

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri (AMK), ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2024

Antti Rautiola

PÄÄSTÖVERTAILU PUOLIPERÄVAUNUN KULJETUKSISTA KESKI- EUROOPASSA

- FREJA TRANSPORT & LOGISTICS OY

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2024 | 40 sivua

Antti Rautiola

PÄÄSTÖVERTAILU PUOLIPERÄVAUNUN KULJETUKSISTA KESKI-EUROOPASSA

- FREJA Transport & Logistics Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella, vertailla ja kuvailla täyteen lastatun puoliperävaunun kuljettamisesta syntyviä päästöjä kahden kuljetusmuodon välillä. Opinnäytetyön vertailussa olevat kuljetusmuodot ovat rautatiekuljetus ja maantiekuljetus. Vertailun tarkoituksena on tuoda esiin havaittava ero näiden kahden kuljetusmuodon päästöistä. Tutkimustyön toimeksiantaja on FREJA Transport & Logistics Oy.

Toimeksiannon ajankohtaisuus nousee esiin, sillä kuljetusten tuottamat kokonaispäästöt merkitsevät kuljetusasiakkaille yhä enemmän, ja fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen on ratkaisevassa roolissa taistelussa ilmaston lämpenemistä vastaan. Työn tarkoitus ei ole ottaa kantaa tapoihin vähentää päästöjä, vaan antaa tietoa kuljetuksista syntyvistä päästöistä.

Työn tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tarkka arvio ja laatia selkeä vertailutaulukko tarkasteltavien kuljetusmuotojen päästöistä Saksan Skandinavienkai-Travemünde satamasta Veronaan Pohjois-Italian alueelle – eli paljonko päästöjä tulee täyteen lastatun puoliperävaunun kuljettamisesta maanteitse kuorma-autolla ja rautateitse junavaunulla. Vertailutaulukko toteutetaan Excel-pohjaisella käyttöjärjestelmällä. Tuloksista luodaan selkeä Excel-pohjainen vertailutaulukko.

ASIASANAT:

Päästöt, hiilidioksidi, rautatieliikenne, kuljetus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

2024 | 40 pages

Antti Rautiola

COMPARISON OF EMISSIONS FROM SEMI-TRAILER TRANSPORT IN CENTRAL EUROPE

- FREJA Transport & Logistics Oy

The purpose of this thesis is to examine, compare and describe the emissions from transporting a fully loaded semi-trailer between two transportation modes. The transport modes compared in the thesis are rail and road transport. The purpose of the comparison is to highlight the noticeable difference in emissions between the two modes of transport. The client of this work is FREJA Transport & Logistics Oy.

The time and demand of the assignment arises from the fact that the total emissions produced by transport are of increasing interest to transport customers, and the reduction of fossil fuel use is crucial in the fight against global warming. The aim is not to take a position on how to reduce emissions, but to provide information on emissions from transport.

The aim of this work is to produce a clear comparison table of emissions from the different modes of transport, from the German port of Skandinavienkai-Travemünde to Verona North-Italy - i.e. the emissions from transporting a fully loaded semi-trailer by road with a truck and by rail with a rail wagon. The comparison table is created using an Excel-based system. A clear Excel-based comparison table will be created from the results.

KEYWORDS:

Emissions, carbon dioxide, rail transport, transport

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AIHEEN RAJAUS	7
3 FREJA TRANSPORT & LOGISTICS OY	9
3.1 Yleistä	9
3.2 Historia	10
4 KULJETUSTEN PÄÄSTÖT	11
4.1 Päästöjen vaikutukset	11
4.2 Päästöluokat	12
4.3 Hiilidioksidi (CO ₂)	13
4.4 Muut päästöt	13
4.4.1 Hiilimonoksidi (CO)	14
4.4.2 Typen oksidit (NO _x)	14
4.4.3 Hiilivedyt (HC)	14
4.4.4 Hiukkaspäästöt (PM)	15
4.5 LIPASTO	16
4.6 GLEC	16
4.7 Päästöjen laskenta ja päästökerroin	17
4.8 Tonnikilometri	18
5 KULJETUSMUODOT	19
5.1 Maantiekuljetus	19
5.2 Rautatiekuljetus	21
5.3 Kuljetusmuotojen vertailu	21
5.4 Intermodaalikuljetus	24
6 KULJETUSKALUSTO	26
6.1 Puoliperävaunu (eurotraileri)	26
6.2 Puoliperävaunun vaatimukset rautatiekuljetuksissa	27
7 LASKUT JA TULOKSET	29
7.1 Reitti ja reitin pituus	29
7.1.1 Reitti rautateitse	30

7.1.2 Reitti maanteitse	30
7.2 Laskenta	31
7.3 Tulokset	34
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	35
8.1 Työn arviointi	35
8.2 Oma oppiminen	36
LÄHTEET	37

KUVAT

Kuva 1. Määrällinen sekä laadullinen tutkimus. (Tutkijan ABC 2015.)	8
Kuva 2. FREJA- konserni numeroina. (FREJA 2023c.)	9
Kuva 3. EURO VI -päästörajat. (Euroopan Unioni 2011.)	12
Kuva 4. Maantiekuljetus. Kuvassa puoliperävaunuyhdistelmä. (FREJA 2014.)	19
Kuva 5. Rautatiekuljetus. Kuvassa merikonttien kuljetusta sähköveturilla. (Pixabay 2024.)	21
Kuva 6. Esimerkki intermodaalikuljetuksen logistiikkaketjusta. (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023.)	25
Kuva 7. Puoliperävaunu eli verhokapellitraileri. (FREJA 2024.)	26
Kuva 8. Huckepack- traileri. Kuvassa punaisin nuolin sekä ympyröillä osoitettu keltaiset nostokohdat. (Henkilökohtainen tiedonanto 3.3.2024.)	27
Kuva 9. Huckepack-trailerin lastaus junavaunulle. (Vimeo 2015.)	28
Kuva 10. Kuvakaappaus Google Maps -alustalta. Havainnekuva reitistä linnuntietä.	29
Kuva 11. Kuvakaappaus reitinlaskentaohjelmistosta. Kuvassa reitti maanteitse.	31
Kuva 12. Vertailutaulukko kuljetusmuotojen kokonaispäästöistä.	34

TAULUKOT

Taulukko 1. InfraDB:n päästökertoimet puoliperävaunuyhdistelmälle.	32
Taulukko 2. GLEC:n päästökertoimet rautatiekuljetuksille sähköveturilla.	32
Taulukko 3. GLEC:n päästökertoimet rautatiekuljetuksille dieselveturilla.	33

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja vertailla kahden eri kuljetusmuodon – rautatiekuljetus ja maantiekuljetus – eroja syntyvien päästöjen osalta työn toimeksiantajalle FREJA Transport & Logistics Oy:lle. Opinnäytetyössä esitellään toimeksiantajayritys, erilaisia kuljetuksissa syntyviä päästöjä sekä lyhyesti niiden globaaleista vaikutuksista. Opinnäytetyössä esitellään myös käytettävää kalustoa, sekä käsitellään laskennassa käytettävät kuljetusmuodot, kalustokohtainen kapasiteetti ja laskennan osalta tärkeät tekijät.

Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole tutkia tapoja, miten päästöjä voidaan vähentää, vaan verrata täyteen lastatun (25t) puoliperävaunun kuljetuksista syntyviä päästöjä maantie- ja rautatiekuljetusten osalta. Molempien kuljetusmuotojen laskennasta luodaan Excel- pohjainen vertailutaulukko, esittäen syntyvien päästöjen erot selkeästi. Tulokset ilmoitetaan muodossa CO₂e kg/tkm – eli kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia per tonnikilometri. Luotettavista ja virallisista lähteistä kerätään kuljetusmuotokohtaiset päästökertoimet kaikille kolmelle kuljetustyyppille (dielselveturi, sähköveturi ja diesel kuorma-auto).

Ilmaston lämpeneminen koskettaa jokaista ihmistä maapallolla. Tuotannosta ja tavarantoimituksista aiheutuu erilaisia päästöjä, joita yritykset pyrkivät parhaan kykynsä mukaan vähentämään, sillä aihe on hyvin ajankohtainen ja tärkeä. Vihreämmät kuljetustavat ovat osa monien eri yritysten toimintastrategiaa. Jotta kuljetuksista syntyviä päästöjä voidaan vähentää, pitää ne ensin tunnistaa ja tietää. Tuntemalla kuljetuskoh- taiset päästöt, voi huolitsija ja kuljetusyhtiö saavuttaa markkinoilla kilpailuetua.

Työ toteutetaan kevään 2024 aikana. Työn taustana toimii toimeksiantajan halu saada tietoa intermodaalikuljetuksien päästöistä Keski-Euroopan liikenteessä. Tutkimus on pääpiirteittäin tilasto- ja tutkimuspohjainen, mutta taustana työhön käytetään myös toimeksiantajan tietoja, sekä yrityksen sisäistä tiedonantoa. Lähteinä käytetään kirjallisuutta, tietosivuja, vapaasti saatavilla olevia lähteitä mm. internet, sekä tiedon keruuta eri dokumenteista, joita voidaan käyttää rinnan tai yhdistellä toisiinsa.

2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AIHEEN RAJAUS

Tieteellisiä tutkimusmenetelmiä on kahdenlaisia, ja ne voidaan jakaa kvalitatiivisiin (laadullisiin) ja kvantitatiivisiin (määrällisiin) tutkimuksiin. Tutkimusmenetelmän valinnassa on syytä pitää mielessä, että ratkaisut olisivat seurausta tutkimusongelmasta. Menetelmää valittaessa täytyy siis pohtia, minkä aineiston avulla saadaan parhaiten tietoa tutkimuksen kohteesta, sekä millä tutkimustekniikoilla saadaan tieto parhaiten irti aineistosta. Ainoastaan hyvin harvoissa tapauksissa kysymysten vastaukset ovat itsestään selviä, ja täysin hyväksyttävän lopputuloksen saavuttamiseksi olisi analysoitava monipuolisia ja hyvin suuria menetelmiä hyödyntäen erilaisia tutkimustekniikoita. (University of Helsinki n.d.)

Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa tutkimus perustuu numeeriseen dataan, tilastojen tulkitsemiseen sekä kohteen kuvaamiseen. Määrällisessä tutkimuksessa kiinnostuksen kohde on usein erilaisissa luokitteluissa, syy- ja seuraussuhteissa, vertailussa sekä numeerisiin tuloksiin perustuvien ilmiöiden selittämisessä. Määrällisen tutkimuksen menetelmäsuuntaus pitää sisällään paljon erilaisia laskennallisia ja tilastollisia analyysimenetelmiä. (Jyväskylän yliopiston KOPPA 2015.)

Kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta pidetään yleensä määrällisen tutkimuksen parina. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa on tarkoitus ymmärtää ominaisuuksia, kohteen laatua sekä kokonaisvaltaisesti sen merkityksiä. Molempia tutkimussuuntauksia on mahdollista käyttää samassa tutkimuksessa, vaikka näiden menetelmien välisiä eroja usein korostetaan. Molemmilla menetelmäsuuntauksilla pystytään selittämään eri tavoilla samoja tutkimuskohteita. Analyysimenetelmistä osa perustuu vahvasti määrällisen tutkimuksen tai laadullisen tutkimuksen suuntaukseen. Kuitenkin monet menetelmäsuuntaukset asettuvat suuntausten ääripäiden välimaastoon lähtökohdiltaan. (Jyväskylän yliopiston KOPPA 2015.)

Itse opinnäytetyössä tullaan hyödyntämään molempia tutkimussuuntauksia. Tutkimukseni tulee olemaan molempia – määrällistä ja laadullista tutkimusta – jotta voin varmistaa tutkimuksen laadun. Koska aineisto perustuu suurimmalta osalta keskiarvoihin, raja-arvoihin sekä moniin eri tilastoihin, saadaan kasattua kattava ja yksityiskohtainen tutkimustulos.

Määrällinen tutkimus (Quantitative research)	Laadullinen tutkimus (Qualitative research)
Laajat määrälliset aineistot (esim. tilastot)	Pienempi aineisto, aineiston laadun merkitys
Mittaaminen ja testaaminen	Havainnointi ja tulkitseminen
Tutkija aineistostaan ulkopuolinen	Tutkija aineiston tulkitsijana
Vastaa kysymykseen 'kuinka suuri' , 'montako'	Vastaa kysymykseen 'miksi', 'millainen'
Yleistettävyyys	Joustavuus

Kuva 1. Määrällinen sekä laadullinen tutkimus. (Tutkijan ABC 2015.)

Aihe rajataan puoliperävaunun kuljetuksissa reitille Skandinavienkai-Travemünde – Verona Pohjois-Italia, eli Pohjois-Saksasta Itävallan läpi aina Veronaan asti Pohjois-Italian alueelle. Laskelmissa ei oteta huomioon puoliperävaunun käsittelystä aiheutuneita päästöjä, vaan tutkitaan ainoastaan täyteen lastatun (25t) puoliperävaunun syntyviä yksikköpäästöjä rautatie- ja maantiekuljetuksen osalta edellä mainitulle reitille. Puoliperävaunun lähtömaa on Suomi, mutta päästöjen tarkastelu aloitetaan vasta, kun puoliperävaunu on saapunut meriteitse Saksan satamaan Skandinavienkai-Travemündeeseen, ja jatkaa matkaa eteenpäin Italiaan asti.

3 FREJA TRANSPORT & LOGISTICS OY

3.1 Yleistä

FREJA Transport & Logistics Oy on Suomen suurimpia kuljetus-, huolinta-, ja logistiikka-alan yrityksiä, jonka toimitusjohtajana toimii Matti Urmas. FREJA Transport & Logistics tarjoaa kansainvälisiä kuljetuspalveluja sekä kokonaisvaltaisia logistiikkaratkaisuja asiakkaiden tarpeiden mukaan. Kuljetuspalveluihin kuuluu mm. maantie- ja merikuljetukset, lentorahti, projekti-, ja lämpösäädellyt thermo-kuljetukset, sekä express-kuljetukset ja logistiikkapalvelut. (FREJA 2023a.)

Yrityksellä on toimipisteitä Suomessa, Tanskassa, Ruotsissa, Norjassa, Puolassa ja Kiinassa. FREJA Suomen toimipisteet sijaitsevat Turussa, Vaasassa, Kruunupyysässä ja Vantaalla, joista pääkonttori sijaitsee Turussa. (FREJA 2023b.)

FREJA Transport & Logistics Oy:n liikevaihto oli vuonna 2023 162 Meur ja yritys työllisti 68 henkilöä. (Kauppalehti 2024.)

FREJA-konsernin liikevaihto vuonna 2023 oli puolestaan 746 Meur. Konserni työllisti 1189 kuljetus- ja huolinta-alan ammattilaista, tarjoten 290 suoraa kappaletavarareittiä, operoiden yli 3300:aa traileria, käsitellen yli 2 miljoonaa lähetystä. (FREJA 2023c.)

100%

yksityisomistuksessa oleva pohjoismainen yritys

1189

ammattilaisia

746

MEUR liikevaihto

2 M

lähetyksiä vuodessa

3300

trallereita

290

suorat kappaletavarareitit

Kuva 2. FREJA-konserni numeroina. (FREJA 2023c.)

FREJA Transport & Logistics Oy saavutti vuonna 2023 huippuluokan suositteluluvun (engl. NPS – Net Promoter Score) 74. Luku on poikkeuksellisen korkea kuljetus- ja logistiikka-alalla, jossa NPS- luku on kansainvälisesti keskiarvolla 43. Net Promoter Score eli NPS on kansainvälinen asiakastytyväisyyden mittari, jonka perustana on kysymys: ”Kuinka todennäköisesti suosittelisit kyseistä yritystä tai tuotetta ystävillesi tai kollegoillesi asteikolla 0-10?”. Suositteluluku 74 ansiosta FREJA onkin Suomessa markkinajohtaja kansainvälisten kuljetusten palvelutasossa. (FREJA 2023e.)

3.2 Historia

FREJAn historia ulottuu aina vuoteen 1942 asti. FREJA aloitti toimintansa Suomessa vuonna 2003. Tällöin yrityksen toimitusjohtaja Matti Urmas, sekä FREJAn perustaja Jørgen Hansen ostivat yhdessä vuonna 1942 perustetun Maa ja Meri Oy:n. Maa ja Meri Oy:n perusti aikoinaan Nylundin perhe Helsingistä, huolitsemaan ja kuljettamaan Suomen Puolustusvoimien kalustoa. (FREJA 2023d.)

Maa ja Meri- yhtiö siirtyi 1970-luvulla Merikiito- nimisen yrityksen työntekijöille. Nylundin perhe harjoitti kuljetustoimintaa Merikiito nimellä Maa ja Meri Oy:n ohella. Kuitenkin 1980-luvulla silloinen yhtiön omistaja myi Maa ja Meren Kymi Kymmenen Oy:lle. Kymi Kymmenen Oy:n tarkoitus oli hoitaa paperiyhtiön kuljetuksia. Myöhemmin vuonna 1997 yritys fuusioitui UPM-Kymmene Oy:ksi, joka puolestaan myi kuljetusyhtiönsä pois, keskittyen pelkästään paperinvalmistukseen. Kuljetusyhtiön osti Vaasasta kotoisin ollut Scandic Trans Oy. (FREJA 2023d.)

Vuonna 2003 toimitusjohtaja Matti Urmas osti yhdessä FREJA-konsernin perustajan Jørgen Hansenin kanssa Maa ja Meren Scandic Transilta. FREJA Transport & Logistics Oy on perustettu aikanaan Suomeen jo vuonna 1997, ja kun vuonna 2009 kaikkien FREJA-konsernin yritysten nimet yhtenäistettiin, sai Maa ja Meri nykyisen nimensä – FREJA Transport & Logistics Oy. (FREJA 2023d.)

Yrityksen historian toinen yrityskauppa tapahtui vuonna 2021, kun FREJA Transport & Logistics Oy osti Kruunupyyläisen TL Transin. Oston myötä FREJAn kuljetuspalveluvalikoima kasvoi lämpösäädellyiden maantiekuljetusten osalta noin 80 thermo-trailerilla. (FREJA 2023d.)

4 KULJETUSTEN PÄÄSTÖT

4.1 Päästöjen vaikutukset

Ilmastonmuutoksen yksi merkittävimpiä aiheuttajia on kasvihuoneilmiö. Nimitys tulee ilmakehän kaasuista, jotka toimivat kasvihuoneen lasin tavoin – eli estävät auringosta johtuvan lämpösäteilyn pääsyä takaisin avaruuteen – aiheuttaen ilmaston lämpenemistä. Monia näistä kaasuista esiintyykin luonnostaan ilmakehässä, mutta niistä joidenkin määrää ilmakehässä lisää ihmisen toiminta. Erityisesti alla olevien kaasujen määrä on lisääntynyt (Euroopan komissio n.d.):

- Hiilidioksidi CO₂
- Metaani CH₄
- Typpioksiduuli N₂O
- Fluorikaasut

Ihmisen toiminnasta aiheutuneet päästöt lisäävät merkittävästi ilmakehässä luonnostaan esiintyvien kasvihuonekaasujen määrää, jotka puolestaan vauhdittavat maapallon ilmaston lämpenemistä. Jopa kahden celsiusasteen nousu esiteollisella kaudella olleeseen lämpötilaan verrattuna aiheuttaa vakavia haittoja luonnonympäristölle, sekä ihmisten hyvinvoinnille ja terveydelle. Tällä hetkellä ihmisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen kasvaa 0,2°C astetta vuosikymmenessä. Tällä hetkellä kansainvälinen yhteisö jatkaa toimia lämpötilan nousun rajoittamiseksi 1,5 celsiusasteeseen, ja tarve olisi pitää ilmaston lämpeneminen selvästi alle kahdessa celsiusasteessa. (Euroopan komissio n.d.)

Liikenne on yksi merkittävistä kasvihuonepäästöjen tuottajista. Suomen kasvihuonepäästöistä liikenteestä syntyvät päästöt muodostavat kaikista päästöistä noin viidenneksen. Tämä johtuu siitä, että liikenne käyttää yhä vahvasti fossiilisia polttoaineita. Valtaosa näistä liikenteen aiheuttamista päästöistä syntyykin tieliikenteestä. Liikenteen päästöjä pystytään vähentämään esimerkiksi siirtymällä sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin tai pienentämällä liikenteestä henkilöautoilun osuutta. Tämä koskee globaalisti kaikkea tieliikennettä. (Ilmasto-opas n.d.)

Ilmaston näkökulmasta mahdollisimman iso osa tavaraliikenteestä olisi hoidettava rautateitse tai vesitse. Tällöin saavutetaan pienemmät päästöt kilometriä kohti kuin tieliikenteessä. (Ilmasto-opas n.d.)

Tavaraliikenteen osalta hyvä kuljetusreittien suunnittelu on yksi tapa minimoida tyhjänä ajoa ja vähentää ajokilometrejä n. 10-15 prosenttia. Lisäksi kuljetusyrietykset pystyvät edistämään kuljettajien taloudellista ajotapaa erilaisilla kuljettajien koulutuksilla ja seurantajärjestelmillä. (Ilmasto-opas n.d.)

4.2 Päästöluokat

Euroopan Unionissa ajoneuvojen säänneltyjen päästöjen (CO, HC, NO_x, PM) määriä säännellään EURO -luokituksella. (Autoalan tiedotuskeskus n.d.). Euro- säädökset ovat ajoneuvokohtaisia, ja koskevat mitattavia säänneltyjä päästöjä tyyppihyväksyntävaiheessa. Mittaukset suoritetaan tarkkaan määritellyin toistettavin menetelmin laboratoriossa. (Autotuoajat ja -teollisuus n.d.). Kuorma-autoille ja linja-autoille on käytössä EURO VI -päästöluokka, ja henkilö- ja pakettiautoille Euro 6 -päästöluokka. (Autoalan tiedotuskeskus n.d.)

