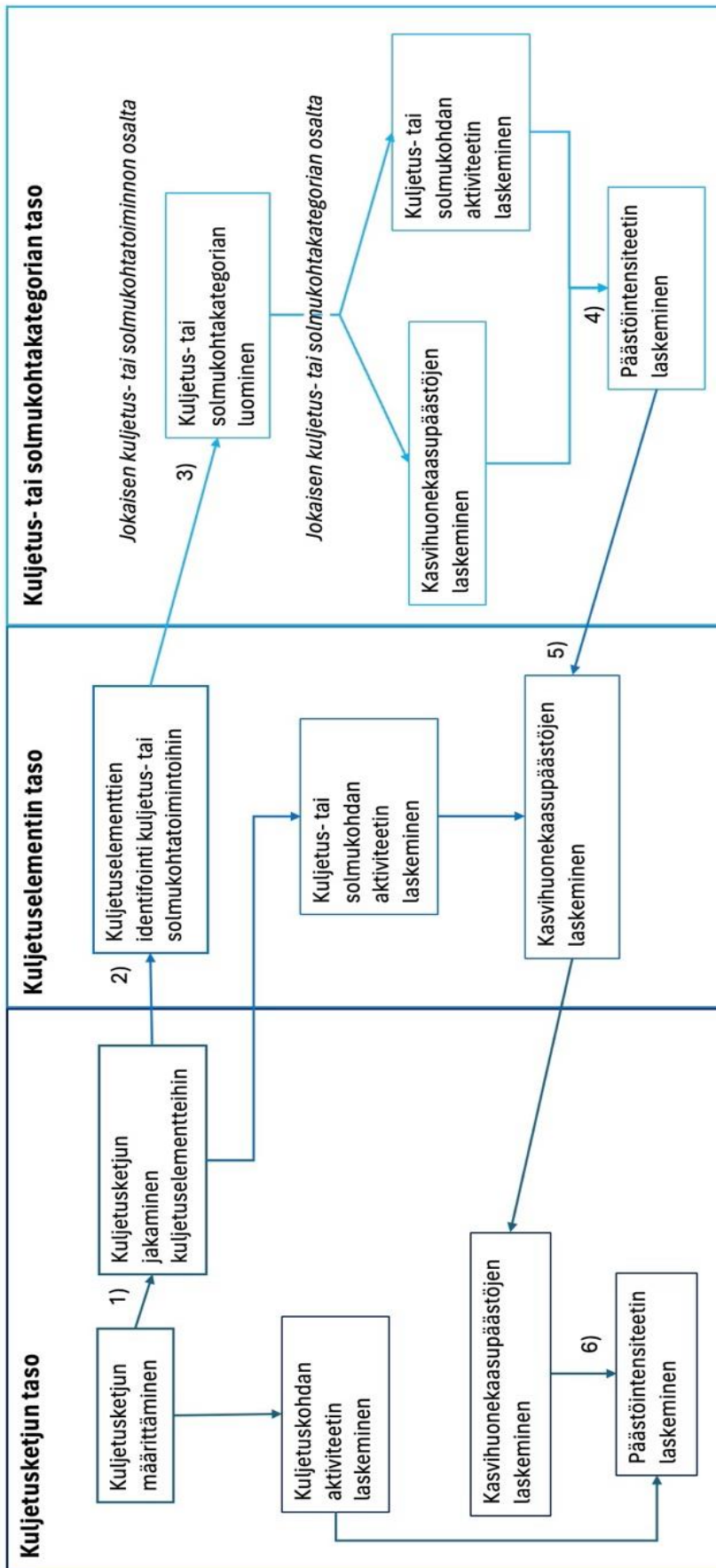
6.2 Tutkimusprosessi

Empiirisessä osiossa luodaan geneerinen kuljetusketju ja määritellään eri parametrit, jotka vaikuttavat päästöihin. Lisäksi muodostetaan ISO 14083 -standardin mukaisesti päästölaskentamalli ja muutetaan kuljetusketjusta määriteltyjä parametrejä regulaation

puitteissa. Tutkimuksessa on päädytty käyttämään laskentamallin pohjana ISO 14083 -standardia sen ajankohtaisuuden sekä laajuuden takia. Se on uusin standardi, joka ottaa huomioon kaikki eri kuljetusmuodot ja tuo tarkat raamit laskennalle. Laskentamallista havainnoidaan, millaisia tuloksia eri mallin versioista saadaan ja analysoidaan niitä.

ISO 14083 -standardi kertoo, miten erilaista dataa kuuluu käsitellä ja laskea. Se antaa laskennalle neljä eri vaihtoehtoa, joista ensimmäinen on primääridatan käyttäminen, toinen on mallinuksen käyttäminen, kolmas on oletusarvojen käyttäminen ja neljäntenä vaihtoehtona on kasvihuonekaasu päästöintensiteetti kerääminen sopimusperusteiselta toimijalta, joka on käyttänyt ensimmäistä tai toista vaihtoehtoa tämän arvon määrittämiseksi. (ISO, 2023) Tässä tutkimuksessa keskitymme kolmeen ensimmäiseen vaihtoehtoon, sillä neljäs vaihtoehto käytännössä käyttää aiempia vaihtoehtoja laskelmissa.

Ensimmäisenä määritellään kuljetusketju, jonka jälkeen seurataan ISO 14083 -standardin antamia raameja laskentamallin muodostamisessa.



Kuvio 2

Kuljetusketjun kasvihuonekaasupäästöjen laskentavaiheet ISO 14083 -standardin mukaan. Lähde: (ISO, 2023).

ISO 14083 -standardin laskentavaiheet ovat esitetty Kuviossa 2. Jokainen kuljetusketju jaetaan erillisiin kuljetuselementteihin, jotka tulee tunnistaa omiin kuljetus- tai solmukohtatoimintoihin. Kuljetus- tai solmukohtatoiminto tulee edelleen viitata johonkin kuljetus- tai solmukohtakategoriaan. Näille kategorioille lasketaan omat kasvihuonekaasupäästöt ja kuljetus- tai solmukohdan aktiviteetti, jonka avulla kullekin kategorialle voidaan laskea omat kasvihuonekaasujen päästöintensiteetit. Tämän jälkeen kunkin kuljetuselementin kasvihuonekaasupäästöt lasketaan vastaavan päästöintensiteetin ja kyseisen kuljetuselementin aktiivisuuden perusteella. Lopulta lasketaan koko kuljetusketjun kasvihuonekaasupäästöt summaamalla kuljetuselementtien päästöt.

Primääridatan laskeminen standardin mukaan tapahtuu kolmeen vaiheeseen kautta:

1. Tunnistetaan kaikki suoritettut kuljetus- ja solmukohtatoiminnot, jotka liittyvät kasvihuonekaasupäästöjen kvantifiointitarpeisiin.
2. Perustetaan näihin kuljetus- ja solmukohtatoimintoihin liittyvät kuljetustoimintakategoriat (Transport Operation Category, TOC) ja solmukohdan toimintakategoriat (Hub Operation Category, HOC).
3. Jokaisten kuljetustoimintakategorian ja solmukohdan toimintakategorian liittyvien toimintojen osalta:
 - a. Tunnistetaan ja kvantifioidaan kasvihuonekaasujen toimintatiedot kaikista kasvihuonekaasulähteistä (kulutetun polttoaineen määrä, kylmäainevuodot jne.) ja muuntaa ne kasvihuonekaasupäästöiksi.
 - b. Lisätään nämä kasvihuonekaasupäästöt kaikista kasvihuonekaasulähteistä, jotta saadaan kasvihuonekaasupäästöt TOC/HOC:ta varten.
 - c. Lasketaan TOC/HOC:n vastaava kuljetus- tai solmukohta-aktiivisuus.
 - d. Lasketaan TOC/HOC:n kasvihuonekaasujen päästöintensiteetti.

Mallinnettujen tietojen käyttö on vaihtoehtona, jotta voidaan mahdollistaa tilanteet, joissa täydellisiä perustietoja ei ole saatavilla kuljetusketjun sisällä ja näin ollen tarvitaan lisätietoja. Mallin laskennassa käyttämä algoritmi käyttää saatavilla olevaa primääridataa ja täyttää aukot toissijaisilla tiedoilla, jotka edustavat parasta käytettävissä olevaa oletusarvoa puuttuvista

tiedoista mallinnettavien kuljetusten tyyppin ja luonteen pohjalta. ISO 14083 -standardi hyväksyy kahden erilaisen mallinnuksen käytön: energiaan pohjautuvan ja aktiivisuuteen perustuvan. (ISO, 2023)

6.2.1 Case-yritys

Case-yrityksenä toimii suomalainen keskisuuri yritys, joka tarjoaa logistiikkapalveluita. Yritys on erikoistunut neljännen osapuolen logistiikkaan (4PL) eli ulkoistettuun logistiikkaan, jossa keskiössä on tavaroiden ja siihen liittyvän tiedon virtauksen suunnittelu, toteutus, optimointi ja hallinta. Tämän lisäksi yritys tarjoaa projektilogistiikkaa sekä konsultointipalveluja, kuten logistiikkatutkimuksia.

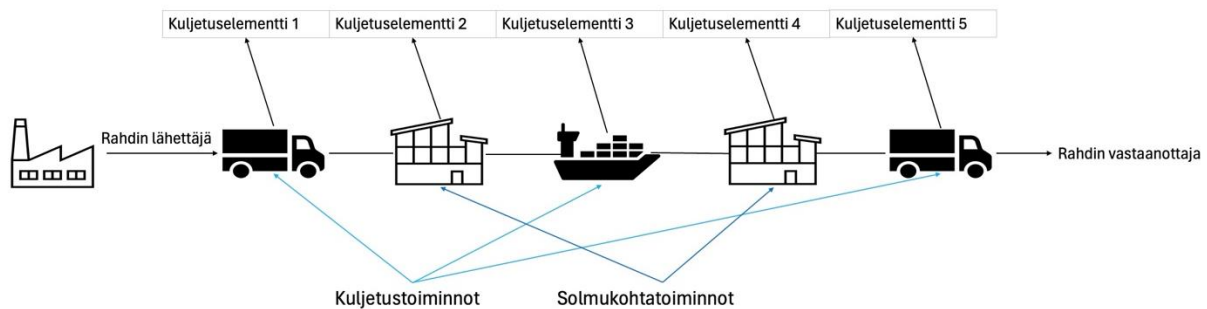
Yrityksen tämänhetkinen päästölaskenta perustuu vahvasti oletuksille. Jokaiselle kuljetusmuodolle on annettu spesifi päästöintensiteetti, jonka kautta päästöt lasketaan kuljetukselle kertomalla päästöintensiteettiluku kuljetuksen tonnakilometrille. Maantiekuljetuksille, merikuljetuksille, lentokuljetuksille, rautatiekuljetuksille sekä kuriiritoimituksille on määritelty erillinen päästöintensiteetti, mutta samaa päästöintensiteettiä käytetään aina riippumatta esimerkiksi polttoaineesta tai kulkuneuvon erityispiirteistä. Kaikkia kuljetusmuotoja ei välttämättä myöskään oteta huomioon, jos kuljetusketju koostuu monesta osasta, jossa käytetään eri kuljetusmuotoja. Tällöin kuljetusketju yksinkertaistetaan laskentaa varten tietylle kuljetusmuodolle. Esimerkiksi kuljetusketju, jossa kuljetaan laivalla ja rekalla, yksinkertaistettaisiin joko merikuljetukseksi tai maantiekuljetukseksi. Lisäksi toimitusmaasta käytetään oletuksia siitä, mihin solmukohtaan tavara on saapunut. Oletuksena voidaan esimerkiksi valita suuri satama tietämättä, saapuuko laiva tähän satamaan vai ei. Tällöin luotettavuus kärsii varsinkin suurissa maissa, kuten Kiinassa. Pitkillä toimitusketjuilla laskuissa ei myöskään välttämättä oteta huomioon satamasta eteenpäin lähtevien kuljetusten päästöjä.

Yritys on ollut kiinnostunut parantamaan omaa päästölaskentaansa ja on harkinnut esimerkiksi EcoTransIT:n käyttöönottoa.

6.2.2 Kuljetusketjun muodostaminen

Tutkimuksen kuljetusketju on muodostettu case-yrityksen asiakkaan kuljetusketjusta, jossa tavaraa kuljetetaan EU-maasta toiseen ja kuljetusmuotoina toimii maantiekuljetus sekä merikuljetus. Kuljetusketju alkaa lähtömaasta, jossa tavara kuljetetaan satamaan

maantiekuljetuksena. Case-kuljetuksessa kuljetettiin pakettia, joka painoi 230 kg. Kuljetusketjulle matkaa kertyi 1396 km. Ensimmäisessä kuljetustoiminnossa pakettia kuljetettiin kuorma-autolla, jonka kantavuus on 12200 kg ja energiankulutus 4,5 MJ/l. Kuljetuksen koko kuorma painoi 5284 kg. Tämän jälkeen paketti jatkoi matkaa merikuljetuksena Ro-Pax aluksella, jonka kantavuus on 11900 DWT. Viimeinen kuljetustoiminto tapahtui täysperävaunuyhdistelmällä, jonka kokonaiskantavuus on 39000 kg ja energiankulutus 1,8 MJ/l. Kuljetuksen koko kuorma painoi 28477 kg.



Kuvio 3 Kuljetusketju jaettuna kuljetuselementteihin ja toimintoihin.

Kuvio 3 havainnollistaa kyseisen kuljetusketjun, josta voidaan tunnistaa viisi erillistä kuljetusketjuelementtiä, joista kolme lukeutuu kuljetustoimintoihin ja kaksi solmukohtatoimintoihin. Kyseisessä kuljetusketjussa kuljetustoimintokategoriat ja solmukohtakategoriat suoraan vastaavat niiden kuljetuselementtiä.

Kuljetustoimintokategoria viittaa siihen, että sama kuljetus voidaan suorittaa monella tapaa. Esimerkiksi maantiekuljetuksessa rekka voisi kiertää monen lastauspisteen luona ennen satamaan saapumista, jolloin kaikki lastauspisteiden väliset matkat olisivat erillisiä kuljetustoimintokategorioita, mutta kuuluisivat silti samaan kuljetuselementtiin. Tässä tutkimuksessa mallinnettu kuljetusketjun muodostuu kuitenkin niin, että se kulkee suoraan lähtöpisteestä satamaan ja satamasta vastaanottajalle.

6.2.3 Kuljetustoimintokategorian päästölaskenta

Aloitetaan laskelmat kuljetustoiminto- ja solmukohtakategorioista. ISO 14083 -standardissa on erilliset laskukaavat kuljetustoimintokategorioihin ja solmukohtakategorioihin.

Lasketaan ensimmäisenä kuljetustoimintokategorioiden kasvihuonekaasupäästöt.

Muodostetusta kuljetusketjusta voidaan siis erottaa kolme erillistä kuljetuselementtiä, jotka lukeutuvat kuljetustoimintoihin. Kaksi näistä kuljettaa pelkkää rahtia ja yksi sekä rahtia että

matkustajia. Näille kaikille lasketaan erikseen kasvihuonekaasupäästöt. ISO standardin (2023) mukaan laskelmat kyseiselle toimintokategorialle muodostetaan seuraavasti.

$$G_{VO,TOC,A_i} = Q_{TOC,A_i} \times \varepsilon_{VO,A_i} \quad (1)$$

missä

G_{VO,TOC,A_i}	on ajoneuvon toimintaan liittyvät kasvihuonekaasupäästöt (kg CO ₂ e) kasvihuonekaasujen aktiivisuustyypille A_i
Q_{TOC,A_i}	on kasvihuonekaasujen aktiivisuustyypin A_i määrä (kg) toimintokategorialle (esim. polttoaineen kulutus)
ε_{VO,A_i}	on ajoneuvon toiminnan kasvihuonekaasujen päästökerroin (kg CO ₂ e/kg) kasvihuonekaasujen toimintatypille A_i (esim. $\varepsilon_{VO,diesel} = 3,22$ kg CO ₂ e/kg)

Standardin mukaan päästöt voidaan laskea myös mallinnuksen tai oletusarvojen mukaan. Mallinnuksessa kuljetustoiminnan kasvihuonekaasupäästöjen määrittäminen edellyttää kahdenlaisia tietoja:

- 1.) energiankäyttö, joka yhdessä asianmukaisen kasvihuonekaasupäästökertoimen kanssa määrittää vastaavat kasvihuonekaasupäästöt
- 2.) kuljetustoiminnan määrä, joka voi olla sekä muuttuja kasvihuonekaasupäästöjen laskemiseen että nimittäjä kasvihuonekaasujen päästöintensiteetin laskentakaavassa.

