

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

**RASKAAN LIIKENTEEN
KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN**

Reducing greenhouse gas emissions in heavy traffic

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI, Elisa Uusitalo

Lappeenrannassa 2.2.2020

Tuomas Anttilainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Tuomas Anttilainen

Raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Kandidaatintyö

2020

39 sivua, 4 taulukkoa, 2 kuvaa ja 5 liitettä

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI, Elisa Uusitalo

Hakusanat: kasvihuonekaasu, päästöt, raskas liikenne
Keywords: greenhouse gas, emissions, heavy traffic

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tunnistaa ratkaisuja raskaan liikenteen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen määrän vähentämiseen. Raskaana liikenteenä tässä työssä käsitellään maalla liikkuvista ajoneuvoista vain rekkoja sekä kuorma-autoja. Erilaiset bussit sekä linja-autot rajataan työn ulkopuolelle. Työssä tarkastellaan raskaan liikenteen suurimpia elinkaaren aikaisia päästölähteitä ja perehdytään erilaisiin keinoihin, joilla näiden lähteiden päästöjä voidaan vähentää. Vähennyskeinoina työssä tarkastellaan voimanlähteiden muutoksia, energiatehokkuuden parantamista sekä käytönaikaista optimointia. Vähennyskeinojen vaikutuksia vertaillaan case-vertailun avulla. Vertailussa tutkitaan, kuinka paljon erilaisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa yhden rekkayksikön päästöihin, kun se kuljettaa rahtinsa Tallinnasta Berliiniin. Lopun johtopäätöksissä ja yhteenvedossa käydään läpi vertailun tuloksia ja pohditaan, millä keinoilla raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä kannattaisi tulevaisuudessa lähteä vähentämään.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Tuomas Anttilainen

Reducing greenhouse gas emissions in heavy traffic

Reducing greenhouse gas emissions in heavy traffic

2020

39 pages, 4 tables, 2 charts and 5 appendices

Examiner: Assistant Professor, D.Sc. (Tech.), Ville Uusitalo

Instructor: Junior Researcher, M.Sc. (Tech.), Elisa Uusitalo

Keywords: greenhouse gas, emissions, heavy traffic

The main objective of this bachelor's thesis is to identify solutions in reducing greenhouse gas emissions in heavy traffic. In this thesis heavy traffic is narrowed down to large freight trucks and lorries. Different kind of buses are left out. The thesis examines the major greenhouse gas sources of a heavy traffic vehicles life cycle and explores ways to reduce emissions from these sources. Changes in power sources, improvement of energy efficiency and optimization of usage are considered as methods of emission reduction. These methods are compared with a case comparison. The comparison studies how different methods affect the emissions of a single truck unit when it transports its cargo from Tallinn to Berlin. The conclusions and summary will look at the results of the case comparison and look into the ways of reducing greenhouse gas emissions of heavy traffic in the future.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	5
1 JOHDANTO	6
2 RASKAAN LIIKENTEEN ELINKAAREN AIKAISET KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT	8
2.1 Ajoneuvojen valmistus ja käyttö	9
2.2 Polttoaineiden valmistus	9
2.3 Polttoaineiden käyttö.....	10
3 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN RASKAASSA LIIKENTEESSÄ	12
3.1 Vaihtoehtoiset voimanlähteet.....	12
3.1.1 Uusiutuva diesel	13
3.1.2 Biokaasu	14
3.1.3 Sähkö	16
3.2 Energiatehokkuus	17
3.3 Logistiikan tehostaminen	19
3.3.1 Reittien optimointi sekä henkilöstön osaaminen	19
3.3.2 Suunnittelu sekä muut tekijät	20
4 CASE: TALLINNASTA BERLIINIIN AJAVAN REKAN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT	22
4.1 Case, vertailun lähtötilanne	22
4.2 Case, vertailun tulokset	24
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	29
6 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	34

LIITTEET

Liite 1. Case–vertailun lähtötiedot

Liite 2. Täyttöasteen vaihtamiseen liittyvät laskukaavat ja lukuarvot

Liite 3. Vaihtoehtoisten voimanlähteiden tuotannon ja käytön päästöt

Liite 4. Tiedot energiatehokkuutta parantavista ratkaisuista

Liite 5. Case–vertailun tulokset

SYMBOLILUETTELO

Lyhenteet

APU	Auxiliary Power Unit, apuvoimayksikkö
EU	Euroopan unioni
LLR	Low Rolling Resistance, pyörimiskitkaa vähentävä
NACFE	North American Council for Freight Efficiency
TPS	Tyre Pressure Systems, rengaspaineen valvontajärjestelmä
YK	Yhdistyneet kansakunnat

Yksiköt

CO ₂ ekv	Hiilidioksidiekvivalentti
kg	Kilogramma
km	Kilometri
MJ	Megajoule
MWh	Megawattitunti
tkm	Tonnikilometri

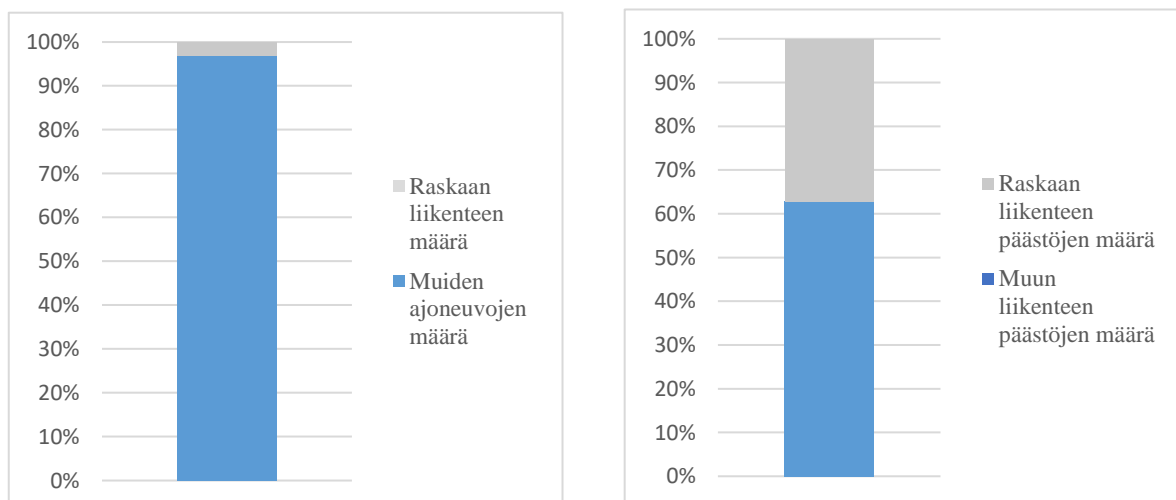
Alkuaineet ja yhdisteet

CO ₂	Hiilidioksidi
-----------------	---------------

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos on yksi suurimmista ihmiskunnan kohtaamista haasteista. Ihmiskunnan tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää on pystyttävä tulevaisuudessa rajoittamaan entistä enemmän kaikilla yhteiskunnan eri osa-alueilla. Eniten nykypäivän ilmastokeskustelua ohjaa vuonna 2016 ratifioitu Pariisin ilmastopöytäkirja, jonka päätavoitteina ovat ilmaston lämpenemisen rajaaminen 1,5 asteeseen, kasvihuonekaasupäästöjen huipun saavuttaminen mahdollisimman pian sekä kasvihuonekaasupäästöjen tuotannon lopettaminen pian vuoden 2050 jälkeen (Ilmasto-opas 2019a). Näiden tavoitteiden saavuttaminen tarkoittaa suuria päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla ja hiilineutraaliuteen siirtymistä seuraavien vuosikymmenien aikana.

Vuonna 2018 Suomessa tieliikennekäytössä oli yhteensä hieman yli 3,1 miljoonaa ajoneuvoa. Linja-autoja näistä oli 12 492 sekä kuorma-autoja 95 623 (VTT 2018a). Nämä ajoneuvot kuitenkin tuottivat yhteensä jopa 4,07 miljoonaa CO₂-ekvivalenttitonnia päästöjä (VTT 2018b). Tämä vastaa noin 7,3 prosentin osuutta Suomen kokonaispäästöistä (SVT 2017). Suomen ajoneuvokannasta raskasta liikennettä on noin 3,5 prosenttia. Kuitenkin sen päästöt vastaavat noin 37 prosenttia liikenteen kokonaispäästöistä, mitä havainnollistetaan kuvassa 1. (VTT 2018b.) Tämän takia erilaisilla muutoksilla raskaan liikenteen ajoneuvojen käyttämissä voimanlähteissä tai energiatehokkuudessa voi olla suuria vaikutuksia kokonaispäästöjen määrään.



Kuva 1. Raskaan liikenteen ajoneuvojen ja CO₂-ekvivalenttipäästöjen määrät

Suomessa muutamien kuntien paikallisliikenteestä vastaavat linja-autoyrietykset ovat siirtyneet käyttämään vaihtoehtoisia voimanlähteitä. Esimerkiksi Pohjolan liikenne ja Helsingin Seudun Liikenne ovat ottaneet pääkaupunkiseudulla käyttöön täyssähköbussuja (HSL 2019). Myös Lappeenrannassa Savonlinja Oy on ottanut käyttöön kaksi kaasubussia (Scania Suomi 2019). Kuitenkin muun raskaan liikenteen, kuten pitkän matkan ajoneuvojen, kuorma-autojen ja rekkojen, vaihtoehtoisten voimalähteiden käyttö on kuitenkin vähäisempää. Niiden käyttöönottoa rajoittavat korkea hankintahinta sekä lataus- ja tankkausasemien harvinaisuus (Parviainen 2019).

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on vähentää raskaan liikenteen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen määrää tarkastelemalla raskaan liikenteen suurimpia elinkaaren aikaisia päästölähteitä sekä perehtymällä erilaisiin keinoihin, joilla voidaan vähentää raskaan liikenteen ajoneuvojen käytön aikaisia päästöjä. Raskaana liikenteenä tässä työssä käsitellään maalla liikkuvista ajoneuvoista kuitenkin vain rekkoja sekä kuorma-autoja. Erilaiset bussit sekä linja-autot rajataan työn ulkopuolelle. Työn alussa perehdytään raskaan liikenteen elinkaaren vaiheiden päästöihin sekä käyttöaikaisiin vähennyskeinoihin, kuten vaihtoehtoisiin voimanlähteisiin ja käytön aikaiseen optimointiin, kirjallisuuden avulla. Vähennyskeinojen yhteiskäytön vaikutuksia käsitellään case-vertailun avulla. Vertailussa tutkitaan, kuinka paljon erilaisilla ratkaisuilla voidaan vaikuttaa yhden rekkayksikön päästöihin, kun se kuljettaa rahtinsa Tallinnasta Berliiniin. Lopun johtopäätöksissä ja yhteenvedossa käydään läpi vertailun tuloksia ja pohditaan, millä keinoilla raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä kannattaisi tulevaisuudessa lähteä vähentämään.

2 RASKAAN LIIKENTEEN ELINKAAREN AIKAISET KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Tässä kandidaatintyössä käsitellään kasvihuonekaasupäästöjä, joita raskaiden ajoneuvojen valmistus sekä niiden käyttämien polttoaineiden ja energian valmistus ja käyttö tuottavat. Kasvihuonekaasujen vähentämiskeinoja tutkittaessa työssä perehdytään enemmän käytönaikeisten päästöjen vähentämiseen vaihtoehtoisten polttoaineiden, energiatehokkuuden ja logistiikan tehostamisen avulla. Kasvihuonekaasuilla työssä tarkoitetaan CO₂-ekvivalenteiksi muunnettuja kasvihuonekaasuja. Hiilidioksidiekvivalentti on yksikkö, jonka avulla erilaiset kasvihuonekaasut voidaan yhteismitallistaa muuttamalla niiden arvot muunnetaan ekvivalenttiseksi hiilidioksidiksi lämmityspotentiaalikerroimen avulla (Ilmatieteenlaitos 2019a). Lämmityspotentiaalikerroin ilmaisee tietyn kasvihuonekaasupäästön aiheuttaman lämmitysvaikutuksen suhteellisen voimakkuuden hiilidioksidiin verrattuna tiettyä aikaväliä kohden (Ilmatieteenlaitos 2019b). Jotkin kaasut aiheuttavat ilmakehään suurempaa vaikutusta, kuten tulee esimerkiksi metaanin hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä laskettaessa niiden alkuperäinen määrä kertoa luvulla 25. Dityppioksidia laskettaessa määrä kerrotaan luvulla 298. (VTT 2019a.) Tämä yhden yksikön käyttö helpottaa vertailua sekä sen avulla arvojen yhteenlasku on mahdollista.

