



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Tuomas Honkaniemi

Biokaasun ja dieselin kustannus- ja päästövertailu raskaassa elintarvikelogistiikassa

Tapaustutkimus runkoliikenteestä

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Pro gradu -tutkielma
Tuotantotalouden maisteriohjelma

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**School of Technology and Innovations**

Tekijä:	Tuomas Honkaniemi		
Tutkielman nimi:	Biokaasun ja dieselin kustannus- ja päästövertailu raskaassa elintarvikelogistiikassa: Tapaustutkimus runkoliikenteestä		
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri		
Oppiaine:	Tuotantotalous		
Työn ohjaaja:	Petri Helo		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	70

TIIVISTELMÄ:

Tämä tutkielma analysoi vaihtoehtoisten käyttövoimien, erityisesti biokaasun, taloudellisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia elintarvikelogistiikassa verrattuna dieseliin. Tutkimuksen taustalla vaikuttaa logistiikka-alan kasvava paine vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja kehittää toimintaa ympäristöystävällisempään suuntaan.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten biokaasu vertautuu dieseliin kustannusten ja päästöjen osalta sekä arvioida biokaasun käytön vaikutusta yrityksen kilpailukykyyn ja siihen liittyviin kustannuksiin. Tutkimus painottuu taloudelliseen näkökulmaan, jossa keskeisiä osa-alueita ovat kustannuslaskenta, päästölaskenta ja kilpailukykyanalyysi.

Tutkimus toteutetaan kvantitatiivisena tapaustutkimuksena hyödyntäen yrityksen ajoneuvo-kohtaista dataa, joka on kerätty useista eri lähteistä. Menetelminä käytetään vertailuanalyysijä, skenaariolaskelmia sekä analyysiä, jossa kaikki tutkimusaineiston ajot suoritetaan yhdellä käyttövoimalla.

Tulosten perusteella käyttövoimavalinnalla on huomattava vaikutus kuljetusten kustannuksiin ja vielä suurempi vaikutus päästöihin. Polttoainekustannukset määritettiin suhteuttamalla kulutus yksikköhintaan (€/100 km). Laajassa otannassa (sisältäen tyhjäkäynnin) biokaasun kustannus oli 39,70 €/100 km ja dieselin 38,07 €/100 km. Reittianalyysissä (ilman tyhjäkäyntiä) biokaasu oli 40,14 €/100 km ja diesel 37,80 €/100 km. Päästöt laskettiin kulutuksen ja päästökertoimien avulla TTW- ja WTW-tasoilla. Biokaasun TTW-päästöt olivat 0, kun taas dieselillä TTW oli 64,49 kg CO₂e/100 km. WTW-tasolla diesel oli 85,56 kg CO₂e/100 km ja biokaasu -2,26 kg CO₂e/100 km käytetyillä toimittajakohtaisilla kertoimilla. Skenaariolaskelmassa (509 205 km) siirtyminen 100 prosenttisesti biokaasuun nosti polttoainekustannusta 9 839 € (5,09 %) verrattuna dieseliin, mutta vähensi WTW-päästöjä 447 391 kg CO₂e. Biokaasu tarjoaa siten merkittävän päästövähennyspotentiaalin runkoliikenteessä, mutta kustannusten puolelta kilpailukyky riippuu polttoaineiden hinnoista ja tarkasteluajankohdasta.

Biokaasu vähentää kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjä dieselkalustoon verrattuna merkittävästi (TTW-tasolla 0 ja WTW negatiivinen käytetyillä kertoimilla). Tarkasteluajankohdan hinnoilla polttoainekustannus oli kuitenkin hieman dieseliä korkeampi. Kilpailukykyyn kannalta biokaasun käytön etu perustuu päästövähennyksiin ja niiden asiakasarvoon, ja taloudellinen kannattavuus määräytyy polttoaineiden hintasuhteen perusteella.

AVAINSANAT: biokaasu, diesel, logistiikka, päästöt, kustannusvertailu, elintarvikelogistiikka, kilpailukyky

UNIVERSITY OF VAASA
School of Technology and Innovations

Author:	Tuomas Honkaniemi		
Title of the Thesis:	A Comparison of the Costs and Emissions of Biogas and Diesel in Heavy-Duty Food Logistics: A Case Study of Long-Haul Transport		
Degree:	Master of Science in Economics and Business Administration		
Programme:	Industrial Management		
Supervisor:	Petri Helo		
Year:	2026	Pages:	70

ABSTRACT:

This thesis analyzes the economic and environmental impacts of alternative fuels, particularly biogas, in food logistics compared to diesel. The research is driven by the growing pressure on the logistics sector to reduce greenhouse gas emissions and to operate in a more environmentally friendly manner.

The aim of the study is to determine how biogas compares with diesel on costs and emissions, and to assess the impact of biogas use on a company's competitiveness and related costs. The study focuses on the economic perspective, with key areas including cost accounting, emissions calculation, and competitiveness analysis.

The study is conducted as a quantitative case study using the company's vehicle-specific data collected from various sources. The methods used include comparative analyses, scenario calculations, and an analysis in which all trips in the study data are performed using a single fuel type.

Based on the results, the choice of powertrain has a significant impact on transportation costs and an even greater impact on emissions. Fuel costs were determined by relating consumption to the unit price (€/100 km). In a broad sample (including idling), the cost of biogas was €39,70/100 km and that of diesel was €38,07/100 km. In the route analysis (excluding idling), biogas was €40.14/100 km and diesel €37,80/100 km. Emissions were calculated using consumption and emission factors at the TTW and WTW levels: biogas's TTW emissions were 0, while diesel's TTW was 64,49 kg CO₂e/100 km. At the WTW level, diesel was 85,56 kg CO₂e/100 km and biogas -2,26 kg CO₂e/100 km using supplier-specific factors. In the scenario calculation (509 205 km), switching to 100% biogas increased fuel costs by €9 839 (5,09 %) compared to diesel, but reduced WTW emissions by 447 391 kg CO₂e. Biogas thus offers significant emission-reduction potential in trunk transport, but its cost competitiveness depends on fuel prices and the time of analysis.

Biogas significantly reduces greenhouse gas emissions from transport compared to diesel vehicles (TTW level 0 and WTW negative using the applied factors). However, at the prices at the time of the analysis, fuel cost was slightly higher than diesel. In terms of competitiveness, the advantage of using biogas lies in its emission reductions and customer value, and economic viability is determined by the price ratio of the fuels.

KEYWORDS: biogas, diesel, logistics, emissions, cost comparison, food transport, competitiveness

Sisällylys

1	Johdanto	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Tutkimuskysymykset ja tavoitteet	9
1.3	Tutkimuksen rakenne	10
1.4	Tutkimuksen rajaukset	10
1.5	Case-yritys	11
2	Kirjallisuuskatsaus	12
2.1	Kuljetus- ja logistiikka-ala elintarvikeketjussa	12
2.1.1	Elintarvikekuljetusten erityispiirteet	13
2.1.2	Logistiikka-alan rooli elintarvikeketjun kustannus- ja ympäristövaikutuksissa	15
2.2	Kestävä kehitys ja vaihtoehtoiset käyttövoimat raskaassa liikenteessä	16
2.2.1	Diesel vertailupohjana raskaassa liikenteessä	17
2.2.2	Biokaasu raskaassa liikenteessä	18
2.2.3	Uusiutuva diesel raskaassa liikenteessä	19
2.2.4	Sähkö raskaassa liikenteessä	20
2.2.5	Vety raskaassa liikenteessä	21
2.3	Biokaasun ja dieselin kustannus- ja päästövertailu raskaassa liikenteessä	21
2.3.1	Polttoainekustannusten vertailu	21
2.3.2	Päästövertailu TTW WTW	22
2.3.3	ISO 14083 ja GLEC-viitekehys logistiikan päästölaskennassa	23
2.4	Taloudellinen kilpailukyky ja ympäristöystävällisten kuljetusten kysyntä	24
2.4.1	Logistiikkakustannukset ja kuljetusten hinnoittelu	24
2.4.2	Ympäristöystävällisen kuljetuksen kysyntä	26
3	Tutkimusmenetelmät	27
3.1	Aineisto ja otanta	27
3.2	Polttoaineen kulutuksen mittaaminen	28
3.3	Kustannuslaskenta	29

3.4	Päästölaskenta	29
3.5	Tutkimuksen rajaukset ja luotettavuus	30
4	Tulokset	31
4.1	Aineiston yleiskuvaus	31
4.2	Kulutusvertailu	34
4.2.1	Lämpötilan vaikutus kulutukseen	38
4.3	Päästövertailu	41
4.3.1	TTW-päästöt	42
4.3.2	WTW-päästöt	43
4.3.3	TTW- ja WTW-tarkastelujen vertailu	44
4.4	Kustannusvertailu	44
4.4.1	Polttoainekustannus €/100 km	45
4.4.2	Kokonaiskustannusvaikutus otannalla	47
4.5	Reittianalyysi	47
4.5.1	Aineiston yleiskuvaus	48
4.5.2	Päästövertailu reitillä (TTW ja WTW)	50
4.5.3	Polttoainekustannus reitillä	51
4.5.4	Kuormaan (kg) liittyvä tehokkuus	52
4.5.5	Reitti vs Koko otanta	53
4.6	Skenaariolaskelma 100 % biokaasu vs. 100 % diesel	55
4.6.1	Päästövähennys suhteessa kustannukseen	57
4.7	Polttoainehintojen herkkyyshanalyysi ja kustannuskilpailukyky	57
4.7.1	2026 alkuvuoden hintatason vaikutus skenaariolaskelmaan	59
4.8	Tulosten yhteenveto	60
5	Johtopäätökset	62
5.1	Tutkimuksen keskeiset tulokset	62
5.2	Tulosten yleistettävyys ja rajoitteet	63
5.3	Jatkotutkimus	64
	Lähteet	65

Taulukot

Taulukko 1: Tilastokeskus (2026c) Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksi 1/2026, välilehti ”KALKI, Kustannusosuus”, perävaunuyhdistelmät.	24
Taulukko 2: Tutkimusaineiston ajoneuvotiedot.	31
Taulukko 3: Aineiston yhteenlasketut suoritteet ja kulutus käyttövoimittain (03–12/2025).	32
Taulukko 4: Keskimääräinen kulutus ja hajonta käyttövoimittain.	34
Taulukko 5: Ajoneuvokohtainen keskikulutus koko aineistosta.	37
Taulukko 6: Kuukausittaiset keskilämpötilat Seinäjoella 2025 (Ilmatieteenlaitos, 2026).	38
Taulukko 7: Käytetyt päästökertoimet (TTW ja WTW).	41
Taulukko 8: Keskimääräiset TTW-päästöt ja kokonaispäästöt käyttövoimittain.	42
Taulukko 9: Keskimääräiset WTW-päästöt ja kokonaispäästöt käyttövoimittain.	43
Taulukko 10: Ajoneuvokohtaiset polttoainekustannusten tunnusluvut.	45
Taulukko 11: Keskimääräinen polttoainekustannus käyttövoimittain.	45
Taulukko 12: Kokonaiskustannukset ja ajosuoritteet käyttövoimittain.	47
Taulukko 13: Reittianalyysin ajokohtainen aineisto.	48
Taulukko 14: Reittianalyysin keskiarvot käyttövoimittain.	49
Taulukko 15: Reittikohtainen polttoaineenkulutus ajokohtaisesti.	49
Taulukko 16: Reittianalyysin keskimääräinen kulutus.	50
Taulukko 17: Reittianalyysin päästöt (TTW ja WTW).	51
Taulukko 18: Reittianalyysin polttoainekustannukset.	51
Taulukko 19: Kuljetustehokkuus tonnikipometreinä.	52
Taulukko 20: Reittianalyysin ja koko aineiston vertailu.	54
Taulukko 21: Skenaariolaskelma: 100 % diesel vs. 100 % biokaasu.	56
Taulukko 22: Polttoainehintojen herkkyyshanalyysi ja tasapainohinnat.	58
Taulukko 23: Skenaariolaskelma vuoden 2026 alun polttoainehinnoilla.	59

Kuvat

Kuva 1: Dieselin keskihinnan kehitys vuosina 2016–2025. (Tilastokeskus, n.d.)	25
Kuva 2: Ajoneuvokohtaiset kokonaiskilometrit tarkastelujaksolla.	33
Kuva 3: Kuukausittaiset kokonaiskilometrit käyttövoimittain.	34
Kuva 4: Biokaasukaluston kulutusjakauma (histogrammi).	35
Kuva 5: Dieselkaluston kulutusjakauma (histogrammi).	36
Kuva 6: Ajoneuvokohtainen kuukausikulutus.	37
Kuva 7: Polttoaineenkulutus suhteessa ulkolämpötilaan (sisältäen tyhjäkäynnin).	39
Kuva 8: Polttoaineenkulutus suhteessa ulkolämpötilaan (ilman tyhjäkäyntiä).	40
Kuva 9: Polttoainekustannus €/100 km käyttövoimittain kuukausitasolla (03–12/2025).	46

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tehokas logistiikka mahdollistaa tavaroiden sujuvan liikkumisen tuotannosta kulutukseen, ja sillä on keskeinen rooli yhteiskunnan toiminnassa. Samalla logistiikka-ala aiheuttaa maailmanlaajuisesti huomattavia kasvihuonepäästöjä, erityisesti tieliikenteen osalla. Raskaassa tieliikenteessä hallitsevana käyttövoimana on jo pitkään ollut diesel. Dieselkalusto on toimintavarmaa ja omaa kattavan jakeluverkoston, mikä on osasyy dieselin suureen suosioon. Fossiililla polttoaineilla on kuitenkin myös kääntöpuolensa. Fossiilinen polttoaine, kuten diesel, aiheuttaa palaessaan merkittäviä kasvihuonepäästöjä, ja kasvihuonepäästöjä yritetään enenevässä määrin vähentää. Esimerkiksi Euroopan unionilla on useita päästövähennystavoitteita, jotka muodostavat painetta logistiikka-alalle kehittää toimintaansa ympäristöystävällisempään suuntaan. Tämä on lisännyt kiinnostusta ympäristöystävällisempiin käyttövoimiin, kuten biokaasuun, sähköön ja vetyyn, jotka voisivat mahdollisesti korvata perinteisen dieselin raskaassa liikenteessä. Biokaasu on yksi keskeisistä vaihtoehtoista erityisesti pitkän matkan kuljetuksissa, sillä se mahdollistaa merkittävät kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset ilman pitkiä tankkausajoja ja suuria operatiivisia muutoksia.

Elintarvikelogistiikka operoi varsin haastavassa toimintaympäristössä, jossa kuljetusten on täytettävä tiukkoja hygieni- ja lämpötilavaatimuksia. Kylmäketjun katkeamattomuus, korkea toimitusvarmuus sekä nopeat toimitusajat ovat keskeisiä tekijöitä toimivan elintarvikeketjun kannalta. Elintarvikekuljetukset muodostavat erityisen kiinnostavan tutkimuskohteen, koska kuljetukset ovat usein säännöllisiä runkoliikennereittejä, joissa ajoneuvojen käyttöaste on korkea ja kuljetusvolyymit suuria. Elintarvikealan yritykset ovat myös yhä kiinnostuneempia toimitusketjunsäilytyksen ympäristövaikutuksista, mikä lisää paineita kuljetusyrityksille kehittää vähäpäästöisempiä kuljetusratkaisuja. Biokaasun käyttöönotto kuljetuskalustossa herättää kuitenkin useita taloudellisia ja operatiivisia kysymyksiä. Vaikka biokaasu voi vähentää päästöjä merkittävästi, sen vai-

kutukset kuljetusyrityksen kustannusrakenteeseen, kilpailukykyyn ja asiakashinnoitteleeseen eivät ole yksiselitteisiä. Tästä syystä tarvitaan empiiristä tutkimusta, joka tarkastelee biokaasun ja dieselin välisiä eroja todellisessa kuljetusympäristössä.