Mallinnuksen avulla havainnoidaan, miten tulokset muuttuvat, kun oletetaan reitin pituus, päästökerroin, kulkuneuvon täyttöaste tai kulkuneuvon ominaisuus, kuten sen koko tai polttoaineen intensiteetti. Samaa laskukaavaa 1 käytetään myös näissä päästöjen mallinnuksissa.

Mallinnuksissa on käytetty ISO 14083 -standardissa sekä GLEC viitekehyksestä esitettyjä päästökertoimia Euroopan alueelle. Lisäksi GLEC viitekehyksestä on käytetty oletusarvoisia polttoaineen intensiteettejä mallinnusta varten.

Merikuljetusten kohdalla on laskettu teorettinen päivittäinen polttoaineen kulutus seuraavalla kaavalla, joka perustuu Solakivi ym. (2022) tutkimukseen:

$$FO = asennettukW \times SFOC \times moottorin\ kuormitus(57\%) \times \frac{24}{1\ 000\ 000} \quad (2)$$

missä

FO päivittäinen polttoaineen kulutus (t)

asennettukW moottorin teho (kW)

$SFOC$ polttoaineen ominaiskulutus (g/kWh)

Moottorikuorma 57 % perustuu Solakivi ym. (2022) tutkimuksen laskelmiin. Monissa tutkimuksissa on kuitenkin käytetty moottorikuormana 70–80 %. Esimerkiksi Cullinane ja Khanna (1999) käyttävät tutkimuksessaan moottorikuormana 80 % ja Merien-Paul ym. (2019) 70 %. Solakivi ym. (2022) on tutkimuksessaan analysoinut Itämerellä kulkevia Ro-Ro-aluksia ja laskenut niille keskimäärin vastaavan moottorikuorman. Tämä voidaan parhaiten yhdistää case-kuljetusketjussa kulkevaan Ro-Pax alukseen.

6.2.4 Kuljetustoimintokategorioiden päästöintensiteetin laskenta

Kasvihuonekaasupäästöjen laskennan jälkeen voidaan siirtyä päästöintensiteettien laskentaan. Kun mukana kuljetetaan sekä rahtia että matkustajia, ennen kuljetuksen toimintokategorian päästöintensiteetin laskentaa, tulee laskea rahdin ja matkustajien aktiivisuus seuraavia ISO 14083 -standardin (2023) kaavoja käyttäen:

$$T_{TOC,e_k} = \sum_i^b \Theta_i \times S_{i,e_k} \quad (3)$$

missä

T_{TOC,e_k} on toimintokategorian kuljetustoiminta (tkm) kaikkien e_k -yksiköiden osalta

Θ_i on kunkin e_k -yksikön i määrä (t) toimintokategoriassa

S_{i,e_k} on toimintokategorian kunkin e_k -yksikön i kuljetustoimintaetäisyys (km)

b on toimintokategoriassa olevien e_k -yksiköiden lukumäärä

$$T_{TOC} = \sum_1^y T_{TOC,e_k} \quad (4)$$

missä

T_{TOC}	on toimintokategorian kuljetustoiminta (tkm)
T_{TOC,e_k}	on toimintokategorian kuljetustoiminta (tkm) kaikkien e_k -yksiköiden osalta
y	on yksiköiden lukumäärä

Kun kuljetustoiminta on selvillä, voidaan laskea kuljetustoimintokategorian päästöintensiteetti. Se lasketaan seuraavaa ISO 14083 -standardin (2023) kaavaa käyttäen:

$$g_{j_v,TOC} = \frac{G_{j_v,TOC}}{T_{TOC}} \quad (5)$$

missä

j_v	on ajoneuvon toiminta
$g_{j_v,TOC}$	on toimintatyyppin j_v kasvihuonekaasujen päästöintensiteetti (kg CO ₂ e / tkm) toimintokategorian osalta
$G_{j_v,TOC}$	on toimintotyyppin j_v kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt (kg CO ₂ e) toimintokategorian osalta
T_{TOC}	on toimintokategorian kuljetustoiminta (tkm)

ISO 14083 -standardin mukaan päästöintensiteetti voidaan kuitenkin esittää muodossa g CO₂e / tkm.

Kun halutaan laskea päästöintensiteetti täyttöaste huomioiden, tutkimuksessa käytetään seuraavaa Gialos ym. (2022) muotoilemaa kaavaa, jossa WTW (well-to-wheels) kasvihuonekaasupäästöt reitille i tonnikilometriä kohden voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$AG_{wi} = \frac{G_{wi}}{\sum_{j=1}^n LF_{i,j} \times PL \times D_{i,j}} \quad (6)$$

missä

AG_{wi} WTW kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂e / tkm) reitille i tonnikilometriä kohden

G_{wi} WTW kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂e) reitille i

$LF_{i,j}$ täyttöaste (%) reitille i

PL reitin ajavan ajoneuvon hyötykuorma (t)

$D_{i,j}$ reitin pituus (km)

Lopputuloks ilmaistaan CO₂e:na eli hiilidioksidiekvivalenttina kuljetustoimintaa kohti. CO₂e on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, joka kuvaa päästöjen ilmastoa lämmittävää vaikutusta.

Oletusarvoina on käytetty GLEC viitekehyksestä saatuja päästöintensiteettilukuja WTT (well-to-tank), TTW (tank-to-wheels) ja WTW (well-to-wheels), joiden avulla on voitu myös laskea mallinnuksena päästöt, kun on tiedetty kuljettu matka. WTW-päästöt koostuvat WTT- ja TTW-päästöistä. ”Well-to-tank” sisältää polttoainetuotannon aiheuttamat päästöt ja ”tank-to-wheel” taas polttoaineen käytön tuottamat päästöt. (Smart Freight Centre, 2023)

Tämän jälkeen kuljetustoimintokategorioiden päästöt ja päästöintensiteetit tulisi vielä laskea yhteen, jotta saadaan kuljetuselementtiä vastaavat arvot. Tämän kuljetusketjun tapauksessa näin ei tarvitse erikseen tehdä, sillä kuljetustoiminnot vastaavat suoraan kuljetuselementtien päästöjä ja päästöintensiteettejä.

6.2.5 Solmukohtien päästölaskenta

Kun tulokset ovat saatu kuljetuselementeistä, pitäisi siirtyä laskemaan solmukohdan kategorioiden kasvihuonekaasupäästöjä. Kuljetuselementtejä, jotka lukeutuvat solmukohtiin, on kaksi kyseisessä kuljetusketjussa. Vaikka solmukohtien, eli tämän kuljetusketjun kohdalla

satamien ja satamaoperaattorien, päästöt pitäisivät sisällyttää laskelmaan, jätetään ne tässä tutkimuksessa pois, sillä päästöt ovat käytännössä merkityksettömän pienet.

Tutkimuksessa muodostettu kuljetusketjun merikuljetuksen osuus kuljetaan suhteellisen pienellä Ro-Pax-aluksella, jolloin sataman päästötkin ovat vähäisemmät. Suurilla aluksilla on suurimmat päästöt satamassa ollessaan, sillä niillä on suuremmat moottorit ja ne viettävät pidempiä aikoja laiturissa lastin lastaamiseen ja purkamiseen. Tämän Lisäksi RoRo-aluksilla on suhteellisen pienet päästöt satama-alueella. (Merk, 2014; Styhre ym., 2017) Lisäksi tiedetään, että uusien laivojen hybridiominaisuuksien takia, ne ovat päästöttömiä satama-alueilla. Jos alukset ovat satama-alueella päästöttömiä, se vähentää huomattavasti koko sataman päästöjä, koska alukset ovat yleisesti suurin yksittäinen satamiin liittyvä päästölähde. (Finnlines, 2024; Styhre ym., 2017)

Toisaalta satamaviranomaiset voivat vaikuttaa laivojen kasvihuonekaasupäästöihin satamissa tukemalla innovatiivisia järjestelmiä ja teknologioita sekä toteuttamalla kannustinohjelmia, jotka helpottavat polttoainesäästöjä satama-alueella. Satamat voivat hallinnoida esimerkiksi vaihtoehtoisten polttoaineiden ja maalla sijaitsevien sähköyhteysklien tarjontaa. (Styhre ym., 2017) Tämän tutkimuksen kohdalla, satamat, joiden kautta tavara kulkee, panostavat ympäristöystävällisyyteen ja siten päästöt typistyvät myös satamatoiminnoissa. Lisäksi suhteellisen pienissä satamissa myös etäisyydet ovat pieniä, jolloin esimerkiksi vedon pituus maalta laivaan on vain muutama kymmenen metriä, jolloin siitä aiheutuvat päästöt ovat vähäiset.

6.2.6 Koko kuljetusketjun kasvihuonekaasupäästöt ja päästöintensiteetti

Koko kuljetusketjun kasvihuonekaasupäästöt lasketaan laskemalla yhteen kaikki kuljetusketjun muodostavien kuljetuselementtien ja solmukohtaelementtien päästöt ISO 14083 -standardin (2023) mukaan.

$$G_{VO,TC} = \sum_i G_{VO,TCEi} \quad (7)$$

$$G_{HEO,TC} = \sum_i G_{HEO,TCEi} \quad (8)$$

$$G_{O,TC} = G_{VO,TC} + G_{HEO,TC} \quad (9)$$

Missä

$G_{VO,TC}$ on kuljetusketjun ajoneuvotoiminnan kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂e)

$G_{HEO,TC}$ on kuljetusketjun solmukohtien kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂e)

$G_{O,TC}$ on kuljetusketjun toiminnan kasvihuonekaasupäästöt (kg CO₂e)

Edellä mainittuja kaavoja käyttämällä voidaan laskea kasvihuonekaasupäästöt eri luokkiin kuuluvien kasvihuonekaasujen toimintatietoja yhdistelemällä. Toisin sanoen laskelma voi yhdistää ensisijaista tietoa, mallinnettua tietoa sekä oletusarvoja yhteen tulokseen.

Huomioitavaa on, että laskelma tyypistyy kuljetusketjun ajoneuvotoiminnan kasvihuonekaasupäästöihin, sillä solmukohtien päästöjä ei huomioida tutkimuksessa.

6.3 Tutkimuksen luotettavuus

Toimitusketjuja on hyvin erilaisia ja pituisia, minkä takia yhden kuljetusketjun päästölaskentatulokset eivät ole aukotta yleistettävissä muihin toimitusketjuihin. Koska tutkimuksessa kuitenkin etsitään eroja saman kuljetusketjun päästötuloksissa, ei kuljetusketjun tyypillä ole niin suurta painoarvoa. Toisin sanoen, yhdenkin kuljetusketjun päästötuloksen erot, jotka syntyvät datan muuttamisesta laskentamallissa, tuo esille päästölaskentamallin heikkouksia. Toisaalta, koska tutkimukseen on valittu yksinkertainen toimitusketju, kaikki päästölaskentamallin heikkoudet eivät välttämättä tule esille, kun kuljetusketju ei ylety useille mantereille eikä omaa useita eri kulkuneuvoja tai uudelleenlastaus paikkoja.

ISO 14083 -standardissa on lukuisia kaavoja, joissa huomioidaan erityistapauksia, kuten esimerkiksi kylmäkuljetuksia. Näitä kaavoja käytettäessä laskentaa voitaisiin viedä vieläkin tarkemmaksi. Tässä tutkimuksessa laskenta on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaisesta kuljetusketjusta, jotta erot todellakin syntyisivät käytetystä datasta eikä esimerkiksi laskentamallin muutoksista. Tutkimuksessa on jätetty myös huomiotta

standardissa laskettava energiahuolto (engl. energy provision), jolloin laskenta yksinkertaistuu pelkästään kuljetuksen aiheuttamiin päästöihin.

Solmukohtien kasvihuonekaasupäästöjen pudottaminen pois laskennasta osaltaan heikentää tutkimuksen luotettavuutta, vaikka solmukohtien päästöt olisivatkin kyseisessä kuljetusketjussa hyvin vähäiset. Se myös vähentää tulosten laajentamista muihin ketjuihin, jotka kulkevat sellaisten solmukohtien kautta, jotka aiheuttavat merkittävämmän osan kuljetusketjun kokonaispäästöistä.

Primääridataa saadaan eri toimijoilta kuljetusalalta. Primääridatankin luotettavuuksissa on eroja riippuen siitä, miten ne ovat mitattu. Se on kuitenkin niin luotettavaa kuin mahdollista. Mallinuksissa on käytetty vain ISO 14083 -standardin hyväksymiä mallinnuskeinoja ja oletusarvoja.

7 Tulokset

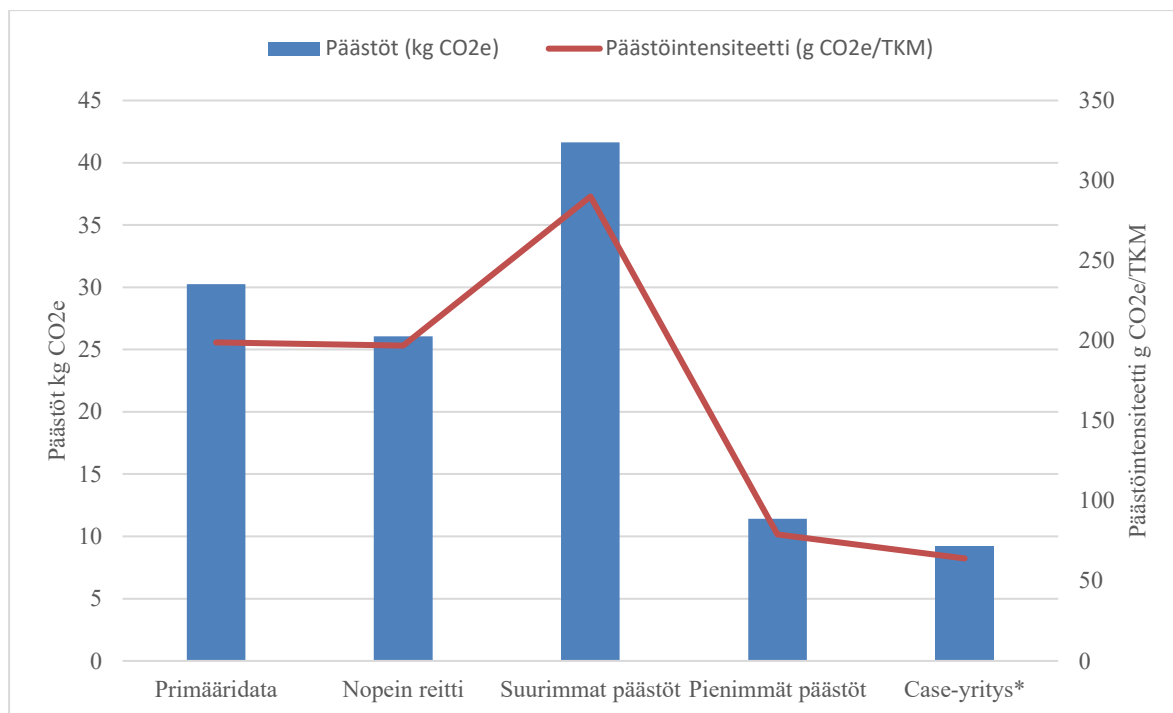
Edellisessä luvussa esiteltyjen laskentakaavojen avulla saatiin useita erilaisia tuloksia, kun muuttujia vaihdettiin datalähteiden mukaan. Tulokset esitellään seuraavasti:

1. Tulokset koko kuljetusketjun päästöistä
2. Päästötulokset eriteltynä kuljetuselementeille

Kasvihuonekaasupäästöt ovat laskettu yhden paketin osalta, joka kulkee kuljetusketjussa. Se antaa paremman mahdollisuuden vertailla päästötuloksia eri kulkuneuvojen ja kuljetusmuotojen välillä, kun saman paketin päästöt muuttuvat sen mukaan, missä ja millä sitä kuljetetaan. Kuitenkin päästöintensiteetti on laskettu ja esitetty tutkimuksessa kulkuneuvon päästöintensiteettinä siitä syystä, että se helpottaa vertailtavuutta. Esimerkiksi oletusarvoiset päästöintensiteetit määritellään kulkuneuvotyypeittäin, jonka takia päästöintensiteettien vertailu on mielekkäämpää, kun otetaan huomioon koko kulkuneuvon päästöintensiteetti. Lisäksi täyttöasteen vaikutus lasketaan nimenomaan päästöintensiteetin osalta, ja tulokset paketin päästöistä ovat allokoitu lasketun päästöintensiteetin kautta.