Erilaiset laajat tekijät, kuten esimerkiksi materiaalien tuotanto, malmin etsintä ja kuljetus ovat valmistusprosessin kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelussa käytetyssä Volvon tekemässä rekkojen päästökerroinlaskelmissa otettu huomioon. Näitä lukuja ei siis itse lähdetä laskemaan ja selvittämään, mutta ne ovat mukana laskennassa.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi raskaan liikenteen ajoneuvojen valmistusprosessin kasvihuonekaasupäästöjen määrää ja lähteitä. Tämän lisäksi perehdytään raskaan liikenteen nykypäivänä yleisesti polttoaineenaan käyttämän dieselin valmistuksen ja käytön kasvihuonekaasupäästöihin.

2.1 Ajoneuvojen valmistus ja käyttö

Volvo Trucksin kattavassa elinkaariarvioinnissa heidän rekkojensa elinkaari on jaettu kolmeen eri vaiheeseen: tuotantoon, käyttöön ja elinkaaren päätökseen eli kierrätysvaiheeseen. Tuotannon kokonaispäästöissä huomioidaan ajoneuvojen kokoamisen lisäksi raaka-aineiden louhinnan sekä kuljetuksen aiheuttamat päästöt. Laskelmien mukaan heidän nykyaikaisen eurooppalaiseen rahtiliikenteeseen suunnitellun rekan tuotantovaiheen päästöt ovat 20 000 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia. Energiaa tällaisen rekan valmistus kuluttaa 324 000 MJ. (Volvo Trucks 2019.)

Suurimmat päästöt tuotantovaiheessa muodostuvat materiaalin tuotannosta. Ajoneuvojen rungot rakennetaan suurimmaksi osaksi metalleista, kuten teräksestä ja alumiinista, sekä erilaisista muoveista. Louhintaprosessin räjäytykset, malmin käsittely, rikastaminen, liikenne ja työkoneet sekä kaivannaisjätteet aiheuttavat muutoksia kaivoksien läheisyydessä ilman laatuun, maaperään ja maisemaan. Näihin vaikutuksiin työssä ei kuitenkaan paneuduta, sillä työn painopisteenä on raskaan liikenteen ilmastonmuutosvaikutusten rajoittaminen. Louhinnan lisäksi valmistusvaiheessa päästöjä tuottaa osien valmistus ja kuljetus sekä autotehtaiden ylläpito. Koneiden käyttö, tilojen lämmitys ja valaistus sekä muu ylläpito kuluttavat vettä ja energiaa.

Tyypillisen rahtia kuljettavan rekan keskimääräinen elinkaaren pituus on 8 vuotta, jonka aika se ajaa 1 040 000 kilometriä (Rupp et al. 2018, 3). Valmistuksen päästöt ja kuluttama energia jaettuna elinkaaren ajalle ovat siis 0,01923 kgCO₂/km ja 0,31154 MJ/km. Tarkkoja arvoja hyödynnetään tulevassa case-esimerkissä.

2.2 Polttoaineiden valmistus

Raskas liikenne käyttää Euroopassa polttoaineenaan tyypillisesti dieseliä, jonka suurimmat kasvihuonepäästöt syntyvät polttovaiheessa, mutta luontaisesti myös sen jalostus- sekä poraamisprosessi tuottavat paljon päästöjä ja kuluttavat vettä sekä energiaa. Pääpäästölähteitä dieselin tuotannossa ovat raakaöljyesiintymien etsiminen, poraaminen, jalostaminen,

kuljettaminen ja jakelu (Euroopan komissio 2014, 19). Dieselöljy valmistusprosessissa raakaöljy kuumennetaan ensin 400 asteiseksi höyryksi ja ohjataan tislaustorniin. Höyryn nousussa tornissa se jäähtyy ja sen sisältämät hiilivedyt palautuvat takaisin nestemäiseen tilaan ja kerääntyvät tornissa oleville erilaisille tislauslevyille. Dieselöljyä levyille muodostuu höyryn ollessa 200–350 asteista. Näiltä levyiltä neste johdetaan pois dieselpolttoainesäiliöön. (Kendrick Oil Company 2015.)

Euroopan komission (2014) julkaiseman raportin mukaan Euroopassa raakaöljypohjaisten polttoaineiden keskimääräinen well to tank-periaatteella laskettujen kasvihuonepäästöjen määrä on arvioilta 15 gCO₂/MJ (Euroopan komissio 2014, 27). Tätä arvoa käytetään myös tässä työssä kuvaamaan dieselin tuotannon päästöjä. Well to tank-laskennassa keskitytään raakaöljyn tuotannon ja jalostuksen eri vaiheisiin eikä laskennassa huomioida polttoaineen käytön vaikutuksia. Raportissa arvon laskemiseksi analysoitiin esimerkiksi tuotannon ja tuotantolaitosten sekä markkinoille kuljettamisen ja jakelun kasvihuonekaasupäästöjä. Tutkimus toteaa raakaöljyn jalostamisen olevan eniten energiaa kuluttavin vaihe. Toiseksi kuluttavin vaihe on raakaöljyn tuotanto, jolla tarkoitetaan pumppaus- ja puhdistusprosessia. (Euroopan komissio 2014, 27.)

2.3 Polttoaineiden käyttö

Tässä kappaleessa esitellään eri tyyppisten raskaan liikenteen ajoneuvojen polttoaineen käytöstä johtuvaa energiankulutusta. Näitä arvoja käytetään myös myöhemmin case-vertailussa.

VTT:n Lipasto-tietokanta tarjoaa paljon tietoa raskaan liikenteen polttoaineen käytön erilaisten päästöjen määrästä sekä energiankulutuksesta. Tietokannassa kuorma-autojen tiedot ovat jaettu kategorioihin ajoneuvotyyppien sekä ajoneuvojen omamassojen perusteella. Kaikille ajoneuvoille arvot esitetään vielä erikseen katu- ja maantieajolle. Arvoja esitellään kahdessa eri muodossa, päästö/ajoneuvokilometri sekä päästö/tonnikilometri. Ajoneuvokilometrillä tarkoitetaan ajoneuvon ajamaa matkaa. Jälkimmäistä muotoa kutsutaan yksikköpäästöiksi, jotka lasketaan jakamalla päästöt tonnikilometreillä, jotka saadaan kertomalla ajettu matka kyydissä olevalla tonnimäärällä. (VTT 2019b)

Tässä työssä keskitytään puoliperävaunuyhdistelmien vuoden 2016 keskiarvoisiin kulutuksiin. Työssä puoliperävaunuyhdistelmällä tarkoitetaan yhdistelmää, jonka vetoautona toimii vetopöydällä varustettu kuorma-auto. Ajoneuvon vetopöydän päälle on kytketty puoliperävaunu. Puoliperävaunuyhdistelmiä kutsutaan yleensä rekoiksi sekä puoliperävaunusta käytetään nimitystä traileri. (Logistiikan maailma 2019.) Suurin osa Suomen rekoista on juuri perävaunuttomia puoliperävaunuyhdistelmiä (VTT 2018a). Rekan energiankulutus maantiejossa on tyhjänä 9,5 MJ/km ja täytenä, 25 tonnin kuormalla, 15 MJ/km. Tämä tuottaa vastaavasti 630 gCO₂ekv/km ja 962 gCO₂ekv/km. (VTT 2016a.) Katu- ja taajama-ajossa ajoneuvo kuluttaa tyhjänä 15 MJ/km ja täytenä 25 MJ/km. Hiilidioksidiekvivalenteja tämä tuottaa 965 gCO₂ekv/km ja 1662 gCO₂ekv/km. (VTT 2016b). Jo näistä arvoista huomataan, että ajonopeuden sekä kiihdytysten määrän vaikutus päästöihin sekä energiankulutukseen on suuri. Näihin arvoihin sekä muodostumiseen perehdytään enemmän case-vertailussa luvussa 4. Myös liikennesuoritteeseen eli kuorman täyttöasteen vaikutuksiin perehdytään enemmän luvussa 4.

3 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN RASKAASSA LIIKENTEESSÄ

Raskaan liikenteen päästöt ovat Euroopan unionin alueella kasvaneet vuoden 1990 tasosta 25 prosentilla. Suurimpana tekijänä on ollut rahtiliikenteen määrän kasvu. Vuoden 2019 alussa Euroopan parlamentti sai aikaan kaikkien aikojen ensimmäisen EU:n laajuisen raskaan liikenteen päästöjä rajoittavan säädöksen. Päätöksessä välitavoitteena on 15 prosentin vähennys raskaiden ajoneuvojen CO₂-päästöissä vuoteen 2025 mennessä ja päätavoitteena olisi laskea niitä 30 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Myöskin ajoneuvonvalmistajien tulisi taata vuoteen 2025 mennessä, että uusien raskaiden ajoneuvojen markkinoista vähintään 2 prosentin osuus olisi nolla- tai vähäpäästöisiä ajoneuvoja. (Euroopan parlamentti 2019a.)

Päästädirektiivien kiristyessä ympäri maailmaa on myös raskaan liikenteen pystyttävä alkamaan vähentämään päästöjään. Seuraavissa kappaleissa tutkitaan erilaisia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismenetelmiä. Ensin tutkitaan vaihtoehtoisten voimanlähteiden tuotantoa ja päästöjä. Vaihtoehtoisista voimanlähteistä työhön läpi käytäviksi valittiin vetykäsitteilyn avulla valmistettu uusiutuva diesel, biokaasusta valmistettu biometaani sekä sähkö. Tämän jälkeen tutkitaan käytönaikaista energiatehokkuutta parantavia tekijöitä, joilla voidaan saavuttaa säästöjä esimerkiksi polttoaineen kulutuksessa, joka edesauttaa kasvihuonekaasupäästöjen pienentämistä. Kappaleen lopuksi käydään läpi erilaisia logistiikan parannuskeinoja, joita esimerkiksi ovat reittisuunnittelu, täyttöasteen maksimointi sekä tyhjänä ajettujen kilometrien vähentäminen.

3.1 Vaihtoehtoiset voimanlähteet

Potentiaalisimmaksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeinoksi päästädirektiivien kiristyessä on nostettu siirtyminen vaihtoehtoisiin voimanlähteisiin. Vaikkakin vaihtoehtoisia voimanlähteitä on ollut kokeiluissa useissa kaupungeissa, käyttää raskas liikenne polttoaineenaan suurimmaksi osaksi fossiilisia polttoaineita, kuten dieseliä. Päästöjen pienennysmahdollisuudet ovat siis suuret.

3.1.1 Uusiutuva diesel

Tässä kappaleessa käydään läpi uusiutuvaa dieseliä, joka joissain asiayhteyksissä sekoitetaan perinteisen biodieselin kanssa keskenään. Eroja niiden väliltä löytyy esimerkiksi valmistusprosessista, laadusta ja puhtaudesta. (Neste Corporation 2016.) Tässä työssä päästöarvoina uusiutuvalla dieselille käytetään vetykäsittelylle öljylle saatavissa olevia arvoja. Vetykäsitelty öljy ja kasviöljy ovat käytännössä sama asia kuin uusiutuva diesel ja useissa yhteyksissä niitä käytetäänkin synonyymeinä. Vetykäsittely on kemiallinen prosessi, jossa puhdistettuihin raaka-aineisiin lisätään vetyä korkeassa lämpötilassa erilaisten sidosten muodostamiseksi ja aineen kemiallisen koostumuksen muuttamiseksi. Uusiutuva diesel on koostumukseltaan fossiilista dieseliä vastaava uusiutuva polttoaine, jonka suurin hyöty on siinä, että sitä voidaan käyttää laimentamattomana ilman, että ajoneuvojen dieselmoottoreita tai polttoaineen tankkausinfrastruktuuria tarvitsee muuttaa. (European Technology and Innovation Platform 2019.)