1.2 Tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on vertailla biokaasu- ja dieselkäyttöisten kuorma-autojen kustannus- ja päästöeroja elintarvikekuljetusten todellisessa toimintaympäristössä. Tutkimus perustuu todelliseen operatiiviseen kuljetusdataan, jonka avulla pyritään arvioimaan käyttövoimien eroja.

Tutkimuksessa tarkastellaan erityisesti polttoaineenkulutusta, polttoainekustannuksia sekä kuljetuksista aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi tutkimuksessa arvioidaan, voiko biokaasun käyttö tarjota kuljetusyritykselle kilpailuetua tilanteessa, jossa asiakkaat kiinnittävät yhä enemmän huomiota kuljetusten ympäristövaikutuksiin.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat:

Miten biokaasulla toimivat kuorma-autot vertautuvat dieselkalustoon kustannusten ja päästöjen näkökulmasta elintarvikekuljetuksissa?

Voiko biokaasun käyttö parantaa kuljetusyrityksen kilpailukykyä ja houkuttelevuutta ympäristötietoisille asiakkaille, ja onko tämä taloudellisesti kannattavaa yrityksen näkökulmasta?

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa kvantitatiivinen vertailu biokaasun ja dieselin välillä sekä arvioida biokaasun käytön taloudellisia ja strategisia vaikutuksia kuljetusyrityksen näkökulmasta. Tutkimus pyrkii tuottamaan käytännönläheistä vertailutietoa käyttövoimien välillä case-yrityksen ja muidenkin kuljetusalan yritysten päätöksenteon tueksi.

1.3 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus koostuu viidestä luvusta. Ensimmäinen luku on johdanto, jossa esitellään tutkimuksen tausta, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaukset. Lisäksi esitellään tutkimuksen kohteena oleva case-yritys.

Toinen luku on kirjallisuuskatsaus, jossa tarkastellaan tutkimuksen teoreettista viitekehystä. Luvussa käsitellään elintarvikelogistiikkaa, vihreän logistiikan käsitettä sekä vaihtoehtoisia raskaan liikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia. Lisäksi luvussa tarkastellaan kuljetusten päästöjen mittaamisessa käytettyjä menetelmiä, joita ovat Tank-To-Wheel (TTW) ja Well-To-Wheel (WTW).

Kolmannessa luvussa avataan tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ja rajoituksia tarkemmin. Luvussa esitellään datan lähteitä ja laskentamenetelmiä kustannusten ja päästöjen arvioimiseksi.

Neljännessä, ja tutkimuksen laajimmassa osiossa, esitetään tutkimuksen tulokset. Luvussa analysoidaan laajasti ja tarkasti käyttövoimien eroja kustannuksissa ja päästöissä. Lisäksi tehdään erillinen skenaariolaskelma, jonka tavoitteena on selvittää kustannus- ja päästöerot, jos koko tutkimuksen aineisto olisi ajettu pelkästään diesel- tai biokaasukalustolla. Luvussa selvitetään myös, paljonko polttoaineiden hintojen tulisi muuttua, että toinen käyttövoima tulisi edullisemmaksi vaihtoehdoksi.

Viidennessä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset ja vastataan tutkimuskysymyksiin. Lisäksi pohditaan tulosten merkitystä case-yrityksen näkökulmasta.

1.4 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimus tarkastelee elintarvik kuljetusten päästöjä ja kustannuksia yhden yrityksen näkökulmasta. Tutkimuksessa keskitytään pitkiin runkokuljetuksiin, eikä jakelureittejä tut-

kita. Analyysi perustuu kahteen käyttövoimaan, jotka ovat diesel ja biokaasu. Tutkimuksessa ei tarkastella sähkö- ja vetypohjaisia kuljetuksia, muuten kuin kirjallisuuskatsauksessa. Käyttövoimia tutkitaan kulutuksen, polttoaineen hinnan ja päästöjen kautta. TCO-laskelmaa ei suoriteta. Päästöjen tarkastelussa käytetään TTW- ja WTW-menetelmiä sekä yrityksen pääasiallisten polttoainetoimittajien raportoimia päästökertoimia. Laskelmissa käytetyt polttoaineen hinnat ovat yrityksen toteutuneiden hintojen keskiarvoja, jotka on laskettu käyttövoimakohtaisesti samalla tavalla. Tutkimus perustuu todelliseen operatiiviseen kuljetusdataan, mutta tulosten yleistettävyyttä voi olla rajallista, koska analyysi kohdistuu vain yhden yrityksen toimintaan ja tiettyihin kuljetusreitteihin.

1.5 Case-yritys

Tutkimuksen case-yritys on suomalainen elintarvikekuljetuksiin erikoistunut logistiikkayritys, joka operoi pääosin Suomessa, mutta myös säännöllisesti muualla Euroopassa. Suomessa yrityksellä on laaja jakeluverkosto erityisesti länsi- ja eteläosissa.

Yrityksen kuljetuskalusto koostuu pääosin dieselkalustosta, mutta yrityksellä on myös biokaasukalustoa. Dieselkalustoa käytetään runko- ja jakelukuljetuksissa, kun taas biokaasukaluston käyttö rajoittuu pääosin runkokuljetuksiin. Yritys on viime vuosina investoinut biokaasukäyttöiseen kalustoon osana pyrkimystä vähentää kuljetusten ympäristövaikutuksia ja vastata asiakkaiden kasvaviin kestävyttä koskeviin vaatimuksiin.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Kuljetus- ja logistiikka-ala elintarvikeketjussa

Kuljetus- ja logistiikka-alalla on keskeinen osuus elintarvikeketjussa. Elintarvikeketjulla tarkoitetaan monivaiheista arvoketjua maatilalta loppukuluttajalle, ja logistiikan tehtävä on kytkeä yhteen kaikki nämä vaiheet tuotannosta kulutukseen (EU CAP Network, 2026). Tyypillisesti ketju etenee alkutuotannosta elintarviketeollisuuden jatkojalostukseen, jonka jälkeen tuotteet siirtyvät varastointiin ja jakelukeskuksiin, ja lopulta kuljetuksen kautta myymälöihin ja kuluttajille. Euroopassa elintarvikeketjun logistiikka on pitkälti organisoitu keskitettyjen ja tehokkaiden jakelujärjestelmien varaan. Riippuen toimialasta, valmistajat toimittavat tuotteita joko suoraan vähittäiskaupan keskusvarastoihin tai käytävät tukkuliikkeiden verkostoja, joiden kautta tavarat jaetaan myymälöihin (Kotilainen ym. 2010). Pohjoismaissa logistiikan rooli korostuu pitkien etäisyyksien ja harvan asutuksen vuoksi. Tämä ilmiö korostuu erityisesti Suomessa. Suomen elintarvikemarkkinoilla kuljetuskustannukset ovat vertailumaita korkeammat, mikä johtuu pitkistä kuljetusmatkoista (Kotilainen ym. 2010). Erityisesti lämpötilasäädellyissä elintarvikekuljetuksissa logistiikan rooli korostuu, sillä kylmäketjun katkeamattomuus on tärkeää tuotteiden laadun, turvallisuuden ja hävikin minimoinnin kannalta.

EU-alueella valtaosa tehtaiden, varastojen ja myymälöiden välisestä tavaraliikenteestä kulkee kuorma-autoilla. Euroopan ympäristökeskuksen (2026) mukaan vuonna 2023 vain 22 % kuljetuksista toteutettiin käyttäen junia tai sisävesiä. Junien ja sisävesiliikenteen osuus tavaraliikenteen kokonaiskysynnästä oli korkeimmillaan 27 % vuonna 2012, minkä jälkeen osuus on kääntynyt laskuun (EEA, 2025). Vaikka rautatie- ja merikuljetuksia pyritään lisäämään kestävyysyistä, elintarvikekuljetuksissa niiden käyttö on toistaiseksi rajallista lämpötilasäätelyn ja tuotteiden lyhyen säilyvyyden vuoksi.

Elintarvikevalmistajilla kuljetusten nopeus ja kustannustehokkuus on tärkeää. Hautakan-kaan (2021) mukaan elintarvikealan toimijat usein keskittävät tuotantoaan suurempiin yksiköihin ja pyrkivät tätä kautta tehostamaan logistiikkaa. Tämän seurauksena yhden

kuljetuksen kokonaisvolyymi nousee, mutta kuljetusten määrä toisaalta laskee. Hautankankaan (2021) mukaan tämä lisää pitkän matkan runkokuljetusten tarvetta, ja monet suuret elintarvikeyritykset ovat investoineet suuremman kapasiteetin HCT-rekkoihin (pitkä ajoneuvoyhdistelmä) tehostaakseen runkorahtia ja kompensoidakseen pitkien etäisyyksien aiheuttamia kustannuksia. Raskaat maantiekuljetukset ovat näin ollen olennainen osa kuljetusketjua, jonka avulla tuotteiden saatavuus myymälöissä varmistetaan. Näissä runkokuljetuksissa käytettävien ajoneuvojen energiaratkaisuilla on merkittävä vaikutus sekä kuljetuskustannuksiin että elintarvikeketjun ympäristövaikutuksiin, mikä tekee vaihtoehtoisten käyttövoimien tarkastelusta keskeisen tutkimuskohteen.

2.1.1 Elintarvikekuljetusten erityispiirteet

Elintarvikkeet ovat usein lämpöherkkiä ja vaativat tarkoin hallittua kylmäketjua koko kuljetus- ja varastointiprosessin ajalta. Onnistunut kylmäketju tarkoittaa sitä, että tuotteet pidetään oikeassa lämpötilassa lähtöpisteestä määränpäähän katkeamattomasti. Ruokaviraston (2023) ohjeistuksen mukaan tuorelihan ja helposti pilaantuvien meijerituotteiden säilytys ja kuljetus tulee järjestää niin, että lämpötila pysyy +2 ja +6 °C välillä, kun taas pakastettujen elintarvikkeiden säilytys edellyttää –18 °C tai kylmempää lämpötilaa. Myös EU:n elintarvikehygienialainsäädäntö edellyttää, että helposti pilaantuvien elintarvikkeiden kuljetus järjestetään siten, että tuotteet pidetään niille soveltuviissa lämpötilaolosuhteissa koko kuljetuksen ajan, ja että kuljetuskalusto mahdollistaa näiden lämpötilojen ylläpitämisen ja seurannan (European Commission, 2004). ATP-sopimus määrittelee kylmäkuljetusten teknisiä vaatimuksia ja asettaa standardit lämpöeristetyille ajoneuvoille, sekä edellyttää kuljetuskaluston luokittelua, sertifiointia ja määräaikaistarkastuksia (UNECE, 2024). Ohjeistetuissa lämpötiloissa on tärkeää pysyä, koska jo muutaman asteen poikkeama tai lyhytaikainen kylmäketjun katkeaminen voi pilata kokonaisen tuote-erän ja aiheuttaa terveystarvikkeen (Petit Forestier, 2025). Siksi kuljetusyritysten on tärkeää monitoroida jatkuvasti lämpötiloja ja dokumentoitava ne esimerkiksi digitaaliseen lämpötilarekisteriin ja varmistaa, että kalustossa on voimassa oleva ATP-sertifiointi.

Lämpötilahallinnan lisäksi elintarvikekuljetuksiin kohdistuu myös tiukkoja hygienia- ja laatuvaatimuksia. EU:n lainsäädäntö esimerkiksi edellyttää, että kuljetusvälineiden on oltava puhtaita, eikä samoja kuljetusvälineitä saa käyttää muiden kuin elintarvikkeiden kuljetukseen, mikäli tästä voi aiheutua elintarvikkeiden saastumisvaara (European Commission, 2004). Käytännössä tämä toteutetaan esimerkiksi erillisillä kuljetusyksiköillä, väliseinillä sekä huolellisella pesulla kuljetusten välillä. Ruokaviraston mukaan (2026) HACCP-järjestelmien (Hazard Analysis and Critical Control Points) tarkoituksena on varmistaa elintarvikkeiden turvallisuuden kannalta merkittävien vaarojen hallinta. Hygienia- ja laatuvaatimusten hallinta perustuu usein HACCP-järjestelmiin, jotka ulotetaan myös logistiikkaprosesseihin. Käytännössä kuljetusyriyten on tunnistettava kriittiset hallintapisteet, kuten puhtaus, ja seurattava sitä järjestelmällisesti. Tämä edellyttää myös kuljettajien koulutusta, jotta he osaavat toimia tuotteiden käsittelyssä ja lämpötilaseurannassa. Elintarvikekuljetukset kuuluvat usein viranomaisvalvonnan piiriin, ja usein eläinperäisten tuotteiden kuljetuksissa vaaditaan hyväksytyt kuljetusyksiköt ja tarkastettavissa oleva lämpötiladata.

Elintarvikekuljetuksissa logistiikan toimivuus ja onnistunut aikataulutus on tärkeää, koska tuotteista suuri osa on tuoretuotteita lyhyellä säilyvyysajalla. Tästä syystä toimitusrytmi on tiheä, usein päivittäinen. Hautakankaan (2021) mukaan tilaukset kerätään iltpäivisin ja tuotteiden on oltava perillä vähittäismyymälöissä seuraavana aamuna ennen avaamista. Hautakangas (2021) myös lisää, että tuotteen toimitukseen tilauksesta menee vain 18 tuntia, kuutena päivänä viikossa, minkä ansiosta tuotteet ovat tuoreita kaupassa. Näin nopea sykli tarkoittaa, että logistiikan on toimittava saumattomasti. Tällä tavalla elintarviketuottajat pystyvät pitämään varastotasot minimissä ja vähentämään sekä tuotteiden pilaantumista että varastointikustannuksia. Korkea toimitusvarmuus estää hyllyjen tyhjenemisen ja vähentää taloudellisia menetyksiä ja luottamuksen rappeutumista toimitusketjussa. Hautakangas (2021) toteaaakin, että ketjussa on kehitetty vakioiduista rytmeistä: samat aikataulut ja reitit toistuvat päivästä toiseen, minkä ansiosta kaikki osapuolet voivat luottaa säännönmukaisiin toimituksiin. Tällainen rytmitys auttaa paran-

tamaan laatua, koska tuotteet saadaan aina tuoreena oikeaan aikaan perille. Aikataulutus ja aikataulussa pysyminen on myös tärkeää sen takia, ettei vastaanottajan henkilöstöä ole sidottu muihin tehtäviin toimituksen aikana.