7.1 Koko kuljetusketjun tulokset ja niiden vertailu

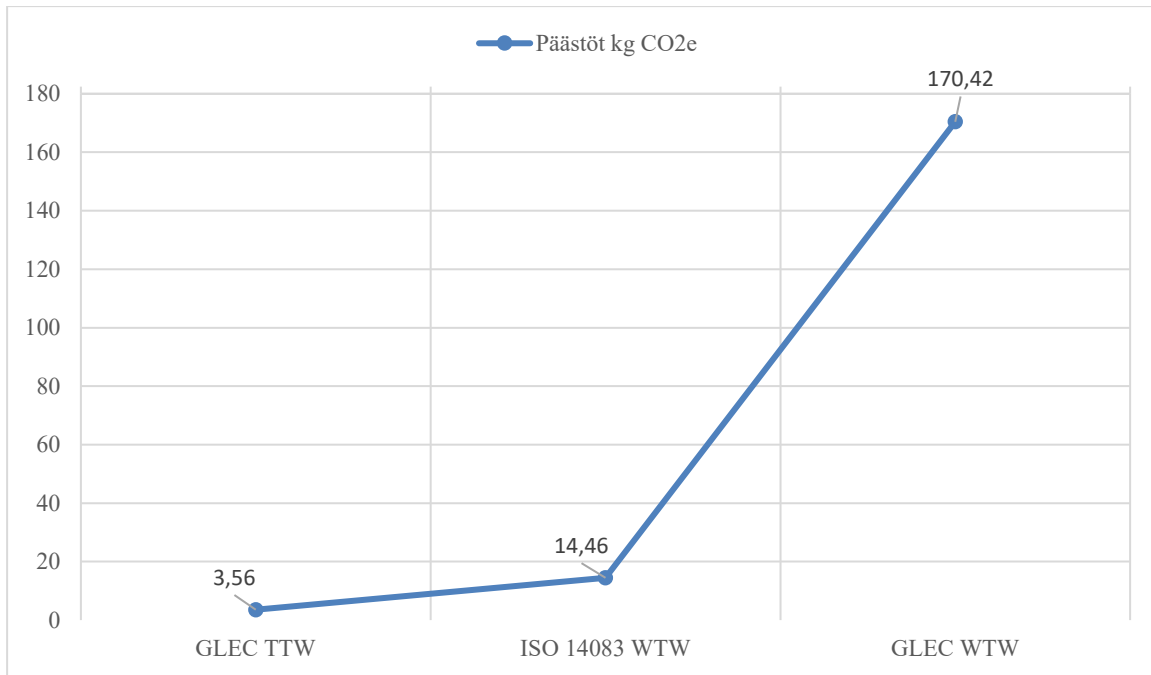
Kuvio 4 havainnollistaa, miten erilaisia tuloksia koko kuljetusketjun päästöiksi ja päästöintensiteeteiksi on voitu laskea käyttämällä samaa laskentamallia. Pienimmät päästöt ovat laskettu kaikkien kuljetuselementtien pienimpien päästöjen yhteenlaskuna ja vastaavasti suurimmat päästöt ovat laskettu kaikkien kuljetuselementtien suurimpien päästöjen yhteenlaskuna. Nopein reitti viittaa maantiekuljetuksiin, joissa saman matkan olisi voinut kulkea useita reittejä. Nopeimman reitin kohdalla on valittu lyhyin mahdollinen maantiekuljetuksen reitti, jonka perusteella päästöt ovat laskettu. Lisäksi Kuviossa 4 nähdään vertailuna tämänhetkiselä case-yrityksen laskutavalla saatu päästötulos.



Kuvio 4 Koko kuljetusketju. Lasketut päästöt ja päästöintensiteetit.

Nämä tulokset osoittavat, että kuljetusketjun kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöintensiteetit vaihtelevat sen mukaan, millä datalla laskut ovat laskettu. Korkein saatu päästötulos on 3,7 kertaa ja primääridatalla saatu tulos 2,7 kertaa suurempi kuin matalin saatu tulos. Case-yrityksen laskentatavalla päästötulos on vieläkin matalampi kuin laskentamallista saatu matalin tulos.

ISO 14083 -standardin mukaan kuljetusketjun tulokset tulisi laskea niin, että sen osat, eli kuljetuselementit, olisivat mahdollisimman yhtenäisesti ja johdonmukaisesti laskettu. On kuitenkin huomioitava, että käytännössä eri kuljetuselementeistä saatavia tuloksia voidaan yhdistellä myös epäjohdannaisilla tavoilla, kun niitä perustellaan esimerkiksi primääridatan saatavuuden kautta. Voi siis olla, että yritys laskisi esimerkiksi ensimmäisen maantiekuljetuksen pätkän primääridatan avulla, merikuljetuksen oletusarvoisesti ja mallintaisi toisen maantiekuljetusosuuden päästöt. Tällä tavoin vertailtavuus kärsisi entisestään, kun ei pystytä tekemään eroa siinä, millä datalla tulos on laskettu.



Kuvio 5 Koko kuljetusketju. Päästöt, jos kuljetustoiminnot 1 ja 3 käyttäisivät HVO polttoainetta.

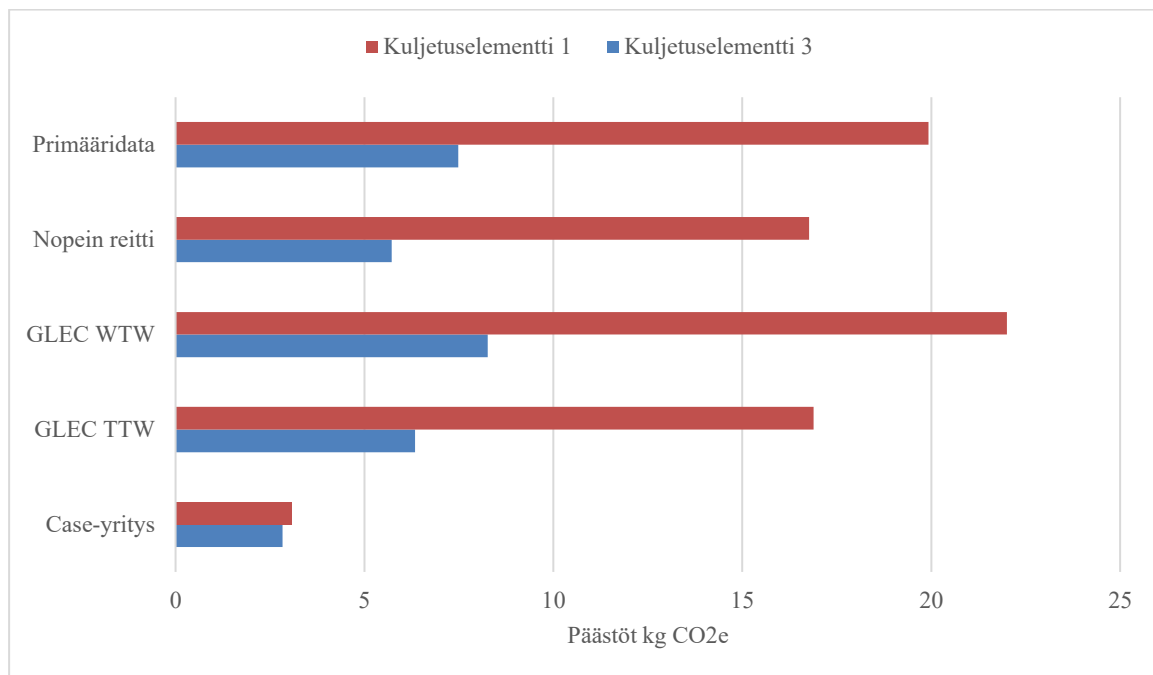
Maantiekuljetusten osalta laskettiin myös vaihtoehtoisia tuloksia skenaariolle, jossa ajoneuvot kulkisivat HVO polttoaineella eli uusiutuvalla dieselillä. Tuloksissa huomattiin merkittävää vaihtelua riippuen siitä, huomioitiinko vain polttoaineen käyttöön kohdistuvat päästöt vai myös polttoaineen tuotantoon kohdistuvat päästöt. Tästä syntyvät päästöerot koko kuljetusketjussa ovat tuotu esille Kuviossa 5. Kun otetaan huomioon vain polttoaineen käyttöön kohdistuvat (TTW) päästöt, maantiekuljetuksien päästöosuudet tyypistyvät nolnaan. Jos kuitenkin otetaan huomioon myös polttoaineen tuotannosta aiheutuvat (WTW) päästöt, tulokset voivat nousta moninkertaisiksi riippuen HVO:n oletetusta valmistustavasta. Korkein laskettu päästötulos HVO:lla on jopa 47,9 kertaa suurempi kuin matalin laskettu päästötulos.

7.2 Kuljetuselementtien tulokset

Kuljetusketjun päästötulosten erot näkyvät selkeämmin, kun analysoidaan niitä kuljetuselementtitasolla. Kuljetuselementtejä, joiden päästöt ovat laskettu erikseen, on kolme. Kuljetuselementit 1 ja 3 ovat maantiekuljetuksia, joiden päästöt ovat laskettu samoja muuttuvia tekijöitä vaihdellen. Niiden tulokset ovat myös osaltaan esitelty rinnakkain. Kuljetuselementti 2 on merikuljetuksen osuus, jonka tulokset esitellään erikseen.

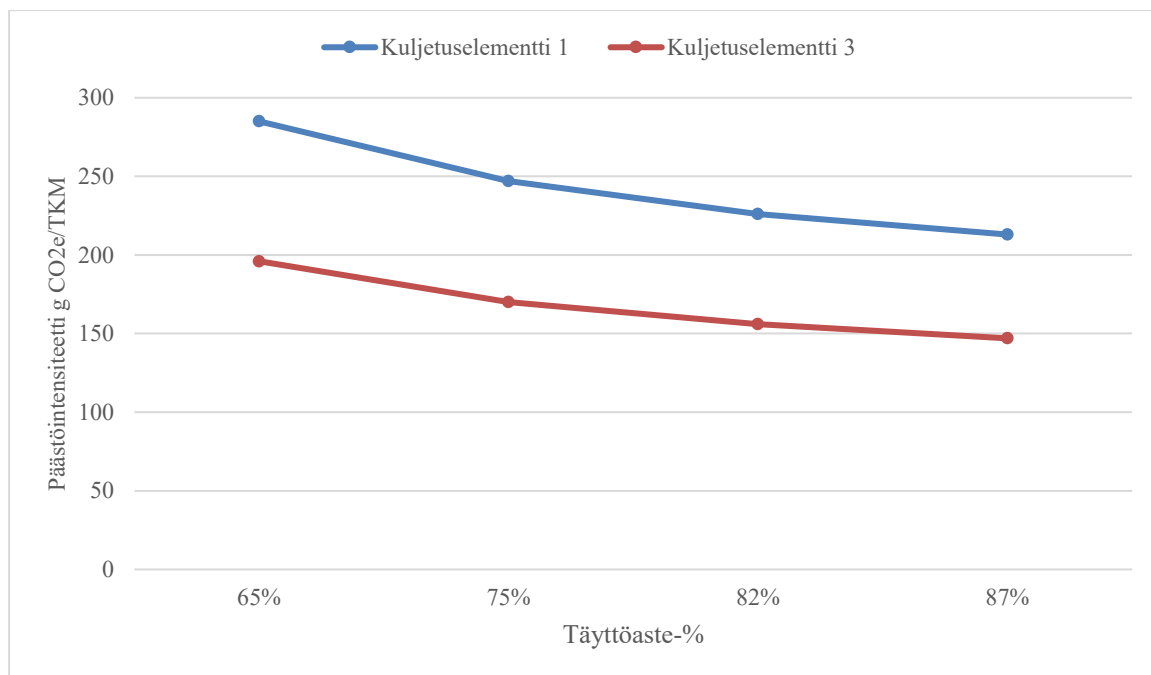
7.2.1 Maantiekuljetusten tulokset ja niiden vertailu

Maantiekuljetuksissa eli kuljetuselementeissä 1 ja 3 primääridatan lisäksi päästöt ovat laskettu nopeimman reitin kautta. Nopein reitti on katsottu karttasovelluksen avulla. Lisäksi on laskettu, miten GLEC viitekehyksen päästökertoimet ja oletusarvoiset polttoaineiden intensiteettiluvut muuttavat tulosta. GLEC viitekehyksestä on valittu tarkasteluun TTW:lle ja WTW:lle lasketut päästökertoimet vaihtoehtoisina kertoimina primääridatassa käytettyyn ISO 14083 -standardista saadulle päästökertoimelle. Täyttöasteen vaikutusta tuloksiin, on vertailtu neljän eri täyttöasteen avulla. Nämä täyttöaste prosentit ovat valikoituneet Turun kauppakorkeakoulun teettämän Logistiikkaselvityksen (2023) pohjalta, missä on selvitetty yleisimpiä täyttöasteita ajoneuvotyypeittäin.



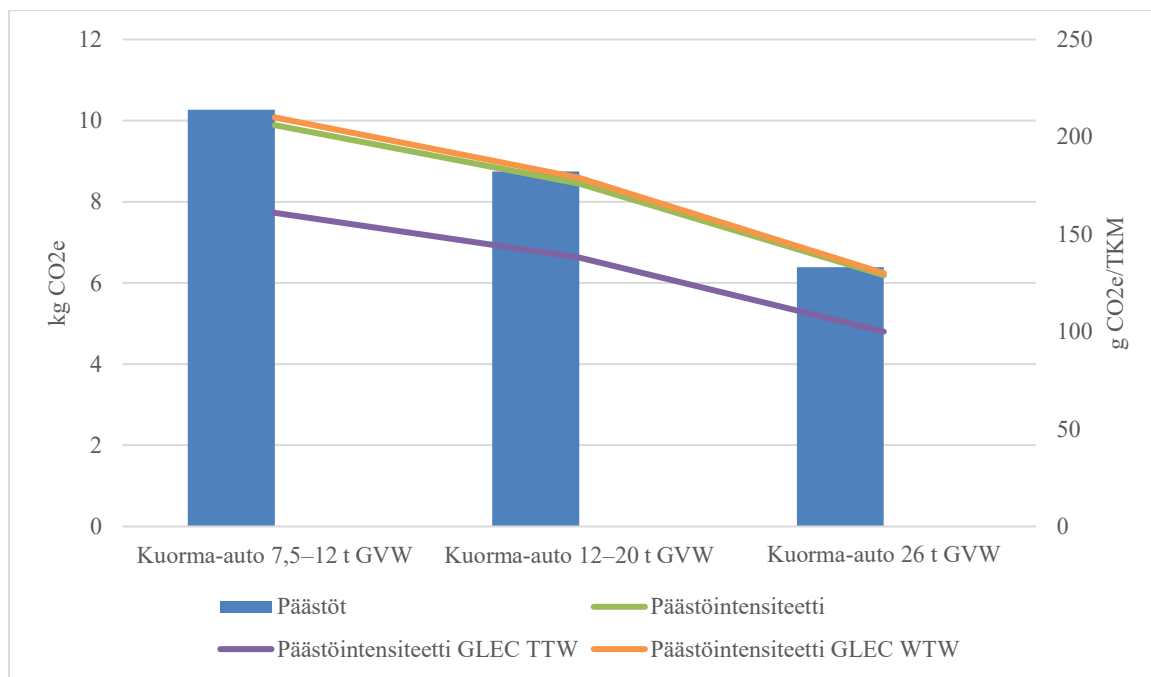
Kuvio 6 Kuljetuselementit 1 ja 3. Päästölaskelmien tulokset.