LIITE XV

ASETUKSEN (EY) N:o 595/2009 MUUTTAMINEN

Korvataan asetuksen (EY) N:o 595/2009 liite I seuraavasti:

"LIITE I

Euro VI -päästörajat

	Raja-arvot							
	CO (mg/kWh)	THC (mg/kWh)	NMHC (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x ⁽¹⁾ (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	Hiuksas- massa (mg/kWh)	Hiuksas- määrä ⁽²⁾ (#/kWh)
WHSC (CI)	1 500	130			400	10	10	8,0 × 10 ¹¹
WHTC (CI)	4 000	160			460	10	10	6,0 × 10 ¹¹
WHTC (PI)	4 000		160	500	460	10	10	⁽³⁾

PI = ottomootorit

CI = puristussytytysmootorit

⁽¹⁾ NO_x-raja-arvoon sisältyvä NO₂-komponentin hyväksyttävä taso voidaan määrittää myöhemmässä vaiheessa.

⁽²⁾ Uusi mittausmenetelmä otetaan käyttöön 31 päivään joulukuuta 2012 mennessä.

⁽³⁾ Hiuksasmäärän raja-arvo otetaan käyttöön 31 päivään joulukuuta 2012 mennessä.*

Kuva 3. EURO VI -päästörajat. (Euroopan Unioni 2011.)

WHTC-testi (engl. World Harmonized Transient Cycle, WHTC) on YK:n (Yhdistyneet Kansakunnat) ECE:N GRPE- ryhmän laatima tekninen sääntö. Laboratorioissa suoritettavalla mittauksella selvitetään valvotussa ympäristössä raskaiden ajoneuvojen todelliset päästöt. Sääntö perustuu maailmanlaajuiseen malliin, koskien raskaiden hyötyajoneuvojen todellista käyttöä. (DieselNet n.d.)

Testejä varten on luotu kaksi erilaista testisykliä, joilla pyritään simuloimaan tyypillisiä ajo-olosuhteita EU:ssa, Pohjois-Amerikassa, Japanissa ja Australiassa. Nämä testit ovat transtienttitestisykli WHTC, joka sisältää sekä kylmä- ja kuumakäynnistysvaatimukset, sekä vakiotilatestisykli WHSC-testi (engl. World Harmonized Stationary Cycle) pelkälle kuumakäynnistykselle. WHTC-vaatimukset hyväksyttiin ensimmäisen kerran raskaiden ajoneuvojen moottoreiden EURO VI -päästöasetuksessa. (DieselNet n.d.)

Näiden kahden testin lisäksi on luotu alustadynamometriversio WHVC-testi (engl. World Harmonized Vehicle Cycle), mutta se ei kuulu kansainväliseen vakiotestausmenettelyyn. (DieselNet n.d.).

4.3 Hiilidioksidi (CO₂)

Hiilidioksidi (CO₂) on merkittävin ihmisen tuottama kasvihuonekaasu. Hiilidioksidia syntyy kaikenlaisessa palamisessa, kuten fossiilisia polttoaineita käyttävissä ajoneuvojen moottoreissa. Tästä syystä valtaosa ihmisten tuottamasta hiilidioksidista onkin peräisin fossiilisten polttoaineiden (mm. öljy, maakaasu ja kivihiili) käytöstä johtuvaa. Sitä pidetäänkin merkittävimpana ihmiskunnan jätetuotteena. (Ilmasto-opas n.d.)

4.4 Muut päästöt

Tässä työssä esitellään myös muita ajoneuvon käytöstä syntyviä päästöjä. Näistä käydään läpi merkittävimmät kaasut, jotka vaikuttavat eniten maapallon kasvihuoneilmiöön. Nämä tarkasteltavat päästöt hiilidioksidin (CO₂) lisäksi ovat CO eli hiilimonoksidi, NO_x eli typen oksidit, HC eli hiilivety ja PM eli hiukkaspäästöt (engl. Particulated Matter).

4.4.1 Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidi – eli häkä – on mauton, hajuton, väritön ja myrkyllinen kaasu, jota ihminen ei pysty havaitsemaan. Hiilimonoksidia syntyy epätäydellisen palamisen tuloksena niukkahappisissa oloissa, kuten öljyn, puun, nestekaasun tai polttoaineen palamisessa polttomoottoreissa. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto n.d.)

Sillä on myös ilmastoa lämmittävä välillinen vaikutus, koska hiilimonoksidi nostaa ilmakehän metaani- ja otsonipitoisuuksia. (Tilastokeskus n.d.)

4.4.2 Typen oksidit (NO_x)

Typen oksideja (NO_x) syntyy, kun polttomoottoreissa ilman typpi sitoutuu happeen. Niitä syntyy erityisesti ajettaessa ajoneuvolla liian lujaa, eli maanteillä sekä kiihdyttäessä kaupunkiliikenteessä. Suurin osa pakokaasujen sisältämistä typen oksideista vapautuu typpimonoksidina, joka pikku hiljaa hapettuu ilmassa typpioksidiksi, ja muuntuu edelleen muiksi typpiyhdisteiksi. Tavallisesti typen oksidien (NO ja NO₂) määrä ilmoitetaan typpioksidiksi (NO₂) muunnettuna, ja merkitään symbolilla NO_x. (LIPASTO n.d.)

Typen oksidien tieliikenteen osuus kokonaispäästöistä ilmaan on 48 prosenttia. (LIPASTO n.d.)

4.4.3 Hiilivedyt (HC)

Hiilivedyt eli HC on sadoille eri hiilivedyille käytetty yhteisnimitys. Niitä kutsutaan myös kokonaishiilivedyksi. Tällöin se sisältää myös metaanin eli (CH₄). Kun kokonaishiilivedystä vähennetään metaania (CH₄), saadaan aikaan metaanittomat haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli NMVOC. (LIPASTO n.d.)

Hiilivety on pääsääntöisesti palamatonta polttoainetta. Se jää epätäydellisen palamisen tuloksena pakokaasuihin. Sen määrä pakokaasussa vaihtelee, riippuen ajotilanteesta. Hiilivetyä syntyy erityisesti ajettaessa hyvin kovaa tai hiljaa, sekä ajettaessa kaupunkiliikenteessä nykivää ajoa. (LIPASTO n.d.)

Hiilivetyjen kokonaispäästöistä tieliikenteen osuus on 47 prosenttia. (LIPASTO n.d.)

Hiilivedyt ovat myrkyllisiä, ja osalla niistä onkin suoria myrkkyyvaikutuksia. Monet tavatut orgaaniset yhdisteet hiilivety päästöistä kuuluvat karsinogeenien ryhmään – eli syöpää aiheuttavien aineiden joukkoon. (LIPASTO n.d.)

4.4.4 Hiukkaspäästöt (PM)

PM – eli particulated matter – hiukkaset ovat kooltaan pieniä, ja niitä syntyy palamisprosessin tuotteina. Tästä johtuen pakokaasut sisältävät näitä hiukkasia. Ne ovat runkoaineeltaan pitkälti hiiltä, ja muut pakokaasussa olevat haitalliset yhdisteet tarttuvat niiden pintaan. (LIPASTO n.d.)

Ne ovatkin ehkä monisärmäisin liikenteen saasteongelmista. Tämä johtuu siitä, että hiukkasten ja aerosolien vaikutuksia ei täysin tunneta, ja niiden tutkimisessa on edelleen paljon työtä. Puolestaan useimpien kaasumaisten haitta-aineiden vaikutukset ovat varsin hyvin tiedossa. Ongelmaa monimuotoistaa hiukkasten monimuotoisuus sekä niihin useimmiten sitoutuva orgaaninen aines, joka voi mahdollisesti sisältää mm. syöpävaarallisia hiilivetyjä. (LIPASTO n.d.)

Hiukkaspäästöjä mitattaessa on tärkeää huomioida, että pakokaasuja koskevat rajoitukset annetaan yleensä kokonaismassana. Tämä kokonaismassa sisältää kaikenkokoisia hiukkasia. Kokonaismassaa kuvaavan luvun perusteella tehtyjä vertailuja auto- ja moottorityyppien välillä saattaa olla jossain määrin harhaanjohtavaa, koska tiedetään hiukkasten haittavaikutusten olevan suurimmalta osin sidoksissa niiden kokoon. (LIPASTO n.d.)

Mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä vaarallisempia ne ovat terveydelle. Pienemmät hiukkaset tunkeutuvat syväälle hengityselimiin, ja elimistön on vaikeaa taistella niitä vastaan oman ”suodatusjärjestelmän” avulla. Dieselmoottoriset autot tuottavat hiukkasten massan mukaan mitattuna keskimäärin 10 kertaisen määrän hiukkaspäästöjä kuin bensiinikäyttöiset, mutta jos vertailu tehdään keskimäärin läpimitaltaan 1 mikronin (m) tai sitä pienempien hiukkasten välillä, ovat määrät paljon tasavertaisempia. (LIPASTO n.d.)

Ilmaan pääsevien hiukkasten määrästä tieliikenteen osuus on 17 prosenttia. (LIPASTO n.d.)

4.5 LIPASTO

LIPASTO on Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n luoma ja ylläpitämä pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä Suomen liikenteessä. Järjestelmä kattaa raide-, tie-, vesi-, ja ilmaliikenteen sekä työkoneet. Vuosina 2013-2017 LIPASTON rahoittamiseen ovat osallistuneet Traficom, Liikennevirasto, Liikenne- ja viestintäministeriö, Tilastokeskus sekä Ympäristöministeriö. (LIPASTO n.d.)

LIPASTON tuottama yksikköpäästötietokanta on poistettu käytöstä vanhentuneiden tietojen vuoksi, eikä uudistamiselle ole rahoitusta. Tätä työtä varten tietokannassa on kuitenkin tarjolla paljon erinomaista ja vanhentumatonta tietoa, jota pystytään hyödyntämään. (LIPASTO n.d.)

LIPASTON yksikköpäästöillä tarkoitetaan kuljetusvälineen käytönaikaista päästö määrää kilometrin matkalla kuljetusyksikköä kohden. Esimerkiksi grammaa per henkilökilometri (g/hkm) tai grammaa per tonnikilometri (g/tkm) (LIPASTO n.d.). Vaikka LIPASTON yksikköpäästötietokanta onkin poistettu käytöstä, on sivulle koottu monia eri EU:n virastojen ja tahojen tietokantoja, joiden avulla voimme tehdä vertailua VTT:n esittämiin arvoihin ja arvioihin. Juuri näitä tietoja, linkkejä ja tilastoja tullaan tässä työssä hyödyntämään.