EU direktiivi 2018/2001 perehtyy tarkasti eri tavoin tuotettuihin uusiutuviin polttoaineisiin, niiden päästöihin ja käyttövarmuuteen tulevaisuudessa. Se esittelee vetykäsittelylle kasviöljyllekin monta eri raaka-ainetta, mutta tämän työn laskentaan raaka-aineiksi valitaan käytetty ruokaöljy ja renderöinnistä peräisin olevat eläinrasvat. Eläinrasvoista direktiivin arvot koskevat vain asetuksen (EY) 1069/2009 mukaisesti luokkaan 1 ja 2 kuuluvaksi raaka-aineeksi luokiteltuja, eläimistä saaduista sivutuotteista valmistettua biopolttoainetta, jonka renderöinnin osana olevan hygienisoinnin aiheuttamia päästöjä ei oteta huomioon direktiivissä. (EU 2018/2001, 166.) Nämä raaka-aineet valittiin sillä perusteella, että ne ovat tulevaisuudessa todennäköisesti yksiä parhaista vaihtoehdoista valmistaa uusiutuvaa dieseliä pienien päästöjensä ja saatavuutensa takia. Niiden käyttö vetykäsittelyn öljyn raaka-aineena on yleistä jo nykypäivänä.

Direktiivissä biopolttoaineiden ja bionesteiden tuotantoketjuun lasketaan erikseen kasvihuonekaasupäästöjen tyypillinen sekä oletusarvo viljelylle, jalostukselle sekä kuljetukselle ja jakelulle. Tässä työssä käytetään päästöille tyypillisiä arvoja. Tyypillisiä arvolla tarkoitetaan arviota tietyn biopolttoaineen tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöistä ja kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksistä (EU 2018/2001, 105). Käytetystä ruokaöljystä vetykäsitelty öljy

tuottaa 11,9 gCO₂ekv/MJ. Renderöinnistä peräisin olevista eläinrasvoista tuotettu vetykäsittely öljy tuottaa tyypillisesti 16,0 gCO₂ekv/MJ. (EU 2018/2001, 166.) Kummankin raaka-aineen vetykäsittelyprosessissa eniten päästöjä tuottaa jalostusvaihe. Ruokaöljyn jalostus tuottaa 10,2 gCO₂ekv/MJ ja eläinrasvojen 14,5 gCO₂ekv/MJ. (EU 2018/2001, 159.) Loput päästöt aiheutuvat kuljetuksesta ja jakelusta, sillä kummankaan raaka-aineen tuotantoketjuun ei sisälly viljelyvaihetta (EU 2018/2001, 157).

3.1.2 Biokaasu

Biokaasua valmistetaan ilmatiiwiissä biokaasureaktorissa, joiden sisällä mikrobit hajottavat eloperäistä ainetta anaerobisessa ympäristössä. Hajotuksen tuloksena syntyy runsaasti metaania sisältävää raakabiokaasua sekä käsittelyjäännettä, jota voidaan käyttää maanparanukseen. Raakabiokaasu sisältää tyypillisesti 60–65 prosenttisesti metaania ja 30–35 prosenttia hiilidioksidia. Se on palavaa kaasua ja sitä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan lämmön ja sähkön tuotantoon. Biokaasun käyttäminen liikenteen polttoaineena sellaisenaan ei kuitenkaan onnistu. Kaasun metaanipitoisuus tulee nostaa yli 95 prosenttiin poistamalla siitä sen sisältämä hiilidioksidi. Tätä prosessia kutsutaan jalostukseksi. Jalostusprosessissa kaasusta poistetaan myös muita epäpuhtauksia, kuten vesihöyryä, rikkiä, happea ja muita yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi korroosiota, syöpymistä tai leimahdusvaaraa prosessilaitteistossa. Jalostuksen jälkeen muodostunut kaasu vastaa koostumukseltaan maakaasua ja siitä käytetään nimeä biometaani. (Biokaasuauto.fi 2019.)

Tällä hetkellä käytetyimmät biokaasun jalostusmenetelmät Euroopassa ovat vesiabsorptio, paineenvaihteluadsorptio, kemiallinen absorptio, fysikaalinen absorptio ja membraanierotusjärjestelmä. Näistä yleisimmässä käytössä on vesiabsorptio, jota käytetään melkein 40 prosentissa biometaanin jalostuslaitoksista. Paineenvaihteluadsorptiota ja kemiallista absorptiota käytetään molempia noin 25 prosentissa laitoksista. Fysikaalinen absorptio ja membraanierotusjärjestelmät ovat vähiten käytössä olevia teknologioita, 6 ja 4 prosentin osuuksillaan. (Niesner et al. 2019, 518.)

Vesiabsorptiolla tarkoitetaan fysikaaliseen absorptioon perustuvaa prosessia, jossa käytetään vettä liuottimena hiilidioksidin erottamiseen biokaasusta. Veden käyttö menetelmässä liuottimena perustuu siihen, että hiilidioksidi liukenee huomattavasti helpommin veteen kuin metaani, varsinkin alhaisissa lämpötiloissa. Itse vesiabsorptioprosessi pakatussa absorptiopylväessä. Biokaasu johdetaan pylvään alaosaan ja vastaavasti vesi pumpataan sen yläosaan, josta se valuu alaspäin. Tämä saa aikaan vastavirtauksen, jonka avulla aineet liikkuvat pylväessä. Prosessin lopussa biometaanin poistuu pylvästä yläkautta ja hiilidioksidilla kyllästetty vesi poistuu alhaalta. Yksi suurista menetelmän eduista on se, että samaa vesimassaa voidaan haluttaessa kierrättää systeemissä. Veteen sitoutunut hiilidioksidi vapautuu paineen laskulla, jonka jälkeen vesi voidaan paineistaa heti uudelleen ja palauttaa takaisin kierto. Vesiabsorptiossa on myös mahdollista poistaa pieniä määriä rikkivetyä hiilidioksidin ohella, joten sen esikäsittely ei ole pakollista, kuten useissa muissa menetelmissä. (Niesner et al. 2019, 518.)

Kemiallinen absorptio toimii hyvin samalla tavalla kuin vesiabsorptio. Menetelmässä liukeneminen tapahtuu veden sijaan johonkin muuhun aineeseen. Yleisiä liuotinaiteita ovat mono- ja dietanoliamiini sekä diglykoliamiini. Kemiallisen absorptio haittapuolena on sen suuri energian- ja lämmönkulutus sekä liuotinaiteiden korkea hinta. Myös rikkivedyn esikäsittely on suositeltavaa. (Niesner et al. 2019, 518.) Paineenvaihteluadsorptiossa käytetään hyväksi biokaasun sisältämien eri yhdisteiden molekyylien kokoeroa. Biokaasu ohjataan paineistettuna adsorptiomateriaaleja kohti, joka erottaa toisistaan eri molekyylikoon omaavat aineet. Yleensä materiaalina käytetään aktiivihiiltä tai zeoliittia. Adsorptio suoritetaan useamman kerran eri paineilla, jolloin biokaasusta saadaan erotettua hiilidioksidi, typpi ja happi. Rikkivety ja vesi ovat adsorptiomenetelmälaitteistolle hyvin haitallisia, sillä ne yleensä jäävät adsorptiomateriaaliin kiinni liiankin hyvin, eikä niitä saada enää siitä irti mikä johtaa materiaalin hukkaan menemiseen. (Niesner et al. 2019, 519.)

Direktiivi 2018/2001 tarjoaa myös kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksien arvoja eri tavoin valmistetulle liikennekäyttöön suunnitellulle biometaanille. Direktiivi esittää arvot maissista, lannasta sekä biojätteestä valmistetulle biometaanille. Työhön valittiin biojätteestä suljetussa mädätyssäiliössä tuotettu biometaanin, jonka tuotannossa on mukana myös poistokaasun poltto päästöjen vähentämiseksi. Tämä tapa valittiin pienten päästöjen sekä sen

vuoksi, että se on realistinen tapa tuottaa biometaaniam Suomessa. Tällä tavalla tuotettu biometaaniam tuottaa 13,2 gCO₂ekv/MJ (EU 2018/2001, 178). Case-vertailun laskennassa oletetaan ajoneuvojen kuluttavan saman verran energiaa käytettäessä kaasua ja dieseliä. Kuitenkin todellisuudessa eri moottoreiden ja polttoaineiden energiatehokkuuksien välillä voi olla eroja.

3.1.3 Sähkö

Raskaan liikenteen sähköistymispotentiaali riippuu käytettävästä liikennemuodosta ja matkan pituudesta. Esimerkiksi kaupunkiajoon suunnitellut jakeluautot ja linja-autot ovat erinomainen sähköistymiskohde. Ne ajavat suhteellisen lyhyitä ennakolta suunniteltuja reittejä, joiden varsille voidaan rakentaa aikataulujen ja muun datan perusteella tehokkaasti optimoitu infrastruktuuria, kuten latausasemia. Kuorma-auto sekä pitkän matkan linja-auto liikenne ovat kuitenkin luonteeltaan haastavampia. Matkan pituus ja rekkaliikenteessä liikuteltavat suuret massat asettavat enemmän vaatimuksia esimerkiksi tehokkaalle sähkön varastoinnille ja latausasemien paikkojen valinnoille.

Sähkömoottoreiden hyötysuhteet ovat hyvin korkeita. Ruuhkattomissa moottoritieolosuhteissa sähkömoottoreista renkaisiin saadaan välitettyä energiaa 85 prosentin hyötysuhteella. Polttomoottoreilla vastaava hyötysuhde on 30 prosenttia. Voimansiirtohäviöt sähkömoottoreilla ovat siis hyvin pienet. Ne myös muuttavat akkujen sisältämän kemiallisen energian työkseen hyvin suurella hyötysuhteella, noin 85–95 prosenttisesti. (Cazzola et al. 2017, 94.) Myös hybridisaatiolla, eli polttomoottorin ohessa toimivan sähkömoottorilla, on monia samanlaisia etuja. Jarrutuksissa hävitty liike-energia voidaan varastoida akkuihin ja käyttää ajoneuvon sähkölaitteiden voimanlähteenä tai kiihdytyksissä tuottamassa lisävääntöä. (Meszler et al. 2019, 8.) Hybriditeknologia on tällä hetkellä kehittymässä nopeasti, kuitenkin näiden hybridiratkaisujen käyttö pitkän matkan raskaassa liikenteessä ei ole yleistä, eikä niitä oteta tämän vertailuun mukaan (Cottrill 2019). Sähköajoneuvojen valmistuksen katsotaan työssä vastaavan normaalin rekan päästöjä, mutta tuotantoon tulee lisäksi myös akun tuotannon aiheuttamat päästöt. Puoliperävaunun 25 tonnin kantaman omaavan pitkän matkan rekan akun kapasiteetti on 200 kWh (Aplyn 2019). Akun tuotannossa syntyy 56

kg CO₂ekv/kWh (ICCT 2018, 3). Tämän arvon avulla laskettuna akun tuottaminen tuottaa 11 200 kg CO₂-ekvivalenttia.

Suomessa sähköä tuotetaan hajautetusti useasta eri energianlähteestä, usealla eri tuotantomuodolla. Vuonna 2018 Suomessa tuotetusta sähköstä 47 prosenttia oli peräisin uusituvista lähteistä. 79 prosenttia energianlähteistä toimi hiilineutraalisti. Tärkeimmät Suomen sähköntuotannon energialähteet ovat ydin- ja vesivoima, kivihiili, maakaasu sekä erilaiset puupolttoaineet. (Energiateollisuus 2019.) Motivan mukaan keskimääräinen Suomen sähköntuotannon päästökerroin viiden vuoden liukuvana keskiarvona laskettuna on 158 kgCO₂/MWh. Tämän luvun lähteenä Motivassa on käytetty Tilastokeskuksen tilastovuotta 2017. Luku on myös päivitetty 20.5.2019. (Motiva 2019a.) Sähkörekan oletetaan kuluttavan ajon aikana virtaa 1,44 kWh/km. Tämä arvo on laskettu vähemmän aerodynaamiselle eurooppalaiselle ajoneuvolle, joka matkustaa 90 km/h (Earl et al. 2018, 9).

3.2 Energiatehokkuus

Kappaleessa käydään läpi erilaisia raskaan liikenteen käytönaikaista energiatehokkuutta parantavia ratkaisuja. Ilmanvastusta vähentävät ratkaisut, kuten erilaiset sivu- ja takalevyt, ovat yleistyneet ympäri maailman ja tulevat varmasti lisääntymään Euroopassa EU:n päivittäessään lainsäädäntöään, joka sallii aiempaa aerodynaamisemmat ohjaamot Euroopassa käytettävissä rekoissa (Transport environment 2019). Raskaan liikenteen energiatehokkuutta voidaan pyrkiä parantamaan myös esimerkiksi erilaisilla renkailla tai moottoriin liittyvillä suunnitteluratkaisuilla.