Kuviossa 6 on eritelty kuljetuselementin 1 ja 3 päästötulokset. Suurimmat päästötulokset saadaan GLEC viitekehyksen WTW päästökertoimilla. Huomioitavaa on, että ISO 14083 -standardin ja uusimman GLEC viitekehyksen päästökertoimien tulisi olla linjassa toistensa kanssa, mutta kuten Kuvio 6 huomataan, primääridata eli ISO 14083:n päästökertoimen antaa hieman pienemmän päästötuloksen. Case-yrityksen laskelmat tuottavat huomattavasti matalammat päästöt kuin mitä ISO 14083 -standardin pohjalta tehty laskentamalli.

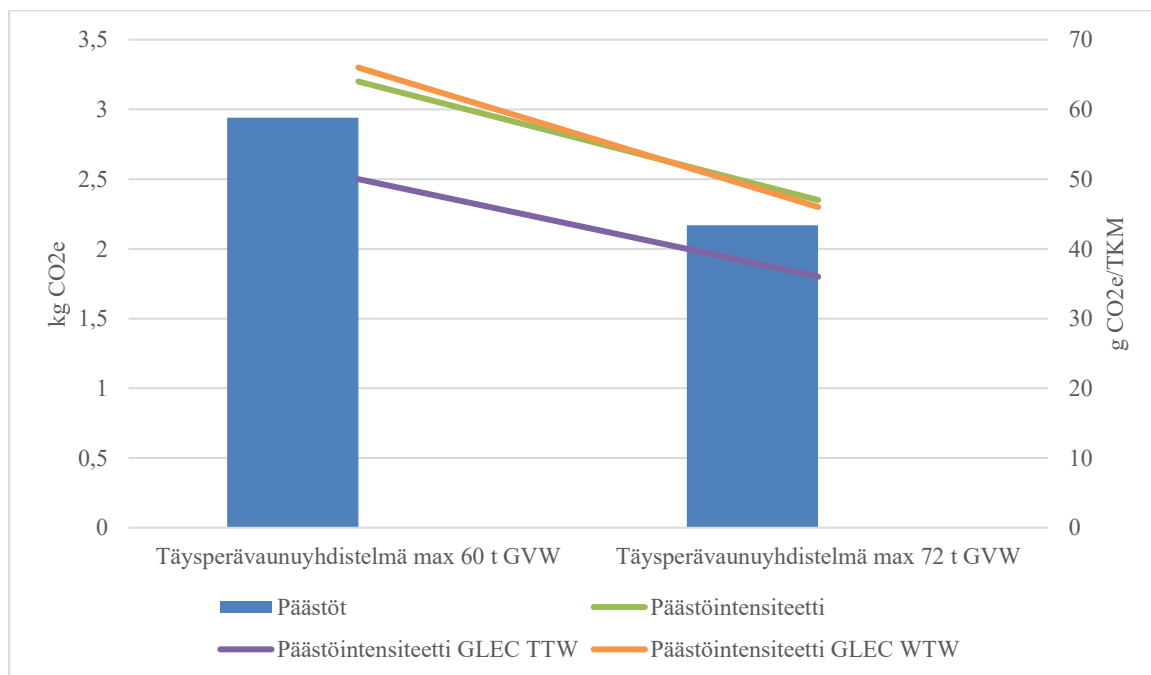


Kuvio 7 Kuljetuselementit 1 ja 3. Päästöintensiteetti täyttöaste huomioiden.

Kuvio 7 havainnollistaa, miten päästöintensiteetit muuttuvat, kun laskelmissa otetaan huomioon erilaiset täyttöasteet. Molempien maantiekuljetusten kohdalla nähdään, että päästöintensiteetti pienenee, kun kulkuneuvon täyttöaste kasvaa. Näin ollen tulisi pyrkiä mahdollisimman suuren kulkuneuvon täyttöasteeseen, jotta päästöintensiteetti olisi optimaalinen.



Kuvio 8 Kuljetuselementti 1. Oletusarvoisen polttoaineen intensiteetin (l/tkm) käyttö GLEC viitekehyyksen mukaan.



Kuvio 9 Kuljetuselementti 3. Oletusarvoisen polttoaineen intensiteetin (l/tkm) käyttö GLEC viitekehyyksen mukaan.

Täyttöasteen lisäksi huomattiin, että oletusarvoisen polttoaineen intensiteetillä lasketut päästöt tuottivat huomattavia eroavaisuuksia päästötuloksissa. Kuviossa 8 on esitelty kuljetuselementin 1 ja Kuviossa 9 on esitelty kuljetuselementin 3 eri päästötulokset riippuen, millä kulkuneuvolla lastia on oletettu kuljetettavan. Oletusarvoisesti suuremmilla

kulkuneuvoilla on pienempi polttoaineen intensiteetti, jolloin päästötulokset myös laskevat mitä suurempi kulkuneuvo reitille oletetaan. Lisäksi nähdään erot päästöintensiteeteissä, kun ne lasketaan todellisten tonnikilometrin avulla tai vaihtoehtoisesti valitaan oletusarvoiset päästöintensiteetit GLEC viitekehuksesta. Todellisen tonnikilometrin avulla laskettu päästöintensiteetti ja GLEC WTW oletusarvo päästöintensiteetistä ovat lähes samat. Huomioitavaa on, kun päästöt lasketaan oletusarvoisen polttoaineen intensiteetin avulla, saadaan laskettua molempien kuljetuselementtien matalin päästötulos.

Taulukossa 2 on eritelty sekä kuljetuselementin 1 että kuljetuselementin 3 tuloksien huomattavimpia eroja. Niissä on vertailtu molempien kuljetuselementtien kohdalla erikseen korkeinta ja matalinta tulosta sekä suurimpia tekijöitä erojen syntymiselle. Tekijät, jotka tuottivat eniten eroja tuloksiin maantiekuljetuksissa, ovat täyttöasteen muutos sekä oletusarvoisen polttoaineen intensiteetin käyttö.

Taulukko 2 Kuljetuselementtien 1 ja 3 erot tuloksissa.

	Muutosprosentti suhteessa vertailtavaan lukuun	
	Kuljetuselementti 1	Kuljetuselementti 3
Korkein päästötulos verrattuna matalimpaan päästötulokseen	+240 %	+310 %
Korkea oletusarvoisen polttoaineen intensiteetti verrattuna matalaan oletusarvoisen polttoaineen intensiteettiin	+60 %	+40 %
Primääridatan tulos verrattuna matalan polttoaineen intensiteetin päästötulokseen	+210 %	+240 %
Primääridatan päästöintensiteetti verrattuna matalan täyttöasteen päästöintensiteetin tulokseen	+40 %	-20 %
Primääridatan päästöintensiteetti verrattuna korkean täyttöasteen päästöintensiteettiin	+90 %	+10 %

Taulukko 2 näyttää, että kuljetuselementillä 1 korkein päästötulos oli 240 % suurempi kuin matalin saatu tulos, kun kuljetuselementillä 3 korkein tulos oli jopa 310 % suurempi kuin matalin tulos. Primääridatalla saadut tulokset ovat 210 % ja 240 % suuremmat kuin

matalimmat saadut tulokset eli matalalla polttoaineenintensiteetillä lasketut tulokset. Taulukosta 2 nähdään myös, että korkeimmat oletusarvoiset polttoaineen intensiteetit ovat 60 % ja 40 % suuremmat kuin matalimmat oletusarvoiset polttoaineen intensiteetit riippuen siitä, millaisella rekalla rahtia oletetaan kuljetettavan. Tulos osoittaa, että jos päästölaskennassa ei ole käytössä primääridataa ja oletetaan rekan koko, tulos kasvihuonekaasupäästöistä saattaa olla huomattavasti pienempi kuin reaalimaailmassa. Lisäksi Taulukosta 2 nähdään primääridatoille laskettujen päästöjen erot sekä matalalla täyttöasteella että korkealla täyttöasteella laskettuihin tuloksiin nähden. Kuljetuselementin 1 kohdalla primääridatalla laskettu päästöintensiteetti on kaikkien täyttöaste prosenttien kautta laskettuja tuloksia suurempi, mikä viittaa siihen, että kuljetus olisi ajettu vieläkin pienemmällä täyttöasteella kuin tutkimukseen mukaan otettu matalin täyttöaste. Kuljetuselementin 3 kohdalla primääridatalla saatu päästöintensiteetti putoaa matalan ja korkean täyttöasteen väliin.

Taulukko 3 Kuljetuselementtien 1 ja 3 erot toisiinsa nähden.

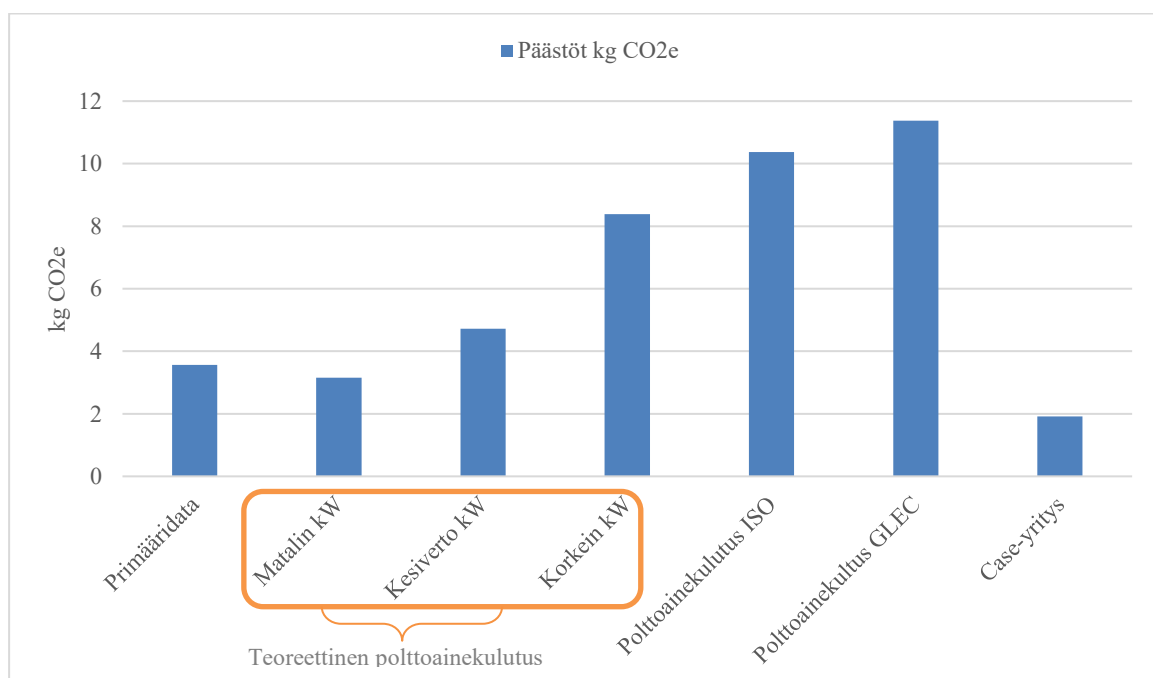
	Muutosprosentti suhteessa vertailtavaan lukuun
Kuljetuselementin 1 primääridata verrattuna kuljetuselementin 3 primääridataan	+170 %
Oletusarvoinen polttoaineenintensiteetti: kuljetuselementti 1 korkein tulos verrattuna kuljetuselementin 3 matalimpaan tulokseen	+380 %
Oletusarvoinen polttoaineenintensiteetti: kuljetuselementin 1 matalin tulos verrattuna kuljetuselementin 3 korkeimpaan tulokseen	+120 %

Taulukosta 3 voidaan havaita, että saman paketin kuljettaminen eri rekalla vaikuttaa sille allokoituihin päästöihin. Kuljetuselementtien 1 ja 3 matkat eroavat pituudeltaan vain noin kaksikymmentä kilometriä, mutta silti saman paketin päästötulokset ovat merkittävästi erilaiset näiden kahden kuljetuselementin välillä. Primääridatan avulla tiedetään, että rekat ovat keskenään erilaisia. Kuljetuselementin 1 ajoneuvo on pienempi kuorma-auto, kun kuljetuselementin 3 ajoneuvo on suurempi täysperävaunuyhdistelmä. Taulukosta 3 nähdään, että korkein polttoaineen intensiteetti kuorma-autolle luo 380 % suuremman päästön kuin matalin polttoaineen intensiteetti täysperävaunuyhdistelmälle. On huomioitavaa, että vertailtavuus kärsii, koska matkat eivät ole identtiset. Tämä tuo kuitenkin esille sen, että parempi kuljetusten suunnittelu, jossa kulkuneuvot pyritään lastaamaan korkeilla täyttöasteilla

sekä optimaalisilla reiteillä ja aikatauluilla, mahdollistaa yksittäisten pakettien päästölukujen minimoimisen.

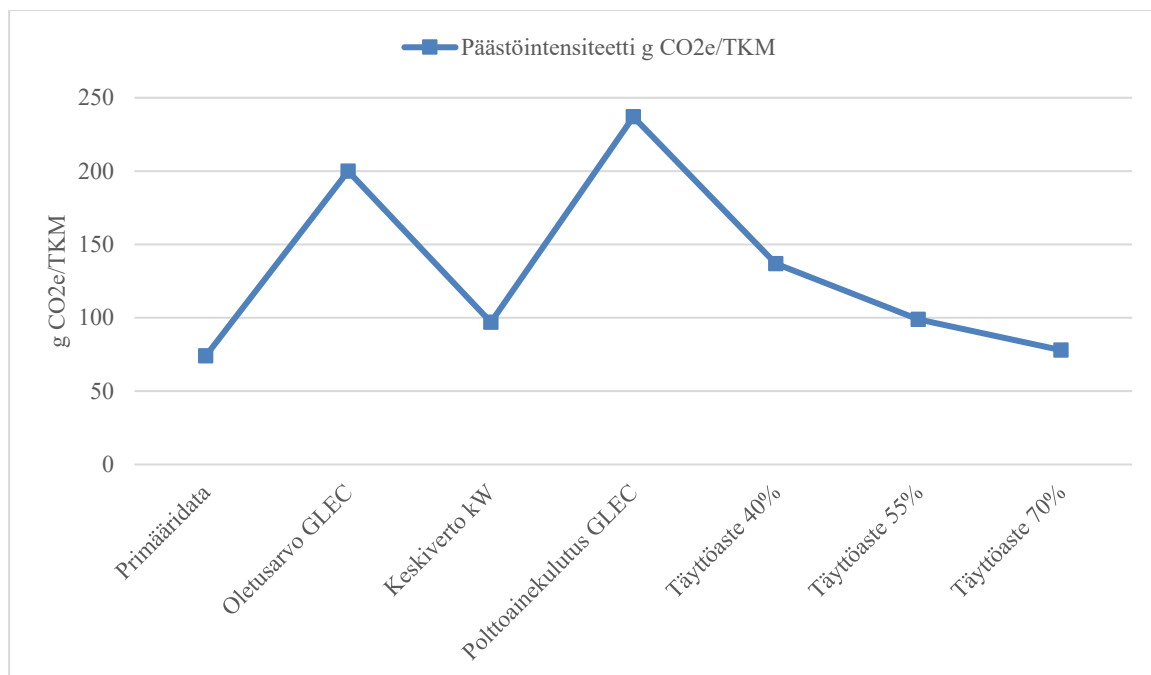
7.2.2 Merikuljetuksen tulokset ja vertailu

Merikuljetuksen eli kuljetuselementin 2 tulokset ovat laskettu primääridatan lisäksi käyttämällä oletusarvoista päästöintensiteettiä tai polttoaineenkulutusta. Päästöt ovat laskettu myös teoreettisesti lasketun matkanaikaisen polttoaineenkulutuksen avulla. Tämän lisäksi päästöt ovat laskettu vertaillen täyttöasteita. Näitä eroja on havainnoitu Kuviossa 10 ja Kuviossa 11.



Kuvio 10 Kuljetuselementti 2. Päästölaskelmien tulokset.