4.6 GLEC

GLEC (Global Logistics Emissions Council) eli logistiikan päästöjen maailmanlaajuinen neuvosto on Smart Freight Centren ohjelma, jossa eri kansalaisjärjestöt (engl. NGO – Non-Governmental Organization) ovat yhdessä sitoutuneet edistämään laajaa ja johdonmukaista kasviuonepäästöjen laskemista ja raportointia. Kyseinen ohjelma kehitettiin tarjoamaan monikansallisille yrityksille ja heidän palveluntarjoajille tehokas ja läpinäkyvä tapa laskea ja raportoida logistiikasta syntyviä päästöjä. Yhdessä Pariisin ilmasopimuksen noudattamisen kanssa menetelmäkehys tarjoaa mahdollisuudet nopeuttaa toimia kasviuonepäästöjen vähentämiseksi. (Smart Freight Centre 2024a.)

GLEC- neuvostoon kuuluu laaja joukko maailman suurimpia monikansallisia yrityksiä, sekä yhdistyksiä. Merkittäviä jäseniä on mm.: Unilever, Microsoft, Volkswagen, Maersk, Neste, UPS, IATA (Kansainvälinen ilmakuljetusliitto), Universal Postal Union – UPU (Maailman postiliitto) sekä International Road Transport Union – IRU (Kansainvälinen

tieliikenneliitto). Edellä mainittujen lisäksi neuvostoon kuuluu maailman suurimpia lääkevalmistajia, kuljetusyhtiöitä, varustamoita sekä eri vaate- ja päivittäistavarayrityksiä. Kyseessä on siis erittäin merkittävä ja suuri ryhmä, joiden yhteinen tavoite on laskea logistiikan kasvihuonepäästöjä. (Smart Freight Centre 2024a.)

GLECin kehys on globaali menetelmä logistiikan päästöjen raportointiin ja laskemiseen. GLEC kehitti GLEC-kehymen harmonisoidakseen logistiikasta syntyvien kasvihuonepäästöjen raportointia ja laskentaa multimodaalisissa toimitusketjuissa. Kyseessä on ensisijainen ohjeistus alalla, joka tukee ISO 14083:n täytäntöönpanoa. Logistiikkapalvelujen tarjoajat, lähettäjät sekä rahdinkuljettajat voivat soveltaa sitä. Kehys on suunniteltu antamaan tietoa päästöjä vähentävistä liiketoimintapäätöksistä ja seuraamaan edistymistä kohti ilmastotavoitteita – päästöjen vähentämistä. Kehys toimii seuraavien kanssa (Smart Freight Centre 2024b):

- Greenhouse Gas Protocol (GHG)
- UN-led Global Green Freight Action Plan (Yhdistyneiden Kansakuntien aloite)
- CDP Reporting (Carbon Disclosure Project)

4.7 Päästöjen laskenta ja päästökerroin

Päästöjen laskennan vaikein vaihe on oikean päästökertoimen valinta. Päästökerroin kuvastaa, paljonko päästöjä tuotteen valmistamisesta tai kuljettamisesta syntyy. Tästä syystä oikean päästökertoimen valinta on erittäin olennainen osa hiilijalanjälkilaskentaa. Väärällä kertoimen valinnalla vaikutetaan laskennan lopputulokseen, ja se vääristää tulosta. Tämä puolestaan vaikuttaa suoraan päästöjen laskennan luotettavuuteen. (OpenCO₂Net 2022a.)

Päästöjenlaskennan tulisi poikkeuksetta pohjautua tiettyihin standardeihin, ja standardit suosittelevatkin käyttämään ensisijaisesti primääridataa – eli esimerkiksi valtion virastojen lähteitä tai palveluiden toimittajien tietoja. Mikäli toimittajakohtaisia kertoimia ei ole saatavilla, pystytään turvautumaan ns. sekundääridataan – eli tieteellisiin julkaisuihin tai luotettaviin tietokantoihin. (OpenCO₂Net 2022a.)

Sähkökulutuksesta syntyviä päästöjä voidaan laskea sijainti- ja markkinaperusteisesti. Päästökertoimet voivat kuitenkin olla hyvinkin erilaisia, riippuen käytettävästä menetelmästä. Esimerkiksi Suomessa keskimääräisen sähköntuotannon ja -hankinnan

päästökertoimet löytyvät useista luotettavista lähteistä, kuten Energiavirasto, Motiva tai Tilastokeskus. (OpenCO₂Net 2022a.)

Sähköyhtiöiden ja virastojen ilmoittamien tietojen yksikkönä päästökertoimelle toimii hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e). Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂e) kuvaa kasvihuonepäästöjen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta, kun taas CO₂ kuvastaa pelkästään hiilidioksidipäästöjä. Päästökertoimia käytetään määrittäessä hiilijalanjälkeä. Kasvihuonekaasuilla on erilainen ilmastoa lämmittävä vaikutus (GWP, Global Warming Potential). IPCC – eli hallitustenvälinen ilmastopaneeli julkaisee kasvihuonekaasujen GWP-indeksit arviointiraporteissaan. (OpenCO₂Net 2022b.)

Päästökerrointa valittaessa päästölaskentaa varten kannattaa kiinnittää laskennan tarkoituksen ohella huomiota myös lähteen luotettavuuteen, eikä valita heti ensimmäistä netistä löytyvää päästökerrointa. (OpenCO₂Net 2022a). Esimerkiksi LIPASTON sivuilta löytyvää Greenhouse Gas Protocol (GHG) laskentatyökalua hyödynnetään päästölaskennassa. GHG-protokollalla tarkoitetaan maailmanlaajuista standardia hiilijalanjäljen laskentaan sekä päästöjen yhdenmukaiseen raportointiin. Kyseessä on 90-luvun loppupuolella alkanut yhteishanke, jonka taustalla toimivat World Resources Institute (WRI) sekä World Business Council of Sustainable Development (WBCSD). Protokolla onkin vakiintunut tänä päivänä laajaan käyttöön, ja sitä sovelletaankin mm. tulevien ESRS- ja nykyisten GRI-standardien mukaisissa vastuullisuusraporteissa. (NGS Finland 2023).

4.8 Tonnikilometri

Tonnikilometri – eli kuljetussuorite – saadaan kertomalla kuljetettu tavaramäärä (tonnia) kuljetusmatkan pituudella (kilometri). Kuljetussuorite kuvastaa kuljetustyön määrää. Esimerkkilasku: 25 tonnia kuljetetaan 1000 kilometrin matka, on laskelma seuraavanlainen: 25t x 1000km = 25 000 tkm. (Tilastokeskus n.d.). Koska tässä työssä tarkastellaan juuri yksikkökohtaisia päästöjä, on suositeltavaa suorittaa laskennat kuljetussuoritteen mukaan.

5 KULJETUSMUODOT

5.1 Maantiekuljetus

Maantiekuljetus on monille eri yrityksille toimiva, yleinen ja myös suosittu vaihtoehto. Maantiekuljetuksissa rahdin kuljettaminen toteutetaan maanteitse käyttäen moottoriajoneuvoja, kuten kuorma-autoja. Maantiekuljetuksia voidaan tarjota niin paikallisiin, kotimaisiin kuin kansainvälisiin kuljetuksiin. (Maersk 2023.)



Kuva 4. Maantiekuljetus. Kuvassa puoliperävaunuyhdistelmä. (FREJA 2014.)

Tavaroiden kuljettaminen on olennainen osa nykyajan liiketoimintaa. Rahdin hallinta on välttämätöntä, oli kyseessä sitten valmiiden tuotteiden toimittaminen asiakkaille tai raaka-aineiden nouto toimittajilta. Maantiekuljetukset ovat usein joustavin, tehokkain ja käytännöllisin vaihtoehto monille. Muihin kuljetusmuotoihin verrattuna maantiekuljetus on kustannustehokkaampi vaihtoehto, sekä myös räätälöitävissä asiakkaan tarpeiden mukaan. (Priority Freight 2023.)

Kuljetukset voidaan luokitella esimerkiksi seuraavanlaisesti:

- Esikuljetukset (nouto)
- Jälkikuljetukset (jakelu)

- Runkokuljetukset
- Täyskuorma (engl. FTL – Full Truck Load)
- Osakuorma (engl. LTL – Less than Truck Load)
- Kuljetusyksikkö

Esikuljetukset kattaa kaikki kuljetukset ennen kuljetusyksikön toimittamista satamaan tai terminaaliin. Jälkikuljetuksella puolestaan tarkoitetaan kaikkia kuljetuksia sen jälkeen, kun tavarat/kuljetusyksikkö on noudettu satamasta tai terminaalista ja kuljetetaan vastaanottajalle. (MacAndrews 2017.)

Runkokuljetuksilla tarkoitetaan tuotteiden kuljettamista kahden määrätyn varaston/terminaalin välillä käyttäen mitä tahansa kuljetusmuotoa. Satamat, kaupungit ja varastot voivat toimia näinä asemina, ja kuljetukset perustuvat yleensä aikataulutettuihin lähtöihin ja saapumisiin. (Indeed 2023.)

Täyskuorma eli FTL (engl. Full Truck Load). Termi tarkoittaa sitä, että rahtilähetys saa oman kuorma-auton ja trailerin kokonaan käyttöönsä. Lähetys on näin ollen riittävän suuri täyttämään koko trailerin lattia-alan kokonaan tai lähettäjä voi olla eri syistä päättänyt olla jakamatta traileria muiden lähetysten kanssa. Täyskuorma kuljetetaan suoraan lähtöpisteestä määränpäähän. Koska täyskuorman kohdalla koko traileri on asiakkaan käytössä, se voi lähteä kuljetusliikkeen kanssa sovitun aikataulun mukaisesti, ja tavara toimitetaan sovittuna ajankohtana perille. FTL on myös hyvä ratkaisu arvokkaiden tavaroiden kuljettamiseen – vahinkojen/vaurioiden mahdollisuudet pienenevät, koska ylimääräisiä pysähdyksiä ei tarvita, eikä kuormaa tarvitse kuljetuksen aikana siirrellä. (Approved forwarders n.d.)

Kuljetusyksikkö voi olla esimerkiksi kontti, traileri, peräkärri, säiliö tai rautatievaunu. Käytännössä kuljetusyksikkö on mikä tahansa yksikkökuormalaite, joka on erityisesti valmistettu tavaroiden kuljettamista varten maa-, meri-, ilma-, tai rautateitse. (Law insider 2024.)

Puoliperävaunuyhdistelmä koostuu vetoautosta sekä yhdestä tai useammasta perävaunusta. Kuorma-auton toimiessa vetoautona on yhdistelmiä kahta päätyyppiä: puoliperävaunu- ja täysperävaunuyhdistelmä. Puoliperävaunuyhdistelmässä vetopöydällä varustettu kuorma-auto toimii vetoautona, ja puoliperävaunu kytketään kiinni vetopöydään perävaunussa olevan vetotapin avulla. Vetoautosta käytetään puhekielessä myös

nimitystä vetäjä, veturi tai nuppi. Itse puoliperävaunuyhdistelmästä käytetään yleisesti nimitystä puolikas. (Ammattilehti 2012.)