Vaikka lämpötilasäädellyt kuljetukset ovat logistisesti vaativia ja kustannuksiltaan tavansa omaista kuljetusta korkeampia, ne ovat välttämättömiä pilaantuvien elintarvikkeiden toimitusketjussa. Puutteet kylmäketjuissa aiheuttavat maailmanlaajuisesti merkittäviä ruokahävikkejä, ja samalla kylmäketjuihin liittyvä energiankulutus ja kylmäainepäästöt muodostavat huomattavan osan elintarvikejärjestelmän ympäristövaikutuksista. Tehokkaan jäähdytyksen puute on yksi tämän haasteen pääsyyistä, ja se johti 12 % menetykseen koko elintarviketuotannosta vuonna 2017 (UNEP; FAO, 2022). Lisäksi elintarvikkeiden kylmäketju on vastuussa 4 % maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä (UNEP; FAO, 2022). Tämä korostaa tarvetta kehittää lämpötilasäädelyjä kuljetuksia tehokkaammiksi ja ympäristöystävällisemmiksi.

2.1.2 Logistiikka-alan rooli elintarvikeketjun kustannus- ja ympäristövaikutuksissa

Logistiikkakustannukset muodostavat merkittävän osan elintarvikeketjun kokonaiskustannuksista. Ruuan hinta koostuu pääosin raaka-aineista ja jalostuksesta, mutta myös kuljetus- ja varastointikustannukset siirtyvät lopulta tuotteen hintaan. Maustajan (2025) mukaan kuljetus- ja varastointikustannukset ovat 5–15 % kokonaiskustannuksista. Myös Hautakangas (2021) kertoo, että pelkät kuljetuskustannukset ovat noin 10 % liikevaihdosta. Tämä kertoo, että logistiikan tehokkuudella on suora vaikutus kannattavuuteen. Raskaiden maantiekuljetusten riippuvuus dieselistä tekee kustannusrakenteesta alttiin polttoaineiden hinnanvaihtelulle.

Elintarvikeketjussa suurin osa päästöistä syntyy luonnollisesti alkutuotannossa ja jalostuksessa, mutta myös kuljetuksella on huomattava ympäristöjalanjälki. Kuljetusten päästöt muodostuvat pääosin dieselkaluston ilmakehään vapautuneesta hiilidioksidista. ACEA:n (2023) mukaan tieliikenteen osuus EU:n kasvihuonepäästöistä on peräti 21,1 %.

Tästä osuudesta raskaiden kuorma- ja linja-autojen osuus on 5,6 %. Euroopan parlamentin (2024) mukaan raskaat ajoneuvot aiheuttavat 25 % EU:n tieliikenteen kasvihuonepäästöistä. Elintarvikekuljetuksilla, jotka tapahtuvat usein dieselkalustolla, on täten keskeinen rooli elintarvikeketjun ilmastovaikutuksissa. Esimerkiksi Sinebrychoffin kuljetusten osuus yrityksen koko hiilidioksidipäästöistä arvioidaan olevan noin kahdeksaan prosenttiin (Hautakangas, 2021). Toisen tutkimuksen mukaan kuljetukset muodostavat kokonaisuudessaan 11 % elinkaaren aikana syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä, ja lopullinen toimitus tuottajalta vähittäiskauppaan aiheuttaa 4 % päästöistä (Weber & Matthews, 2008).

Tieliikenteestä on tullut merkittävä ympäristöongelma, jota on käsitelty myös poliittisella tasolla viime vuosina. Dieselkäyttöiset kuorma-autot kuluttavat suuria määriä polttoainetta, ja tätä kautta myös ympäristövaikutukset ovat merkittäviä. Suomessa runkokuljetuksia viedään myös pidemmällä kalustolla (HCT), mikä mahdollistaa suuremman kuorman, ja näin ollen mahdollisesti vähentää yksikkökohtaista ympäristöjalanjälkeä. Tämä on yksi tapa pienentää kuljetusyksikkökohtaisesti hiilijalanjälkeä. Toinen tapa on kuljetusreittien optimointi ja täyttöasteen pitäminen mahdollisimman korkeana. Esimerkiksi harvaan asutuille alueille kuljetetaan yleensä vähemmän yksikkökohtaista tavaraa, joten on tärkeää varmistaa, että kuormia saadaan yhdistettyä ja reitit optimoitua järkevästi. Kaupunkiympäristössä toimiessa haasteena ovat melu- ja ilmanlaatuongelmat, minkä vuoksi suurissa kaupungeissa pyritään rajoittamaan raskaanliikenteen liikkumista (Hautakangas, 2021). Tämä luo painetta käyttää pienempää ja ympäristöystävällisempää kalustoa.

2.2 Kestävä kehitys ja vaihtoehtoiset käyttövoimat raskaassa liikenteessä

Kestävän kehityksen periaatteen tavoitteena on säilyttää ja taata hyvät elämän mahdollisuudet sekä nykyisille että tuleville sukupolville (Opetushallitus, 2026). Logistiikan näkökulmasta kestävä kehitys tarkoittaa taloudellisten, ympäristöllisten ja sosiaalisten tavoitteiden yhteensovittamista kuljetusketjussa. Tällöin puhutaan usein vihreästä logistii-

kasta, jonka tavoitteena on muokata kuljetusketju mahdollisimman ympäristöystävälliseksi tehokkuudesta ja palvelutasosta tinkimättä. Historiallisesti tavaraliikenteen suunnittelussa on keskitytty pääasiassa kustannusten minimointiin, ja ympäristöhuolet ovat jääneet taka-alalle (Demir ja muut, 2014). Viime aikoina keskustelu ja tietoisuus ympäristöasioista on kuitenkin kasvanut, mikä on näkynyt myös lainsäädännössä. Esimerkiksi Euroopan unionilla on useita kunnianhimoisia ilmastotavoitteita tuleville vuosikymmenille (Euroopan komissio, 2026). Vaikka ilmastotavoitteet koskevat laajasti muutakin kuin logistiikkaa, logistiikka-alalla on ilmastotavoitteissa keskeinen rooli, mikä luo paineita kehittää alaa ympäristöystävällisemmäksi. IPCC:n (2022) mukaan liikenteeseen liittyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat kasvaneet nopeasti viimeisten kahden vuosikymmenen aikana, ja vuodesta 2010 lähtien sektorin päästöt ovat kasvaneet nopeammin kuin minäkään muun sektorin. Demir ja muut (2014) toteavat, että vaikka kuljetusteknologiat ja polttoaineet ovat parantuneet vuosien varrella, useimmat kuorma-autot käyttävät dieselmoottoreita, jotka ovat merkittäviä typen oksidien (N₂O), hiukkasten (PM) ja hiilidioksidin (CO₂) päästöjen lähteitä.

2.2.1 Diesel vertailupohjana raskaassa liikenteessä

Raskaassa liikenteessä diesel on ylivoimaisesti käytetyin polttoaine, ja diesel toimii hyvin vertailupohjana muita vaihtoehtoja arvioitaessa. ACEA:n raportin (2025) mukaan 96,4 % EU:n kuorma-autoista käyttää dieseliä. Dieselin käytön yleisyyteen on monia syitä. Sama tekniikka on ollut käytössä vuosikymmeniä ja siitä on tullut toimintavarmaa. Tekniikka on toki kehittynyt vuosien varrella, mutta toimintaperiaate on pysynyt samana. Lisäksi dieselin jakeluverkosto on kattava, ja reittien suunnittelussa se ei ole rajoittava tekijä. Nämä asiat tukevat dieselin käyttöä.

Dieselin käytössä raskaassa liikenteessä on kuitenkin myös useita haasteita. Suurin haaste on ympäristöjalanjälki. Dieselpolttoaineen palaminen tuottaa huomattavan määrän hiilidioksidipäästöjä ja saattaa aiheuttaa ilmanlaatuongelmia tiheään asutuissa kaupungeissa. EU onkin asettanut useita kunnianhimoisia tavoitteita päästöjen hillitsemiseksi.

miseksi, päätavoitteenaan ilmastoneutraaliutta vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio, 2026). Tällaiset sääntelytoimet pakottavat valmistajia ja kuljetusalan yrityksiä etsimään vaihtoehtoisia ratkaisuja ja heikentävät pitkässä juoksussa dieselin asemaa.

2.2.2 Biokaasu raskaassa liikenteessä

Yksi tarkastelemisen arvoinen käyttövoima raskaassa maantieliikenteessä on biokaasu, erityisesti nesteytetyssä muodossa. Biokaasulla tarkoitetaan orgaanisista jätteistä tuotettua metaanipitoista polttoainetta, joka voidaan puhdistuksen jälkeen jalostaa biometaaniksi (Gasum, 2026a). Kun biometaani jäädytetään nestemäiseen muotoon, puhutaan nesteytetystä biokaasusta (LBG, liquefied biogas). Nesteytetty maakaasu (LNG, liquefied natural gas) ja nesteytetty biokaasu ovat keskenään vaihdettavissa ja käytettävissä samoissa kaasukäyttöisissä moottoreissa, koska molemmat koostuvat pääasiassa metaanista (Gasum, 2026b). Tämän vuoksi biokaasua voidaan pitää uusiutuvana polttoaineena, jolla on kyky korvata fossiilisia polttoaineita myös raskaassa liikenteessä.

Nesteytetty biokaasu soveltuu hyvin pitkän matkan runkokuljetuksiin ja tällä hetkellä biokaasukuorma-autot voivat kulkea jopa 1000 km ennen tankkausta (Volvo Trucks, 2023). Tällainen toimintasäde on samaa luokkaa dieselkaluston kanssa, mikä tekee biokaasusta varteenotettavan vaihtoehdon perinteisen dieselkaluston rinnalle.

Biokaasun käyttäminen raskaassa liikenteessä edellyttää kehittyneitä infrastruktuuria, jottei reittejä tarvitse suunnitella tankkausten mukaan. Infrastruktuurin kehittämiseen tulee painetta myös muualta. Esimerkiksi Euroopan unionin jakeluinfra-asetus (AFIR) edellyttää jäsenmaita kehittämään vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria (GARO, 2026). Euroopassa oli vuonna 2023 yli 600 raskaille ajoneuvoille soveltuvaa tankkausasemaa, ja asemien määrä kasvoi yli sadan aseman vuosivauhdilla (Volvo Trucks, 2023). Myös Suomessa biokaasun jakeluinfrastruktuuri on laajentunut vauhdilla. Gasum (2025) raportoi laajentavansa Suomen infrastruktuuriaan kolmella uudella asemalla, jonka jälkeen Gasumilla on yhteensä 23 asemaa Suomessa. Myös St1 (2026a) kertoo laajentavansa verkostoaan ja tavoittelevansa yli 50 jakeluasemaa pohjoismaissa vuoteen

2028 mennessä. Tämä viittaa siihen, että raskaat runkokuljetukset voidaan hoitaa biokaasulla ilman polttoaineen saatavuusongelmia.

Yksi biokaasun suurimmista hyödyistä on pienet tai jopa negatiiviset päästöt. Gasumin (2025) mukaan biokaasun käyttö on tehokas tapa vähentää raskaan tieliikenteen päästöjä, sillä biokaasun elinkaaren aikaiset päästöt ovat keskimäärin 90 prosenttia pienemmät kuin perinteisillä fossiilisilla polttoaineilla. Näin ollen biokaasulla toimiva kalusto auttaa kuljetusyrityksiä saavuttamaan kestävyyspäämääränsä.

2.2.3 Uusiutuva diesel raskaassa liikenteessä

Uusiutuvalla dieselillä (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil) tarkoitetaan biopolttoainetta, jota voidaan tuottaa erilaisista kasviöljyistä, kuten esimerkiksi rypsiöljystä tai maatalousjätteistä (Mårtensson, 2025). Uusiutuva diesel on rakenteeltaan hyvin lähellä normaalia dieseliä, ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan dieselmoottorissa, myös sekaisin perinteisen dieselin kanssa (Mårtensson, 2025). Neste (2026) ja St1 (2026b) kertovat molemmat, että uusiutuvalla dieselillä on mahdollisuus vähentää kasvihuonepäästöjä jopa 90 % verrattuna perinteiseen dieseliin. Päästövähennys on kuitenkin 90 % vain, jos HVO valmistetaan jäteöljyistä ja rasvoista (Mårtensson, 2025). Mårtenssonin (2025) mukaan päästövähennys tippuu kuitenkin 25 % tasolle, jos raaka-aineena käytetään rypsiöljyä. Ympäristövaikutukset vaihtelevat paljon tuotantoaineen mukaan. Merkittävä päästövähennys ilman suuria kalustoinvestointeja on uusiutuvan dieselin etu, ja se pystyy tarjoamaan kuljetusalan yrityksille helpon ja matalan kynnyksen tavan vähentää päästöjään.

Uusiutuvassa dieselissä on kuitenkin käänköpuolensa. Yksi näistä on uusiutuvan dieselin korkea hinta. Prema Energy:n (2026) ja Mårtenssonin (2025) mukaan HVO maksaa keskimäärin noin 10 % - 15 % normaalia fossiilista dieseliä enemmän. Tämä on suuri ero, koska polttoainekulut ovat kuljetusalalla muutenkin merkittävä kuluerä. Toinen haaste liittyy HVO:n tuotantokapasiteettiin. Mårtenssonin (2025) mukaan uusiutuvan dieselin raaka-aineille on erittäin suuri kysyntä, ja IEA:n arvion mukaan biopolttoaineteollisuus tulee kokemaan haasteita raaka-aineiden saatavuudessa vuoteen 2027 mennessä.

2.2.4 Sähkö raskaassa liikenteessä

Sähkökuorma-autoilla tarkoitetaan kuorma-autoja, joissa on akut, ja sähköenergia muutetaan sähkömoottorien avulla vetovoimaksi. Sähkökuorma-autoilla päästöt riippuvat vahvasti sähkön tuotantotavasta. Jos käytetty sähkö on täysin fossiilivapaata ja uusiutuvaa, voidaan myös sähkökuorma-auton päästöjen todeta olevan nollapäästöisiä. Sähkökuorma-autot ovat yleistyneet viime aikoina vauhdilla. CLECATin (2026) mukaan vuonna 2025 sähkökuorma-autojen myynti Euroopassa lähes 13 000 ajoneuvoon, mikä tarkoittaa jopa 70 % kasvua verrattuna edelliseen vuoteen ICCT:n (2026) mukaan vuonna 2025 uusista Euroopassa rekisteröidyistä kuorma-autoista vain 4,5 % oli sähkökäyttöisiä. Tämä viittaa siihen, että sähkökuorma-autojen yleisyys kasvaa vauhdilla, mutta on kuitenkin vielä pienellä tasolla, jos tarkastellaan eri käyttövoimien prosentuaalisia osuuksia. ICCT:n (2023) tekemän tutkimuksen mukaan sähkökuorma-autojen odotetaan olevan kustannustehokkain teknologia useimmille kuorma-autoluokille ennen vuotta 2030.