Kuviosta 10 huomataan, että primääridatalla saatu tulos on huomattavasti matalampi kuin GLEC viitekehyksen sekä ISO 14083 polttoaineen kulutuksen oletusarvoilla saadut tulokset. Teoreettisen polttoaineenkulutuksen laskelmien mukaan, päästöt olisivat pienemmät kuin oletusarvoilla lasketut. Teoreettisessa laskelmassa on vaihdettu oletettua moottorin nimellistehoa kilowatteina, jonka avulla on laskettu teoreettinen polttoaineenkulutus, josta on edelleen laskettu päästötulokset ISO 14083 -standardista otetun päästökertoimien avulla. Primääridatan tulos jää matalimman ja kesiverto kW:lla lasketun polttoaineenkulutuksen kautta saatujen tulosten väliin. Lisäksi huomataan, että case-yrityksen tavalla laskettu päästötulos on hyvin matala verrattuna muihin tuloksiin.



Kuvio 11 Kuljetuselementti 2. Päästöintensiteetin vertailua.

Kuviossa 11 havainnollistetaan päästöintensiteetin vaihtelua. GLEC viitekehyksen uusimassa versiossa on oletusarvoinen päästöintensiteetti kuljettavalle alustyyppille, joka on varsin korkea erityisesti primääridataan verrattuna. Myös GLEC viitekehyksestä saatu oletusarvoinen polttoainekulutus tuottaa suuren päästöintensiteetin. Lisäksi täyttöasteen muutos vaihtelee samalla tavalla kuin maantiekuljetuksissakin. Mitä suurempi täyttöaste, sitä pienempi päästöintensiteetti.

Taulukko 4 Merkittävimmät erot kuljetuselementin 2 tuloksissa.

	Muutosprosentti suhteessa vertailtavaan lukuun
Korkein päästötulos verrattuna matalimpaan päästötulokseen	+300 %
Korkein teoreettisen polttoainekulutuksen avulla saatu tulos verrattuna vastaavaan matalimpaan tulokseen	+200 %
Matalan täyttöasteen päästöintensiteetti verrattuna korkean täyttöasteen päästöintensiteettiin	+80 %

Taulukkoon 4 on merkitty huomattavimmat erot kuljetuselementin 2 tuloksissa. Korkein saatu tulos on jopa 300 % suurempi kuin matalin saatu tulos. Teoreettisen polttoainekulutuksen antamissa tuloksissa on myös huomattava kolminkertainen ero riippuen moottorin oletetusta

nimellistehosta. Lisäksi täyttöasteen oletus muuttaa päästöintensiteetin tuloksia niin, että matalalla täyttöasteella laskettu päästöintensiteetti on 80 % suurempi kuin korkealla täyttöasteella laskettu päästöintensiteetti.

7.2.3 Case-yrityksen tulosten vertailu päästölaskentamallin tuloksiin nähden

Case-yrityksen tulokset erottuvat tulosten vertailuissa matalilla päästötuloksillaan. Tämä johtuu yksinkertaisesta laskutavasta, jossa päästöt lasketaan oletusarvoisen päästöintensiteetin avulla. Nämä päästöintensiteetit eivät vastaa tämänhetkisiä päästöintensiteetin oletusarvoja, kuten esimerkiksi GLEC viitekehyksestä tai ISO 14083-standardista otettuja arvoja.

Taulukko 5 case-yrityksen laskelmat vertailtuna laskentamallin tuloksiin.

	Muutosprosentti suhteessa vertailtavaan lukuun		
Kuljetusketju: primääridatan tulos verrattuna case-yrityksen tulokseen	+230 %		
Kuljetuselementti (KE) 1, 2 tai 3	KE 1	KE 2	KE 3
Primääridatan tulos verrattuna case-yrityksen tulokseen	+550 %	+90 %	+160 %
Matalimman polttoaineen intensiteetin tulos verrattuna case-yrityksen tulokseen	+110 %		-20 %
Polttoaineen kulutuksen oletusarvon (ISO) tulos verrattuna case-yrityksen tulokseen		+440 %	
Teoreettisen polttoaineen kulutuksen (ISO matala kW) tulos verrattuna case-yrityksen tulokseen		+60 %	

Case-yrityksen laskelmista saatuja tuloksia vertaillaan tarkemmin päästölaskentamallin antamiin tuloksiin Taulukossa 5. Suurimmassa osassa tuloksia case-yrityksen tulokset ovat merkittävästi matalampia kuin mitä päästölaskentamallista saadut tulokset. Koko kuljetusketjun päästötulos primääridatalla laskettuna on 230 % suurempi kuin case-yrityksen laskujen mukaan. Suurin ero voidaan nähdä kuljetuselementti 1 kohdalla eli ensimmäisen maantiekuljetuksen kohdalla, jossa primääridatalla saatu tulos on jopa 550 % suurempi kuin case-yrityksen tavalla laskettu tulos. Kuljetuselementtien 2 ja 3 kohdalla ero primääridatan ja case-yrityksen tulosten kohdalla ovat maltillisemmat 90 % ja 160 % suuremmat.

Kuljetuselementin 2 eli merikuljetuksen kohdalla polttoaineen kulutuksen oletusarvoilla saatu tulos on 440 % suurempi kuin case-yrityksen tulos, mutta toisaalta teoreettisen polttoaineen kulutuksen pienin saatu tulos on enää 60 % suurempi. On kuitenkin selvää, että case-yrityksen tämänhetkinen laskentatapa antaa liian matalia päästötuloksia, jotka eivät perustu ajankohtaisille standardeille.

8 Keskustelu ja johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuoda esille kuljetusten päästölaskentaan liittyvää kompleksisuutta ja laskea, miten erilaisia tuloksia standardin puitteissa tehdyistä laskentamalleista saadaan. Tavoitteen pohjalta muodostettiin päätutkimuskysymys: Miten standardien pohjalta tehdyn päästölaskentamallin tulokset eroavat riippuen siitä, mitä dataa päätetään käyttää? Oletuksena oli, että standardinkin puitteissa lasketuista kuljetusketjun päästöistä voi saada erilaisia tuloksia. Siksi tutkimuksen toisena tavoitteena oli pyrkiä ymmärtää, kuinka tarkan päästölaskentamallin luominen on riittävää. Tälle tavoitteelle luotiin apututkimuskysymys: Kuinka tarkan päästölaskentamallin tekeminen on riittävän luotettavaa eri sidosryhmien näkökulmasta? Näiden tavoitteiden lisäksi pyrittiin löytämään ratkaisu case-yrityksen päästölaskentaan. Sen pohjalta luotiin toinen apututkimuskysymys: Miten case-yritys voisi kehittää päästölaskentamalliaan?

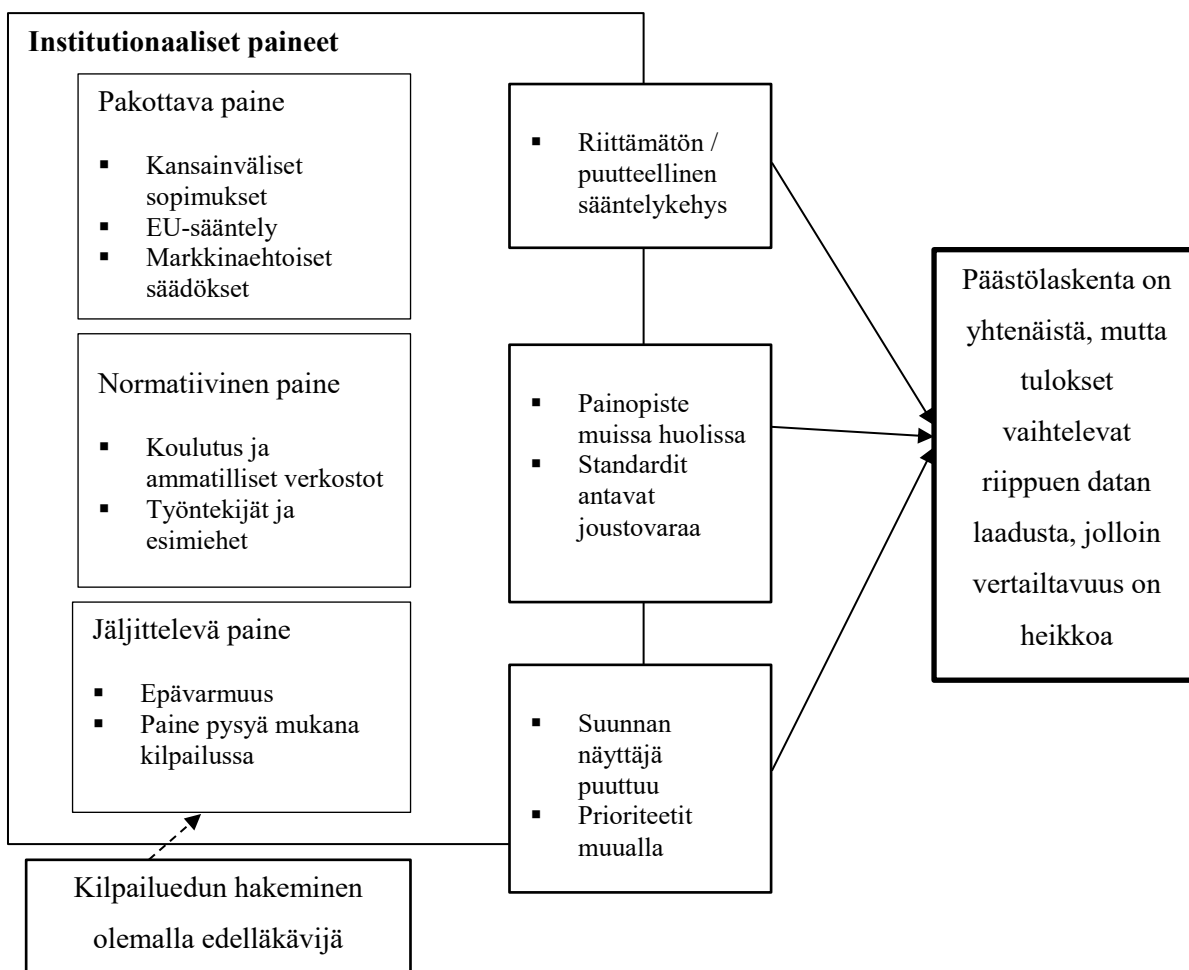
8.1 Päästölaskentamallin vaihtelevat tulokset

Jotta päätutkimuskysymykseen voidaan vastata, luotiin institutionaaliseen teoriaan pohjautuva teorettinen viitekehys, minkä avulla teoriaosuudessa tunnistettiin institutionaalisen teorian kolme painetta, joiden takia päästölaskentamallit yhtenäistyvät. Teoriaosuudessa käytiin läpi kuljetusketjun rakennetta keskittyen eri kuljetusmuotojen ilmastovaikutuksiin, päästöjen rajoittamista ja päästölaskentaan liittyviä paineita sekä eri päästölaskentamalleja ja niiden soveltuvuutta tämän hetkisiin vaatimuksiin. Empiirisessä osiossa luotiin päästölaskentamalli ISO 14083 -standardin pohjalta. Päästölaskentamallin avulla laskettiin, miten data vaikuttaa tuloksiin. Kuten luvussa 7 havainnoitiin, standardin puitteissa tehty päästölaskentamalli tuottaa samasta kuljetusketjusta toisistaan eroavia tuloksia. Korkein laskettu kasvihuonepäästö tulos muodostetusta kuljetusketjusta oli melkein neljä kertaa suurempi kuin pienin laskettu tulos. Huomattavimpia eroja tuloksiin sai aikaan polttoaineen intensiteettiin ja kulutukseen liittyvät parametrit sekä täyttöasteen huomioiminen päästöintensiteetin laskennassa.

Aiemmat tutkimukset, kuten Denten ja Tavasszyn (2018), Davydenkon ym. (2014) sekä Schrammin ja Lehnerin (2024) tutkimukset päästölaskentamalleista, korostavat sitä, että vaihtelevat tulokset johtuvat eri päästölaskentamallien käyttämisestä. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittavat, että vaikka päästöjä laskettaisiin käyttäen samaa päästölaskentamallia, päästötulokset vaihtelevat. Universaali standardi päästöjen laskemisesta

tai yhtenäinen päästölaskentamalli, jota esimerkiksi EU pyrkii luomaan, ei siis kokonaan poista sitä ongelmaa, että samasta kuljetuksesta voidaan laskea monenlaisia päästötuloksia. Vaikka päästölaskentamallit yhtenäistyvät niin pakottavan, normatiivisen kuin jäljitelevänkin paineen kautta, laskentatulokset antavat silti hajanaisia tuloksia. Kuten Hörandner ym. (2023) tuo esille tutkimuksessaan, pelkästään yhtenäinen päästölaskentamalli ei takaa samankaltaisia tuloksia, sillä erot johtuvat siitä datasta, jota laskuihin käytetään. Koska standardit ja niistä luodut päästölaskentamallit sallivat mallinnuksen ja oletusarvojen käytön, tämänkin tutkimuksen laskentatulokset vaihtelevat riippuen siitä käytetäänkö primääridataa vai otetaanko laskentaan mukaan myös oletusarvoisia lukuja.

Toisaalta mallinnusten ja oletusarvojen käyttö antaa joustavuutta laskennalle, ja se saattaa helpottaa laskennan omaksumista yrityksen toimintaan. Ei myöskään ole yksiselitteistä, että primääridatan käyttö olisi parhain tapa laskea päästöjä. Ristiriitaista on, että primääridatalla voidaan laskea päästöjä mahdollisimman tarkasti, mutta se ei välttämättä kuitenkaan ole oleellista päästöjen laskennassa. Esimerkiksi merikuljetuksissa yksittäisen kuljetuksen päästöihin vaikuttaa huomattavasti ulkoiset tekijät, jolloin samalla reitillä ja aluksella päiväkohtaiset päästöt saattavat olla ihan erilaiset riippuen muun muassa täyttöasteesta ja sääolosuhteista. Tällöin primääridata ei anna vertailtavaa tai käytännöllistä kuvaa laivan päästöistä. Jos pitäisi laskea päästöt aina tietyltä kuljetukselta, voitaisiin päätyä tilanteeseen, jossa yritykset yrittävät pelata omalle rahdilleen mahdollisimman pienet päästölukemat, jolloin ne välttäisivät laittavansa tavaroitaan kuljetettavaksi huonolla säällä ja pienellä täyttöasteella. Tällöin saattaisikin olla parempi laskea päästöjä joko jonkinlaisella keskiarvolla tai mallinnuksella. Mallinnukset ja oletusarvojen käyttö ei siis pelkästään ole negatiivinen asia päästölaskennassa.



Kuvio 12 Laskentamallien vaihtelevien tulosten syitä.

Kuviossa 12 havainnollistetaan syitä, minkä takia institutionaaliset paineet eivät ole aikaansaaneet sellaista laskentatapaa, jossa tulokset olisivat vertailtavissa. Kuten aiemmin mainittiin, eroavat tulokset johtuvat siitä, että laskelmiin käytetään monenlaista dataa. Vaikka institutionaaliset paineet yhä enemmän nostavat päästölaskentaa yritysten agendalle, paineet eivät tällä hetkellä kohdistu datankäyttöön vaan itse laskentamalleihin, jos niihinkään. Tämä voi johtua siitä, että päästölaskentamalleihin liittyvä tutkimus korostaa juuri päästölaskentamallien eroavaisuutta suurimpana ongelmana.