5.2 Rautatiekuljetus

Rautatiekuljetus tarkoittaa rautateitä pitkin tapahtuvaa kuljetusta. Siinä pyörillä varustettu kulkuneuvo (junaveturi) kulkee raiteilla, jotka yleensä koostuvat kahdesta rinnakkaisesta teräskiskosta. Rautatieliikenne on maantieliikenteen ohella yksi tärkeimmistä maaliikenteen kuljetusmuodoista. (Britannica 2024.)



Kuva 5. Rautatiekuljetus. Kuvassa merikonttien kuljetusta sähköveturilla. (Pixabay 2024.)

5.3 Kuljetusmuotojen vertailu

Kuljetusmuodoilla on erilaiset ominaisuudet ja tämän myötä myös erilainen rooli yritysten kuljetusketjuissa ja -tarpeissa. Yritykset tekevät itse päätöksensä kuljetusmuodon tai niiden yhdistelmien valinnan suhteen – eli millä tavalla tavarankuljetukset hoidetaan. (Traficom 2021.)

Kuljetusmuodon valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. (Traficom 2021):

- Kuljetettavan tavaran ominaisuudet sekä määrä
- Kuljetettava etäisyys, sekä lähtö- ja määräpaikka
- Aikataulujen ja kuljetusfrekvenssin tarpeet
- Kapasiteetti ja ominaisuudet kuljetusmuodoissa
- Liikenneinfra ja infran kapasiteetit
- Kuljetusten hinta sekä ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset

Esimerkiksi thermo-kärryä kuljetettaessa laivalla, on kärrylle mahdollista antaa virtaa pistorasiasta, ja varustamon henkilökunta valvoo kuljetusyksikköä laivamatkan ajan, esimerkiksi tulipalon varalta. Tätä mahdollisuutta ei ole rautatiekuljetuksissa. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

Maantiekuljetukset ovat yleensä pienistä paketeista kymmeneen tonneihin, kun taas rautatiekuljetukset sadoista tonneista tuhansiin tonneihin. Kuljetusmatkat vaihtelevat tyypillisesti muutamista kilometreistä satoihin kilometreihin maantiekuljetuksissa, ja rautatiekuljetuksissa kymmenistä kilometreistä satoihin kilometreihin. (Traficom 2021.)

Maantiekuljetukset ovat joustavia ja osa lähes kaikkia kuljetusketjuja. Palveluntarjonta on monipuolista ja kuljetukset ovat nopeita eri kuljetustarpeisiin – aina pienemmistä ja jakelukuljetuksista 76 tonnin yhdistelmiin. (Traficom 2021.)

Maantiekuljetuksissa on monipuolisesti palveluntarjoajia, markkinat ovat erityisen kilpailutettuja, sekä katu- ja tieverkko on laaja – tehden maantiekuljetuksista joustavan ja hinnoittelultaan kilpailukykyisen kuljetusmuodon. Maantiekuljetukset soveltuvat pienten ja satunnaisten kuljetuserien kuljettamisesta aina volyymiltään säännöllisiin suuriin kuljetuksiin. Käytännössä kaikki kuljetuksia tilaavat yritykset hyödyntävät maantiekuljetuksia monissa kuljetusketjuissa. (Traficom 2021.)

Talviolosuhteet, kaupunkien keskustojen infrastruktuuri, logististen toimintojen moninaisuus ja ympäristönäkökohdat tuovat omat haasteensa maantiekuljetuksille. Lisäksi kuljetusten pitäisi tuottaa vähemmän melua ja olla vähäpäästöisempiä menettämättä kustannustehokkuutta. Lisäksi liikennejärjestelyjen suunnittelussa, toteutuksessa sekä lastaus- ja purkupaikkojen suunnittelussa on otettava huomioon ajoneuvojen suuri koko. (Traficom 2021.)

Suomalaisille yrityksille maantiekuljetukset ovat ominaisuuksistaan johtuen käytännöllisesti katsoen tärkein kuljetusmuoto. Vaikka Euroopan Unioni tahtookin siirtää jatkossa kuljetuksia muihin kuljetusmuotoihin, on maantiekuljetusten rooli hyvin suurella todennäköisyydellä suuri myös jatkossakin. Maantiekuljetusten hyväksyttävyyttä ja päästöjen vähentämistä pyritään toteuttamaan uusien, kestävimpien käyttövoimien avulla, kuten esimerkiksi biokaasu, biodiesel/etanoli, vety tai sähkö. (Traficom 2021.)

Rautatiekuljetus soveltuu erityisesti raskaan teollisuuden suurten massojen säännöllisiin kuljetuksiin. Kuljetukset on siirretty enenevässä määrin mahdollisimman pitkiin kokojunakuljetuksiin ja välikäsittelyiden määrää on supistettu. Suomessa käytetään rautatiekuljetuksia nimenomaan terminaalien välisissä kuljetuksissa sekä tehtaan ja sataman välisissä kuljetuksissa. Rautatiekuljetusten tärkeimpiä asiakkaita ovatkin metalli-, metsä-, kaivos- ja kemianteollisuus. Esimerkiksi metsäteollisuuden raaka-ainekuljetuksissa raakapuujunat luovat oman valtakunnallisen järjestelmänsä. (Traficom 2021.)

Suomessa pienemmille kuljetusmäärille sekä epäsäännöllisille kuljetuksille rautatiekuljetusten tarjonta on hyvin rajallista. Suomessa markkinoille haluavat uudet toimijat kokevat merkittäviä esteitä esimerkiksi kaluston hankinnan suhteen, koska Suomen raideväli poikkeaa Euroopan raidevälistä. Lisäksi toimintamahdollisuuksia rajoittaa tietyillä rataosilla rautatiekuljetuksissa rataverkon kapasiteetti. Toisaalta kuljetusten päästöjen vähentämisen tarve, kohonneet polttoainehinnat sekä kuljettajapula ovat omalta osaltaan lisänneet kiinnostusta yrityksissä siirtää kuljetuksia vaihtoehtoisiin kuljetusmuotoihin. (Traficom 2021.)

EU:n komission odotusten mukaan tavaraliikenne rautateitse kaksinkertaistuisi vuoteen 2050 mennessä nykyisestä, ja että täysin multimodaalinen ja toimiva Euroopan laajuinen ns. TEN-T- liikenneverkko (engl. Trans-European Network Transport) olisi siihen mennessä toteutettu. (Erfarail 2022). TEN-T- liikenneverkon tarkoituksena on yhdistää Euroopan rautatiet, maantiet, sisävesireitit, lento- ja meriyhteydet, kaupunkisolmukohdat ja multimodaaliset rahtiterminaalit kattavaksi liikenneverkoksi. Tällä saavutetaan mahdollisimman saumaton ja kestävä tavaroiden sekä ihmisten liikkuminen jäsenmaasta toiseen. (Väylävirasto 2024).

European Rail Freight Association (ERFA) – eli Euroopan rautateiden tavaraliiton analyysin mukaan rautateiden tavaraliikenne oli liikennemuodoista ainoa, joka vuosien 1990 ja 2020 välillä pystyi vähentämään hiilidioksidipäästöjä yli 60 prosenttia vertailukelpoisella kokonaiskuljetusmäärällä. Samalla aikavälillä maantiekuljetusten päästöt

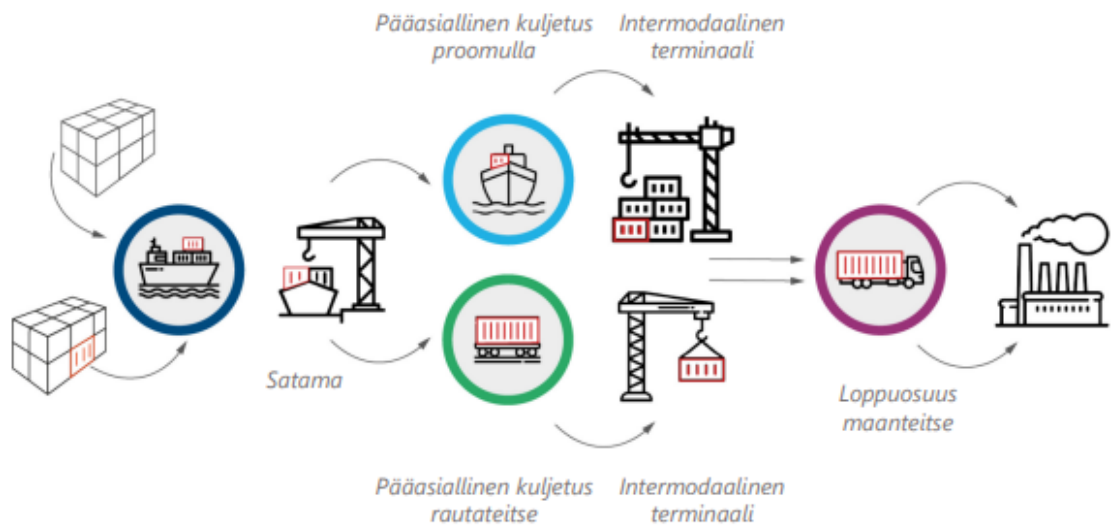
kasvoivat puolestaan noin 25 prosenttia, kokonaisvolyymin kasvaessa 65 prosentilla. (Erfarail 2022.)

Tehokkain tapa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen kuljetusmarkkinoilla vuoteen 2030 mennessä olisi EU:n tasolla yhteiset ponnistelut rahdin siirtämiseksi enemmän rautatie-liikenteeseen. Tämä johtuu siitä, että päästöttömiä raskaan kaluston ajoneuvoja ei ennen 2020-luvun loppua oteta käyttöön suurissa määrin. (Erfarail 2022.)

Kummankin kuljetusmuodon hyvien ja huonojen puolien osalta voidaan todeta, että maantieliikenne on joustavin tapa rahdin kuljettamiseen, sillä monille kuljetuksille voidaan tarjota ns. ovelta ovelle -kuljetus. Muut liikennemuodot – ilma-, vesi-, tai rautatie-liikenne – ovat puolestaan hitaampia ja vähemmän joustavia. Lisäksi mahdollistaakseen muiden kuin maantieliikenteen käytön, edellyttävät ne erityistä infrastruktuuria. Tätä erityistä infrastruktuuria ei ole mahdollista toteuttaa jokaisessa lähetyspaikassa. Vaikka muut kuljetusmuodot ovatkin hitaampia ja vähemmän joustavampia, tarjoavat ne paremman turvallisuuden ja ympäristötehokkuuden tason, sekä voivat vähentää tie-liikenteen paineita ruuhkautumisen osalta. (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023.)