Sähkökuorma-autojen suurimmat haasteet liittyvät toimintamatkaan, latausinfrastruktuuriin ja pitkiin latausaikoihin. Scanian (2026) mukaan sen sähkökuorma-autovalikoiman suurin mahdollinen toimintasäde on jopa 600 km 29 tonnin yhdistelmämassalla. Todellisessa toimintaympäristössä valmistajien ilmoittamia toimintasäteitä kuitenkin harvoin saavutetaan, johtuen esimerkiksi kylmemmästä lämpötilasta. Scania (2026) kuitenkin toteaa, että Euroopan lepoaikojen ja nopeusrajoitusten mukaan ei käytännössä ajeta koskaan yli 360 kilometriä ilman taukoja. Sähkökuorma-autot voisivat olla potentiaalinen vaihtoehto, jos niiden suunnitellut reitit soveltuvat toimintamatkoihin ja raskaan kaluston latauspisteitä on reiteillä riittävästi. Lataus on myös nykytekniikalla melko hidasta. Jos nämä asiat pystytään ratkaisemaan tuotannon suunnittelussa tai vaihtoehtoisesti teknologia kehittyy, voi sähkökuorma-autot olla tulevaisuudessa varsin yleisiä.

2.2.5 Vety raskaassa liikenteessä

Vetykäyttöinen polttokennokuorma-auto muuntaa vetykaasun kemiallisen energian polttokennossa sähköksi, joka syöttää sähkömoottoria vastaavalla tavalla kuin sähkökuorma-autossa ja päästöiksi tulee pelkästään vettä (Scania, 2026). Vety vastaa dieselin operatiivista logiikkaa paremmin kuin sähkökalusto, joka vaatii pitkän latauksen. Vetykäyttöiset kuorma-autot eivät ole vielä yleisiä, mutta markkinoiden koon odotetaan kasvavan vauhdilla. Global Market Insights (2025) toteaa Euroopan vetykäyttöisten kuorma-autojen markkinakoon kasvavan vuodesta 2024, joka oli 206 miljoonaa USD, vuoteen 2034 mennessä 6,3 miljardiin USD, mikä tarkoittaa lähes 40 % vuosittaista kasvuvauhtia. ICCT (2023) toteaa tutkimuksessaan, että vetykäyttöisten kuorma-autojen odotetaan tulevan kustannustehokkaaksi vaihtoehdoksi diesel kuorma-autojen kanssa vuoteen 2035 mennessä. Samassa tutkimuksessa todetaan, että pitkällä aikavälillä vetykäyttöisten kuorma-autojen TCO-kustannusten odotetaan olevan 10–20 % korkeammat kuin täyssähkökuorma-autojen (ICCT, 2023).

2.3 Biokaasun ja dieselin kustannus- ja päästövertailu raskaassa liikenteessä

2.3.1 Polttoainekustannusten vertailu

Raskaassa liikenteessä polttoainekustannus on suuri kuluerä. Persyn ja muiden (2019) mukaan Euroopan laajuisessa kustannusmallissa polttoaineen osuus kokonaiskustannuksista on 21,1 %. Tämän takia polttoainekustannuksia on tärkeää tutkia.

Polttoainekustannusten vertailussa tutkimuksissa käytetään tyypillisesti €/km tai €/100 km, sekä €/tonnikilometri, €/tkm. €/km ja €/100 km eivät huomioi kuorman painoa, vaan huomioivat vain polttoaineen kulutuksen ja polttoaineen hinnan. Laskentakaava on seuraava:

$$\text{Polttoainekustannus} = \text{polttoaineen viitekulutus} \times \text{polttoaineen viitehinta} \quad (1)$$

$$\text{€/100 km} = l/100 \text{ km} \times \text{€/l} \quad (2)$$

Tonnikilometri taas huomioi myös kuorman painon. Tilastokeskuksen (2026b) määritelmän mukaan tonnikilometri kuvaa kuljetustyön määrää, joka saadaan, kun kerrotaan kuljetettu tavaramäärä (tonnia) ja kuljetusmatka (kilometriä).

Valittu mittari vaikuttaa tuloksiin. €/km kertoo ajoneuvon käytön aikana syntyvän kustannuksen, joka ei huomioi kuorman painoa, kun taas €/tkm kertoo kustannuksen tonnitason.

2.3.2 Päästövertailu TTW WTW

Raskaan liikenteen päästöjä arvioidaan tutkimuksissa usein Well-to-Tank (WTT), Tank-To-Wheel (TTW) ja Well-To-Wheel (WTW) lähestymistavoilla. WTT (kaivokselta tankille) mittaa polttoaineen jalostuksen ja tuotantovaiheiden päästöjä. TTW (tankilta pyöriin) mittaa ajoneuvon käytön aikana syntyviä suoria päästöjä. WTW (kaivokselta pyöriin) on näiden kahden summa, joka kattaa koko polttoaineen elinkaaren. Prussi ja muut (2020) korostavat raportillaan, että energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt liittyvät sekä polttoaineen tuotantoon että ajoneuvojen käyttöön, minkä takia polttoaine- ja ajoneuvovalintojen kokonaisvaikutus voidaan nähdä vain tarkastelemalla koko prosessia, eli WTW:tä.

Päästöt raportoidaan yleensä hiilidioksidiekvivalenttina (kg CO₂e). Tilastokeskuksen (2026a) määritelmän mukaan hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmaston voimistumiseen. CO₂e kuvaa päästöjen määrää siten, että kaikki eri kasvihuonekaasut on muutettu hiilidioksidiekvivalenteiksi, jotta ne ovat keskenään vertailukelpoisia (Havulata, 2026). CO₂e huomioi siis muidenkin kaasujen vaikutuksen ja ilmoittaa sen hiilidioksidina. Päästöjenlaskennassa käytetään käyttövoimakohtaisia kertoimia, jotka vaihtelevat suuresti eri lähteissä. Suomen Ilmastopaneeli (2024) antaa die-

selin WTT kertoimeksi 0,75 ja TTW kertoimeksi 2,69 käytetyltä litralta. WTW kerroin saadaan laskemalla nämä yhteen, eli WTW olisi tässä tapauksessa 3,44/litra. Toisesta lähteestä Diesel B7 TTW kertoimeksi saadaan 2,462/l ja WTW kertoimeksi 3,251/l (CO2emissiefactoren.nl, 2025 excel). Samassa lähteessä uusiutuvan biokaasun (LNG) TTW kertoimeksi ilmoitetaan 0,145/kg ja WTW kertoimeksi 0,595/kg (CO2emissiefactoren.nl). Tässä tutkimuksessa käytetään case yrityksen pääasiallisten polttoainetoimittajien raportoimia päästökertoimia, jotka esitetään menetelmät kohdassa.

2.3.3 ISO 14083 ja GLEC-viitekehys logistiikan päästölaskennassa

Logistiikka-ala tarvitsee yhtenäisen tavan laskea kasvihuonepäästöjä, että raportoidut arvot ovat keskenään vertailukelpoisia. ISO 14083 on tähän tarkoitukseen vuonna 2023 julkaistu standardi. Standardi sisältää vaatimukset ja ohjeet henkilö- ja tavaraliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen kvantifiointiin ja raportointiin (International Organization for Standardization, 2023). Standardissa kuljetustoiminnat on jaettu eri elementteihin (TCE, Transport Chain Element). Kuljetus voi koostua monesta eri elementistä, ja yksittäiset TCE:t kuvaavat yhtä ketjun osaa, esimerkiksi tieliikennettä (International Organization for Standardization, 2023). Näitä voi olla yhdessä kuljetuksessa useita. Kaikkien elementtien kuljetusketjujen päästöt lasketaan erikseen, ja lisäämällä ne yhteen saadaan ketjun kokonaispäästöt. Standardissa määritellään prosessit, jotka täytyy sisältää päästölaskentaan ja niitä ovat esimerkiksi lastaus-, purkutoimien päästöt, polttoaineiden tuotannon päästöt ja mahdolliset kylmäainevuodot (AFRY, 2023). Päästölaskenta tehdään polttoaineen kulutuksen ja päästökertoimen pohjalta, tai vastaavasti voidaan ottaa myös kuljettava määrä mukaan, jos se on tiedossa (AFRY, 2023). GLEC viitekehys on Smart Freight Centren julkaisema työkalu ISO 14083 mukaisen päästölaskennan toteuttamiselle (AFRY, 2023). GLEC-viitekehys v3, kuten myös ISO 14083, perustuu WTW-konseptiin eli kuljetusketjun ja sen osien kokonaispäästöjen sisältämiseen (Smart Freight Centre, 2025).

2.4 Taloudellinen kilpailukyky ja ympäristöystävällisten kuljetusten ky- syntä

2.4.1 Logistiikkakustannukset ja kuljetusten hinnoittelu

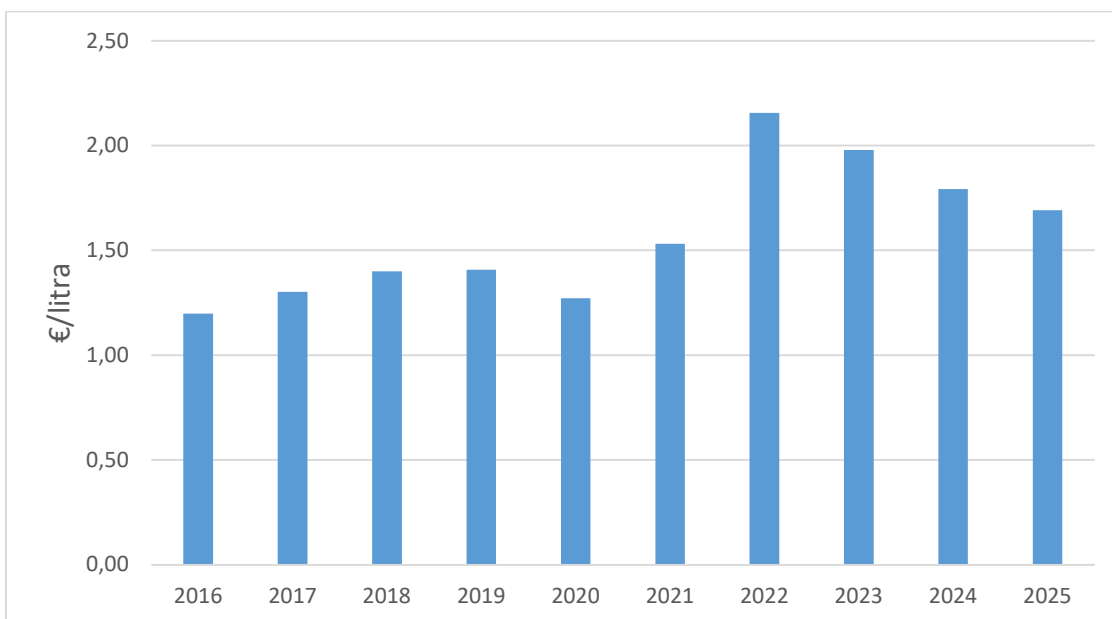
Taulukko 1 kuvaa eri toimintojen osuutta kokonaiskustannuksista. Suurin erä on yhteenlasketut palkkakustannukset, jotka muodostavat 39,1 % kokonaiskustannuksista. Polttoaineiden osuus on toiseksi suurin, ja se vastaa 25,5 % kustannuksista, mikä tekee käyttövoimien välisestä kulutus- ja kustannusvertailusta tärkeän tutkimuskohteen. Käyttövoimien välisiin kokonaiskustannuksiin vaikuttaa suorasti myös korjaus- ja huoltokulut (6,5 %), pääoman poisto (13,6 %) ja korkokulut (2,4 %).

Taulukko 1: Tilastokeskus (2026c) Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksi 1/2026, väli-
lehti "KALKI, Kustannusosuus", perävaunuyhdistelmät.

Kokonaisindeksi	100,2
Kuljettajien palkat	23,2
Välilliset palkat	14,1
Päivärahat	1,8
Polttoaineet	25,5
Korjaus ja huolto	6,5
Renkaat	3,4
Pääoman poisto	13,6
Korot	2,4
Vakuutukset	5,8
Liikennöimismaksut	0,7

Kokonaisindeksi	100,2
Hallinto	1,9
Ylläpito	1,3

Polttoainekustannusten osuus kokonaiskustannuksista on suuri, ja polttoaineen hinnan vaihtelu on ollut historiassa voimakasta. Kuva 1 näyttää dieselin vuosittaisen keskihinta vaihtelun ajalta 2016–2025. Vuoden 2021 ja vuoden 2022 prosentuaalinen ero on yli 41 %. Kuljetuspalveluiden tarjoajat haluavat yleensä suojautua polttoaineiden hinnan vaihtelulta, ja monet yritykset käyttävät polttoainelisämaksuja hinnoittelussaan, mikä siirtää polttoainekustannusta asiakkaan maksettavaksi. Näin ollen polttoaineen hinnan nousu tai polttoainetehokkuuden paraneminen vaikuttaa suoraan kuljetushintoihin ja sitä kautta tuotteiden hintoihin.



Kuva 1: Dieselin keskihinnan kehitys vuosina 2016–2025. (Tilastokeskus, n.d.)

2.4.2 Ympäristöystävällisen kuljetuksen kysyntä

Vihreässä siirtymässä on keskeistä selvittää, ovatko asiakkaat valmiita maksamaan ympäristöystävällisistä kuljetuksista enemmän. McKinsey & Company (2024) tekemässä kyselyssä 70 % vastaajista oli valmiita maksamaan enemmän, jos kuljetukset ovat hiilineutraaleja. Samassa artikkelissa kerrotaan myös yritysten haluavan vähentää Scope 3 päästöjä, jotka muodostavat suuren osan organisaatioiden päästöistä, mutta ne eivät synny suoraan organisaation omista päästöistä vaan toimitusketjusta (McKinsey & Company, 2024). Ulkoistetut elintarvikekuljetukset kuuluvat juuri tähän kategoriaan. McKinseyn (2024) analyysi osoittaa myös, että vihreän logistiikan kysyntä voisi nousta arviolta 350 miljardiin dollariin vuonna 2030, mikä kattaa noin 15 prosenttia maailmanlaajuisista logistiikkamenoista. Nämä luvut viittaavat siihen, että markkinoilla on kasvavaa maksuhalukkuutta ympäristöystävällisiin kuljetuksiin. On kuitenkin huomioitava, että vaikka asiakkaat periaatteessa arvostavat puhtaampia kuljetuksia, hintapaine kilpailutilanteessa saattaa rajoittaa heidän käytännön maksuhalukkuuttaan. McKinsey & Company (2024) tutkimuksessa todetaan myös, että vain neljännes organisaatioista on sekä asettanut tavoitteita että uskoo, että sillä on keinot niiden saavuttamiseksi. Yritysten välisessä kuljetussopimuksessa premion maksaminen ympäristöystävällisistä kuljetuksista riippuu usein monesta asiasta. Jos loppuasiakas on sitoutunut vähentämään hiilijalanjälkeään, se voi edellyttää logistiikkakumppaneiltaan puhtaampia ratkaisuja ja olla valmis maksamaan niistä hieman enemmän. Tämä voi olla kuljetusyritykselle myös kilpailuetu kilpailutilanteessa.

3 Tutkimusmenetelmät

Tämä tutkimus toteutetaan määrällisenä, eli kvantitatiivisena tapaustutkimuksena. Tutkimuksen kohteena on suomalainen lämpösäädelyihin elintarvikekuljetuksiin erikoistunut logistiikkayritys. Tutkimuksen tavoitteena on vertailla dieselin ja biokaasun kustannus- ja päästövaikutuksia yrityksen kuljetuksissa.