Pakottavana paineena nähdään erilaiset kansainväliset ja kansalliset sääntelymenetelmät, jotka ohjaavat yrityksiä ylipäättään laskemaan päästöjä. Pakottavat säädökset eivät kuitenkaan ohjaa suoraan päästölaskentaan vaan päästöjen laskennan tarve tulee esimerkiksi erinäisistä raportointivelvollisuuksista. Lisäksi markkinaehtoiset säädökset pakottavat yrityksiä laskemaan päästöjään, mutta itse laskennan tarkkuuteen ei ole niinkään kiinnitetty huomiota. Pakottavien paineiden tueksi on viime vuosien aikana esitelty suuntaa-antavia standardeja, joilla on pyritty tarkemmin ohjaamaan päästölaskentaa tiettyihin raameihin, jotta tulokset

olisivat vertailtavissa. Tällaiset normatiiviset paineet yhtenäistää päästölaskentaa ja luo jo tarkemman viitekehyksen sille, kuinka tarkkaa päästölaskennan tulee olla. Ne asettavat raamit siitä, mitä dataa tulee käyttää. Kuitenkin laskentatulokset osoittavat, että uusimmatkin standardit antavat vaihtelevia tuloksia. Tällainen puutteellinen sääntelykehys voidaan nähdä yhtenä ongelmana yhtenäisessä päästölaskennassa. Kun sääntelykehys ei ole riittävän tarkka, se rankaisee helposti niitä, jotka pyrkivät muuten laskemaan päästönsä mahdollisimman tarkasti tai vastuullisesti. Toisin sanoen yritykset, jotka laskevat päästönsä mahdollisimman pieniksi, hyötyy puutteellisesta sääntelystä, sillä ne voivat tuoda esille jopa neljä kertaa pienempiä päästötuloksia ja perustella niiden olevan laskettu kansainvälisen standardin puitteissa. Lisäksi sääntelykehysten puitteissa toimiminen on yrityksille tapa osoittaa legitimitettiä, mutta jos tiedetään, että sääntelyä pystytään kiertämään, on vaikeampi osoittaa, että päästöjä lasketaan vastuullisesti.

Sääntelykehyksen vajaavaisuus ei ole hyväksi myöskään sääntelyelinten näkökulmasta, sillä niiden voima, asiantuntijuus ja maine kärsivät. Kun sääntelykehys on puutteellinen, se ei välttämättä tuota toivottuja tuloksia. Päästöjen raportointi, regulaatiot ja markkinaehtoiset säädökset eivät tehokkaasti painosta yrityksiä vähentämään päästöjään, sillä laskentamenetelmillä voidaan antaa todellisuutta pienempiä päästötuloksia julki. Lagouvardoun ym. mukaan (2020) useat sidosryhmät ovat huolissaan siitä, että markkinaehtoiset säädökset, kuten EU ETS, vääristää kilpailua ja aiheuttaa hiilivuotoa. Tämän lisäksi tulosten vaikea vertailtavuus aiheuttaa huolta sidosryhmille, kuten asiakkaille ja sijoittajille, jotka luottavat standardien tuovan luotettavuutta yrityksen toimintaan. Kun yritys pystyy julkaisemaan sellaisia päästötuloksia, jotka perustuvat kansainväliselle standardille, se voi saada jopa kilpailuaseman vastuullisena yrityksenä. Tämä ei kuitenkaan takaa sitä, että laskelmat antaisivat luotettavaa kokonaiskuvaa yrityksen kuljetuspäästöistä. Toisaalta, jos sidosryhmät eivät pysty luottamaan näihin standardeihin, koko standardin idea vesittyy, ja yritysten on entistä vaikeampaa todistaa tekevänsä vastuullisia valintoja kuljetusten suhteen.

EU:ssa on pyritty luomaan aloitetta, joka paremmin vastaisi päästölaskennan tarpeita, "CountEmissionsEU". Kun aloite astuu voimaan, se mukailee ISO 14083 -standardia, jolloin normatiivisen paineen alaisesta standardista tulisi EU-alueella pakottavaa. Aloitteeseen kuuluu myös EU:n oma tietokanta oletusravoista, joka lisäisi vielä yhden tietokannan oletusarvoisia lukuja yritysten käyttöön ISO-standardin, GLEC viitekehyksen ja kansallisten tietokantojen rinnalle. Kun tiedämme, että juuri lukujen käyttö eri datalähteistä saa aikaan tulosten vaihtelun, EU voisi harkita uudelleen tietokannan tarpeellisuutta. Lisäksi pitäisi ottaa

huomioon, että pirstaleinen sääntelykehys, jossa eri alueilla on erilaiset säädökset, tuottaa ongelmia. Jos sääntely ei koske kaikkia, osa yrityksistä saa epäreilun kilpailuaseman. Jos alueellisia sääntelyjä tehdään, tulee sääntelijän tietää yksityiskohtaisesti sääntelyn kohteena olevien alojen rakenteen ja dynamiikan, jotta saavutetaan tasapaino alueen kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi ja sääntelyn kohteena olevan alan kilpailuaseman suojaamiseksi niin kuin Fowlie ym. (2016) tutkimuksessaan korostaa.

Kuten Kuviosta 12 nähdään päästölaskennan yhtenäistymiseen vaikuttaa myös jäljittelevän paineen seuraukset. Koska päästölaskentaan on ollut paljon erilaisia tapoja, on helpompi jäljitellä muiden yritysten tapaa laskea päästöjä. Lisäksi esimerkiksi ISO 14083 -standardi on pitkä ja sisältää paljon tietoa, kuten erilaisia kaavoja ja termejä. Se saattaa olla työläs tapa perehtyä päästölaskentaan. Erityisesti pienille yrityksille, joilla ei ole erillistä kestävään kehitykseen erikoistunutta henkilöä tai tiimiä, standardiin perehtyminen voi olla liian suuri kynnyks. Tällöin on helpompi jäljitellä edelläkävijöitä ja yrityksiä, joiden päästölaskenta on yleisesti hyväksyttyä. Toisaalta syy siihen, ettei laskelmat kuitenkaan ole vertailtavissa, voi olla siinä, että yritysten prioriteetit ilmastotoimissa ei ole kuljetusten päästölaskennassa.

Toisaalta taas osa yrityksistä voi nähdä mahdollisuuden kilpailuetuun implementoimalla vaatimusten mukaisen ja sen ylittävän päästölaskennan toimintaansa. Jäljittelevä paine tarvitsee näitä yrityksiä, joita muut voivat jäljitellä. Koska yritykset kohtaavat yhä enemmän erinäistä sääntelyä etenkin EU-alueella, voi myös näiden yritysten prioriteetit olla muualla, jolloin suunnan näyttäjiä nimenomaan päästölaskentaan, ei käytännössä ole. Näin ollen päästölaskenta ei pääse yhtenäistymään, kun mikään yritys ei ota edelläkävijän roolia. Tähän voi myös vaikuttaa se, että yritysten kilpailu- tai imagoedun havittelemisen vaikeutuu, jos ei voida osoittaa, että omat laskelmat ovat luotettavia ja jos niitä ei pysty vertailemaan kilpailijoihin. Myös esimerkiksi asiakkaiden, investoijien ja kauppakumppaneiden voi olla vaikeampaa tehdä omia valintojaan, jos vastuullisuustiedot eivät ole riittäviä. Toisaalta esimerkiksi ISO 14083 -standardi on yleisesti hyväksytty ohjeistus, jonka avulla laskentaa voi sanoa luotettavaksi. Tämän takia yritysten on mielekästä alkaa laskea päästöjään standardin mukaan, jos tavoittelee kilpailuedun tai imagoedun saamista.

Dongin ym. (2023) ja Inêsin ym. (2023) mukaan yritykset saattavat harrastaa virhepesua eli antaa harhaanjohtavaa tietoa, jotta asiakkaat uskoisivat yrityksen tuotteiden tai palveluiden olevan ympäristöystävällisiä. Varsinkin heikko sääntely antaa tilaa viherpesulle. Yritykset voivat myös väittää olevansa kestäviä, vaikka vastuullisuuteen liittyviä huolia ei käsitellä

koko toimitusketjussa. Sidosryhmille voi olla vaikeaa todistaa olevansa aidosti yrityksenä ympäristön kannalta kestävämpi kuin toiset, mutta laskemalla proaktiivisesti kuljetusketjun päästöjään yritys voi pyrkiä todistamaan toimivansa läpinäkyvästi ja tätä kautta myös näyttää lukuja vastuullisuusväitteiden takana. Toisaalta, jos sidosryhmät eivät pysty luottamaan siihen, että päästölaskenta antaa luotettavia tuloksia, laskenta ei tuokaan toivottua lisäarvoa.

8.2 Sidosryhmien vaikutus riittävän tarkan laskentamallin syntyyn

Teoreettisen viitekehyksen kolmen paineen taustalla tunnistettiin erilaisia sidosryhmiä, jotka vaikuttavat näiden institutionaalisten paineiden syntyyn. Koska yritysten päästölaskentatulosten eroavaisuudet vaikuttavat myös sidosryhmiin eri tavoin, voidaan pohtia, millainen laskentamalli olisi riittävän tarkkaa minkäkin sidosryhmän näkökulmasta. Teoriaosuudessa tarkasteltiin eri tekijöitä, minkä takia yritykset rajoittavat päästöjään ja sitä kautta alkavat myös laskemaan päästöjään. Eri paineita asettavien sidosryhmien tunnistettiin luovan joko pakottavaa, normatiivista tai jäljittelevää painetta institutionaalisen teorian viitekehyksessä. Jotta yritykset pitävät legitimitteettinsä ja pysyvät mukana kilpailussa, niiden tulee toimia sidosryhmien näkökulmasta riittävän vastuullisesti, johon lukeutuu myös päästöjen laskeminen riittävällä tarkkuudella. Näin ollen sidosryhmät ovat myös avainasemassa määrittämässä, miten tarkkaa päästölaskennan tulisi olla.

Kuten aiemmin mainittiin, sääntelyelimille, hallituksille ja erilaisille järjestöille, jotka sääntelevät päästölaskentaa lakien, säädösten tai standardien kautta, päästölaskennan tulosten huono vertailtavuus on niiden maineelle ja luotettavuudelle kolaus, sillä sääntelykehys ei tuota tällöin toivottua tulosta. Inês ym. (2023) mukaan vähemmän säännellyssä ympäristössä kestävä kehityksen toimet tehdään erilaistumisen ja innovaatioiden havittelun takia, kun yritykset pyrkivät löytämään kilpailuetua muihin nähden. Sääntelyelinten näkökulmasta olisi kuitenkin mielekkäämpää, että sääntely saataisiin sille tasolle, että yritykset lähtevät samalta viivalta. Esimerkiksi päästölaskenta olisi normi, jota kaikki yritykset tekevät tiettyjen sääntöjen mukaan.

Yrityksen kauppakumppaneille luotettavat päästölaskentatulokset ovat tärkeitä, jotta he voivat tehdä perusteltuja päätöksiä esimerkiksi yhteistyöstä ja sen tiiveydestä. Yritykset, jotka pyrkivät vastuullisuuteen, haluavat nykyään varmistaa koko toimitusketjun vastuullisuuden, jolloin päästölaskenta on merkittävässä roolissa, kun pohditaan parhaimpia vaihtoehtoja toimitusketjussa olevista kauppakumppaneista ja toimitusketjussa tapahtuvista kuljetuksista. Kuitenkin Schrammin ja Lehnerin (2024) mukaan sidosryhmien on vaikea luottaa tietoihin

kasvihuonekaasupäästöistä, mikä vaikeuttaa niiden kasvihuonekaasupäästöjen tehokasta hallintaa ja vähentämistä. Toisaalta Inês ym. (2023) mukaan yritysten tulee itse kehittää mittaustyökaluja, joilla voidaan arvioida logistiikan ja logististen palveluntarjoajien kestävyystasoa. Näin ollen myös kuljetusyrityksille ja logistiikkayrityksille on tärkeää, että he pystyvät tuottamaan luotettavia päästötuloksia, jotka ovat vertailtavissa kilpailijoiden laskelmiin. Tästä näkökulmasta olisi tärkeää, että päästölaskenta on läpinäkyvää, jotta omia tuloksia voi perustella ja helpommin vertailla.

Asiakkaiden luoma paine yrityksille on merkittävää. Gualandris ja Kalchschmidt (2014) toteaa asiakkaiden painostuksen olevan olennainen tekijä motivoimaan yrityksiä aloittamaan ja ylläpitämään vastuullisia toimitusketjuja. Asiakkaat tarvitsevat yritysten päästölaskentatietoja, jotta he voivat päättää, kenen yrityksen asiakkaita he valitsevat olevansa. Kuluttajilla on myös vahva asema vaikuttaa siihen, miten muut kuluttajat näkevät yrityksen. Näin ollen voidaan olettaa asiakkaiden motivoivan yrityksiä adaptoimaan sellaisia laskentamalleja, joiden tuloksia voidaan vertailla kilpailijayritysten kanssa.

Ulkoisten paineiden lisäksi yrityksen työntekijät ja potentiaaliset työntekijät saattavat toiminnallaan määrittää, kuinka tarkkaa päästölaskennan tulee olla. Osalle työntekijöistä voi olla tärkeää työskennellä sellaisessa yrityksessä, jossa tehdään näkyviä asioita vastuullisuuteen liittyen. Tämä koskee myös luotettavaa päästölaskentaa. Tähän viittaa myös se, että yritykset pykivät tulla nähdyksi vastuullisena työnantajana (Pålsson & Kovács, 2014). Työntekijät voivat vaatia yritystä esimerkiksi toimimaan tiettyjen standardien mukaan tai julkaisemaan tietoa siitä, miten päästölaskentaa harjoitetaan.

Täydellistä laskentamallia voi olla mahdotonta kehittää, siksi optimaalisen tasapainon löytäminen päästölaskentaan on välttämätöntä. Tämän tutkimuksen tulokset ovat yhtenäisiä Auvisen ym. (2014) kanssa siitä, että laskentamallin tulee olla kansainvälinen ja ottaa huomioon kaikkien kuljetusmuotojen erityispiirteet. Päästölaskentamallin ei tule kuitenkaan olla liian tiukka tai monimutkainen, jotta alan toimijat sisäistävät laskentamallin toimintoihinsa ja jotta päästölaskenta olisi käytännöllistä. Tämä tarkoittaa sitä, että yksittäisiä matkoja ei välttämättä ole järkevää laskea primääridatalla, jos tiedetään, että saman kuljetuksen päivittäiseen päästötulokseen vaikuttaa ulkoiset asiat, kuten sääolosuhteet. Näiden kompromissien takia laskentamalleihin tulee tulevaisuudessakin liittymään epävarmuuksia. Näiden epävarmuuksien minimoimiseksi ja tulosten vertailtavuuden helpottamiseksi laskennan tulisi olla läpinäkyvää. Kuten myös Wild (2021) esittää

tutkimuksessaan, laskentaan käytetyn datan tulisi olla nähtävillä ja käytettyjen oletusarvojen alkuperä tulisi olla esitetty läpinäkyvästi ja niiden pitäisi olla julkisesti käytettävissä.

8.3 Case-yrityksen laskentamallin kehittäminen

Case-yrityksen päästölaskentamallin kehittämiseksi otettiin laskentaan mukaan case-yrityksen nykyinen päästölaskenta ja vertailtiin sitä päästölaskentamallista saatuihin tuloksiin, jotta saataisiin selville, miten se vertautuu nykyhetken vaatimukseen. Tällä hetkellä yritys laskee päästöt päästöintensiteettikertoimien, kuljetettavan tavaran painon ja matkan pituuden perusteella, eikä ISO 14083 -standardin suosittamalla tavalla päästökertoimien ja kulkuneuvon polttoainekulutuksen perusteella.

Oletusarvoiset päästöintensiteetti-arvot, joita yritys käyttää, ovat vanhentuneita. Niiden päivittäminen ajankohtaiseksi, esimerkiksi uusimman GLEC viitekehyksen mukaisesti, olisi jo edistysaskel kohti tarkempaa päästölaskentaa. Osa case-yrityksen asiakkaista raportoivat päästönsä GLEC viitekehyksen mukaisesti, mikä edellyttää case-yritykseltä tiettyjen päästökertoimien käyttöä. Siksi GLEC viitekehyksen käyttö systemaattisesti kaikkien asiakkaiden päästölaskennassa olisi johdonmukaista. Lisäksi pitäisi pyrkiä päivittämään oletusarvoja sitä mukaan, kun niitä päivitetään kansainvälisissä standardeissa.