5.4 Intermodaalikuljetus

Intermodaalikuljetuksilla tarkoitetaan tavaroiden kuljettamista yhdessä samassa kuljetusyksikössä. Yksikköä siirettäessä käytetään liikennemuotojen yhdistelmää – eli maantie-, vesi-, ilma-, tai rautatiekuljetuksia. Intermodaalikuljetuksilla on mahdollista optimoida jokaisen liikennemuodon suhteelliset vahvuudet nopeuden, joustavuuden, kustannusten ja ympäristötehokkuuden osalta. Vuosina 2014-2020 Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR), koheesiorahastosta sekä Verkkojen Eurooppa -välineestä sidottiin yhteensä kaikkiaan n. 1,1 miljardia euroa rahoitusta EU:n intermodaalisuutta tukeviin hankkeisiin. (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023.)



Kuva 6. Esimerkki intermodaalikuljetuksen logistiikkaketjusta. (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023.)

Keskeisenä ilmastonmuutoksen aiheuttajana pidetään kasvihuonepäästöjä. Ylempänä todettiin liikenteen muodostavan viidenneksen Suomessa syntyvistä kasvihuonepäästöistä, mutta Euroopassa liikenteen osuus on kuitenkin lähes neljännes. Tieliikenteen osuus tästä määrästä on lähes kolme neljäsosaa. Maanteitse rahtia kuljettavat kuorma-autot ja rekat aiheuttavat noin neljänneksen tieliikenteen päästöistä. Näistä syistä johdun siirtyminen tieliikenteestä intermodaalisen liikenteen käyttöön voi olla keskeisessä asemassa kohti ympäristöystävällisempää Euroopan tavaraliikennettä. Yhtenäistä Euroopan liikennealuetta koskevassa etenemissuunnitelmassa vuodelta 2011 komissio asetti ensimmäisen kerran tavoitteeksi vähentää liikenteestä syntyviä kasvihuonepäästöjä 60 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 lukuihin. Vaikka raskaiden hyötyajoneuvojen tehokkuus on parantunut vuodesta 1990 alkaen, on tavaraliikenteen kysynnän kasvu ylittänyt saavutetut tehokkuushyödyt. (Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023.)

6 KULJETUSKALUSTO

6.1 Puoliperävaunu (eurotraileri)

Puoliperävaunu on perävaunu, jonka kaikki akselit sijaitsevat vaunun takaosassa. (Finlex 2022). Puoliperävaunusta käytetään yleisesti monia muita nimiä, kuten mm. eurotraileri, pressutraileri/-kärry, kapellitraileri, verhokapellitraileri tai englanniksi semitrailer. Pressutraileri on sopiva nimitys verhokapellitrailerille, sillä puoliperävaunun sivut ovat pressukangasta. Verhotrailerit soveltuvat monien tuotteiden kuljetuksiin, jotka kestävät hyvin säävaihtelut kuljetuksen aikana. Verhotrailerissa on liukuva katto ja verhosivut. (FREJA 2024).



Kuva 7. Puoliperävaunu eli verhokapellitraileri. (FREJA 2024.)

Puoliperävaunun tekniset tiedot (FREJA 2024):

- Tekninen kantavuus 42 000 kg
- Tilavuus 92 kuutiota
- Pituus: 13,62-13,82 m
- Leveys 2,48-2,55 m

- Korkeus 2,75-4,01 m

Jos puoliperävaunu lastataan sivusta ns. sivulastauksena ovat mitat (FREJA 2024):

- Korkeus edessä 2,55 m
- Korkeus takana 2,60 m

On huomioitavaa, että trailerin mitat voivat mahdollisesti vaihdella käyttöönottovuoden mukaan, joten kuljetusta tilattaessa täytyy kuljetusyhtiöltä aina varmistaa trailerin mitat. (FREJA 2024.)

6.2 Puoliperävaunun vaatimukset rautatiekuljetuksissa

Jotta puoliperävaunu on mahdollista kuljettaa rautateitse intermodaalina, täytyy kuljetuksissa käyttää niin sanottua huckepack-traileria. Kyseinen perävaunu on varusteltu keltaisella merkityillä nostokohdilla, jotta se on mahdollista lastata suoraan rautatievaunun kyytiin.



Kuva 8. Huckepack- traileri. Kuvassa punaisin nuolin sekä ympyröillä osoitettu keltaiset nostokohdat. (Henkilökohtainen tiedonanto 3.3.2024.)



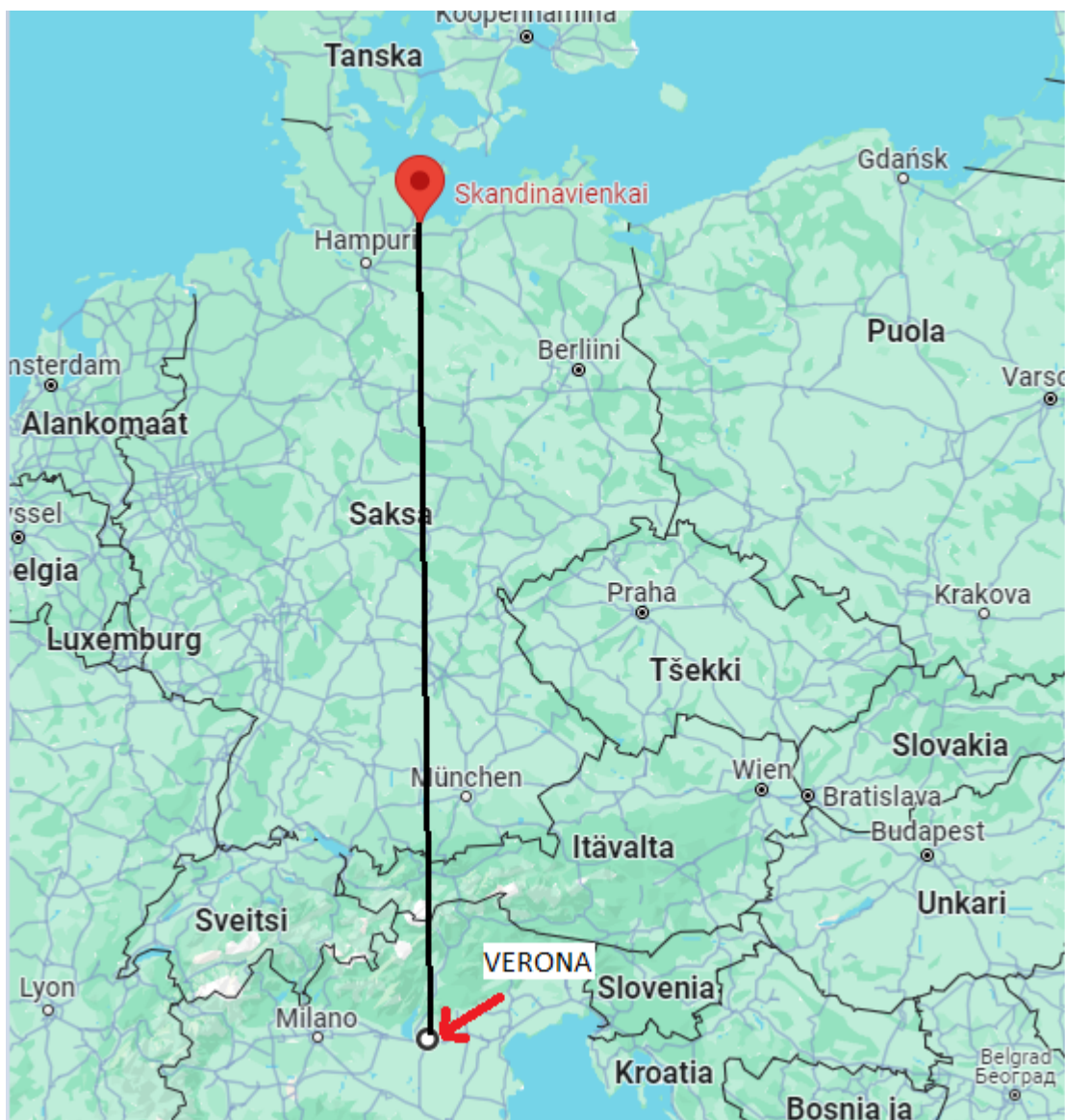
Kuva 9. Huckepack-trailerin lastaus junavaunulle. (Vimeo 2015.)

Junaan meneville trailereille on määritelty erittäin tarkat ohjeet, joista poikkeaminen aiheuttaa aina viivästyksiä ja lisäkustannuksia satamassa. Ennen lastausta on varmistettava trailerin kunto. Trailerissa ei saa olla esimerkiksi vaarallisten aineiden kuljetuksesta jääneitä IMO-tarroja, pressussa ei saa olla repeämiä, reikiä, viiltoja tai teipillä korjattuja reikiä. Lisäksi kaikkien pressunkiristimien tulee olla ehjiä, ja kaikki asiallisesti lukittuna ja sidottuna. Tärkeimpänä asiana lastattaessa ja sidottaessa kuormaa on varmistaa, ettei kuorma aiheuta pressun tai takaovien pullottamista ulospäin. Kuorma ei saa missään tapauksessa koskea pressuun – sivulinjan on oltava täysin suora ja pressun kireällä. Lisäksi kuljettajan täytyy varmistaa, ettei pressunkiristäjät tule keltaisella merkittyjen nostokohtien päälle. Rautatiekuljetukset on todella tarkasti mitoitettu, ja pullottava pressutraileri voi aiheuttaa pahoja vaaratilanteita. Rautatieoperaattorit eivät ota näissä minkäänlaisia riskejä, vaan trailerin ulospäin pullottaminen johtaa aina trailerin hylkäämiseen. (Henkilökohtainen tiedonanto 3.3.2024.)

7 LASKUT JA TULOKSET

7.1 Reitti ja reitin pituus

Kuljetettava reitti kattaa kolme maata (Saksa, Itävalta & Italia), ja on pituudeltaan kuljetusmuodosta riippuen joko 1287 kilometriä tai 1236 kilometriä. Reitin lähtöpiste on Skandinavienkai-Travemünde Pohjois-Saksassa ja päätepiste Verona Pohjois-Italiassa.



Kuva 10. Kuvakaappaus Google Maps -alustalta. Havainnekuva reitistä linnuntietä.

7.1.1 Reitti rautateitse

Rautateitse reitti on seuraavanlainen: Skandinaviankai-Travemünde (DE) - Lübeck (DE) - Hamburg (DE) - Hannover (DE) - Würzburg (DE) - Treuchtlingen (DE) - München (DE) - Rosenheim (DE) - Kufstein (AT) - Innsbruck (AT) - Bolzano (IT) - Verona (IT). Koko reitin pituudeksi muodostuu 1287 kilometriä, ja kaikki rataosuudet on sähköistetty. Vaikka kyseiset rataosuudet on sähköistetty, on tästä huolimatta vertailussa mukana myös dieselveuri.

Euroopan vaihtoehtoisten polttoaineiden seurantakeskuksen datan mukaan vuonna 2021 Saksassa oli rautateitä yhteensä 38 394 km. Tästä määrästä vain reilu puolet – eli tarkemmin 54,0 % – on sähköistetty. Tarkka määrä sähköistettyjä osuuksia vuonna 2021 oli näin ollen 20 726 km. (Euroopan komissio n.d.)