Useilla erilaisilla komponenteilla voidaan parantaa ajoneuvojen virtaviivaisuutta sekä vähentää ilmanvastuksen vaikutusta. Komponenteilla päästään ajoneuvon tyyppin mukaan 0,5–3 prosentin vähennyksiin polttoineen kulutuksessa (Cazzola et al. 2017, 74). Erilaisilla rekan vaunujen sivuille ja perään asennetuilla lipoilla, roiskeläpillä, aerodynaamisemmilla ohjaamoilla sekä keulaan, sivupeileihin, konepeltiin tai katolle asennetuilla ilmaa paremmin ohjaavilla levyillä tai rei'illä voidaan vähentää ilmanvastusta tehokkaasti. Ilmanvastus on suuressa asemassa pitkän matkan raskaissa kuljetuksissa, sillä ilmanvastus kasvaa aina nopeu-

den neliöstä riippuvaisesti (Hall 2015). Moottoritienopeuksissa suurin osa moottorin veto-voimasta kuluu ilmanvastuksen kumoamiseen. Kaukoliikenteen lisäksi aerodynaamiset parannukset voivat tuottaa eniten polttoainesäästöjä alueellisen tavarantoimituksen puolella ja se on myös hyvin kustannustehokas tapa vähentää kaupunkikäyttöön suunniteltujen huolto- ja kuljetusajoneuvojen polttoainekustannuksia (Cazzola et al. 2017, 75). Ilmanvastuksen vaikutusta vähentävien komponenttien jälkiasennus ja myynti on kasvattanut suosiotaan Pohjois-Amerikassa nopeasti, 83 prosenttia NACFE:n vuotuisen kyselyraporttiin vastanneista käytti rekoissaan erilaisia sivuhelmoja tai muita, esimerkiksi perään, asennettuja aerodynaamiikkaa parantavia komponentteja (Mullaney et al. 2016, 14). Euroopassa tällaiset komponentit eivät ole kovinkaan yleisessä käytössä. Vuonna 2015 Euroopassa myydyistä uusien rekkojen perävaunuista vain 10 prosenttiin oli asennettu aerodynaamiikkaa parantavia sivuhelmoja, kun taas vastaava luku Yhdysvalloissa oli 40 prosenttia. (Rodriguez et al. 2017, 16.)

Pyörimiskitkaa vähentävät (Low Rolling Resistance, LRR) renkaat sekä renkaan painetta valvovat systeemit (Tyre Pressure Systems, TPS) vähentävät polttoaineen kulutusta. Polttoaineen kulutuksen vähentämispotentiaali näillä tavoilla on noin 0,5–12 prosenttia. Pelkästään TPS:n avulla päästään 0,5–2 prosentin vähennyksiin. (Cazzola et al. 2017, 74.) Uudesta teknologiasta ei ole kyse, sillä LRR-renkaiden markkinajohtaja Michelin on tuottanut ja kehittänyt LRR-renkaiden X One-linjastoaan jo vuodesta 2000 lähtien. Michelinin mukaan heidän tuottamillaan LRR-renkailla päästään 4–10 prosentin vähennyksiin polttoaineen kulutuksessa. (Michelin 2019.)

Tyhjäkäynnin tarvetta vähentävät teknologiat voivat saada aikaan parhaimmillaan 2,5 prosentin vähennyksen polttoaineen käytössä (Cazzola et al. 2017, 74). Ajoneuvoon voi asentaa akun sekä sitä ajon aikana lataavan generaattorin tai erillisen voimanlähteen, kuten APU-yksikön (Auxiliary Power Unit). Näiden avulla auton moottori voisi olla sammuksissa pidempien pysähdyksien aikana ilman, että sen toiminnot, kuten valot tai tuuletus, pysähtyvät. Tavarankuljetuksessa ja muussa pitkän matkan ajossa tällaisista laitteista on hyötyä, sillä tyhjäkäynnin lämmitys ja sähköntuotto tarkoituksissa arvioidaan vastaavan noin 2,5 prosenttia raskaan liikenteen polttoainekulutuksesta (Cazzola et al. 2017, 77). Kuitenkaan henkilöautoissa paljon yleistynyt start/stop-teknologia, joka mahdollistaa moottorin sammumisen

lyhyiden pysähdysten aikana, ei ole tullut osaksi raskaita ajoneuvoja. Syynä tähän on se, että pitkän matkan ajossa järjestelmästä saatava hyöty on hyvin marginaalinen ja kaupunkiajossa useiden pysähtymisten ja suuren ajomäärän vuoksi tällaisen järjestelmän asentaminen tuo mukanaan riskin, että järjestelmä hajoaa ennenaikaisesti, mikä voi aiheuttaa moottorissa suuriakin vaurioita. (Windover et al. 2015, 10–12.)

Vaihteiston muuttamisella manuaalisesta automaattiseksi voisi vähentää polttoaineen kulu- tusta 1–8 prosenttia ajoneuvotyypin mukaan. Automaattivaihteistosta on eniten hyötyä kau- punkiympäristössä ja lyhyen matkan ajossa, jossa tapahtuu enemmän lyhyitä kiihdytyksiä sekä pysähtymisiä. Vaihteiston optimoinnilla ja voimansiirron päivittämisellä voidaan päästä 0,5–2,5 prosentin vähennyksiin. (Cazzola et al. 2017, 74.)

3.3 Logistiikan tehostaminen

Yksinkertaisimpana polttoainepäästöjen vähennyskeinona voidaan pitää ajoreittien lyhentä- mistä. Kuitenkin on myös tärkeää, että kuljettajat osaavat ajaa reitit mahdollisimman talou- dellisesti. Tätä voidaan hyvin edesauttaa parantamalla kuljettajien ja henkilöstön osaamista perehdytyksillä ja koulutuksella. Kasviuonekaasupäästöihin voidaan vaikuttaa myös erilai- sella suunnittelulla, millä voidaan oikein toteutettuna vähentää kuljetusyritysten päästöjä nyt ja myös tulevaisuudessa.

3.3.1 Reittien optimointi sekä henkilöstön osaaminen

Polttoaineen polttamisesta syntyvien kasviuonepäästöjen määrää voidaan vähentää ajoreit- tejä ja ajoneuvojen täyttöastetta optimoimalla sekä parantamalla kuljettajien ja henkilöstön osaamista perehdytyksillä ja koulutuksella.

Tavaran kuljettamista sekä muuta ennalta määräämättömän reitin ajoa helpottamaan on markkinoilla saavilla useita, yleensä GPS:ään perustuvia, ohjelmistoja ja laitteita, jotka an- tavat tietoa kuljettajille lyhyimmästä reitistä, liikenneruuhkista sekä -onnettomuuksista re- aaliajassa. Näiden tietojen avulla kuljettajat saavat muodostettua paremman kokonaiskuvan

tulevasta reitistä, ja voivat halutessaan tehdä muutoksia siihen saadun informaation perusteella. Tavarankuljetuksessa on hyvä pyrkiä luomaan reitistä sellainen, jossa painavimmat kuormat puretaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, kuitenkin samalla pitämällä reitin pituuden silti minimissä. Optimoimalla reittiä voidaan vähentää ajokilometrejä jopa 10–15 prosenttia (Motiva 2019b).

Myös henkilöstön ajotavat vaikuttavat ajoneuvon polttoainekulutukseen. Ennakoivan ja taloudellisen ajotavan koulutus on kustannustehokas tapa pienentää ajoneuvojen käytönaikeisia päästöjä. Myös kuljettajaa avustavat järjestelmät, kuten ennakoiva vakionopeuden säädin sekä polttoaineen kulutusmittari, auttavat kuljettajia ajamaan energiatehokkaammin. Ennakoivalla ajamisella voidaan saavuttaa 4 prosentin vähennys polttoaineen kulutuksessa raskaan liikenteen kuljetuksissa (Motiva 2019c). Suurin potentiaali päästö- ja polttoainevähennyksiin ajotavoilla on pitkän matkan kuljetuksissa, jossa molemmat ovat 9 prosenttia. Myös kaupunkiympäristössä polttoaineen kulutusta voidaan ajotavoilla leikata 5 prosentilla. (Cazzola et al. 2017, 62.)

3.3.2 Suunnittelu sekä muut tekijät

Pitkän aikavälin, 5–10 vuotta, strategisella suunnittelulla kuljetusyritysten tulevaisuuden päästöjä saadaan rajattua etukäteen. Aikooko yritys omistaa erilaisia varastoja tai varikkoja, sekä missä ne sijaitsevat? Niiden järkevällä sijoittelulla voidaan vähentää tyhjinä ajettujen kilometrien määrää. Päästöpolitiikan ja vaihtoehtoisten voimanlähteiden tulevaisuuden näkymiin perehtymisellä voidaan edistää yrityksen saamia verohyötyjä tai vähentää polttoainekustannuksia. Seuraavan 5 vuoden suunnitelmissa voidaan panostaa enemmän työskenteilyn optimointiin ja henkilöstön koulutusohjelmiin. Kuljetusten optimointi vaihtuvien kustannuksien, aikataulun sekä kapasiteetin perusteella tuottaa ympäristöystävällisyyden lisäksi taloudellista etua. Operatiivinen suunnittelu pureutuu sitten reittisuunnitteluun, täyttöasteen maksimointiin sekä tyhjänä ajettujen kilometrien vähentämiseen päivittäisellä tasolla.

Muut suurimmat logistiikkaa parantavat tekijät ovat tavarankuljetuksessa käytettävien ajoneuvojen täyttöasteen parantaminen sekä niiden tyhjänä ajamisen määrän vähentäminen. Nykypäivänä asiakkaiden tarpeet ohjaavat erien kokoja yhä pienemmiksi ja oletusarvona on

paketin saapuminen vain parin päivän kuluessa. Useat tekijät ovat siis ristiriidassa optimoinnin kanssa. Esimerkiksi Isossa-Britanniassa sekä Yhdysvalloissa suuret vakiintuneet kuljetusyrietykset tekevät yhteistyötä pienten kuljetusmäärien vähentämiseksi (Cazzola et al. 2017, 62). Suomessa internetkauppojen tavaroita kuljetetaan pitkän matkan bussilinjojen mukana, mikä vähentää tarvittavien paketinkuljetus ajoneuvojen määrää ja myös tuo linja-auto yritykselle lisätuloja.

Termillä backhauling tarkoitetaan matkaa, jonka rahtiajoneuvo ajaa reittinsä päätteeksi päästäkseen takasin lähtöpisteeseensä tai johonkin muuhun haluamaansa kohteeseen. Tätä paluumatkaa kuitenkin voidaan myös hyödyntää ja käyttää lisätavaran kuljetukseen, jonka kuljettaja on noutanut esimerkiksi lenkin loppupuolella. Vaikkakin ajoneuvojen tyhjänä ajamiselta ei voi koskaan kokonaan välttyä, ovat useat yritykset ryhtyneet lisäämään erilaisia keinoja tyhjänä ajettujen kilometrien vähentämiseksi. NACFE:n vuonna 2016 teettämän kyselyraportin mukaan 90 prosenttia Yhdysvalloissa niin alueellista kuin kaukoliikennettä harjoittavista yrityksistä mainitsee paluumatkojen hyötykäytön yleisenä käytäntönään (Mullaney et al. 2016, 15). Kuitenkin Euroopan unionin alueella ja Yhdysvalloissa vielä noin 25–30 prosenttia kilometreistä ajetaan tyhjänä (Cazzola et al. 2017, 63). Aikarajoitteita pidetään suurimpana paluumatkojen hyödyntämisen esteenä, joten aikataulun löysääminen olisi tehokas tapa edistää käytäntöä. Paluumatkoja hyödyntämällä saadaan vähennyttä ajettuja kilometrejä noin 2 prosentilla (Greening et al. 2015, 15).