Jos on mahdollisuus saada primääridataa, niiden käyttöä voidaan harkita erityisesti sellaisten asiakkaiden kohdalla, jotka ilmaisevat halunsa kehittää päästölaskentaansa tai sen luotettavuutta. Lisäksi yhteistyö ulkoisen, päästölaskentaan erikoistuneen yrityksen, kuten EcoTransIT:n kanssa, on varteenotettava vaihtoehto kuljetuksen päästölaskelmiin. On kuitenkin huomioitava, että myös EcoTransIT on vain niin tarkka kuin se data, jota sinne syötetään. Siksi olisi tärkeää tehdä yhteistyötä esimerkiksi kuljetusyhtiöiden kanssa, jotta käytetty data olisi tarkempaa. Legitimiteettiä case-yrityksille toisi laskennan läpinäkyvyys. Tämä tarkoittaisi sitä, että julkisesti olisi nähtävillä, millaista dataa käytetään ja mitä oletusarvoja käytetään tarvittaessa, jonka lisäksi nähtävillä olisi tieto siitä, mihin laskenta perustuu.

8.4 Teoreettinen merkitys

Institutionaalinen teoria auttaa jäsentämään erilaisia tekijöitä, joiden takia yritykset laskevat päästöjään yhä enemmän. Tutkimus vahvistaa Gloverin ym. (2014) käsitystä siitä, että institutionaaliset paineet vaikuttavat siihen, miten yritykset tekevät päätöksiä, jonka takia se

voi tarjota näkökulmia eri toimijoiden roolista kestävien toimitusketjujen kehittämisessä ja niiden roolista saada yritykset toimimaan vaatimusten mukaisesti. Tutkimus myös osoittaa, että tämänhetkiset institutionaaliset paineet eivät välttämättä riitä aukottoman päästölaskentamallin kehittämiseen, sillä pelkästään päästölaskentamallien yhtenäistäminen ei vielä takaa tulosten yhtenäistymistä, vaan huomioita tulisi jatkossa kiinnittää enemmän sallittuihin datalähteisiin.

Toisaalta on huomioitava, että institutionaalinen teoria ei yksin pysty selittämään monimutkaista tapahtumaketjua, jossa yritykset ottavat käyttöön tietyn päästölaskentamallin, jonka myötä tulokset muuttuvat vähitellen vertailukelpoisiksi. Esimerkiksi yritysten sisäiset strategiat, joita on vaikea liittää institutionaalisen teorian viitekehykseen, vaikuttavat merkittävästi siihen, että uusia innovaatioita ja toimivia konsepteja syntyy. Jotkut tutkimukset ottavatkin toisenlaisen näkökulman (ks. Tan ym., 2022) ja ovat esittäneet resurssipohjaista teoriaa selittämään yritysten kasvavaa pyrkimystä kestävyteen. Toisaalta resurssipohjainen teoria ei myöskään yksin pysty selittämään ilmiötä, joten monet tutkimukset (ks. Adebajo ym., 2016; Bhuiyan ym., 2023; Pålsson & Kovács, 2014) yhdistävät institutionaalisen ja resurssipohjaisen teorian saadakseen laajemman katsauksen siihen, miksi yritykset sisäistävät kestäväan kehitykseen tähtääviä toimia strategiaansa.

8.5 Käytännön merkitys

Tutkimus antaa konkreettisesti tietoa siitä, miten päästölaskennan tulokset muodostuvat ja mikä niihin vaikuttaa. Se korostaa, että tulokset ei itsessään vielä kerro mitään. Jotta niitä voitaisiin tulkita, tulee tietää, mistä tulokset syntyvät eli minkälaista dataa niiden laskentaan on käytetty. Jos tuloksia halutaan vertailla, pitäisi niiden olla laskettu samantasoista dataa käyttäen. Toisin sanoen, jos vertaillaan kahden eri kuljetusketjujen päästöjä, joista toisesta on saatavilla tarkempaa dataa, molempien kuljetusketjujen päästöt pitäisi laskea epätarkempaa dataa käyttäen.

Tämä tieto on käytännössä tärkeä case-yrityksen lisäksi kaikille yrityksille, jotka pyrkivät optimoimaan kuljetusketjujaan. Ympäristövaikutusten arviointi tulee olemaan tulevaisuudessa tärkeää myös koko toimitusketjussa, jolloin on merkityksellistä pystyä luotettavasti vertailemaan eri kuljetusketjujen aiheuttamia päästöjä. Näin voidaan perustellusti löytää optimimaalinen toimitusketju, jossa huomioidaan sen ympäristövaikutukset. Lisäksi esimerkiksi kuljetusliikkeet ja logistiikkayritykset voi tutkimuksen avulla pyrkiä muovaamaan

omia laskentatapoja kohti ajankohtaista päästölaskentaa ja toisaalta varautua siihen, että heiltä voidaan tulevaisuudessa vaatia esimerkiksi kuljetuksiin liittyvää dataa.

Toisaalta esimerkiksi rahtiasiakkaat voivat tutkimuksen perusteella olla kriittisempiä valitessaan kuljetusliikettä. Kuljetusliikkeiden tarjoamiin ympäristöystävällisempiin kuljetuksiin osataan tämän tutkimuksen perusteella vaatia konkreettisia perusteita ja läpinäkyvyyttä siihen, mistä laskelmat ovat peräisin.

Tutkimusta voidaan myös käyttää käytännön oppaana edistyksellisempään päästölaskentaan, sillä se antaa katsauksen tämänhetkisiin päästölaskentaa ohjaaviin tekijöihin. Vaikka ISO 14083 -standardi ei ratkaise kokonaan päästölaskennan ongelmakohtia, sen integroiminen omaan toimintaan tavalla tai toisella voi olla järkevä vaihtoehto monelle yritykselle varsinkin EU-alueella. Jos standardin integroiminen aloitetaan proaktiivisesti mahdollisimman pian, olisi muutos sujuvampaa, kun ISO 14083 -standardia mukaileva EU:n ”CountEmissionsEu” -aloite astuu voimaan.

Tutkimus on merkittävä myös muille tahoille kuin laskentaa harjoittaville yrityksille tai niiden asiakkaille. Sääntelyelimet voivat myös pyrkiä tutkimuksen pohjalta löytämään ratkaisuja edelleen ongelmalliseen päästölaskennan sääntelyyn, sillä tutkimus tuo konkreettisesti esille nykyisten keinojen puutteellisuuden. Lisäksi tutkimus tuo tavalliselle kansalaiselle tietoa päästölaskennan epäkohdista. Asiakkaiden painostus on vahva keino vaikuttaa yritysten ilmastotoimiin, mutta ilman riittävää tietoa, on vaikea alkaa painostamaan.

8.6 Rajoitukset ja jatkotutkimus

Päästölaskennan kompleksisuus tuo rajoitteita tutkimukselle, sillä yksittäinenkin kuljetus voidaan suorittaa monilla eri tavoilla, mikä vaikuttaa sen ja muiden kuljetusten päästöihin. Esimerkiksi logistiset ratkaisut, kuten reititys, se kuinka kovaa kuski todellisuudessa ajaa ja rekan käyttämä polttoaine vaikuttavat kaikki siihen, miten paljon yksittäinen paketti ja kuljetus aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Näin ollen tutkimukseen valittu yksinkertainen kuljetusketju, josta on saatavilla primääridataa, antaa vain pienin katsauksen siihen, miten erilaisia tuloksia laskennasta voidaan saada. Tutkimus ei myöskään ota huomioon erityisiä tarpeita vaativia kuljetuksia, kuten sellaisia paketteja, joiden tulee olla tietyssä lämpötilassa tai vaativat muuten erikoisjärjestelyjä. Tällaisetkin kuljetukset muuttavat yksinkertaisenkin kuljetusketjun päästöjä.

On myös otettava huomioon, että tässä tutkimuksessa ei ole laskettu solmukohtien päästöjä. Kuitenkin riippuen siitä, minkä solmukohdan kautta kuljetusketju kulkee, solmukohdan aiheuttamat päästöt voivat lisätä koko kuljetusketjun päästöjä huomattavasti.

Jatkotutkimuksena voisi olla juuri tarkempi solmukohtiin keskittyvä tutkimus. Solmukohtia on hyvin paljon erilaisia ja myös samankaltaisten solmukohtien päästöt, kuten satamien päästöt, vaihtelevat keskenään.

Tutkimus on rajattu koskemaan EU:ta, ja tulokset saattaisivat vaihdella enemmän, jos kuljetusketju jatkuisi EU:n ulkopuolelle. EU:lla on kireämpi päästöjen sääntely kuin muualla maailmassa ja tämä saattaa vaikuttaa siihen, että esimerkiksi EU-alueella laivat kulkevat hitaampaa, jotta ne eivät joutuisi maksamaan päästöistä, mutta lisäävät vauhtia EU:n rajan ylittyttyään saadakseen aikataulusta kiinni, jolloin päästöt EU-alueella saattaa vaikuttaa pienemmiltä, mitä todellisuudessa koko kuljetusketjun päästöt ovat. Jatkotutkimuksena voisi pyrkiä tutkimaan, miten päästölaskennan tulokset muuttuvat alueittain pitkissä kuljetusketjuissa. Lisäksi olisi hyvä tarkastella, millä tavoin EU:n tuleva oma datayksikkö mukautuu muihin dataa tuottaviin yksiköihin.

Tutkimusta päästölaskentamalleista ja etenkin niihin käytettävästä datasta tarvitaan lisää. Yritykset ovat eri kohdissa kehitystä. On huomioitavaa, että päästölaskenta on hyvin erilaisilla tasoilla riippuen yrityksestä. Osa yrityksistä, kuten pienet kuljetusliikkeet, eivät todennäköisesti laske ollenkaan päästöjään, kun taas suuret logistiikkayritykset ovat jo pidemmällä päästölaskennassa. Osa tarvitsee tukea päästölaskennan aloittamiseen, osa sopivan laskentamallin käyttöönottoon ja edistyksellisimmät tarvitsevat luotettavaa tietoa siitä, minkälaista dataa on parhaita käyttää. Näin ollen yhtenäisten päästölaskentamallien ja universaalien standardien vakiintumiset ovat merkittävässä osassa, jos tulevaisuudessa halutaan mahdollisimman vertailtavissa olevaa päästölaskentaa, sillä yritykset, jotka eivät vielä laske päästöjään voi helpommin esimerkiksi jäljitellä muita yrityksiä, jotka käyttävät yleisesti hyväksyttyä mallia. Tämän lisäksi tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota jo uuteen ongelmaan eli datan käyttöön. Lisää tutkimusta tarvitaan sen osalta, millaista dataa olisi optimaalisinta käyttää ja miten voidaan todistaa vastuullinen toiminta päästölaskennan avulla.

Lähteet

- Adebanjo, D., Teh, P.-L., & Ahmed, P. K. (2016). The impact of external pressure and sustainable management practices on manufacturing performance and environmental outcomes. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(9), 995–1013. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-11-2014-0543>
- Alamouh, A. S., Ölçer, A. I., & Ballini, F. (2022). Ports' role in shipping decarbonisation: A common port incentive scheme for shipping greenhouse gas emissions reduction. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100021>
- Alan McKinnon. (2018). *Decarbonizing Logistics: Distributing Goods in a Low Carbon World: Vsk. 1 Edition*. Kogan Page; eBook Collection (EBSCOhost). <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1816004&site=ehost-live&scope=site>
- Auvinen, H., Clausen, U., Davydenko, I., Diekmann, D., Ehrler, V., & Lewis, A. (2014). Calculating emissions along supply chains—Towards the global methodological harmonisation. *Research in Transportation Business & Management*, 12, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.06.008>
- Bhuiyan, F., Rana, T., Baird, K., & Munir, R. (2023). Strategic outcome of competitive advantage from corporate sustainability practices: Institutional theory perspective from an emerging economy. *Business Strategy and the Environment*, 32(7), 4217–4243. <https://doi.org/10.1002/bse.3362>
- BigMile. (2024). BigMile Emission API. *BigMile - The Standard in Carbon Emissions Management*. <https://bigmile.eu/bigmile-emission-api/>
- Brzeziński, M., & Pyza, D. (2023). A Refined Model for Carbon Footprint Estimation in Electric Railway Transport. *Energies*, 16(18), 6567. <https://doi.org/10.3390/en16186567>
- CarbonCare. (2024). *CarbonCare—Home*. <https://www.carboncare.org/en>
- Chelly, A., Noura, I., Frein, Y., & Hadj-Alouane, A. B. (2019). On The consideration of carbon emissions in modelling-based supply chain literature: The state of the art, relevant features and

- research gaps. *International Journal of Production Research*, 57(15/16), 4977–5004.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1497310>
- Chen, J., Fei, Y., & Wan, Z. (2019). The relationship between the development of global maritime fleets and GHG emission from shipping. *Journal of Environmental Management*, 242, 31–39.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.136>
- Cullinane, K., & Khanna, M. (1999). Economies of Scale in Large Container Ships. *Journal of Transport Economics and Policy*, 33.
- Davydenko, I., Ehrler, V., de Ree, D., Lewis, A., & Tavasszy, L. (2014). Towards a global CO2 calculation standard for supply chains: Suggestions for methodological improvements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 362–372.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.08.023>
- Davydenko, I., Hopman, W. M. M., van Gijlswijk, R., Rondaij, A., & Spreen, J. (2019). *Towards harmonization of Carbon Footprinting methodologies: A recipe for reporting in compliance with the GLEC Framework, Objectif CO2 and SmartWay for the accounting tool BigMile™*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10883.45601>
- Dente, S. M. R., & Tavasszy, L. (2018). Policy oriented emission factors for road freight transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 33–41.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.021>
- DHL. (2024). *Carbon Calculator*. <https://carboncalculator.dhl.com/>
- DHL Freight. (2022, helmikuuta 22). Road Freight 101: The Importance of Road Transport | DHL Freight. *DHL Freight Connections*. <https://dhl-freight-connections.com/en/business/road-freight-101-the-importance-and-future-of-road-transport/>
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160. <https://doi.org/10.2307/2095101>
- Dong, C., Huang, Q., Pan, Y., Ng, C. T., & Liu, R. (2023). Logistics outsourcing: Effects of greenwashing and blockchain technology. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 170, 103015. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103015>

EASA. (2020, syyskuuta). *Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4)*.

https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:7bc666c9-2d9c-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

EcoTransIT World. (2021, tammikuuta 19). EcoTransIT World. *EcoTransIT World* |.

<https://www.ecotransit.org/en/>

EMISIA. (2022). *COPERT* | *EMISIA SA*. <https://www.emisia.com/utilities/copert/>

Euroopan komissio. (2019, joulukuuta 11). *Euroopan vihreän kehityksen ohjelman* [Text]. European Commission - European Commission.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_19_6691

Euroopan komissio. (2023a). *Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kuljetuspalvelujen kasvihuonekaasupäästöjen laskennasta*.

Euroopan komissio. (2023b). *Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the accounting of greenhouse gas emissions of transport services*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0441>

Euroopan komissio. (2023c, heinäkuuta 11). *Tavaraliikenteen viherryttäminen taloudellisen hyödyn lisäämiseksi* [Text]. European Commission - European Commission.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/IP_23_3767

Euroopan komissio. (2023d, lokakuuta 9). *55-valmiuspaketin keskeiset osat valmiina* [Text]. European Commission - European Commission.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_23_4754

Euroopan komissio. (2024a). *Corporate sustainability reporting—European Commission*.

https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en

Euroopan komissio. (2024b). *EU Emissions Trading System (EU ETS)*.