Tutkimus perustuu ajoneuvotason tuotantodataan. Tutkimuksessa analysoidaan pääosin pitkän matkan runkokuljetuksia, jotka muodostavat merkittävän osan kuljetusvolyymista ja polttoainekulutuksesta. Reitit ovat vaihtelevia, mutta otanta on kymmeneltä kuukaudelta, joten reiteistä saa hyvän yleiskuvan. Tutkimuksessa olevien ajoneuvojen ajo-suoritteet ovat säännöllisiä ja kuormausasteiltaan suhteellisen vakaita, mikä mahdollistaa vertailukelpoisen analyysin käyttövoimien välillä.

Tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi syvällisemmin yhtä reittiä, joka on ajettu kolme kertaa biokaasulla ja kolme kertaa dieselillä. Kyseisen reitin kilometrit ja paino ovat tiedossa ja ne hyvin tasaiset käyttövoimien välillä. Tätä verrataan lopuksi koko otantaan ja pyritään validoimaan tulokset.

3.1 Aineisto ja otanta

Tutkimuksessa otanta on kymmenen kuukautta vuodelta 2025. Kuukaudet ovat maaliskuu – joulukuu. Laajan otannan ansiosta pystytään tarkastelemaan myös lämpötilojen vaikutuksia kulutukseen. Aineisto on kerätty pääosin yrityksen sisäisestä ajoneuvotason tuotantodatasta. Sisäisiä aineistolähteitä ovat ERP-järjestelmä ja kuljetusten hallintajärjestelmä. Datan validoimiseen on käytetty polttoainetoimittajien raportointiportaaleja, sekä ajoneuvojen valmistajien tarjoamia portaaleja. Lisäksi tutkimuksessa on käytetty muita datalähteitä havainnollistamiseen. Laskenta on suoritettu Excelissä ja tulokset on esitetty taulukkona tai kuvaajana. Aineisto sisältää seuraavat muuttujat kuukausitasolla:

- Ajetut kilometrit

- Tankatut polttoainemäärät (litra/kg)
- Polttoainekustannukset
- Polttoaineen yksikköhinnat
- Reittikohtaiset suoritteet
- Kuukauden keskilämpötila Seinäjoella
- Tyhjäkäynnin määrä

Tutkimukseen valittiin kaikki yrityksen käytössä olevat biokaasukäyttöiset ajoneuvot (3 kpl). Vertailuryhmäksi valittiin kolme mahdollisimman teknisesti ja operatiivisesti vertailuelpoista dieselkäyttöistä ajoneuvoa. Valintakriteereinä olivat:

- Kokonaismassa
- Samankaltainen käyttöprofiili
- Vastaava perävaunukalusto
- Samanlainen ajosuoritevolyyymi

3.2 Polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Tutkimuksessa polttoaineenkulutuksen mittaaminen perustuu FMS-järjestelmästä saatavaan dataan. Johtavat kuorma-autovalmistajat ovat suunnitelleet yhteisen rajapinnan avoimena standardina (FMS-Standard, n.d.). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tiedot välittyvät suoraan autosta yrityksen käytössä olevaan järjestelmään. Data sisältää esimerkiksi paikkatiedot, polttoaineen kulutuksen ja tyhjäkäynnin. Tässä tutkimuksessa pääanalyysiin sisällytettiin tyhjäkäynti, että saadaan todelliset operatiiviset kustannukset ja päästöt. Reittikohtaisessa analyysissä keskityttiin kuitenkin puhtaasti vain ajon aikaiseen kulutukseen, eikä tyhjäkäyntiä huomioitu. Tämä rajaus tehtiin siksi, että case yrityksessä haluttiin saada kokonaiskustannukset ja kokonaispäästöt selville laajemmasta otannasta. Pelkkä ajonaikainen kulutus aliarvioisi kokonaiskulutusta erityisesti elintarvi-

kelogistiikassa, jossa tyhjäkäyntiä syntyy lastaus- ja purkutilanteissa. Tutkimuksessa kuitenkin haluttiin tutkia myös puhtaasti pelkkää ajon aikaista kulutusta, ja tarkempi reitti-analyysi soveltui tähän hyvin.

3.3 Kustannuslaskenta

Tutkimuksessa tarkastellaan polttoainekustannuksia, koska ne muodostavat merkittävän osan raskaiden ajoneuvojen muuttuvista kustannuksista ja eroavat käyttövoiman mukaan. Kustannusanalyysi sisältää kuukausitasolla:

- Keskimääräinen kulutus (l/100 km tai kg/100 km)
- Polttoainekustannus €/100 km

Lisäksi toteutetaan skenaariolaskelma, jossa arvioidaan kustannusvaikutus tilanteessa, jossa koko polttoainekulutus siirtyisi biokaasulle.

3.4 Päästölaskenta

Tutkimuksen päästövertailu perustuu kirjallisuuskatsauksessa esiteltyihin malleihin, joita käytetään kansainvälisesti päästöjen elinkaarilaskennassa:

- Tank-to-Wheel (TTW, tankilta pyöriin), joka mittaa ajoneuvon käytön aikaiset suorat pakokaasupäästöt
- Well-to-Wheel (WTW, kaivokselta pyöriin), joka huomioi myös polttoaineen tuotannon ja jakelun

Päästöt lasketaan kaavalla:

$$\text{Polttoaineen kulutus} \times \text{päästökerroin} = \text{CO}_2\text{-ekvivalenttipäästöt} \quad (3)$$

Biokaasun osalta käytetään yrityksen pääasiallisen kaasuntoimittajan Gasumin raportointia päästökerrointa. Dieselin osalta käytetään yrityksen pääasiallisen dieselintoimittajan päästökerrointa. Laskenta tehdään ajoneuvotasolla ja tulokset raportoidaan:

- kg CO₂e/100 km
- kg CO₂e yht.

3.5 Tutkimuksen rajaukset ja luotettavuus

Tutkimus rajautuu pelkästään valittuihin runkokuljetusreitteihin, eikä sisällä jakelu- tai alihankintakuljetuksia. Tarkastelussa keskitytään polttoaineen kustannus- ja päästövaikutuksiin. TCO-laskentaa ei suoriteta, koska kalusto on eri ikäistä, eikä rahoituskustannukset ole täysin vertailukelpoista. Luotettavuutta tukevia seikkoja ovat todellinen operatiivinen tuotantodata, ajoneuvotason tarkkuus ja yhtenäinen laskentamenetelmä molemmille käyttövoimille. Epävarmuustekijöistä suurin on erilliset reitit. Ajoneuvoja valittaessa huomattiin, että ajoneuvot ovat ajaneet tarkastelujaksolla hyvin paljon erilaisia reittejä, eivätkä pelkästään samoja. Toinen epävarmuustekijä on tarkkojen kilotietojen puute kuukausikohtaisesti. Lisäksi kaluston iässä ja akselien määrässä on eroja. Otanta on kuitenkin pitkä, joten voidaan olettaa, että kilot ovat suhteellisen vertailukelpoiset. Näiden rajoitteiden takia tutkimuksessa tarkastellaan yhtä ajosuoritetta mahdollisimman tarkasti, jossa reitti ja kilot ovat samat.

4 Tulokset

4.1 Aineiston yleiskuvaus

Taulukko 2 esittää aineiston ajoneuvot. Analyysiin valittiin kolme biokaasukäyttöistä ja kolme dieselikäyttöistä raskasta ajoneuvoa. Valinnassa haluttiin ottaa tarkasteluun kaikki yrityksen biokaasuajoneuvot ja mahdollisimman vertailukelpoiset dieselajoneuvot. Biokaasuajoneuvoista yksi on Scania R410 4x2NA vuosimallia 2020 ja kaksi Iveco AS440S46T/FP-mallia vuosimallia 2024. Kaikki biokaasuajoneuvot ovat kaksiakselisia puoliperävaunun vetoautoja. Vertailuryhmän dieselajoneuvot koostuvat yhdestä DAF FDS530 -mallista vuosimallia 2018 sekä kahdesta Volvo FH500 -mallista vuosimallia 2025. Dieselajoneuvot ovat kolmeakselisia puoliperävaunun vetoautoja.

Taulukko 2: Tutkimusaineiston ajoneuvotiedot.

ID	Merkki	Malli	Vuosi-malli	Tyyppi
Biokaasu 1	Scania	R 410 A4x2NA	2020	Rekanveturi; 2-aks
Biokaasu 2	Iveco	AS440S46T/FP	2024	Rekanveturi; 2-aks
Biokaasu 3	Iveco	AS440S46T/FP	2024	Rekanveturi; 2-aks
Diesel 1	DAF	FDS530	2018	Rekanveturi; 3-aks
Diesel 2	Volvo	FH500	2025	Rekanveturi; 3-aks
Diesel 3	Volvo	FH500	2025	Rekanveturi; 3-aks

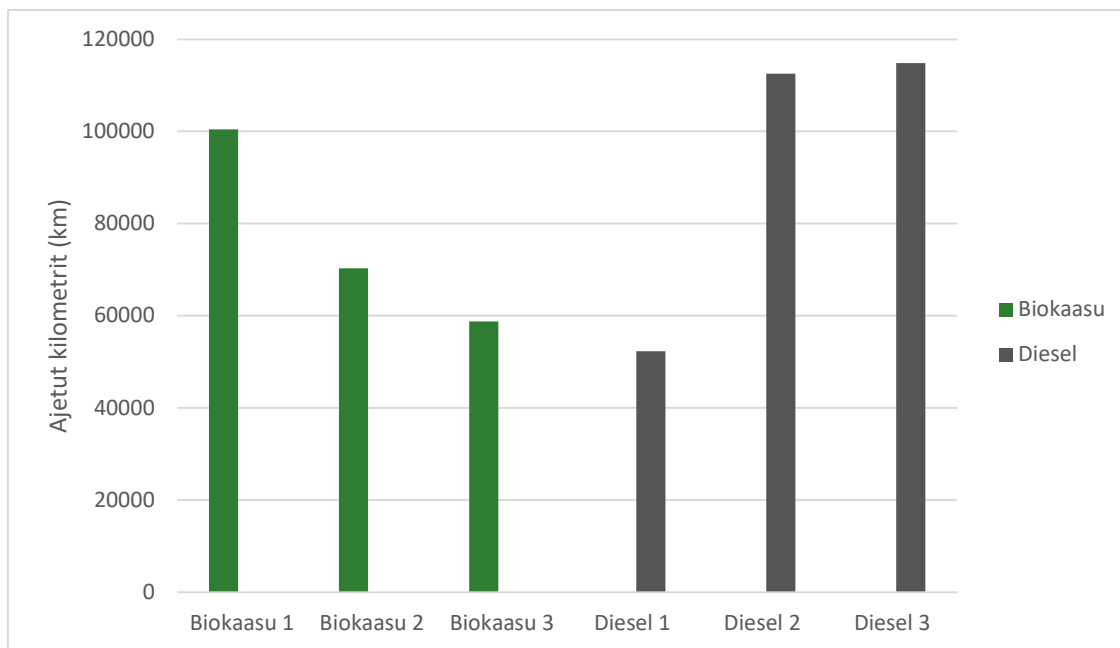
Taulukosta 3 käy ilmi tarkastelujakson (03-12/2025) yhteenlasketut kilometrit, polttoaineen kulutus, tyhjäkäynti sekä keskimääräinen kulutus. Keskimääräinen kulutus sisältää tyhjäkäynnin. Tyhjäkäynti haluttiin säilyttää tutkimuksessa, että saadaan laskettua kokonaiskustannukset ja päästöt. Dieselkaluston kokonaiskilometrit olivat noin 22 % suuremmat kuin biokaasukaluston. Polttoaineen kokonaiskulutus oli biokaasulla 64 981 kg ja dieselillä 89 282 litraa. Keskimääräinen kulutus oli biokaasulla 28,31 kg/100 km ja diese-

lillä 31,92 l/100 km. Tyhjäkäynnin osuus kokonaispolttoaineenkulutuksesta oli biokaasuajoneuvoilla 4,52 % ja dieselajoneuvoilla 2,38 %. Ero oli siis lähes kaksinkertainen ja se on hyvä huomioida tuloksissa. Myöhemmässä reittianalysissä lasketaan pelkästään ajonaikainen kulutus, eikä tyhjäkäyntiä huomioida.

Taulukko 3: Aineiston yhteenlasketut suoritteet ja kulutus käyttövoimittain (03–12/2025).

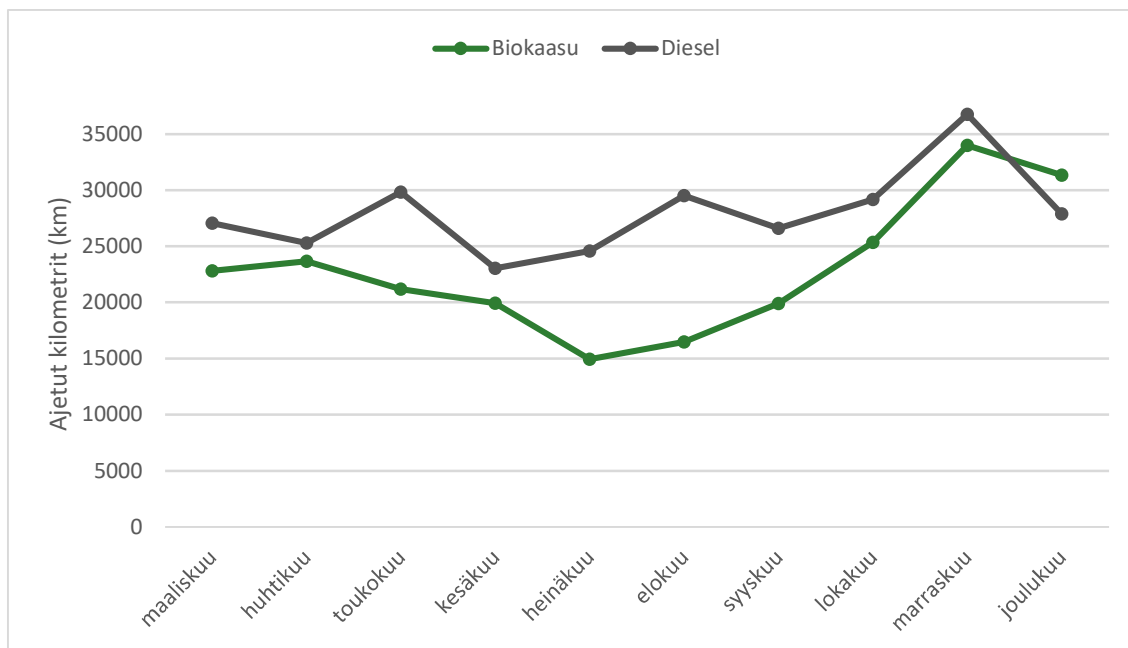
Käyttövoima	Ajoneuvoja (kpl)	Kilometrit yhteensä (km)	Polttoaine yhteensä (l/kg)	Tyhjäkäynnin osuus (l/kg)	Keskimääräinen l/100 km tai kg/100 km
Biokaasu	3	229 537	64 981	2 938	28,31
Diesel	3	279 668	89 282	2 129	31,92

Kuvassa 2 esitetään ajoneuvokohtaiset kokonaiskilometrit tarkasteluajanjaksolla. Diesel 1 oli huollossa koko kesäkuun, mikä on osasy sän pienempiin kilometreihin. Tätä kuukautta ei otettu huomioon tutkimuksessa, ettei se sotkisi kuukausikohtaista vertailua. Diesel 2 ja Diesel 3 erottuvat selvästi suuremmalla ajomäärällä, kun taas biokaasuajoneuvojen ajosuoritteet jakautuvat hieman tasaisemmin. Biokaasuajoneuvojen ajosuoritteet vaihtelivat noin 58 000–100 000 km välillä, kun taas dieselajoneuvojen vastaava vaihteluväli oli noin 52 000–115 000 km. Vaikka dieselajoneuvojen kokonaiskilometrit olivat suurempia, ajosuoritteet ovat suuruusluokaltaan vertailukelpoiset, koska tutkitaan päästöjä/kulutusta per tietty yksikkö. Näin ollen aineisto muodostaa riittävän ja tasapainoisen pohjan käyttövoimien kustannus- ja päästövertailulle.