4 CASE: TALLINNASTA BERLIINIIN AJAVAN REKAN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan erilaisten raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismenetelmien vaikutuksia case-vertailun avulla. Tässä luvussa vertaillaan erilaisia voimanlähteitä käyttävien rekkojen päästöjä niiden kuljettaessa rahtinsa Tallinnan satamasta Berliinin nykyiselle pää lentoasemalle, Tegelin lentoasemalle. Matka on pituudeltaan 1 568 kilometriä (Google 2019). Matkan koetaan kuvastavan hyvin eurooppalaisen pitkän matkan rahtikuljetuksen pituutta sekä se ei myöskään sisällä laiva- tai lossikuljetuksia, joiden päästöihin työssä ei perehdytä. Työn laskentaa varten arvioidaan matkan sisältävän 80 prosenttisesti valtatieajoa ja 20 prosenttisesti katu- sekä taajama-ajoa.

4.1 Case, vertailun lähtötilanne

Vertailun lähtötilanteen ajoneuvoksi valitaan jo kappaleessa 2.3 esitelty puoliperävaunuyhdistelmä. Tällainen ajoneuvo edustaa tyypillistä nykyaikaista eurooppalaista rahtiajoneuvoa. Yhdistelmän kantavuus on 25 tonnia ja täyttöasteen ajatellaan aluksi olevan 100 prosenttia. Täyttöasteen vaihtelun vaikutuksiin perehdytään kappaleessa 4.2. Polttoaineenaan ajoneuvo käyttää öljypohjaista dieseliä, jonka valmistuksen päästökertoimenä käytetään kappaleessa 2.2 esitettyä arvoa. Energiakulutuksen ja polttoaineen polttamisen arvoina käytetään kappaleessa 2.3 VTT:n Lipasto tietokannasta läpikäytyjä lukuja. Myös valmistuksen tuottamat päästöt otetaan mukaan suhteuttamalla elinkaaren ajalle, kappaleen 2.1 osoittamalla tavalla. Näillä arvoilla lähtötilanteelle lasketaan matkan kokonaispäästöt hiilidioksidiekvivalenteina. Nämä lähtötiedot on koottu alla olevaan taulukkoon 1. Lukuja ja laskutoimituksia esitellään tarkemmin vielä liitteessä 1.

Taulukko 1. Case-vertailun lähtötilanne

Vertailun lähtötilanne	
Matkan pituus [km]	1568
Maantieajo [km]	1254,4
Katu- ja taajama-ajo [km]	313,6
Ajoneuvojen valmistuksen päästöt [kg CO ₂ ekv/km]	0,01923
Ajoneuvojen valmistuksen päästöt matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	30,15
Polttoaineen tuotannon päästökerroin [gCO ₂ /MJ]	15
Energiankulutus maantieajossa [MJ/km]	18
Energiankulutus taajama-ajossa [MJ/km]	33
Polttoaineen tuotannon päästöt yhteensä matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	493,920
Polttoaineen kulutuksen päästöt maantieajossa [kg CO ₂ ekv/km]	0,965
Polttoaineen kulutuksen päästöt taajama-ajossa [kg CO ₂ ekv/km]	1,662
Polttoaineen kulutuksen päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	1731,70
Kokonaispäästöt [kg CO ₂ ekv.]	2255,77

Kuten taulukosta nähdään, ovat ajoneuvon valmistuksen päästöt vain pieni osa päästöistä. Polttoaineena käytettävän dieselöljyn tuotannon päästöt taasen vastaavat noin yhtä viidesosaa matkan aikaisista päästöistä. Polttoaineen kulutus eli sen palaminen tuottaa suurimman osan päästöistä, noin 75 prosenttia. Uusiutuvilla voimanlähteillä saadaan päästöjen määrää vähennettyä suuresti, sillä niiden käytön ei katsota tuottavan päästöjä.

Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan voimanlähteen muutoksien sekä erilaisten energiatehokkuutta ja optimointia parantavien menetelmien vaikutuksia käytönaikaisiin päästöihin. Vertailussa eri voimanlähteiden ajatellaan moottorien teknisistä eroavaisuuksistaan huolimatta kuluttavan saman verran energiaa kuin öljypohjaista dieseliä käyttävä rekka. Ainoana poikkeuksena sähkörekka, joka kuluttaa 1,44 kWh/km, kuten jo kappaleessa 3.1.3 todettiin (Earl et al. 2018, 9). Vertailussa myös lasketaan kuinka paljon täyttöasteen muuttaminen vaikuttaa ajoneuvon yksikkökohtaisiin päästöihin.

4.2 Case, vertailun tulokset

Ensimmäisenä vertailussa tarkastellaan täyttöasteen vaihtelun vaikutuksia ajoneuvon yksikkökohtaisiin päästöihin. Lähtötilanteen yksikkökohtaiset päästöt saadaan laskettua kertomalla yksikköpäästökertoimen arvot kuljetussuoritteiden arvolla. Laskutoimituksia esitellään enemmän liitteessä 2. Täyttöasteen vaikutusta yksikkökohtaisiin päästöihin havainnollistetaan alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Täyttöasteen vaikutus lähtötilanteen ajoneuvon yksikkökohtaisiin päästöihin

Täyttöaste	Päästö tonni-kilometriä kohden [gCO ₂ /tkm]	%
100 % täyttöaste	1555,14	100
90 % täyttöaste	1664,43	107
80 % täyttöaste	1801,04	116
70 % täyttöaste	1976,69	127
60 % täyttöaste	2210,88	142
50 % täyttöaste	2538,75	163

Kuten taulukosta nähdään, yksikkökohtaiset päästöt kasvavat täyttöastetta pienennettäessä. Suurella täyttöasteella polttoaineen tuottama energia jakautuu suuremmalle tavaramäärälle ja energia saadaan kulutettua tehokkaammin. Myös kuormaa saadaan kuljetettua suurempi määrä yhdellä kerralla, millä voidaan vähentää lisäkuljetusten tarvetta. Todellisessa tilanteessa ajoneuvon energiankulutus olisi todennäköisesti hieman pienempi kuorman massaa pienennettäessä, mutta laskuissa tätä ilmiötä ei huomioida. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta täyttöasteen kasvattamisen olevan tehokas tapa vähentää raskaan liikenteen yksikkökohtaisia päästöjä.

Seuraavaksi tutkitaan vaihtoehtoisten voimanlähteiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Laskennassa uusiutuvan dieselin sekä biometaanin polttamisen ajatellaan olevan päästötöntä. Tämä perustuu hiilen kierron periaatteeseen, jonka mukaan hiili kiertää luonnossa koko ajan eri systeemien välillä (Ilmasto-opas 2019b). Luonnollisesti myös sähkön

ajoneuvon käytön ei ajatella tuottavan kasvihuonekaasupäästöjä. Voimanlähteiden päästö-kertoimilla on laskettu matkalla kulutettua energiaa vastaavien voimanlähteiden valmistuk-sen päästöt. Käytön ollessa päästötöntä, vastaavat nämä arvot uusiutuvien voimanlähteiden päästöjen kokonaismäärää. Näitä päästöjen arvoja on koottu taulukkoon 3. Taulukossa tu-lokset esitetään hiilidioksidiekvivalentteina sekä myös suhteena fossiiliseen dieselöljyyn.

Taulukko 3. Case-vertailun matkan energiankulutuksen perusteella lasketut voimanlähteiden tuotannon pääs-töt yhteensä ja suhteessa dieselöljyyn

Voimanlähde	[kgCO ₂ ekv]	[%]
Dieselöljy	493,920	100
Uusiutuva diesel, vetykäsitellyistä eläinrasvoista	526,848	106,66
Uusiutuva diesel, vetykäsitellystä ruokaöljystä	391,843	79,33
Biometaani	434,650	88,00
Sähkö	356,751	72,23

Kuten taulukosta nähdään, melkein kaikkien vaihtoehtoisten voimanlähteiden tuotantopro-cessit vähemmän päästöjä kuin fossiilinen vastine. Vaikka renderöidyistä eläinrasvoista tuo-tetun uusiutuvan dieselin tuotantoprosessi tuottaakin hieman enemmän päästöjä kuin diesel-öljyn, ovat matkan kokonaispäästöt ovat kuitenkin pienemmät kuin dieselöljyllä, sillä sen käyttö ei tuota päästöjä.

Voimanlähteiden muutosten lisäksi kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää käytettä-vissä olevilla energiatehokkuuden parantamiskeinoilla, joita käytiin läpi kappaleissa 3.2 ja 3.3. Vertailun ajoneuvon energiankulutuksen parantamiskeinoiksi valittiin virtaviivaisuutta parantavat ratkaisut, kuten sivu- ja päätylevy, LRR-renkaat, akku-generaattoriyhdistelmät, joilla vähennetään tyhjäkäynnin määrää, ja kuljettajien koulutus. Näillä optimointimenet-millä voidaan energiankulutusta vähentää 27,5 prosentilla. Valitut optimoinnin arvot ovat vain suuntaa antavia, todellisuudessa optimoinnin vaikutukset ovat todennäköisesti keski-määräisesti pienemmät, mutta kuitenkin laskentaa varten työhön valittiin suurimmat mah-dolliset energiankulutuksen vähennykset. Vertailussa otetaan huomioon myös reittiopti-mointi, jolla voidaan vähentää kuljettua matkaa 15 prosentilla. Näiden keinojen yhteiskäy-

töllä voidaan vähentää case-vertailun lähtötilanteen ajoneuvon matkan aikana tuottamia kasvihuonekaasupäästöjä noin 20 prosentilla. Optimoinnin vaikutuksia esitellään taulukossa 4. Suurimmat edut syntyvät kuljettajien koulutuksesta, LRR-renkaista sekä matkan pituuden optimoinnista. Kokonaisuudessaan optimoinnin vaikutuksia päästöihin sekä energiakulutukseen esitellään liitteessä 4.

Taulukko 4. Optimoinnin vaikutukset case-vertailun lähtötilanteen ajoneuvoon

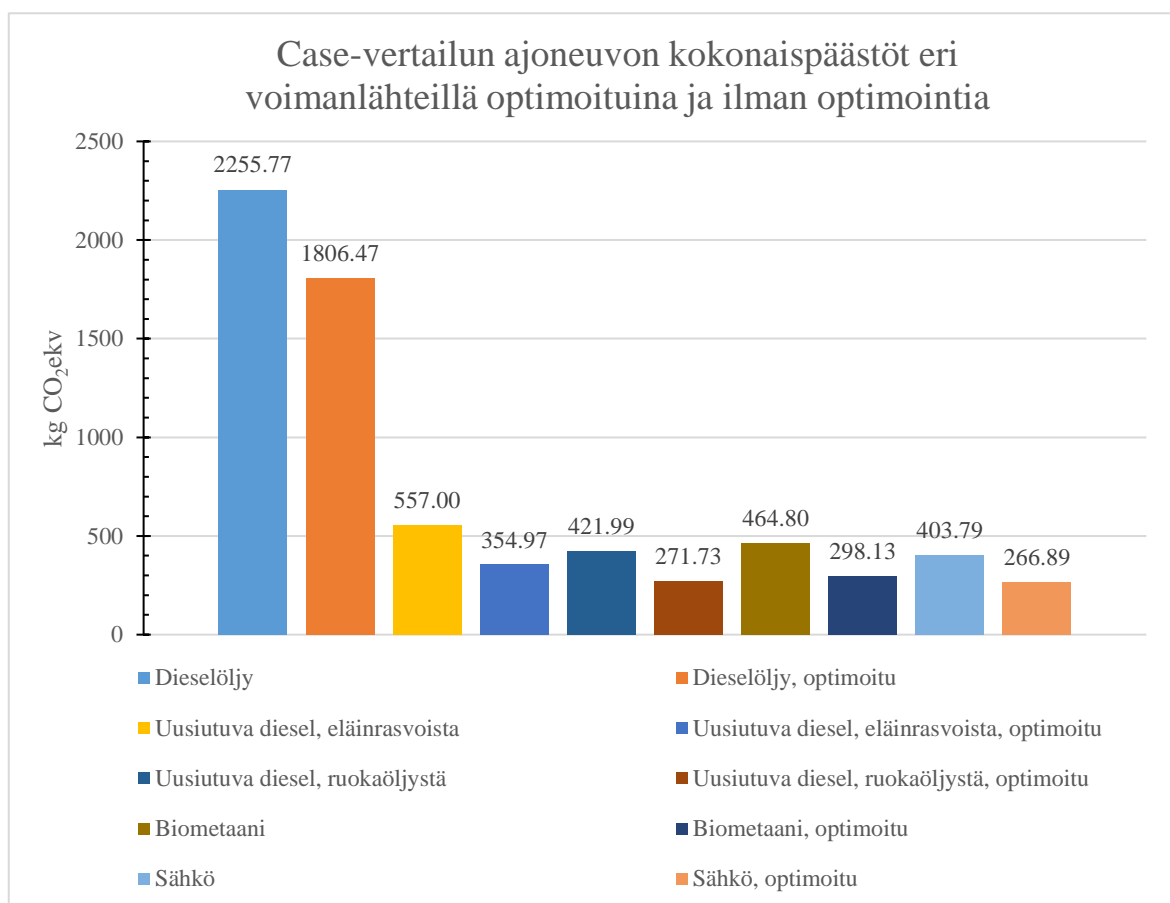
Energiatohokkuuden optimointimenetelmä	Energiankulutuksen vähennys
Ilmanvastuksen vähennys virtaviivaisuutta parantavilla ratkaisuilla	3%
LRR-renkaiden asennus	10%
Tyhjäkäynnin tarpeen vähentäminen akku-generaattoriyhdistelmällä	2,5%
Kuljettajan koulutus	9%
Yhteensä	27,5%
Reitin optimointi vähentää kuljettua matkaa 15 %	