7.1.2 Reitti maanteitse

Maanteitse reitti on pituudeltaan 1236 km. Reitti on laskettu käyttäen yrityksen omaa trailereille tarkoitettua laskentaohjelmistoa, joka huomioi mahdolliset esteet (sillat, painorajoitukset ym.) ja parametreja säätämällä saadaan reitti laskettua tarpeen mukaan. Reitistä maanteiden osuus on 1213 km ja taajamaa 23 km. Tämä täytyy huomioida, sillä maanteille ja taajamille on määritetty omat päästökertoimensa.



Kuva 11. Kuvakaappaus reitinlaskentaohjelmistosta. Kuvassa reitti maanteitse.

7.2 Laskenta

Laskenta tehdään käyttäen GLEC-neuvoston rautatiekuljetusten päästökertoimia, sekä InfraDB:n puoliperävaunun päästökertoimia.

Taulukko 1. InfraDB:n päästökertoimet puoliperävaunuyhdistelmälle.

Tuote	Yksikkö	Päästökerroin
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 20 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	179,58
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 20 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	284,84
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 37,5 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	103,75
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 37,5 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	168,68
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 40 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	98,34
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 40 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	160,38
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 50 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	82,09
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 50 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	135,49
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 80 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	57,71
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 80 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	98,16
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 100 % kuorma, maantieajo	g CO ₂ e /tkm	49,59
Kuljetus, puoliperävaunuyhdistelmä (40 t), 100 % kuorma, kaupunkiajo	g CO ₂ e /tkm	85,71

Taulukossa 1 nähdään puoliperävaunulle määritetyt päästökertoimet kuljetussuoritteen (g/tkm) mukaan. Jokaiselle kuormalle on määritelty lastausaste prosentteina. Esimerkiksi 50 % tarkoittaa, että kyseinen yksikkö palaa takaisin tyhjänä ilman paluukuormaa. Lisäksi maantie- ja kaupunkiosuuksille on määritelty lastausasteittain omat päästökertoimet kuljetussuoritteen mukaan.

Taulukko 2. GLEC:n päästökertoimet rautatiekuljetuksille sähköveturilla.

Load characteristics	Basis		Emission intensity (g CO ₂ e/t-km) @ average 2016 EU electricity generating mix
	Load Factor	Empty Running	
Average/mixed	60%	33%	10
Container	50%	17%	9.1
Cars	85%	33%	22
Chemicals	100%	50%	8.6
Coal & Steel	100%	50%	6.7
Building Materials	100%	50%	8.3
Manufactured Products	75%	38%	8.8
Cereals	100%	38%	6.6
Truck + trailer on train	85%	33%	48
Trailer only on train	85%	33%	33

Taulukossa 2 on GLEC:n määrittelemät päästökertoimet lastausasteittain ja kuljetettavan tavarankin mukaan. Esimerkiksi alimmalla rivillä on päästökerroin pelkälle puoliperävaunulle, junavaunuun lastattuna. Taulukossa on myös määritelty yleinen Euroopan keskiarvo sähköveturilla tapahtuvista junakuljetuksista.

Taulukko 3. GLEC:n päästökertoimet rautatiekuljetuksille dieselveturilla.

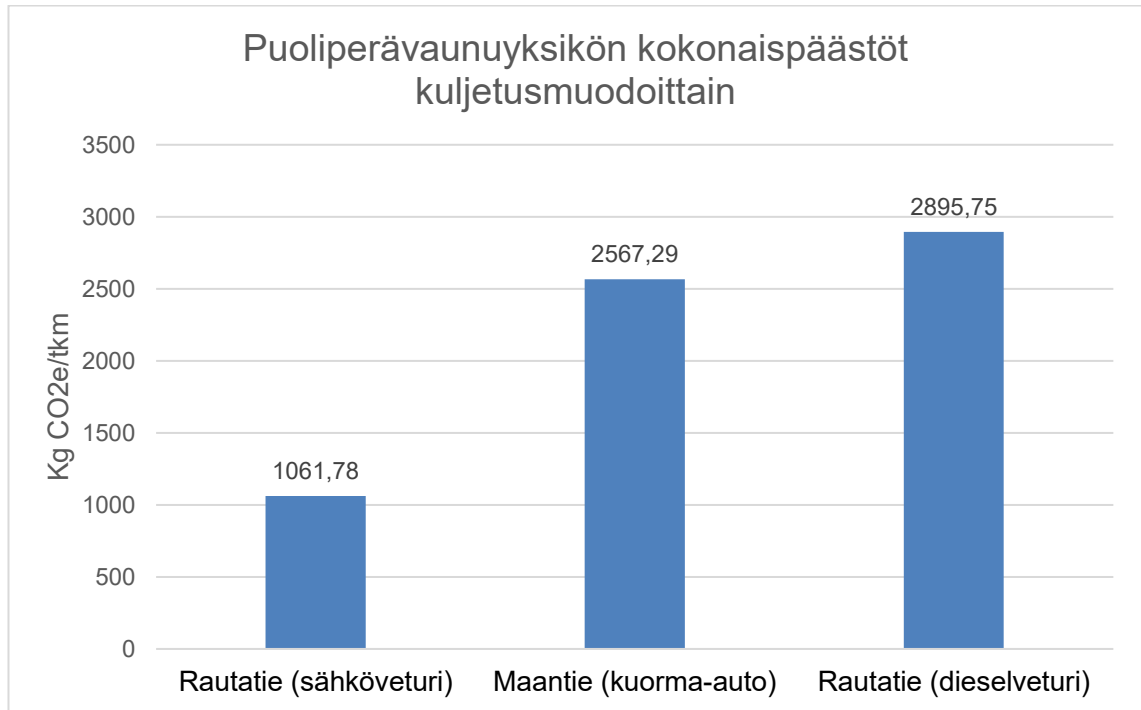
Table 38. European rail diesel traction emission intensity factors							
Load characteristics	Basis		Consumption factor (kg/t-km)	Consumption factor (l/t-km)	Emission intensity (g CO ₂ e/t-km)		
	Load Factor	Empty Running			WTT	TTW	WTW
Average/mixed	60%	33%	0.0073	0.0087	5.6	22	28
Container	50%	17%	0.0067	0.0080	5.1	20	25
Cars	85%	33%	0.016	0.019	12	48	60
Chemicals	100%	50%	0.0063	0.0075	4.8	19	24
Coal & Steel	100%	50%	0.0049	0.0058	3.7	15	19
Building Materials	100%	50%	0.0061	0.0073	4.6	19	23
Manufactured Products	75%	38%	0.0064	0.0077	4.9	20	24
Cereals	100%	38%	0.0048	0.0058	3.7	15	18
Truck + trailer on train	85%	33%	0.035	0.042	27	110	130
Trailer only on train	85%	33%	0.029	0.024	18	70	90

Taulukossa 3 on määritelty tavararyhmittäin eri päästökertoimet lastausasteittan dieselveturille. Kuten sähköveturille, myös dieselveturille löytyy päästökerroin pelkälle puoli-perävaunulle, junavaunuun lastattuna.

Taulukossa 3 on nähtävissä kohdat WTT, TTW ja WTW. WTT eli Well-To-Wheel termiä käytetään polttoaineiden elinkaariarvioista. Tässä on huomioitu kaikki vaiheet polttoaineen elinkaaren aikana, joista aiheutuu ympäristövaikutuksia – aina raaka-aineiden hankkimisesta eli Well (suom. tankki, säiliö) käyttöön asti eli Wheels (suom. rattaat, renkaat). Käytännössä Well-To-Wheel koostuu kahdesta osasta: WTT eli Well-To-Tank ja TTW eli Tank-To-Wheel (Tank, suom. tankki, säiliö). WTT sisältää polttoainetuotannon vaiheet ja TTW taas polttoaineen käytön. (Neste 2021.)

Laskennassa määritetään ensin kuljetussuorite tonnikipometreinä, joka lopuksi kerrotaan määritellyllä päästökertoimella suoritteen mukaisesti. Laskuissa tarkastellaan puoli-perävaunun kuljetuksien kokonaispäästöjä ilman paluukuormaa, joten taulukoista saadaan suorat arvot laskentaa varten.

7.3 Tulokset



Kuva 12. Vertailutaulukko kuljetusmuotojen kokonaispäästöistä.

Kuten kuvasta 12 nähdään, on kuljetusmuodoista sähköveturilla tapahtuva rautatiekuljetus ylivoimaisesti vähäpäästöisin kuljetusmuoto. Ero toisena olevaan maantiekuljetukseen kuorma-autolla on 41,36 % – eli reilusti vähemmän, vaikka kuljetettava reitti on 51 km pidempi. Eniten päästöjä tuottava kuljetusmuoto on rautatiekuljetus dieselveturilla, kun laskennassa käytettiin WTW päästökertoimia – eli koko polttoaineen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia.

Kuvan 12 tulosten perusteella voidaan todeta, että halutessaan vähäpäästöisimmän kuljetuksen omalle kuljetusyksikölle, on rautatiekuljetus sähköveturilla ekologisin vaihtoehto.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 Työn arviointi

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää ennalta määritellylle reitille eri kuljetusmuodoista syntyvien päästöjen määrää, sekä selvittää niiden erot. Jotta lopputuloksesta saatiin mahdollisimman tarkka, vaati taustatyö selvitystöineen lukuisten eri lähteiden, toimeksiantajan ammattitaidon sekä oman osaamisen ja tiedon hyödyntämistä.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että laskenta tehtiin dieselveurinin osalta WTW-päästökertoimilla. Jos dieselveurinin laskelmat olisi tehty esimerkiksi käyttäen TTW (Tank-To-Wheel) kertoimia, olisi sillä ollut merkitystä lopputuloksen kannalta – silloin maantiekuljetus diesel kuorma-autolla olisi saastuttavin kuljetusmuoto. Taulukosta 3 nähdään TTW-päästökertoimien olevan pienempiä kuin WTW-päästökertoimet, jolloin myös kokonaispäästöt ovat pienempiä.

Työ toteutettiin kevään 2024 aikana, ja tulokset olivat kaikinpuolin onnistuneet ja mahdollisimman tarkat. Tuloksista saatiin vastaus toimeksiantajan kysymykseen, sekä voidaan todeta, että sähköveturilla tapahtuva junakuljetus on vähäpäästöisin kuljetusmuoto. Vaikka käytettävä reitti rautateitse on kokonaisuudessaan sähköistetty, oli dieselveurinilla tapahtuva kuljetus hyödyllistä ottaa mukaan tarkasteluun. Esimerkiksi asiakas ei voi kuljetusta tilatessaan tietää, millaisella kalustolla kuljetukset lopulta toteutetaan ja dieselveurit ovat edelleen yleisesti käytössä ympäri Eurooppaa.