Kuva 2: Ajoneuvokohtaiset kokonaiskilometrit tarkastelujaksolla.

Kuva 3 esittää kuukausikohtaiset kokonaiskilometrit käyttövoimakohtaisesti. Kuvaajaa tarkastelemalla voidaan todeta, että biokaasun kokonaiskilometrit ovat olleet koko tarkasteluajan pienempiä dieseliin verrattuna joulukuuta lukuun ottamatta. Varsinkin kesäkuukausina ero on ollut suurempi, mikä voi näkyä tuloksissa, koska lämpötilalla on suuri vaikutus kulutukseen. Seuraavissa luvuissa tutkitaan tarkemmin lämpötilan vaikutuksia kulutukseen.



Kuva 3: Kuukausittaiset kokonaiskilometrit käyttövoimittain.

4.2 Kulutusvertailu

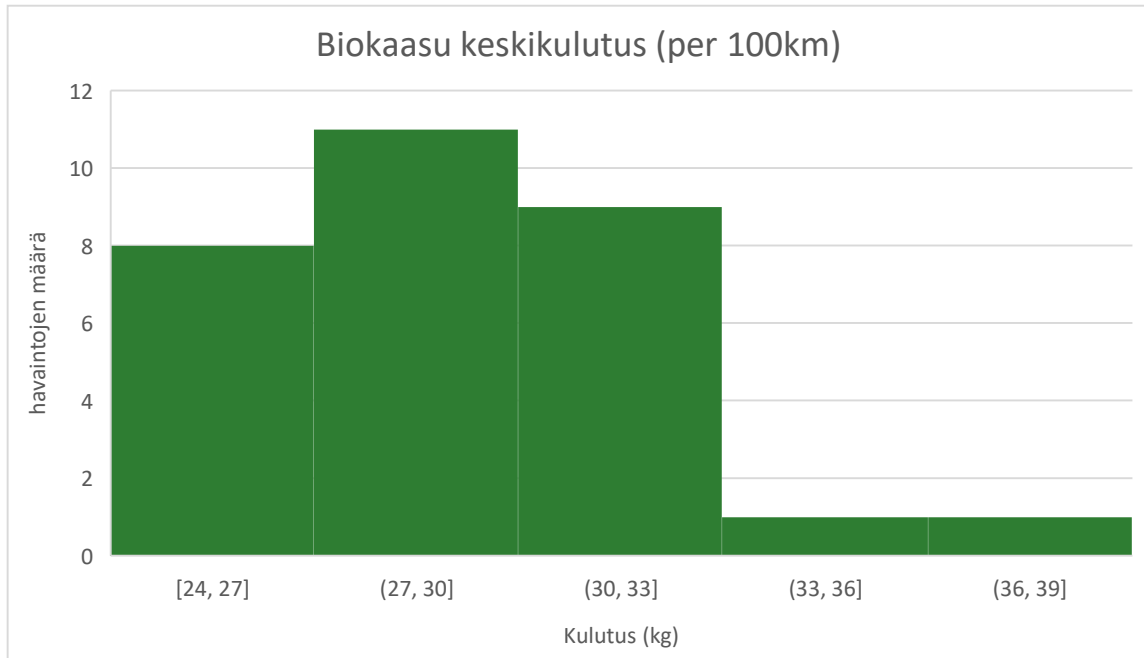
Taulukko 4 esittää ajoneuvojen keskimääräisiä kulutustietoja. Yksi havainto vastaa yhden ajoneuvon kuukauden kulutuksen keskiarvoa. Keskikulutus on laskettu koko otannan ajalta. Voidaan todeta, että dieselajoneuvojen keskikulutus kuukausien välillä on 31,92 l/100 km ja biokaasun 28,31 kg / 100 km. Dieselin keskihajonta oli huomattavasti biokaasua suurempaa, mikä johtui pääosin ajoneuvo Diesel 1 kulutuksesta.

Taulukko 4: Keskimääräinen kulutus ja hajonta käyttövoimittain.

Käyttövoima	n (havainnot)	Keskikulutus (l/kg) / 100 km	Keskihajonta	Min	Max
Diesel	29	31,92	4,84	27,7	43
Biokaasu	30	28,31	2,93	23,9	36,3

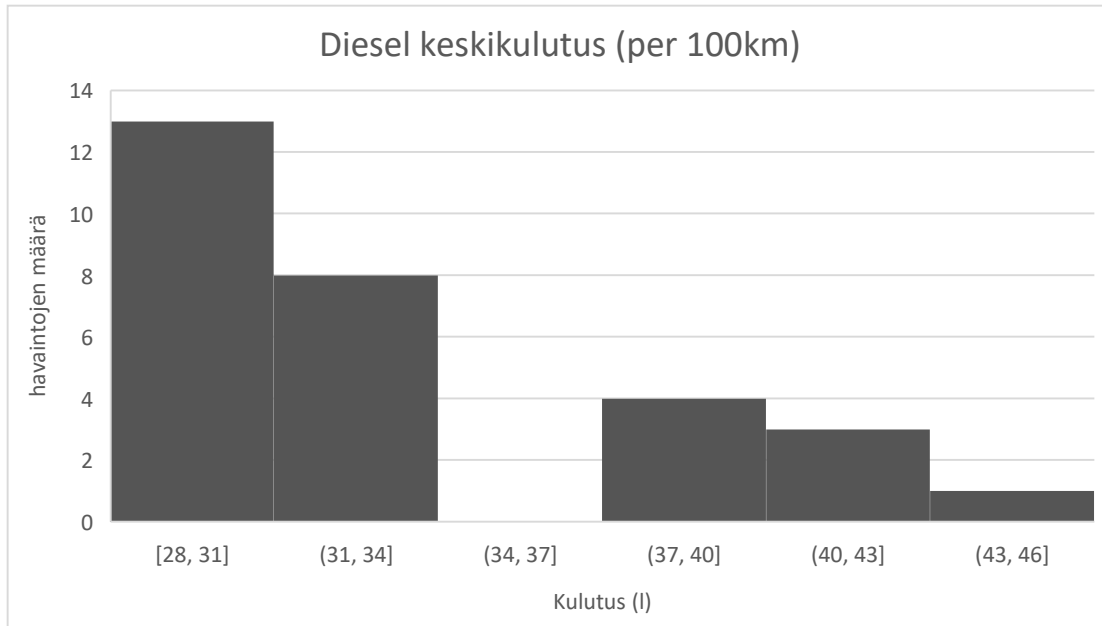
Kuva 4 osoittaa biokaasukaluston keskikulutusta histogrammin muodossa. Kuvaajasta käy ilmi, että suurin osa havainnoista sijoittuu 24–33 kg väliin, erityisesti luokkiin 27–30 kg ja 30–33 kg. Jakauma osoittaa, että yli 33 kg havaintoja on vain kaksi, mikä viittaa

siihen, että näin suuri keskikulutus on harvinaista. Kokonaisuutena jakauma vaikuttaa keskittyvän melko tasaisesti, ja erot johtuvat pääosin lämpötilasta.



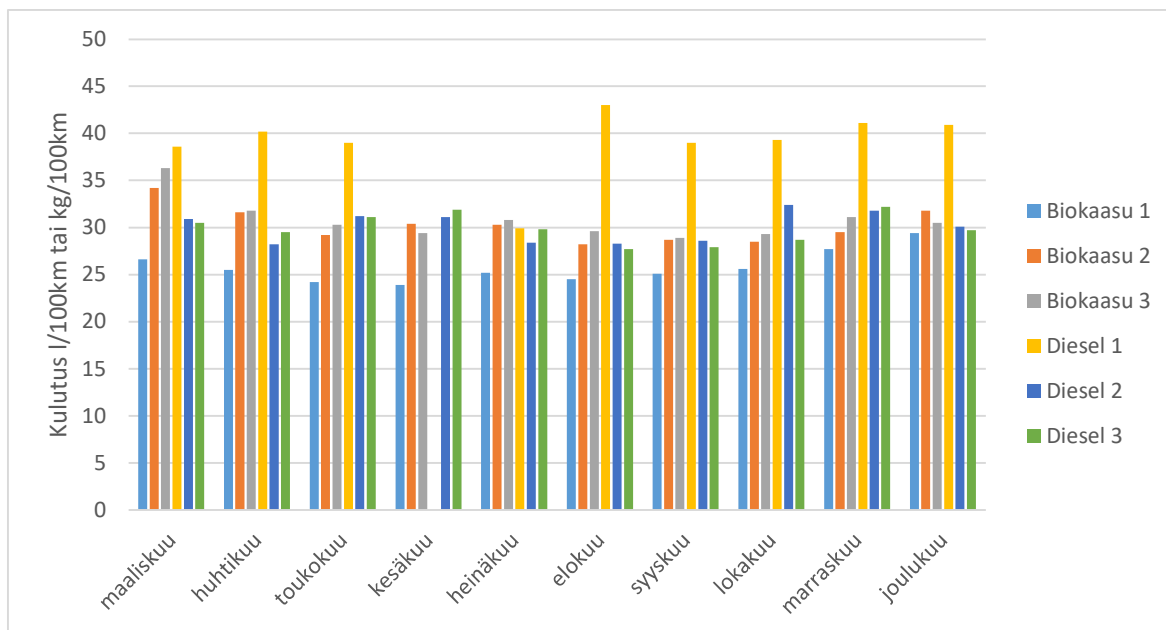
Kuva 4: Biokaasukaluston kulutusjakauma (histogrammi).

Kuva 5 osoittaa dieselkaluston keskikulutusta histogrammin muodossa. Jakauma painottuu selvästi eniten luokkiin 28–31 l ja 31–34 l, mutta myös 37 ja 46 l välissä on useita havaintoja. Vaihtelu on ollut dieselillä biokaasua suurempaa, ja tämä selittyy lähinnä Diesel 1 korkeaan kulutukseen.



Kuva 5: Dieselkaluston kulutusjakauma (histogrammi).

Kuva 6 näyttää ajoneuvojen kuukausikohtaisen keskikulutuksen. Kuvaajasta voidaan huomata, että Biokaasu 1:n kulutus oli joka kuukausi pienempää kuin muiden biokaasuautojen. Tämä viittaa siihen, että kyseisen auton täyttöaste ja kuormien kilot ovat olleet muita autoja pienempiä. Lisäksi reitit ovat vaihdelleet, ja myös auton mallilla voi olla vaikutusta tuloksiin. Dieselkalustossa taas Diesel 1:n kulutus on ollut huomattavan suurta verrattuna muuhun dieselkalustoon. Tämä viittaa myös kalustoeroihin, suureen täyttöasteeseen ja kiloihin sekä erilaisiin reitteihin.



Kuva 6: Ajoneuvokohtainen kuukausikulutus.

Taulukko 5 esittää ajoneuvokohtaisen keskipulutusken koko aineistosta. Voidaan huomata, että Biokaasu 2 ja Biokaasu 3 keskipulutus on erittäin tasainen, kun taas Biokaasu 1 on huomattavasti pienempi. Dieselissä taas Diesel 2 ja Diesel 3 ovat keskipulutuseltaan hyvin lähellä toisiaan, kun taas Diesel 1 keskipulutus on noin 10 litraa suurempi. On mielenkiintoista huomata, että saman merkkisten, mallisten ja vuosimallisten autojen (Biokaasu 2 ja Biokaasu 3, sekä Diesel 2 ja Diesel 3) kulutukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Diesel 1 ja Biokaasu 1 eroaa muista saman käyttövoiman ajoneuvoista huomattavasti.

Taulukko 5: Ajoneuvokohtainen keskipulutus koko aineistosta.

Tunniste	Biokaasu 1	Biokaasu 2	Biokaasu 3	Diesel 1	Diesel 2	Diesel 3
Kulutus l/ 100 km tai kg/ 100 km	25,75	30,11	30,53	40,13	30,22	29,85

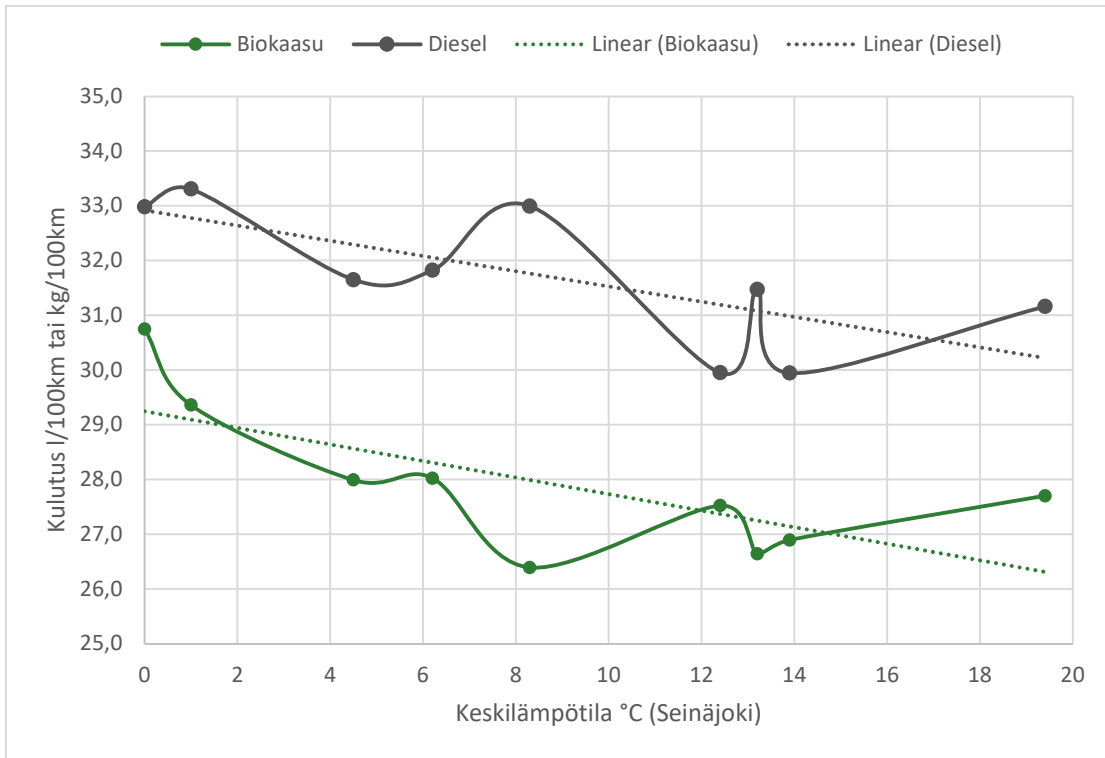
4.2.1 Lämpötilan vaikutus kulutukseen

Tässä aluvussa tarkastellaan ulkolämpötilan vaikutusta ajoneuvojen keskimääräiseen polttoainekulutukseen. Taulukko 6 esittää lämpötiladatan, joka perustuu Seinäjoen kuukausittaiseen keskilämpötilaan (Ilmatieteenlaitos, 2026). Otannan pienin lämpötila oli 0 °C ja suurin 19,4 °C.