Polttoaineen tuotannon päästöt matkan ajalta, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv]	493,92
Polttoaineen tuotannon päästöt matkan ajalta, optimoitu [kg CO ₂ ekv]	304,52

Polttoaineen kulutuksen päästöt, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv]	1731,70
Polttoaineen kulutuksen päästöt, optimoitu [kg CO ₂ ekv]	1471,94

Matkan kokonaispäästöt, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv.]	2255,77
Matkan kokonaispäästöt, optimoitu [kg CO ₂ ekv.]	1806,47
Päästöjen kokonaisvähennys [%]	19,91

Näitä optimointimenetelmiä on käytetty myös pohjana laajemmalle case-vertailun ajoneuvon kokonaispäästöjen laskennalle eri voimanlähteillä. Kuvassa 2 esitetään case-vertailun ajoneuvon kulkeman matkan tuottamia kasvihuonekaasupäästöjä eri voimanlähteillä sekä optimoituina taulukon 4 optimointimenetelmillä. Laskut suoritetaan 100 prosentin täyttöasteella. Ajoneuvon valmistuksen päästöt ovat huomioitu kokonaispäästöjen määrässä kertomalla rekan elinkaaren ajalle jaettujen valmistuksen päästöt, 0,01923 kgCO₂/km, matkan pituudella, 1568 kilometriä. Sähköajoneuvolla myös akkujen valmistus on otettu huomioon jakamalla teoreettiset akun valmistuksen päästöt, jotka esiteltiin kappaleessa 3.1.3, matkan pituudella. Lukuarvot esitetään vielä kokonaisuudessaan taulukoituna liitteessä 5.



Kuva 2. Case-vertailun ajoneuvon kokonaispäästöt eri voimanlähteillä, optimoituina ja ilman optimointia

Dieselöljyä polttoaineenaan käyttävä lähtötilanteen ajoneuvo tuottaa matkan aikana taulukon 1 mukaisesti noin 2260 kg CO₂-ekvivalenttia, ilman optimointia. Optimoinnilla lähtötilanteen ajoneuvon päästöjen määrää saadaan vähennettyä noin 450 kg CO₂-ekvivalenttia. Vaihtoehtoisilla voimanlähteillä sekä optimoinnilla päästöjen määrää voidaan vähentää jopa 75–82 prosenttia lähtötilanteesta. Vertailun pienimmät päästöt ilman optimointia syntyvät sähköä käytettäessä. Tällöin päästöjen määrä on vain noin 404 kg CO₂-ekvivalenttia. Optimoinnin avulla päästöjen määrää saatiin vähennettyä vielä entistä enemmän. Laskennan kaikista pienimmät päästöt, noin 267 kg CO₂-ekvivalenttia, saavutettiin optimoidulla sähkökäyttöisellä ajoneuvolla. Laskennan toiseksi pienimmät päästöt syntyvät käytetystä ruokaöljystä valmistettua uusiutuvaa dieseliä käytettäessä, 392 kg CO₂-ekvivalenttia. Kuitenkin sähkön kokonaispäästöjen määrään tulee suhtautua tietyin varauksin. Sähkökäyttöisen ajoneuvon päästöt laskevat optimoinnin avulla hieman enemmän kuin muilla voimanlähteillä, sillä sen energiankulutuksen arvona käytetään vain yhtä keskiarvollaista arvoa. Myös laskennassa

käytetyt akuston valmistuksen päästöt voivat erota todellisesta. Akkujen valmistuksen päästöistä on eri lähteistä saatavilla hyvinkin erilaisia tietoja, työssä käytettiin Euroopan Unionissa valmistetun akuston päästöarvoja. Myöskään sähkörekoille tulevaisuudessa mahdollisesti suoritettavia akustojen uusimisia ei ole otettu huomioon tarkastelussa. Yleistä epävarmuutta laskuihin luo myös se, ettei tarkastelussa ole otettu huomioon ajoneuvoille suorittavien erilaisten huoltotoimenpiteiden päästöjä. Epävarmuutta laskuihin myös luo se, että kaikkien rekkojen valmistamisen oletetaan tuottavan saman verran päästöjä ajoneuvon voimanlähteestä riippumatta.

Laskentaa tarkastellessa tulee ottaa huomioon se, että tulokset ovat yleisesti suuntaa antavia ja eroavat todellisesta ajosta. Esimerkiksi todellisuudessa maantie- ja taajama-ajon suhde voi olla hieman erilainen. Muita laskujen tuloksiin vaihtelua luovia tekijöitä ovat täyttöasteen vaikutus ajoneuvon massaan ja päästöihin, liikenneolosuhteet, kuten ruuhkat ja työmaat, sekä optimointimenetelmien todellinen vaikutus. Uusiutuvien voimanlähteiden osalta päästöihin vaikuttavat laskentatapa ja tuotantoketjun todellisten häviöiden määrä, esimerkiksi tankkausasemilla. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon myöskään ajoneuvojen huoltotoimenpiteitä tai akustojen uusimista.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Uusiutuvien voimanlähteiden käyttöön siirtyminen on tehokkain tapa vähentää raskaan liikenteen päästöjen määrää. Kansainväliset sopimukset ja niiden asettamat päästöraajat sekä tavoitteet painostavat raskaan liikenteen toimijoita vähentämään päästöjensä määrää. Lait myös vaikuttavat polttoaineen jakelijoihin, joiden tulee tulevaisuudessa lisätä biopolttoaineiden energiasisällön osuutta tuotteissaan seuraavan vuosikymmenen ajan tiettyjen sanktioiden uhalla (L 419/2019). Tämä vaikuttaa raskaan liikenteen päästöjen lisäksi koko autokannan päästöihin. Ihmisten yleisen ympäristötietoisuuden kasvaessa on päästöjen leikkaamisesta muodostunut myös toimijoiden imagon kannalta tärkeä teko.

Lyhyellä aikavälillä vähennyksiä raskaan liikenteen ajoneuvojen päästöihin saadaan luotua erilaisten energiatehokkuutta parantavien osien asentamisella ajoneuvoon. Esimerkiksi LRR-renkaat ja aerodynaamisuutta parantavat ratkaisut ovat yksinkertaisia, mutta myös hyvin tehokkaita menetelmiä energiankulutuksen vähentämiseen. Vaikka kuljettajien koulutus vaatii aikaa ja resursseja, on yksi tehokkaimmista pitkän aikavälin menetelmistä vähentää energiankulutusta. Vertailussa havaittiin, että energiatehokkuuden maksimoimiseksi ajoneuvojen täyttöasteen tulisi olla suuri sekä reitin mahdollisimman lyhyt ja paljon maantieajoa sisältävä. Taajama- sekä kaupunkiajo kuluttavat paljon enemmän energiaa kuin maantieajo. Tämä voi johtua sen sisältämien pysähtymisten ja kiihdytyksien määrästä. Case-vertailun mukaan erilaisten energiatehokkuuden parantamiskeinojen yhteiskäytöllä voidaan päästä jopa hieman yli 30 prosentin vähennyksiin kokonaispäästöissä.

Uusiutuvaa dieseliä sekä biometaania on nykypäivänä raskaan liikenteen käytössä vain pienessä mittakaavassa. Näihin voimanlähteisiin siirtymällä voidaan päästöjen määrää leikata noin neljännekseen. Kuitenkaan tulevaisuudessa koko autoliikennekanta ei voi käyttää voimanlähteenään vain yhtä valittua uusiutuvaa voimanlähdettä niiden rajallisen tuotantokapasiteetin vuoksi. Tämän takia vaaditaan vielä lisää informaatiota siitä, että miten näitä voimanlähteitä pystytään tuottamaan vastuullisesti suuressa mittakaavassa. Tulevaisuudessa tullaakin siis todennäköisesti tarvitsemaan usean eri voimanlähteen yhteistuotantoa sekä suunnittelua. Henkilöautot sekä kaupunkien joukkoliikenteen ajoneuvot voisivat käyttää

voimaanlähteenään sähköä. Kun taas pidempää matkaa kulkevat raskaat ajoneuvot käyttäisivät voimanlähteenään biometaania tai uusiutuvaa dieseliä.

Vaikka case-vertailussa sähköajoneuvo tuottikin toiseksi alimmat päästöt normaalitilanteessa, on raskaan liikenteen sähköistyminen lähivuosina epätodennäköistä ilman akkuteknologian merkittävää kehitystä. Pitkän matkan raskaan liikenteen ajoneuvot vaativat suuria akkuja, joiden suuri massa vaikuttaa ajoneuvon hyötysuhteeseen negatiivisesti. Eniten raskaan liikenteen sähköistämistä edistää kuitenkin Pariisin ilmastosittemus, jonka tavoitteiden saavuttamiseksi tulee polttomoottoriajoneuvojen myynnin loppua seuraavan parin vuosikymmenen kuluttua. Tämän takia niin valtiot kuin yksityisetkin toimijat varmasti parantavat sähköajoneuvoinfrastruktuuria. Esimerkiksi tulevaisuudessa raskaille ajoneuvoille voisi rakennuttaa omia latausparkkipaikkoja niin varastoille ja lastauspaikoille kuin maanteiden ja levähdyspaikkojen varsille. Ajoneuvojen omistajat voisivat myös asentaa aurinkopaneeleja ajoneuvojensa katoille, joiden avulla akut voisivat latautua ajon aikana, mutta myös ennen kaikkea auton seisoessa parkissa.

Päästöjen vähentämiseen on siis useita erilaisia keinoja. Tehokkaimmin päästövähennyksiä saadaan luotua eri menetelmien yhteiskäytöllä, esimerkiksi vaihtamalla voimanlähdeä sekä asentamalla ajoneuvon virtaviivaisuutta parantavia osia. Päästövähennyksien laajamittainen toimeenpano vaatii toimia myös kansainväliseltä yhteisöltä ja valtioilta. Päästövähennyksiin ohjaavan lainsäädännön tukeminen asettamalla erilaisia päästörajoituksia ja niihin perustuvia sanktioita on tehokas tapa ohjata toimijoiden käyttäytymistä. Vaikkakin ympäristöystävällisyys on suuri teema nykypäivän yksityisten toimijoiden markkinointia, muuttavat suuret kansainväliset toimijat toimintamallejaan yleisesti vasta, kun lainsäädäntö siihen velvoittaa. Toimijoiden valintojen päämotivaationa toimivat useasti rahalliset tekijät ja oman aseman säilyttäminen ennen kuin halu saavuttaa päästötavoitteita. Yksityisten henkilöiden kulutuskäyttäytymisen muuttuessa yhä enemmän internetistä ostamiseen painottuvaksi, oletetaan myös rahtiliikenteen lisääntyvän. Päästövähennystoimia siis tarvitaan nopealla aikataululla, mikäli asetetut päästötavoitteet halutaan saavuttaa.