Haastavinta työssä oli löytää mahdollisimman tarkat ja luotettavat päästökertoimet rautatiekuljetuksille. Monessa eri internetin lähteessä joko datan alkuperä puuttui, se ei ollut luotettavasta lähteestä tai tulokset saattoivat perustua keskiarvoihin. Näin ollen mahdollisimman tarkkaa laskentaa olisi vaikea tehdä ilman kunnollisia ja luotettavia päästökertoimia. Tämä taas olisi vaikuttanut osaltaan työn lopputulokseen.

Vaikka päästökertoimet ovatkin mahdollisimman tarkkoja, täytyy silti muistaa, että täysin tarkkaa vastausta kokonaispäästöille on mahdotonta määrittää. Työtä arvioidessa on hyvä huomioida, että päästöjen laskenta perustuu arvioon kuljetuksien päästöistä, eikä ole olemassa tapaa mitata päästöjä reaaliaikaisesti.

8.2 Oma oppiminen

Tämän opinnäytetyön tekeminen kansainvälisesti toimivaan ja merkittävään logistiikka-alan yritykseen toi paljon mahdollisuuksia oppia uutta kuljetusalasta, sekä kehittää omaa osaamistani. Tällä on suuri merkitys kasvaessani kohti kuljetusalan ammattilaista. Toimeksiantajana FREJA Transport & Logistics Oy oli loistava, ja sain aina apua tarvittaessa.

Itselläni ei ollut käytännössä lainkaan tietoa kuljetuksien päästöistä, enkä niistä tiennyt juuri mitään ennen työn aloittamista. Työtä tehdessäni opin paljon uutta kuljetusten päästöistä, ilmastonmuutoksesta, kasvihuoneilmästä sekä eri kuljetusmuotojen vaatimuksista ja eroista. Oppimista on tapahtunut merkittävästi ja pystyn tarvittaessa jakamaan tietoa eteenpäin kuljetuksista ja kuljetuksien päästöistä. Toimeksiantaja oli aktiivisesti mukana koko opinnäytetyöprosessin ajan, ja työtä oli mielekästä tehdä.

Opinnäytetyö prosessina on auttanut minua kehittymään kirjoittajana, opettanut järjestelmällisyyttä sekä aikataulutusta. Lisäksi lähdekritiisyyteni on kehittynyt, ja eri kaavioiden, taulukoiden ja tutkimustekstien analysointitaito on kehittynyt. Nämä ovat kaikki tärkeitä taitoja työelämässä sekä tulevaisuuden työtehtävissä.

LÄHTEET

- Autoalan tiedotuskeskus n.d. Päästömittausten terminologiaa. Viitattu 13.2.2024
https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/paastojen_terminologiaa
- Autotuojat ja -teollisuus n.d. Pakokaasupäästöjä koskevat normit EU:ssa. Viitattu 13.2.2024
https://www.autotuojat.fi/uutishuone/autoalan_termistoa/euro-paastoluokat
- Approved forwarders n.d. What is FTL?. Viitattu 11.4.2024
<https://www.approvedforwarders.com/what-is-ftl/>
- Ammattilehti 2012. Ajoneuvoyhdistelmä on vetoajoneuvosta ja yhdestä tai useammasta perävaunusta tehty ajoneuvojen yhdistelmä. Viitattu 11.4.2024
<https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?4115>
- Britannica 2024. Railroad. Viitattu 13.2.2024
<https://www.britannica.com/technology/railroad/Passenger-cars>
- DieselNet n.d. World harmonized Transient Cycle. Viitattu 13.2.2024
<https://dieselnet.com/standards/cycles/whtc.php>
- Euroopan Komissio n.d. Energia, ilmastonmuutos ja ympäristö. Ilmastonmuutoksen syyt. Viitattu 6.2.2024
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi
- Euroopan Komissio n.d. Energia, ilmastonmuutos ja ympäristö. Ilmastonmuutoksen syyt. Viitattu 6.2.2024
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_fi
- Euroopan Komissio n.d. European Alternative Fuels Observatory. Rail. Viitattu 19.3.2024
<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/rail>
- Euroopan Unioni 2011. Komission asetus (EU) N:o 582/2011. Viitattu 13.2.2024
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0582>
- Euroopan parlamentti. Autojen hiilidioksidipäästöt: tietoja ja tilastoja. Viitattu 13.2.2024
<https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20190313STO31218/autojen-hiilidioksidipaastot-tietoa-ja-tilastoja>
- Euroopan tilintarkastustuomioistuin 2023. Intermodaalinen tavaraliikenne. Viitattu 11.3.2024
https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR-2023-08/SR-2023-08_FI.pdf

Erfarail 2022. The European Rail Freight Market Competitive Analysis and Recommendations. Viitattu 13.4.2024

<https://erfarail.eu/uploads/The%20European%20Rail%20Freight%20Market%20-%20Competitive%20Analysis%20and%20Recommendations-1649762289.pdf>

Finlex 2022. Liikenne- ja viestintäministeriön asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista. Viitattu 19.3.2024

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajan-tasa/2002/20021248?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=puoli-per%C3%A4vaunu#a1248-2002>

FREJA 2023a. Viitattu 6.2.2024

<https://www.freja.com/fi/kuljetuspalvelut/>

FREJA 2023b. Viitattu 6.2.2024

<https://www.freja.com/fi/>

FREJA 2023c. Viitattu 6.2.2024

<https://www.freja.com/fi/freja/freja-konserni-numeroina/>

FREJA 2023d. Viitattu 6.2.2024

<https://www.freja.com/fi/joulukalenteri4-luukku-frejan-yrityshistoria-suomessa/>

FREJA 2023e. Viitattu 6.2.2024

<https://www.freja.com/fi/uutiset/freja-ylittaa-odotukset-nps-arvo-74-korkeampi-kuin-alan-keskiarvo/>

FREJA 2024. Maantiekalusto. Verhotraileri eli verhokapellitraileri. Viitattu 19.3.2024

<https://www.freja.com/fi/kuljetuspalvelut/maantiekuljetukset/maantiekalusto/>

FREJA 2014. FREJA domestic track & trace presentation 2014 (English). Youtube-video. Viitattu 19.3.2024

<https://www.youtube.com/watch?v=Vcbx7japQrY>

Ilmasto-opas n.d. Liikenne on merkittävä kasvihuonepäästöjen tuottaja. Viitattu 6.2.2024

<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/liikenne-on-merkittava-kasvihuonekaasupaastojen-tuottaja>

Ilmasto-opas n.d. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Viitattu 13.2.2024

<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku>

Indeed 2023. What is a line haul?. Viitattu 11.4.2024

<https://ca.indeed.com/career-advice/career-development/line-haul>

Jyväskylän yliopiston KOPPA 2015. Määrällinen tutkimus. Viitattu 15.4.2024

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Kauppalehti 2024. Yritykset. Yritys. Freja Transport and Logistics Oy. Viitattu 6.2.2024

<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/freja+transport+and+logistics+oy/10962756>

LIPASTO n.d. Typen oksidit NO_x. Viitattu 13.2.2024

<http://lipasto.vtt.fi/liisa/noxs.htm>

LIPASTO n.d. Hiilivedyt HC. Viitattu 13.2.2024

<http://lipasto.vtt.fi/liisa/hcs.htm>

LIPASTO n.d. Hiukkaset PM. Viitattu 13.2.2024

<http://lipasto.vtt.fi/liisa/pms.htm>

LIPASTO n.d. VTT. Viitattu 13.2.2024

<http://lipasto.vtt.fi/>

LIPASTO n.d. Yksikköpäästöt. Viitattu 13.2.2024

<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>

Law insider 2024. Transport unit(s) definition. Viitattu 11.4.2024

<https://www.lawinsider.com/dictionary/transport-units>

Maersk 2023. What is road haulage? Viitattu 9.4.2024

<https://www.maersk.com/logistics-explained/transportation-and-freight/2023/08/27/what-is-road-haulage-and-what-are-its-advantages>

MacAndrews 2017. Pre carriage & On carriage. Viitattu 11.4.2024

<https://www.macandrews.com/pre-carriage-carriage/>

NGS Finland 2023. GHG- protokolla päästölaskennassa. Viitattu 13.2.2024

<https://ngsfinland.fi/ghg-protokolla-paastolaskennassa/>

Neste 2021. Journey to Zero Stories. Well-to-Wheels (WTW). Viitattu 4.4.2024

<https://www.neste.fi/konserni/journeytozerostories/arkisto/1498-vastuullisuus/kasvihuonekaasupaastot-elinkaariarviointi-well-wheels-mista-liikenteen-paastojen-vahentamisessa-oikein-puhutaan>

OpenCO₂Net 2022a. Kuinka päästökerroin vaikuttaa hiilijalanjälkilaskentaan?. Viitattu 19.3.2024

<https://www.openco2.net/fi/artikkelit/kuinka-paastokerroin-vaikuttaa-hiilijalanjalkilaskentaan>

OpenCO₂Net 2022b. CO₂-termit tutuiksi. Viitattu 19.3.2024

<https://www.openco2.net/fi/co2-tietoa>

Pixabay 2024. Locomotive railroad transport train.

<https://pixabay.com/photos/locomotive-railroad-transport-train-8568473/>

Priority Freight 2023. What is road freight?. Viitattu 9.4.2024

<https://priorityfreight.com/what-is-road-freight/>

Smart Freight Centre 2024a. Global logistics emissions council. Viitattu 4.4.2024

<https://smartfreightcentre.org/en/our-programs/global-logistics-emissions-council/>

Smart Freight Centre 2024b. The GLEC Framework. Viitattu 4.4.2024

<https://smartfreightcentre.org/en/our-programs/global-logistics-emissions-council/calculate-report-glec-framework/>

Slocat 2024. Global Green Freight Action. Viitattu 4.4.2024

<https://slocat.net/global-green-freight-action/>

Tutkijan ABC 2015. Rajatonta tiedekasvatusta. Tiedekasvatus- verkkosivu. Viitattu 6.2.2024

<https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto n.d. Viitattu 13.2.2024

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/pelastustoimen-laitteet/hakavaroittimet#e2b54c3c>

Tilastokeskus n.d. Hiilimonoksidi (CO). Viitattu 13.2.2024

<https://www.stat.fi/meta/kas/hiilimonoksidi.html>

Tilastokeskus n.d. Kuljetussuorite. Viitattu 13.2.2024

<https://www.stat.fi/meta/kas/kuljetussuorite.html>

Traficom 2021. Kuljetusmuotojen roolit tavaraliikenteessä. Viitattu 13.2.2024

<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/kuljetusmuotojen-roolit-tavaraliikenteessa>

University of Helsinki n.d. Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot. Viitattu 15.4.2024

<https://www.mv.helsinki.fi/home/jmykkane/tutkielma/Tutkimusmenetelmat.html>

Vimeo 2015. Huckepack option on Knapen moving floor trailer. Vimeo-video. Viitattu 19.3.2024

<https://vimeo.com/10846356>

Väylävirasto 2024. Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T. Viitattu 13.4.2024

<https://vayla.fi/vaylista/liikennejarjestelma/tent>