Taulukko 6: Kuukausittaiset keskilämpötilat Seinäjoella 2025 (Ilmatieteenlaitos, 2026).

Kuukausi	Lämpötila °C
maaliskuu	1,0
huhtikuu	4,5
toukokuu	8,3
kesäkuu	13,2
heinäkuu	19,4
elokuu	13,9
syyskuu	12,4
lokakuu	6,2
marraskuu	1,0
joulukuu	0,0

Kuva 7 havainnollistaa kulutuksen ja lämpötilan suhdetta. Kuvaajassa on yhdeksän datapistettä per käyttövoima (maaliskuu-joulukuu).



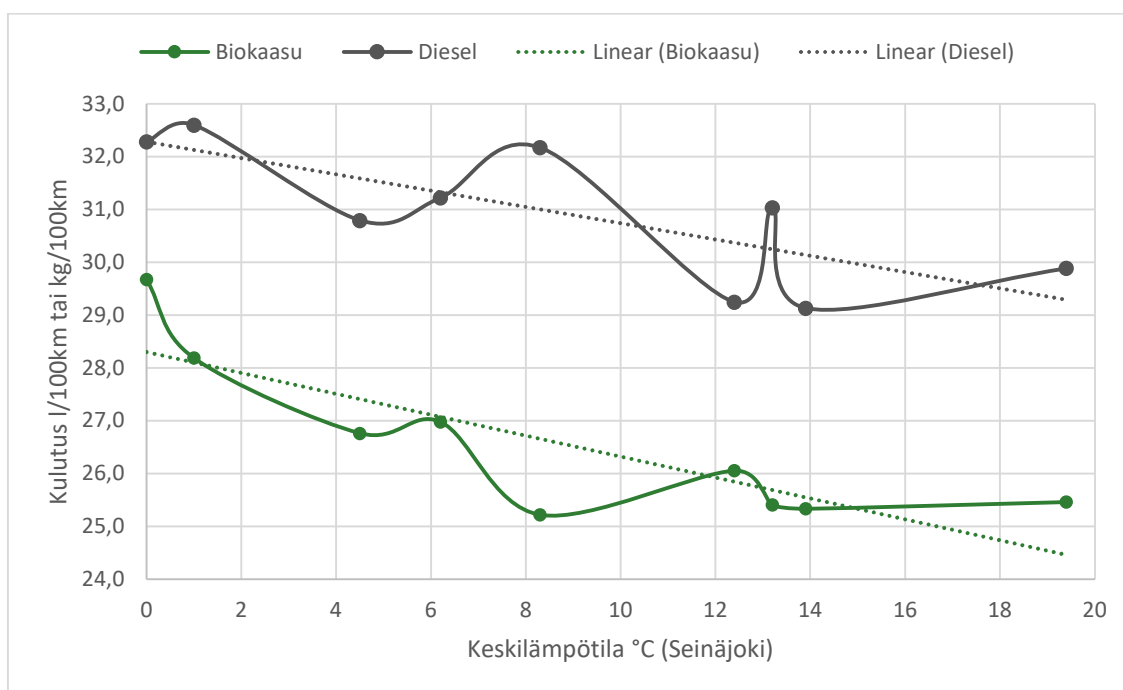
Kuva 7: Polttoaineenkulutus suhteessa ulkolämpötilaan (sisältäen tyhjäkäynnin).

Lämpötilahavainnoissa maalisi- ja marraskuun keskilämpötila oli molemmissa kuukausissa 1,0 °C, joten molempien kuukausien datapisteet esitetään samana. Kulutuksessa on mukana myös tyhjäkäynti. Kuvaajan perusteella voidaan havaita selkeä lämpötilariippuvuus etenkin biokaasuajoneuvojen kulutuksessa. Alhaisissa lämpötiloissa (0–1 °C) biokaasuajoneuvojen kulutus on korkeimmillaan, noin 29,4–30,8 kg/100 km. Lämpötilan noustessa kulutus laskee tasaisesti ja saavuttaa alhaisimman arvonsa noin 8 °C lämpötilassa (26,4 kg/100 km). Lämpimimmässä tarkastelupisteessä 19,4 °C kulutus nousee jälleen hieman (27,7 kg/100 km). Kulutuksen kasvaminen korkeammalla lämpötilalla on mielenkiintoinen havainto, jota käsitellään lisää seuraavassa kuvaajassa.

Dieselajoneuvoilla lämpötilavaikutus on epäsäännöllisempi, mutta samankaltaisuutta on havaittavissa. Kylmissä olosuhteissa (0–1 °C) kulutus on korkeimmillaan, vähän yli 33 l/100 km. Lämpötilan noustessa kulutus keskimäärin pienenee, ollessaan alimmillaan

29,9 l/100 km lämpötilassa 13,9 °C. Dieselajoneuvoilla esiintyy kuitenkin enemmän vaihtelua keskilämpötila-alueella 6–14 °C, mikä viittaa siihen, että lämpötila ei yksin selitä kulutuksen vaihtelua.

Kuva 8 kuvaa ajan aikaista kulutusta ilman tyhjäkäyntiä. Kun tarkastelusta poistetaan tyhjäkäynti, lämpötilan vaikutus korostuu entisestään.



Kuva 8: Polttoaineenkulutus suhteessa ulkolämpötilaan (ilman tyhjäkäyntiä).

Biokaasun kulutus on korkeimmillaan kylmissä olosuhteissa, ja lämpötilan noustessa kulutus laskee tasaisesti. Kuvaaja osoittaa, että noin 8–20°C lämpötilassa kulutus on hyvin tasaista (25,2–26,1 kg/100 km). Lämpimimmän datapisteen (19,4 °C) aikana kulutus ei juurikaan nouse, toisin kuin edellisessä kuvaajassa, mikä viittaa siihen, että tyhjäkäyntiä on ollut huomattavasti kyseisenä kuukautena.

Dieselajoneuvoilla kulutus on vastaavasti korkeimmillaan kylmissä olosuhteissa ja matalimmillaan lämpimässä päässä. Keskilämpötila-alueella (6–14 °C) esiintyy kuitenkin jon-

kin verran vaihtelua. Voidaan todeta, että ulkolämpötila vaikuttaa merkittävästi ajonai-
kaiseen energiankulutukseen molemmilla käyttövoimilla. Myös tyhjäkäynnillä on luon-
nollisesti suuri vaikutus, ja se saattaa väärentää tuloksia, mikäli toisella käyttövoimalla
tyhjäkäynti on tiettyinä kuukausina ollut poikkeuksellisen suurta.

4.3 Päästövertailu

Tässä luvussa vertaillaan diesel- ja biokaasukäyttöisten ajoneuvojen kasvihuonekaasu-
päästöjä sekä Tank-to-Wheel (TTW) että Well-to-Wheel (WTW) - lähestymistavoilla. TTW
tarkastelee ajoneuvon käytönaikaisia pakokaasupäästöjä, kun taas WTW kattaa koko
polttoaineen elinkaaren tuotannosta käyttöön. Tarkastelu perustuu ajoneuvokohtaiseen
kulutusdataan ja sovellettuihin päästökertoimiin. Biokaasun kertoimet on otettu Gasu-
min (2026a) case-yritykselle raportoimista vuoden 2025 kertoimista. Raportoidut kertoi-
met ovat TTW = 0 ja WTW = -0,08. Negatiivinen päästökerroin syntyy erityisesti silloin,
kun biokaasun raaka-aineena käytetään jätepohjaisia syötteitä, kuten lantaa, joilla on al-
lokoitavia vältettyjä päästöjä (Gasum, henkilökohtainen keskustelu, 18.02.2026). Huomi-
oitavaa kuitenkin on, että negatiivisuus riippuu toimittajan laskentatavasta ja raaka-aine-
jakaumasta eikä ole automaattinen biokaasun ominaisuus. Dieselin osalta käytetään vas-
taavasti St1:n case-yritykselle raportoimia päästökertoimia vuodelta 2025 (St1, 2026b).
Raportoidut kertoimet ovat TTW = 2,02 ja WTW = 2,68. Laskennassa käytetään näitä ker-
toimia, koska Gasum oli case-yrityksen pääsääntöinen biokaasun toimittaja ja St1 pää-
sääntöinen dieselin toimittaja vuonna 2025. Taulukko 7 osoittaa tutkimuksessa käytetyt
päästökertoimet.

Taulukko 7: Käytetyt päästökertoimet (TTW ja WTW).

Käyttövoima	TTW-kerroin	WTW-kerroin
Biokaasu (kg CO ₂ e/kg)	0	-0,08
Diesel (kg CO ₂ e/l)	2,02	2,68

Tulokset esitetään pääosin muodossa kg CO₂e/100 km, jotta käyttövoimien välinen vertailu on teknisesti johdonmukaista. Lisäksi esitetään tarkastelujakson yhteenlasketut päästöt.

4.3.1 TTW-päästöt

TTW tarkastelee ajoneuvon ajonaikaisia pakokaasupäästöjä. Taulukossa 8 esitetään käyttövoimien keskimääräiset TTW-päästöt, sekä koko tarkastelujakson yhteenlasketut päästöt.

Taulukko 8: Keskimääräiset TTW-päästöt ja kokonaispäästöt käyttövoimittain.

Käyttövoima	TTW kg CO ₂ e/100 km	TTW kg CO ₂ e yht.
<p>Biokaasu</p> <p>TTW kg CO₂e yht. = päästökerroin * polttoaineen kulutus yhteensä (3)</p> <p>TTW kg CO₂e/100 km = (TTW päästöt yhteensä (kg CO₂e) / kilometrit yhteensä) * 100 (4)</p>	0	0
<p>Diesel</p> <p>TTW kg CO₂e yht. = päästökerroin × polttoaineen kulutus yhteensä (5)</p> <p>TTW kg CO₂e/100 km = (TTW päästöt yhteensä (kg CO₂e) / kilometrit yhteensä) * 100 (6)</p>	64,49	180 350

Diesikäyttöisten ajoneuvojen keskimääräinen TTW-päästö oli 64,49 kg CO₂e/100 km, kun taas biokaasukäyttöisten ajoneuvojen TTW-päästö oli 0 kg CO₂e/100 km. Tulosten

perusteella voidaan todeta, että biokaasu eliminoi kokonaan käytönaikaiset hiilidioksidipäästöt verrattuna dieseliin. Ero on siis 64,49 CO₂e / 100 km, mikä tarkoittaa 100 % päästövähennystä TTW-tasolla. On kuitenkin huomattava, että TTW-tarkastelu ei huomioi polttoaineen tuotanto-, jalostus- tai jakeluvaiheita, eli WTT osaa. Tästä syystä kokonaisilmastovaikutusten arviointi edellyttää elinkaaripohjaista WTW-analyysiä.

4.3.2 WTW-päästöt

Taulukossa 9 esitetään käyttövoimien keskimääräiset WTW-päästöt, sekä myös koko tarkasteluajanjakson WTW-päästöt. Dieselajoneuvojen keskimääräinen WTW-päästö oli 85,56 kg CO₂e/100 km, kun taas biokaasukäyttöisten ajoneuvojen WTW-arvo oli -2,26 kg CO₂e/100 km.

Taulukko 9: Keskimääräiset WTW-päästöt ja kokonaispäästöt käyttövoimittain.

Käyttövoima	WTW kg CO ₂ e/100 km	WTW kg CO ₂ e yht.
<p>Biokaasu</p> <p>WTW kg CO₂e yht. = päästökerroin * polttoaineen kulutus yhteensä (7)</p> <p>WTW kg CO₂e/100 km = (WTW päästöt yhteensä (kg CO₂e) / kilometrit yhteensä) * 100 (8)</p>	-2,26	-5 198
<p>Diesel</p> <p>WTW kg CO₂e yht. = päästökerroin × polttoaineen kulutus yhteensä (9)</p> <p>WTW kg CO₂e/100 km = (WTW päästöt yhteensä (kg CO₂e) / kilometrit yhteensä) * 100 (10)</p>	85,56	239 277

Biokaasu ei pelkästään vähennä päästöjä dieselkalustoon verrattuna, vaan sen elinkaaren nettoilmastovaikutus on negatiivinen Gasumin käytetyillä kertoimilla. Ero käyttövoimien välillä WTW-tasolla oli 244 475 kg CO₂e.

4.3.3 TTW- ja WTW-tarkastelujen vertailu

Vertailu osoittaa, että käytetyllä metodilla on ratkaiseva merkitys tulkinnan kannalta. TTW-tasolla dieselajoneuvon päästöt olivat 64,49 kg CO₂e/100 km, mutta elinkaaritarkastelussa vastaava arvo nousee 85,56 kg CO₂e/100 km.

Biokaasun kohdalla TTW-tarkastelu tuottaa nollatuloksen, kun taas WTW-tarkastelu tuottaa negatiivisen arvon. Tämä korostaa sitä, että käyttövoimien vertailu pelkän pakoputkipäästön perusteella ei anna kattavaa kuvaa niiden ilmastovaikutuksista. Täytyy kuitenkin huomioida, että tutkimuksessa käytettiin biokaasun osalta Gasumin case yritykselle raportoitua päästökerrointa.

Metodologisesti tulos osoittaa, että elinkaaripohjainen tarkastelu on välttämätön, mikäli tavoitteena on arvioida kuljetusratkaisujen todellista ilmastovaikutusta. Etenkin vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten biokaasun kohdalla, TTW- ja WTW-lähestymistapojen välinen ero voi muuttaa tuloksia huomattavasti.

4.4 Kustannusvertailu

Polttoainekustannuksia tarkasteltiin suhteuttamalla polttoainekustannukset ajettuun matkaan muodossa €/100 km. Lisäksi tarkasteltiin koko aineiston kokonaiskustannuksia. Polttoainehintoina on käytetty case yrityksen 03-12/2025 toteutuneiden tankkauksien hintoja ja kuukausikohtaisia keskiarvoja. Kustannusvertailu jatkuu tarkemmin kohdassa **4.6.**, jossa simuloidaan koko aineiston ajoa dieselillä tai biokaasulla.

4.4.1 Polttoainekustannus €/100 km

Taulukko 10 esittää havaintojen vaihtelua. Yksi havainto vastaa yhden kuukauden keskiarvoa. Ajoneuvokohtaisessa tarkastelussa biokaasukäyttöisten ajoneuvojen keskimääräiset polttoainekustannukset vaihtelivat välillä 33,97–50,21 €/100 km. Dieselaajoneuvoilla vastaava vaihteluväli oli 32,68–50,79 €/100 km. Näin ollen yksittäisten ajoneuvojen välillä esiintyy maltillista vaihtelua kustannustasossa, mikä kuvastaa kuljetusten olosuhteiden, kuljettajan sekä kuorman painon vaikutusta polttoaineen kulutukseen ja sitä kautta kustannuksiin. Ajoneuvokohtainen hajonta oli suhteellisen tasaista (1,70–2,84).