6 YHTEENVETO

Euroopan tasolla maalla kulkeva liikenne tuottaa lähelle 30 prosenttia kokonaispäästöistä. Siitä noin 25 prosenttia on raskaan liikenteen tuottamaa. Suomessakin ajoneuvokannasta noin 3,5 prosenttia vastaava raskas liikenne tuottaa 7,3 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä. Viimeisimmän 25 vuoden aikana Euroopan liikenteen päästöt ovat kasvaneet noin 25 prosentilla, kun samanaikaisesti energiantuotannon, asumisen sekä maa- ja metsätalouden päästöt ovat laskeneet noin 20 prosentilla. (Euroopan parlamentti 2019b.) Yksityisautoilun ja rahdin kuljettamisen lisääntyessä liikenteen päästöjä ei siis ole pystytty rajoittamaan samalla tavalla kuin muita sektoreita. Kuitenkin tähän on luvassa muutos Pariisin ilmastopimuksen sekä muiden tavoitteiden takarajojen lähestyessä.

Raskaan liikenteen ajoneuvojen tuotantovaiheen suurimmat päästöt muodostuvat materiaalin tuotannosta. Metallien louhinta- ja käsittelyprosessien eri vaiheet sekä osien valmistus ja kuljetus sekä autotehtaiden ylläpidon eri osa-alueet, kuten koneiden käyttö, tilojen lämmitys ja valaistus, vaativat vettä ja energiaa. Kuitenkin raskailla ajoneuvoilla ajettavan suuren kilometrimäärän vuoksi tuotannon kilometrikohtaiset päästöt eivät ole kovinkaan suuret. Raskas ajoneuvo tuottaa elinkaarensa päästöistä suurimman osan käytön aikana. Raskas liikenne käyttää polttoaineenaan tyypillisesti dieseliä, jonka tuotannon pääpäästölähteet ovat raakaöljyesiintymien etsiminen, poraaminen, jalostaminen, kuljettaminen ja jakelu. Euroopan komission tutkimus vuodelta 2014 toteaa raakaöljyn jalostamisen olevan eniten energiaa kuluttavin vaihe. Toiseksi eniten kuluttava vaihe on raakaöljyn tuotanto, jolla tarkoitetaan pumppaus- ja puhdistusprosessia.

Tässä työssä raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähennyskeinot on jaettu kahteen eri kategoriaan, vaihtoehtoiseen voimanlähteeseen siirtymiseen ja energiatehokkuuden sekä logistiikan parantamiseen. Keinoja energiatehokkuuden parantamiseen ovat esimerkiksi ilmanvastusta vähentävät ratkaisut, kuten erilaiset sivu- ja takalevyt, pyörimiskitkaa vähentävät LRR-renkaat, renkaan painetta valvovat systeemit sekä tyhjäkäynnin tarvetta vähentävät teknologiat. Logistiikkaa voidaan parantaa optimoimalla ajoreittejä ja ajoneuvojen täyttöastetta sekä parantamalla kuljettajien ja henkilöstön osaamista perehdytyksillä ja koulutuk-

sella. Myös strategisella suunnittelulla voidaan vähentää ajettujen kilometrien määrää. Esimerkiksi järkevästi sijoitetuilla varikoilla ja varastoilla saadaan helposti vähennettyä matkaa, jonka rahtiajoneuvo ajaa reittinsä päätteeksi päästäkseen takasin lähtöpisteeseensä tai johonkin muuhun haluamaansa kohteeseen. Näiden optimointimenetelmien yhteiskäytöllä voidaan ajoneuvojen energiankulutusta vähentää jopa 25–30 prosentilla. Optimoinnin arvot ovat tietenkin vain suuntaa antavia ja voivat todellisuudessa olla keskimääräisesti pienemmät.

Raskaan liikenteen päästöjä tulee kuitenkin vähentää enemmän kuin mihin optimoinnin tai energiatehokkuuden parantamiskeinoilla kyetään. Potentiaalisin keino vähentää päästöjä on siirtyminen vaihtoehtoisiin voimanlähteisiin. Vaihtoehtoisia voimanlähteitä on ollut kokeiluissa ja käytössä useissa kaupungeissa, kuitenkin raskas liikenne käyttää polttoaineenaan valtaosaksi dieseliä. Päästöjen pienennysmahdollisuudet vaihtoehtoisilla voimanlähteillä ovat siis suuret. Näihin vaikutuksiin perehdyttiin työn empiirisessä case-vertailussa.

Case-vertailussa selvitettiin kokonaispäästöt eri voimanlähteitä käyttävälle ajoneuvolle, joka kuljettaa rahtinsa Tallinnan satamasta Berliinin Tegelin lentoasemalle. Vertailussa käytiin läpi myös optimoinnin ja täyttöasteen vaikutuksia ajoneuvon päästöihin. Vertailun perustilanteessa dieselöljyä voimanlähteenään käyttävä ajoneuvo tuotti matkan aikana noin 2260 kg CO₂-ekvivalenttia. Suurin osa sen matkan aikaisista päästöistä syntyy polttoaineen polttamisesta. Vertailun pienimmät päästöt ilman optimointia syntyvät sähköä käytettäessä, noin 404 kg CO₂-ekvivalenttia. Muilla vaihtoehtoisilla voimanlähteillä päästöt ilman optimointia olivat 422–557 kg CO₂-ekvivalentin luokkaa. Eli vaihtoehtoisilla voimanlähteillä voidaan vähentää matkan aikana tuotettujen päästöjen määrää vähentää jopa 75–82 prosenttia lähtötilanteesta. Vertailussa käytetyn optimoinnin avulla voidaan vähentää energiankulutusta 27,5 prosentilla ja matkan pituutta 10 prosentilla. Vertailun pienimmät päästöt saavutettiin optimoidulla sähkökäyttöisellä ajoneuvolla, joka tuotti matkan aikana noin 267 kg CO₂-ekvivalenttia. Optimointi pienensi kaikkien vaihtoehtoisten voimanlähteiden päästöjen määrää hieman noin 35 prosentilla optimoimattomasta arvosta.

Case-vertailussa havaittiin myös, että yksikkökohtaiset päästöt kasvavat täyttöastetta pienennettäessä. Suurella täyttöasteella voimanlähteen energia jakautuu suuremmalle tavaramäärälle ja energia saadaan kulutettua tehokkaammin. Kuormaa saadaan myös kuljetettua suurempi määrä kerrallaan, mikä voi vähentää lisäkuljetusten tarvetta. Todellisuudessa ajoneuvon energiankulutus olisi todennäköisesti hieman pienempi kuorman massaa pienennettäessä, mutta laskuissa tätä ilmiötä ei huomioida. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta täyttöasteen kasvattamisen olevan tehokas tapa vähentää raskaan liikenteen yksikkökohtaisia päästöjä.

Työssä havaittiin, että raskaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää usealla eri tavalla. Energiatehokkuutta parantavilla ratkaisuilla voidaan parantaa nykyisten ajoneuvojen energiatehokkuutta huomattavasti, ja tulevaisuudessa näiden komponenttien käyttö tulee varmasti yleistymään. Raskaan liikenteen vaihtoehtoisten voimanlähteiden käyttö on vielä nykypäivänä harvinaista, mutta siirtyminen raakaöljy pohjaisesta dieselistä uusiutuviin vaihtoehtoihin on välttämätöntä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Vaihtoehtoiset voimanlähteet ovat jo käyttövalmiita, mutta niiden laajamittainen käyttöönotto tulee vaatimaan myös infrastruktuurillisia uudistuksia sekä lisätutkimusta siitä, että kuinka niitä kyetään tuottamaan vastuullisesti suuressa mittakaavassa.

LÄHTEET

2018/2001/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 11.12.2018 uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (uudelleenlaadittu). EUVL N:o 328.

Aplyn David, Liimatainen Heikki ja van Vliet Oscar. 2019. The potential of electric trucks—An international commodity-level analysis. [verkkodokumentti]. [viitattu: 9.12.2019]. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918318361>

Biokaasuauto.fi. 2019. Biokaasun valmistus. [verkkosivu]. [viitattu: 13.11.2019]. Saatavissa: <https://www.biokaasuauto.fi/biokaasun-valmistus>

Cazzola Pierpaolo, Teter Jacob ja Gül Timur. 2017. The Future of Trucks. 2. painos. International Energy Agency. 144 s.

Cottrill Ben. 2019. MIT's Hybrid Engine Could Electrify Long-Haul Trucking. [verkkosivu]. [viitattu: 22.11.2019]. Saatavissa: <https://medium.com/mitsupplychain/mits-hybrid-engine-could-electrify-long-haul-trucking-785608aa8eb3>

Earl Thomas, Mathieu Lucien, Cornelis Stef, Kenny Samuel, Calvo Ambel Carlos ja Nix James. 2018. Analysis of long haul battery electric trucks in EU. 22 s.

Energiatoteellisuus. 2019. Sähköntuotanto. [verkkosivu]. [viitattu: 21.11.2019]. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto>

Euroopan komissio. 2014. Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosine and natural gas. 270 s.

Euroopan parlamentti (Euroopan parlamentti 2019a). 2019. MEPs approve new CO2 emissions limits for trucks. [verkkosivu]. [viitattu: 10.10.2019]. Saatavissa: <http://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20190412IPR39009/meps-approve-new-co2-emissions-limits-for-trucks>

Euroopan parlamentti (Euroopan parlamentti 2019b). 2019. CO₂ emission from cars: facts and figures (infographics). [verkkosivu]. [viitattu: 18.12.2019]. Saatavissa: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>

European Technology and Innovation Platform. 2019. Hydrotreatment to HVO. [verkkosivu]. [viitattu: 4.11.2019] Saatavissa: <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/conventional-technologies/hydrotreatment-to-hvo>

Google. 2019. Reittiohjeet. [verkkosivu]. [viitattu: 20.11.2019]. Saatavissa: [https://www.google.fi/maps/dir/Tallinnan+satama,+Tallinna,+Viro/Tegelin+lento+asema+\(TXL\),+Saatwinkler+Damm,+Berliini,+Saksa](https://www.google.fi/maps/dir/Tallinnan+satama,+Tallinna,+Viro/Tegelin+lento+asema+(TXL),+Saatwinkler+Damm,+Berliini,+Saksa)

Greening Phil, McKinnon Alan, Palmer Andrew ja Maja Piecyk. 2015. An assessment of the potential for demand-side fuel savings in the Heavy Goods Vehicle (HGV) sector. [verkkodokumentti]. [viitattu: 4.10.2019]. Saatavissa: <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2015/11/CfSRF-An-assessment-of-the-potential-for-demand-side-fuel-savings-in-the-HGV-sector.pdf>

Hall Nancy. 2015. The Drag Equation. [verkkosivu]. Päivitetty: 5.5.2015 [viitattu: 8.10.2018] NASA. Saatavissa: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/drageq.html>

Helsingin Seudun liikenne (HSL). 2019. Helsingin seudun linjoille tulee 30 uutta täyssähköbussia. [verkkosivu]. Päivitetty: 12.8.2019 [viitattu: 18.9.2019]. Saatavissa: <https://www.hsl.fi/uutiset/2019/helsingin-seudun-linjoille-tulee-30-uutta-tayssahkobussia-17915>

ICCT. 2018. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. [verkkosivu]. [viitattu: 9.12.2019]. Saatavissa: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

Ilmasto-opas (Ilmasto-opas 2019a). 2019. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopoliittikkaa. [verkkosivu]. [viitattu: 18.9.2019]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikka.html>

Ilmasto-opas (Ilmasto-opas 2019b). 2019. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. [verkkosivu]. [viitattu: 24.11.2019]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>

Ilmatieteenlaitos (Ilmatieteenlaitos 2019a). 2019. Ilmakehä-ABC: Hiilidioksidiekvivalentti. [verkkosivu]. Päivitetty: 18.4.2019 [viitattu: 16.10.2019]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/Hiilidioksidiekvivalentti>

Ilmatieteenlaitos (Ilmatieteenlaitos 2019b). 2019. Ilmakehä-ABC: Lämmityspotentiaali. [verkkosivu]. Päivitetty: 18.4.2019 [viitattu: 24.1.2020]. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/L%C3%A4mmityspotentiaali>

Kendrick Oil Company. 2015. How Is Diesel Fuel Made From Crude Oil. [verkkosivu]. [viitattu: 6.11.2019]. Saatavissa: <http://www.kendrickoil.com/how-is-diesel-fuel-made-from-crude-oil/>

L 419/2019. Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta.