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

- Euroopan komissio. (2024c). *Euroopan vihreän kehityksen ohjelman toteuttaminen—Euroopan komissio*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_fi
- Euroopan komissio. (2024d). *Global climate action—European Commission*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/global-climate-action_en
- Euroopan komissio. (2024e). *Reducing emissions from aviation*.
- Euroopan parlamentti. (2023). *CountEmissionsEU*.
- European Environment Agency. (2022). *Transport and environment report 2022: Digitalisation in the mobility system : challenges and opportunities*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/47438>
- Eurostat. (2023a). *Maritime freight and vessels statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Maritime_freight_and_vessels_statistics
- Eurostat. (2023b). *Railway freight transport statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_freight_transport_statistics
- Eurostat. (2023c). *Road freight transport statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_statistics
- Fancello, G., Vitiello, D. M., & Serra, P. (2023). Evaluating the Environmental Sustainability of an Intermodal Freight Logistic Chain Using the GLEC Framework. Teoksessa O. Gervasi, B. Murgante, A. M. A. C. Rocha, C. Garau, F. Scorza, Y. Karaca, & C. M. Torre (Toim.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops* (Vsk. 14110, ss. 563–576). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37123-3_39
- Fichert, F., Forsyth, P., Niemeier, H.-M., & German Aviation Research Society (Toim.). (2020). *Aviation and climate change: Economic perspectives on greenhouse gas reduction policies*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Finnlines. (2024). *Superstar technical details*. Finnlines. <https://www.finnlines.com/company/about-us/new-vessels/new-superstar-ships/superstar-technical-details/>

- Fowlie, M., Reguant, M., & Ryan, S. P. (2016). Market-Based Emissions Regulation and Industry Dynamics. *Journal of Political Economy*.
- Fuglestedt, J., Lund, M. T., Kallbekken, S., Samset, B. H., & Lee, D. S. (2023). A “greenhouse gas balance” for aviation in line with the Paris Agreement. *WIREs Climate Change*, 14(5), e839. <https://doi.org/10.1002/wcc.839>
- Garcia, B., Foerster, A., & Lin, J. (2021). Net Zero for the International Shipping Sector? An Analysis of the Implementation and Regulatory Challenges of the IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions. *Journal of Environmental Law*, 33(1), 85–112. <https://doi.org/10.1093/jel/eqaa014>
- GEODIS. (2024). *Carbon Calculator Form* | GEODIS. <https://geodis.com/logistics-carbon-calculator>
- Gialos, A., Zeimpekis, V., Madas, M., & Papageorgiou, K. (2022). Calculation and Assessment of CO₂e Emissions in Road Freight Transportation: A Greek Case Study. *Sustainability*, 14(17), 10724. <https://doi.org/10.3390/su141710724>
- Glover, J. L., Champion, D., Daniels, K. J., & Dainty, A. J. D. (2014). An Institutional Theory perspective on sustainable practices across the dairy supply chain. *International Journal of Production Economics*, 152, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.027>
- Green, J. F. (2010). Private Standards in the Climate Regime: The Greenhouse Gas Protocol. *Business and Politics*, 12(3), 1–37. <https://doi.org/10.2202/1469-3569.1318>
- Greenhouse Gas Protocol. (2015). *Calculation Tools and Guidance* | GHG Protocol. https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance#cross_sector_tools_id
- Grob, S., & Benn, S. (2014). Conceptualising the adoption of sustainable procurement: An institutional theory perspective. *Australasian Journal of Environmental Management*, 21(1), 11–21. <https://doi.org/10.1080/14486563.2013.878259>
- Gualandris, J., & Kalchschmidt, M. (2014). Customer pressure and innovativeness: Their role in sustainable supply chain management. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(2), 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2014.03.001>
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Dahl Öberg, J., & Vehabovic, A. (2021). Well-to-wheel greenhouse gas emissions of heavy-duty transports: Influence of electricity carbon intensity.

- Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93, 102757.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102757>
- Heinold, A. (2020). Comparing emission estimation models for rail freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102468.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102468>
- Held, D., & Roger, C. (2018). Three Models of Global Climate Governance: From Kyoto to Paris and Beyond. *Global Policy*, 9(4), 527–537. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12617>
- Huang, L., Liao, Q., Yan, J., Liang, Y., & Zhang, H. (2021). Carbon footprint of oil products pipeline transportation. *Science of The Total Environment*, 783, 146906.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146906>
- Huang, L., Wen, Y., Zhang, Y., Zhou, C., Zhang, F., & Yang, T. (2020). Dynamic calculation of ship exhaust emissions based on real-time AIS data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102277. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102277>
- Huber, S., Klauenberg, J., & Thaller, C. (2015). Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models. *European Transport Research Review*, 7(4), 32.
<https://doi.org/10.1007/s12544-015-0181-5>
- Hörandner, L., Egger, L.-M. P., & Beil, D. (2023). Calculating Emissions Along Multimodal Transport Chains—Standards, Difficulties and Problems. Teoksessa Y. Li, Y. Hu, P. Rigo, F. E. Lefler, & G. Zhao (Toim.), *Proceedings of PIANC Smart Rivers 2022* (Vsk. 264, ss. 1338–1341). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6138-0_117
- IATA. (2024). *Cargo CO2 Emissions Measurement*.
<https://www.iata.org/en/programs/cargo/sustainability/carbon-footprint/>
- IEA. (2023). *Aviation*. IEA. <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>
- Iken, N., & Aguessy, F.-X. (2022). Calculating the Greenhouse Gas Emissions of Flights: A Comparative Study of Existing Protocols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 952(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/952/1/012002>

- IMO. (2020). *Fourth IMO GHG Study 2020—Full report and annexes.pdf*.
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>
- Inês, A., Diniz, A., & Moreira, A. C. (2023). A review of greenwashing and supply chain management: Challenges ahead. *Cleaner Environmental Systems, 11*, 100136.
<https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100136>
- International Energy Agency. (2023). *Transport—Energy System*. IEA. <https://www.iea.org/energy-system/transport>
- ISO. (2023). *Greenhouse gases—Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations*.
- ISO. (2024). *ISO - About us*. ISO. <https://www.iso.org/about-us.html>
- Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J., & Stipa, T. (2012). Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmospheric Chemistry and Physics, 12*(5), 2641–2659.
<https://doi.org/10.5194/acp-12-2641-2012>
- Ji, H., & Tate, M. P. (2021). Spillover effects of central cities on sustainability efforts in a metropolitan area. *Policy Sciences, 54*(1), 95–121. <https://doi.org/10.1007/s11077-020-09411-1>
- Kari Lukka. (2014, toukokuuta 19). Kari Lukka: Konstruktiivinen tutkimusote. *METHODIX*.
<https://methodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>
- Kasperzak, R., Kureljusic, M., Reisch, L., & Thies, S. (2023). Accounting for Carbon Emissions—Current State of Sustainability Reporting Practice under the GHG Protocol. *Sustainability, 15*(2), 994. <https://doi.org/10.3390/su15020994>
- Kauppi, K. (2013). Extending the use of institutional theory in operations and supply chain management research: Review and research suggestions. *International Journal of Operations & Production Management, 33*(10), 1318–1345. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2011-0364>

- Kauppi, K., & Hannibal, C. (2017). Institutional pressures and sustainability assessment in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(5), 458–472.
<https://doi.org/10.1108/SCM-01-2017-0004>
- Kauppi, K., & Luzzini, D. (2022). Measuring institutional pressures in a supply chain context: Scale development and testing. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(7), 79–107. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2021-0169>
- Kellner, F. (2016). Allocating greenhouse gas emissions to shipments in road freight transportation: Suggestions for a global carbon accounting standard. *Energy Policy*, 98, 565–575.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.030>
- Kljaić, Z., Pavković, D., Cipek, M., Trstenjak, M., Mlinarić, T. J., & Nikšić, M. (2023). An Overview of Current Challenges and Emerging Technologies to Facilitate Increased Energy Efficiency, Safety, and Sustainability of Railway Transport. *Future Internet*, 15(11), 347.
<https://doi.org/10.3390/fi15110347>
- Kosi, U., & Relard, P. (2024). Are firms (getting) ready for the corporate sustainability reporting directive? *Sustainability Nexus Forum*, 32(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s00550-024-00541-1>
- Kuehne+Nagel. (2024). *How to calculate your carbon footprint—Finland*. Kuehne + Nagel.
<https://fi.kuehne-nagel.com/en/-/knowledge/carbon-footprint-calculator>
- Kumarasiri, J. (2017). Stakeholder pressure on carbon emissions: Strategies and the use of management accounting. *Australasian Journal of Environmental Management*, 24(4), 339–354. <https://doi.org/10.1080/14486563.2017.1350210>
- Lagouvardou, S., Psaraftis, H. N., & Zis, T. (2020). A Literature Survey on Market-Based Measures for the Decarbonization of Shipping. *Sustainability*, 12(10), 3953.
<https://doi.org/10.3390/su12103953>
- Lah, O. (2017). Continuity and Change: Dealing with Political Volatility to Advance Climate Change Mitigation Strategies—Examples from the Transport Sector. *Sustainability*, 9(6), 959.
<https://doi.org/10.3390/su9060959>
- Lindahl, H. (2015). ISOstandards and authoritative collective action: Conceptual and normative issues. Teoksessa P. Delimatsis (Toim.), *The Law, Economics and Politics of International*

- Standardisation* (1. p., ss. 42–57). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781316423240.003>
- Lindstad, H., & Eskeland, G. S. (2015). Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.006>
- Logistiikan Maailma. (2021). *Road Transport – Logistiikan Maailma*.
<https://www.logistiikanmaailma.fi/en/choosing-mode-of-transport/road-transport/>
- McKinsey. (2022). *Road freight global pathways report | McKinsey*.
<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/road-freight-global-pathways-report#/>
- Merien-Paul, R. H., Enshaei, H., & Jayasinghe, S. G. (2019). Effects of fuel-specific energy and operational demands on cost/emission estimates: A case study on heavy fuel-oil vs liquefied natural gas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 77–89.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.031>
- Merk, O. (2014). *Shipping Emissions in Ports*.
- Moldanova, J., Merelli, L., Langner, J., Jones, J., Leung, W., Ekstrand, H., & Ziverts, U. (2021). *Playing field for bio-jet fuels*.
- Neilimo, K., & Näsi, J. (1980). *Nomoteettinen tutkimusote ja suomalainen yrityksen taloustiede—Tutkimus positivismin soveltamisesta*.
- Network for Transport Measures. (2024). *NTMCalc 4.0*.
<https://www.transportmeasures.org/ntmcalc/v4/basic/index.html#/>
- Ng, P. M. L., Wut, T. M., Lit, K. K., & Cheung, C. T. Y. (2022). Drivers of corporate social responsibility and firm performance for sustainable development—An institutional theory approach. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(4), 871–886.
<https://doi.org/10.1002/csr.2241>
- OECD. (2022). *Air and GHG emissions*. OECD. <https://www.oecd.org/en/data/indicators/air-and-ghg-emissions.html>

- Onyebuchi, V. E., Kolios, A., Hanak, D. P., Biliyok, C., & Manovic, V. (2018). A systematic review of key challenges of CO₂ transport via pipelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 2563–2583. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.064>
- Pamucar, D., Ecer, F., & Deveci, M. (2021). Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology. *Science of The Total Environment*, *788*, 147763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763>
- Prpić-Oršić, J., Vettor, R., Faltinsen, O. M., & Guedes Soares, C. (2016). The influence of route choice and operating conditions on fuel consumption and CO₂ emission of ships. *Journal of Marine Science and Technology*, *21*(3), 434–457. <https://doi.org/10.1007/s00773-015-0367-5>
- Psarafitis, H. N., Zis, T., & Lagouvardou, S. (2021). A comparative evaluation of market based measures for shipping decarbonization. *Maritime Transport Research*, *2*, 100019. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100019>
- Pålsson, H., & Kovács, G. (2014). Reducing transportation emissions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *44*(4), 283–304. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-09-2012-0293>
- Ranganathan, J. (2004). *GHG Protocol Initiative Team*.
- REff Tool. (2024). *REff Tool*®. <https://reff.iml.fraunhofer.de/>
- Robaina, M., & Neves, A. (2021). Complete decomposition analysis of CO₂ emissions intensity in the transport sector in Europe. *Research in Transportation Economics*, *90*, 101074. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101074>
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th p.). Routledge. <https://www.routledge.com/The-Geography-of-Transport-Systems/Rodrigue/p/book/9780367364632>
- Rodrigue, J.-P., Slack, B., & Comtois, C. (2013). *The Geography of Transport Systems: Vsk. [3rd ed.]*. Routledge; eBook Collection (EBSCOhost). <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=611825&site=ehost-live&scope=site>

- Romera, B. M. (2016). The Paris Agreement and the Regulation of International Bunker Fuels. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 25(2), 215–227.
<https://doi.org/10.1111/reel.12170>
- Saharidis, G. K. D. (2018). Critical overview of emission calculation models in order to evaluate their potential use in estimation of Greenhouse Gas emissions from in port truck operations. *Journal of Cleaner Production*.
- Santos, G. (2017). Road transport and CO 2 emissions: What are the challenges? *Transport Policy*, 59, 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.06.007>
- Scheelhaase, J., Maertens, S., Grimme, W., & Jung, M. (2018). EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport’s CO 2 emissions by market-based measures. *Journal of Air Transport Management*, 67, 55–62.
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.11.007>
- Schramm, H.-J., & Lehner, M. (2024). Innovators and transformers: A benchmarking study of online carbon emission calculators for freight transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2023-0460>
- Scott, W. R. (2008). Approaching adulthood: The maturing of institutional theory. *Theory and Society*, 37(5), 427–442. <https://doi.org/10.1007/s11186-008-9067-z>
- Smart Freight Centre. (2023). *GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_13_12_23.pdf*. https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_13_12_23.pdf
- Smart Freight Centre. (2024). *Smart Freight Centre*. <https://www.smartfreightcentre.org/en/our-programs/global-logistics-emissions-council/calculate-report-glec-framework/>
- Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., & Töyli, J. (2023). *Logistiikkaselvitys 2023*.
- Solakivi, T., Paimander, A., & Ojala, L. (2022). Cost competitiveness of alternative maritime fuels in the new regulatory framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 113, 103500. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103500>

- Styhre, L., Winnes, H., Black, J., Lee, J., & Le-Griffin, H. (2017). Greenhouse gas emissions from ships in ports – Case studies in four continents. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *54*, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.033>
- Tan, K., Siddik, A. B., Sobhani, F. A., Hamayun, M., & Masukujjaman, M. (2022). Do Environmental Strategy and Awareness Improve Firms' Environmental and Financial Performance? The Role of Competitive Advantage. *Sustainability*, *14*(17), 10600. <https://doi.org/10.3390/su141710600>
- Taskar, B., & Andersen, P. (2020). Benefit of speed reduction for ships in different weather conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *85*, 102337. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102337>
- Tenuta, P., & Cambrea, D. R. (2022). *Corporate Sustainability: Measurement, Reporting and Effects on Firm Performance*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-11491-5>
- The UNFCCC secretariat. (2024). *What is the Kyoto Protocol?* | UNFCCC. https://unfccc.int/kyoto_protocol
- UIC, & CER. (2015). *Rail Transport and Environment-facts and figures.pdf*.
- United Nations. (2021). *Fact Sheet – Climate Change*. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/media_gstc/FACT_SHEET_Climate_Change.pdf
- US EPA, O. (2016, toukokuuta 10). *Latest Version of MOtor Vehicle Emission Simulator (MOVES) [Data and Tools]*. <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>
- Vieira, C. L. D. S., & Luna, M. M. M. (2016). MODELS AND METHODS FOR LOGISTICS HUB LOCATION: A REVIEW TOWARDS TRANSPORTATION NETWORKS DESIGN. *Pesquisa Operacional*, *36*(2), 375–397. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2016.036.02.0375>
- Wild, P. (2021). Recommendations for a future global CO₂-calculation standard for transport and logistics. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *100*, 103024. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103024>

- Wirth, D. (2017). The Paris Agreement as a New Component of the UN Climate Regime. *International Organisations Research Journal*, 12(4), 185–214.
<https://doi.org/10.17323/1996-7845-2017-04-185>
- Yamin, F. (1998). The Kyoto Protocol: Origins, Assessment and Future Challenges. *Review of European Community & International Environmental Law*, 7(2), 113–127.
<https://doi.org/10.1111/1467-9388.00138>
- Yang, M. G. (Mark), & Kang, M. (2020). An integrated framework of mimetic pressures, quality and environmental management, and firm performances. *Production Planning & Control*, 31(9), 709–722. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1681533>
- Yu, Y., Sun, R., Sun, Y., & Shu, Y. (2022). Integrated Carbon Emission Estimation Method and Energy Conservation Analysis: The Port of Los Angeles Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(6), 717. <https://doi.org/10.3390/jmse10060717>
- Yuan, M., Thellufsen, J. Z., Lund, H., & Liang, Y. (2021). The electrification of transportation in energy transition. *Energy*, 236, 121564. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121564>