Logistiikan maailma. 2019. Mitat ja painot. [verkkosivu]. [viitattu: 22.11.2019]. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/maantiekuljetus/mitat-ja-painot/>

Meszler Dan, Lutsey Nic ja Delgado Oscar. 2019. Cost effectiveness of advanced efficiency technologies for long-haul tractor-trailers in the 2020-2030 time frame. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.11.2019]. Saatavissa: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_tractor-trailer_tech-cost-effect_20150420.pdf

Michelin. 2019. The Michelin X One tire. [verkkosivu]. [viitattu: 1.10.2019]. Saatavissa: <https://www.michelintruck.com/tires-and-retreads/x-one-tires/save-on-fuel/>

Motiva (Motiva 2019a). 2019. CO₂-päästökertoimet. [verkkosivu]. Päivitetty: 20.8.2019. [viitattu: 11.11.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Motiva (Motiva 2019b). 2019. Suunnittelu. [verkkosivu]. Päivitetty: 8.8.2019 [viitattu: 1.10.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/ammattiliikenteen_energiatehokkuus/tavaraliikenteen_energiatehokkuus/johtaminen_ohjaus_ja_suunnittelu/suunnittelu

Motiva (Motiva 2019c). 2019. Henkilöstön osaaminen. [verkkosivu]. Päivitetty: 8.8.2019 [viitattu: 3.10.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/ammattiliikenteen_energiatehokkuus/tavaraliikenteen_energiatehokkuus/henkiloston_osaaminen

Mullaney Dave, Roeth Mike, Rondini Denise ja Schaller David. 2016. Annual fleet fuel studies. [verkkosivu]. [viitattu: 4.10.2019]. Yhdysvallat: NACFE. Saatavissa: <https://nacfe.org/annual-fleet-fuel-studies/#>

Neste Corporation. 2016. What is the difference between renewable diesel and traditional biodiesel - if any. [verkkosivu]. [viitattu: 5.11.2019] Saatavissa: <https://www.neste.com/what-difference-between-renewable-diesel-and-traditional-biodiesel-if-any>

Niesner Jakub, Jecha David ja Stehlik Petr. 2013. Biogas Upgrading Technologies: State of Art Review in European Region. [verkkodokumentti]. [viitattu: 13.11.2019]. Saatavissa: <https://www.aidic.it/cet/13/35/086.pdf>

Parviainen Aapo. 2019. Biokaasulla käyvä kuorma-auto on yhä harvinaisuus Suomen teillä. [verkkosivu]. [viitattu: 18.9.2019]. Helsinki: Yleisradio. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10700595>

Rodriguez Felipe, Baldino Chelsea, Delgado Oscar ja Muncrief Rachel. 2017. Market penetration of fuel efficiency technologies for heavy-duty vehicles in the European Union, the United States, and China. [verkkodokumentti] [viitattu:8.10.2019] ICCT: International Council on Clean Transportation. Saatavissa: https://theicct.org/sites/default/files/publications/HDV-market-penetration_ICCT_White-Paper_050517_vF.pdf

Rupp Matthias, Schulze Sven ja Kuperjan Isabel. 2018. Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks. MDPI: World Electric Vehicle Journal. 10 s.

Scania Suomi. 2019. Scania toimittaa kaksi kaasubussia Lappeenrannan kaupunkiliikenteeseen. [verkkosivu]. [viitattu: 18.9.2019]. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/experience-scania/news-and-events/News/scania-toimittaa-kaksi-kaasubussia-lappeenrannan-kaupunkiliikent.html>

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2017. Kasvihuonekaasut. [verkkosivu]. Päivitetty: 28.3.2019. [viitattu: 18.9.2019]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/khki_2017_2019-03-28_rev_001_fi.html

Transport & Environment. 2019. Breakthrough on safer more aerodynamic truck cabs. [verkkosivu]. [viitattu 8.10.2019]. Saatavissa: <https://www.transportenvironment.org/news/breakthrough-safer-more-aerodynamic-truck-cabs>

Volvo Trucks. 2019. Environmental footprint calculator. [verkkosivu]. [viitattu: 31.10.2019] Saatavissa: <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/environmental-footprint/environmental-footprint-calculator.html>

VTT (VTT 2016a). 2016. Puoliperävaunulla varustettu yhdistelmä, maantieajo. [verkkosivu]. Päivitetty: 6.7.2017. [viitattu 9.11.2019]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kapptie.htm>

VTT (VTT 2016b). 2016. Puoliperävaunulla varustettu yhdistelmä, katuajo. [verkkosivu]. Päivitetty: 6.7.2017. [viitattu 9.11.2019]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kappkatu.htm>

VTT (VTT 2018a). 2018. ALIISA autokantamallin tuloksia vuonna 2018. [verkkosivu]. Päivitetty: 16.8.2019. [viitattu: 17.09.2019]. Saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/aliisa/aliisa_tulokset.htm

VTT (VTT 2018b). 2018. Suomen tielikenteen päästöjen kehitys. [verkkosivu]. Päivitetty: 16.8.2019. [viitattu: 17.09.2019]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/aikasarja.htm>

VTT (VTT 2019a). 2019. Hiilidioksidiekvivalentti CO₂ekv. [verkkosivu]. [viitattu: 16.10.2019]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/co2ekvs.htm>

VTT (VTT 2019b). 2019. Menetelmäkuvaus: LIPASTO yksikköpäästötietokanta. [verkkosivu]. [viitattu: 22.11.2019]. Saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/info_tie.htm

Windover Paul, Owens Russell, Levinson Terry ja Laughlin Michael. 2015. Stop and Restart Effects on Modern Vehicle Starting System Components. [verkkodokumentti]. [viitattu: 10.10.2019]. Illinois: Argonne National Laboratory. Saatavissa: <https://anl.app.box.com/s/sfwulyouom8cllqwzqhg07ecc99y5m7z>

Vertailun lähtötilanne	
Matkan pituus [km]	1568
Maantieajo [km]	1254,4
Katu- ja taajama-ajo [km]	313,6
Ajoneuvojen valmistuksen päästöt [kg CO ₂ ekv/km]	0,01923
Ajoneuvojen valmistuksen päästöt matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	30,15
Polttoaineen tuotannon päästökerroin [gCO ₂ /MJ]	15
Energiankulutus maantieajossa [MJ/km]	18
Energiankulutus taajama-ajossa [MJ/km]	33
Energiankulutus maantieajossa matkan ajalta [MJ]	22579,2
Energiankulutus taajama-ajossa matkan ajalta [MJ]	10348,8
Polttoaineen tuotannon päästöt maantieajossa matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	338,688
Polttoaineen tuotannon päästöt taajama-ajossa matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	155,232
Polttoaineen tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	493,920
Polttoaineen kulutuksen päästöt maantieajossa [kg CO ₂ ekv/km]	0,965
Polttoaineen kulutuksen päästöt taajama-ajossa [kg CO ₂ ekv/km]	1,662
Polttoaineen kulutuksen päästöt maantieajossa matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	1210,5
Polttoaineen kulutuksen päästöt taajama-ajossa matkan ajalta [kg CO ₂ ekv]	521,203
Polttoaineen kulutuksen päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	1731,70
Kokonaispäästöt [kg CO ₂ ekv.]	2255,77

$$e_x = \frac{e_a + \frac{e_b - e_a}{I_c} * I_x}{I_x} \quad (1)$$

Kaavassa 1 e_x tarkoittaa päästöjä tonnikipometriä kohden kuormalla x yksikössä gCO_2/tkm . Termi e_a tarkoittaa tyhjän ajoneuvon päästöjä ajoneuvokilometriä kohden yksikössä gCO_2/km . Termillä e_b tarkoitetaan täyden ajoneuvon päästöjä ajoneuvokilometriä kohden yksikössä gCO_2/km . I_c tarkoittaa ajoneuvon kantavuutta, tonneissa. I_x tarkoittaa ajoneuvon kuorman massaa, tonneissa.

$$K_s = I_x * h \quad (2)$$

Kaavassa 2 K_s tarkoittaa kuljetussuoritetta tonnikipometreinä, tkm . I_x tarkoittaa ajoneuvon kuorman massaa, tonneissa. Termi h tarkoittaa matkan pituutta kilometreinä.

Täyttöaste	Päästö tonnikilometriä kohden [gCO_2/tkm]	%
------------	---	---

Maantieajo kuljetussuorite [tkm]	28224
Katu- ja taajama-ajo kuljetussuorite [tkm]	7056

100 % täyttöaste	1555,14	100
90 % täyttöaste	1664,43	107
80 % täyttöaste	1801,04	116
70 % täyttöaste	1976,69	127
60 % täyttöaste	2210,88	142
50 % täyttöaste	2538,75	163

Voimanlähteiden tuotannon päästökertoimet

Dieselöljy [gCO ₂ /MJ]	15,0
Uusiutuva diesel vetykäsitellyistä eläinrasvoista [gCO ₂ /MJ]	16,0
Uusiutuva diesel vetykäsitellyistä ruokaöljystä [gCO ₂ /MJ]	11,9
Biometaani [gCO ₂ /MJ]	13,2
Sähkö [kg CO ₂ /MWh]	158

Vaihtoehtoisten voimanlähteiden päästöt

Energiankulutus maantieajossa matkan ajalta [MJ]	22579,2
Energiankulutus taajama-ajossa matkan ajalta [MJ]	10348,8
Sähkötörmän energiankulutus [kWh/km]	1,44
Energiankulutus matkan ajalta [kWh]	2257,92
Dieselöljyn tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	493,920
Uusiutuvan dieselin (vetykäsitellyistä eläinrasvoista) tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	526,848
Uusiutuvan dieselin (vetykäsitellyistä ruokaöljystä) tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	391,843
Biometaanin tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	434,650
Sähkön tuotannon päästöt yhteensä [kg CO ₂ ekv]	356,751

Tuotannon päästöt suhteessa dieselöljyyn [%]

Uusiutuva diesel vetykäsitellyistä eläinrasvoista	106,66
Uusiutuva diesel vetykäsitellyistä ruokaöljystä	79,33
Biometaani	88,00
Sähkö	72,23

Optimointi menetelmä	Energiankulutusvähennys [%]
Ilmanvastuksen vähennys virtaviivaisuutta parantavilla ratkaisulla	0,5-3
Pyörimiskitkaa vähentävät LRR-renkaat	4-10%
Rengaspainetta valvovat järjestelmät	0,5-2
Tyhjäkäynnin tarpeen vähentäminen akku-generaattoriyhdistelmällä	2,5%
Vaihteiston muuttaminen manuaalisesta automaattiseksi	1-8%
Kuljettajan koulutus	5-9%
Reitin optimointi vähentää kuljettua matkaa 10-15 %	

Energiatohokkuuden optimointimenetelmä	Energiankulutuksen vähennys
Ilmanvastuksen vähennys virtaviivaisuutta parantavilla ratkaisulla	3%
LRR-renkaiden asennus	10%
Tyhjäkäynnin tarpeen vähentäminen akku-generaattoriyhdistelmällä	2,5%
Kuljettajan koulutus	9%
Yhteensä	27,5%
Reitin optimointi vähentää kuljettua matkaa 15 %	

Optimoitu maantieajon pituus [km]	1066,24
Optimoitu katu- ja taajama-ajon pituus [km]	266,56
Optimoitu energiankulutus maantieajossa [MJ/km]	13,05
Optimoitu energiankulutus taajama-ajossa [MJ/km]	23,96

Polttoaineen tuotannon päästöt matkan ajalta, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv]	493,92
Polttoaineen tuotannon päästöt matkan ajalta, optimoitu [kg CO ₂ ekv]	304,52

Polttoaineen kulutuksen päästöt, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv]	1731,70
Polttoaineen kulutuksen päästöt, optimoitu [kg CO ₂ ekv]	1471,94

Matkan kokonaispäästöt, lähtötilanne [kg CO ₂ ekv.]	2255,77
Matkan kokonaispäästöt, optimoitu [kg CO ₂ ekv.]	1806,61
Päästöjen kokonaisvähennys [%]	19,91

Case-vertailun ajoneuvon kokonaispäästöt eri voimanlähteillä optimoituina ja ilman optimointia	
Dieselöljy	2255,77
Dieselöljy, optimoitu	1806,47
Uusiutuva diesel, eläinrasvoista	557,00
Uusiutuva diesel, eläinrasvoista, optimoitu	354,97
Uusiutuva diesel, ruokaöljystä	421,99
Uusiutuva diesel, ruokaöljystä, optimoitu	271,73
Biometaani	464,80
Biometaani, optimoitu	298,13
Sähkö	403,79
Sähkö, optimoitu	266,89