Taulukko 10: Ajoneuvokohtaiset polttoainekustannusten tunnusluvut.

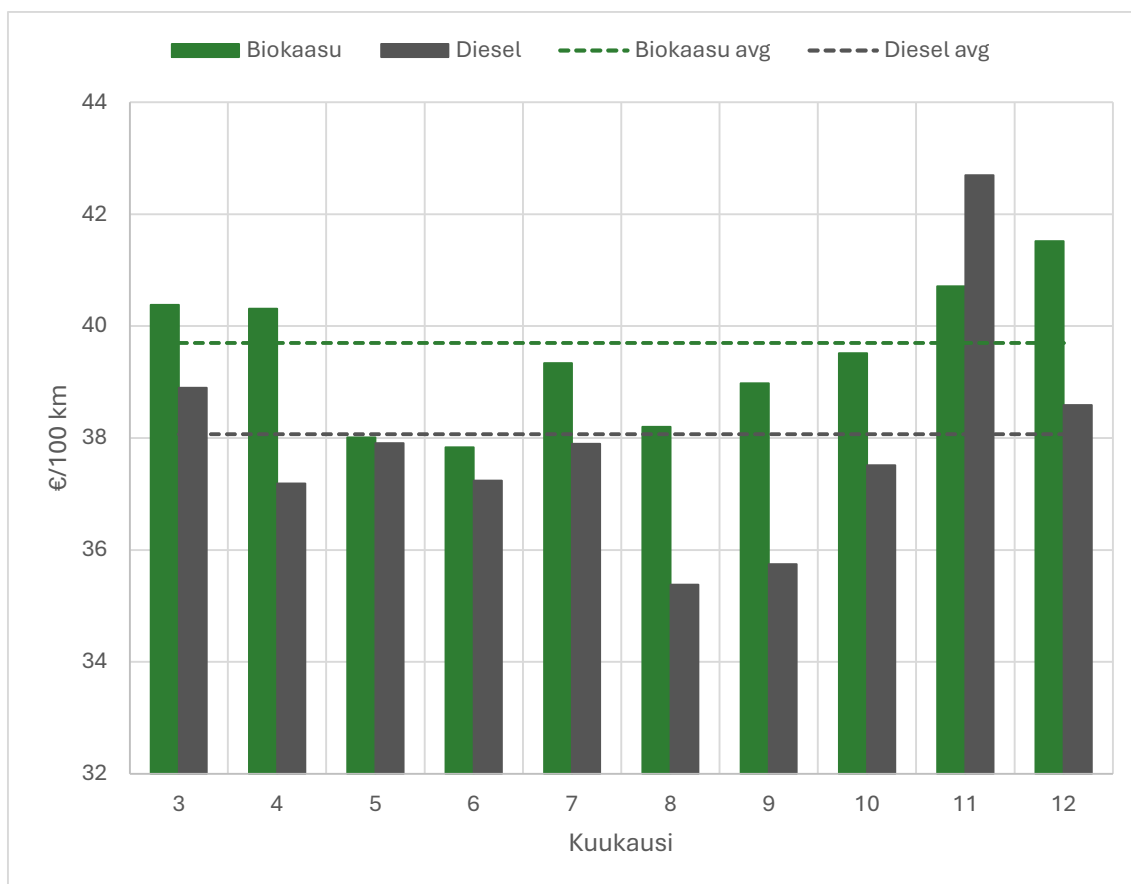
Tunniste	€/100 km	Min	Max	Keskihajonta
Biokaasu 1	36,25	33,97	39,67	1,70
Biokaasu 2	42,14	39,99	47,43	2,41
Biokaasu 3	42,66	40,88	50,21	2,84
Diesel 1	47,84	44,80	50,79	1,98
Diesel 2	36,04	33,19	39,27	2,15
Diesel 3	35,60	32,68	39,67	2,23

Taulukko 11 esittää keskimääräiset polttoainekustannukset käyttövoimittain sekä niiden vaihteluvälit ja hajonnan. Vaihteluväli oli molemmilla käyttövoimilla samankaltainen, biokaasun kustannusten vaihdellessa välillä 33,97–50,21 €/100 km ja dieselin välillä 32,68–50,79 €/100 km. Sen sijaan keskihajonnassa havaittiin selkeä ero. Dieselkaluston kustannukset vaihtelivat huomattavasti biokaasukalustoa enemmän (5,98 €/100 km) vs. (3,95 €/100 km). Tämä selittyy lähinnä ajoneuvo Diesel 1 suuremmalla kulutuksella.

Taulukko 11: Keskimääräinen polttoainekustannus käyttövoimittain.

Käyttövoima	€/100 km	Min	Max	Keskihajonta
Biokaasu	39,70	33,97	50,21	3,95
Diesel	38,07	32,68	50,79	5,98

Kuvassa 9 esitetään biokaasu- ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen polttoainekustannukset suhteessa ajettuun matkaan kuukausitasolla. Tuloksista voidaan havaita, että dieselkalusto on ollut tarkastelujaksolla useimpina kuukausina hieman biokaasukalustoa edullisempi vaihtoehto. Erot käyttövoimien välillä ovat kuitenkin suhteellisen pieniä, ja molempien kustannukset sijoittuvat pääosin melko kapealle vaihteluvälille. Kuvassa esitetyt katkoviivat havainnollistavat käyttövoimien keskimääräisiä kustannustasoja, joiden perusteella biokaasun keskimääräinen kustannus on hieman dieselkalustoa korkeampi.



Kuva 9: Polttoainekustannus €/100 km käyttövoimittain kuukausitasolla (03–12/2025).

Kuukausikohtaisessa tarkastelussa voidaan havaita myös selkeää vaihtelua kustannuksissa, mikä viittaa ulkoisten tekijöiden, kuten polttoaineiden hintojen, ajosuoritteiden ja olosuhteiden vaikutukseen. Erityisesti loppuvuodesta kustannustaso nousee molemmilla käyttövoimilla, mikä liittyy kylmempiin sääolosuhteisiin ja sitä kautta kasvaneeseen polttoaineenkulutukseen. Dieselkaluston kustannukset näyttävät vaihtelevan hieman

enemmän kuukausien välillä, kun taas biokaasukaluston kustannukset pysyvät tasaisempina. Tämä tukee myös taulukkomuotoisessa tarkastelussa havaittua eroa kustannusten hajonnassa käyttövoimien välillä.

4.4.2 Kokonaiskustannusvaikutus otannalla

Polttoainekustannuksia tarkasteltiin lisäksi koko tutkimusaineiston tasolla. Taulukko 12 esittää koko aineiston ajettut kilometrit ja polttoainekustannukset käyttövoimittain. Biokaasukäyttöisillä ajoneuvoilla ajettiin tarkastelujaksolla yhteensä 229 537 kilometriä, ja näiden ajojen yhteenlaskettu polttoainekustannus oli 91 117 euroa. Dieselkäyttöisillä ajoneuvoilla vastaava ajosuorite oli 279 668 kilometriä, ja polttoainekustannukset olivat yhteensä 106 456 euroa.

Taulukko 12: Kokonaiskustannukset ja ajosuoritteet käyttövoimittain.

Käyttövoima	Ajetut kilometrit (km)	Polttoainekustannus (€)	€/ 100 km
Biokaasu	229 537	91 117	39,70
Diesel	279 668	106 456	38,07

4.5 Reittianalyysi

Reittianalyysin tavoitteena on tukea tutkimusta ja tutkia vertailukelpoisia reittejä, jotka ovat ajettu dieselillä ja biokaasulla. Päättökäytöksessä kuormapainot eivät olleet tiedossa. Tässä analyysissä kuormataso on tiedossa, mikä mahdollistaa kuljetusten tehokkuuden tarkastelun tonnikilometreinä. Tämä on merkittävä etu verrattuna moniin aiempiin tutkimuksiin, joissa päästöjä tarkastellaan ainoastaan ajomatkaan suhteutettuna ilman tietoa kuljetetusta tavaramäärästä. Analyysi perustuu kuuteen yksittäiseen runkokuljetukseen, jotka on ajettu välillä Jyväskylä, Suomi – Slagelse, Tanska. Sama reitti on ajettu kolme kertaa dieselillä ja kolme kertaa biokaasulla.

4.5.1 Aineiston yleiskuvaus

Reittianalyysin tavoitteena on tarkastella diesel- ja biokaasukäyttöisten ajoneuvojen kulutusta, päästöjä ja polttoainekustannuksia mahdollisimman vertailukelpoisissa olosuhteissa. Analyysi toimii tarkentavana tarkasteluna tutkimuksen laajemmalle aineistolle, jossa yksittäisten kuljetusten kuormapainot eivät ole olleet tiedossa. Kaikista ajoista on käytettävissä ajomatka, keskimääräinen kuorma ja ulkolämpötila, jotka esitetään taulukossa 13. Ulkolämpötila on Ilmatieteenlaitoksen (2026) raportoima Seinäjoen päiväkohtainen keskilämpötila.

Taulukko 13: Reittianalyysin ajokohtainen aineisto.

Ajo ID	Tunniste	Päivämäärä	Ajetut km	Keskikuorma (kg)	Lämpötila °C Seinäjoki
1	Biokaasu 2	3.11.2025	1 217	16 537	7,4
2	Biokaasu 2	10.11.2025	1 236	21 584	-2,9
3	Biokaasu 2	9.2.2026	1 298	20 858	-9,3
4	Diesel 3	13.10.2025	1 250	15 263	5,3
5	Diesel 3	20.10.2025	1 223	21 438	5,9
6	Diesel 3	12.1.2026	1 236	22 351	-9

Taulukossa 14 esitetyt keskiarvotulokset osoittavat, että tarkasteltavat ajot ovat keskenään hyvin vertailukelpoisia. Biokaasuajoissa ajomatka on keskimäärin 1250 kilometriä ja dieselajoissa 1236 kilometriä. Myös kuormatasot ovat hyvin samankaltaisia, sillä biokaasuajoissa keskimääräinen kuorma on 19 659 kg ja dieselajoissa 19 684 kg. Lämpötila vaihtelee tarkastelluissa ajoissa selvästi, mikä on tärkeää huomioida tulosten tulkinnessa. Biokaasuajoissa keskilämpötila on $-1,6$ °C ja dieselajoissa $2,2$ °C. Molemmissa käyttövoimissa aineisto sisältää sekä selvästi pakkasolosuhteissa että lauhemmassa säässä ajettuja kuljetuksia, mikä mahdollistaa lämpötilan vaikutuksen tarkastelun kulutukseen.

Taulukko 14: Reittianalyysin keskiarvot käyttövoimittain.

Käyttövoima	Ajetut km	Keskikuorma (kg)	Lämpötila °C Seinäjoki
Biokaasu	1250	19 659	-1,6
Diesel	1236	19 684	2,2

Tässä analyysissä kulutusluvut perustuvat ajosuoritteen aikaiseen polttoaineenkulutukseen, eikä tyhjäkäyntiä ole huomioitu tarkastelussa, toisin kuin laajemmassa otannassa tyhjäkäynti oli mukana. Kulutus tarkastellaan ajokohtaisesti yksikkönä polttoainetta per 100 kilometriä. Koska biokaasun ja dieselin mittayksiköt eroavat toisistaan, biokaasun kulutus esitetään kilogrammoina ja dieselin kulutus litroina per 100 kilometriä.

Taulukko 15 esittää jokaisen ajokerran kulutustiedot. Molemmilla käyttövoimilla kulutus kasvaa selvästi pakkasolosuhteissa. Esimerkiksi dieselillä -9 °C lämpötilassa kulutus nousee 34,9 litraan per 100 kilometriä, kun taas lauhemmassa noin $+5\text{ °C}$ lämpötilassa kulutus on noin 29,4 litraa per 100 kilometriä. Vastaava kehitys on nähtävissä biokaasuajoissa, joissa kulutus kasvaa 26,3 kg/100 km:stä noin 31,4 kg/100 km:iin lämpötilan laskiessa.

Taulukko 15: Reittikohtainen polttoaineenkulutus ajokohtaisesti.

Ajo ID	Tunniste	Kokonaiskulutus (l / kg)	Keskimääräinen kulutus (l/kg) / 100 km	Keskikuorma (kg)	Lämpötila °C Seinäjoki
1	Biokaasu 2	320,4	26,3	16 537	7,4
2	Biokaasu 2	358	29	21 584	-2,9
3	Biokaasu 2	407,6	31,4	20 858	-9,3
4	Diesel 3	366	29,3	15 263	5,3
5	Diesel 3	361,2	29,5	21 438	5,9
6	Diesel 3	431,5	34,9	22 351	-9

Taulukko 16 esittää aineiston havaintojen keskiarvoja ja toteutunutta keskikulutusta. Biokaasuajoissa keskimääräinen kulutus on 28,96 kg/100 km, kun taas dieselajoissa keskimääräinen kulutus on 31,24 l/100 km. Keskikuormien painot ovat lähes samat. Huomioitavaa on, että biokaasulla ajot ajettiin keskimäärin 3,8 °C kylmemmissä olosuhteissa.

Taulukko 16: Reittianalyysin keskimääräinen kulutus.

Käyttövoima	Kokonaiskulutus (l / kg)	Keskimääräinen kulutus (l/kg) / 100 km	Keskikuorma (kg)	Lämpötila °C Seinäjoki
Biokaasu	1 086	28,96	19 659	-1,6
Diesel	1 158,7	31,24	19 684	2,2

4.5.2 Päästövertailu reitillä (TTW ja WTW)

Reittianalyysissä päästöjä tarkastellaan kahdella eri mittarilla Tank-to-Wheel (TTW) ja Well-to-Wheel (WTW), joita käytettiin myös laajemmassa aineistossa. TTW kuvaa ajoneuvon käytön aikana syntyviä suoria pakokaasupäästöjä, kun taas WTW huomioi koko polttoaineketjun päästöt polttoaineen tuotannosta ajoneuvon käyttöön. Laskennassa käytettiin samoja kertoimia, kun laajemmassa aineistossa.

Taulukko 17 esittää reittiaineiston päästötulokset. Biokaasuajoissa TTW-päästöt ovat käytetyllä päästökertoimella 0 kg CO₂e. Dieselajoissa TTW-päästöt ovat keskimäärin noin 63 kg CO₂e per 100 kilometriä. Tämä kuvastaa polttomoottorin pakokaasupäästöjen suora eroa käyttövoimien välillä.

WTW-tarkastelussa ero käyttövoimien välillä korostuu. Biokaasun WTW-päästökerroin on tässä tutkimuksessa negatiivinen, mikä johtuu biokaasun tuotantoketjun ilmastovaiikutuksista. Tämän seurauksena biokaasuajoissa WTW-päästöt ovat keskimäärin –2,3 kg CO₂e per 100 kilometriä. Dieselajoissa WTW-päästöt ovat keskimäärin 84 kg CO₂e per 100 kilometriä.

Taulukko 17: Reittianalyysin päästöt (TTW ja WTW).

Käyttövoima	TTW kg CO ₂ e/100 km	TTW kg CO ₂ e yht.	WTW kg CO ₂ e/ 100 km	WTW kg CO ₂ e yht.
Biokaasu	0	0	-2,3	-87
Diesel	63	2 340	84	3 105

4.5.3 Polttoainekustannus reitillä

Polttoainekustannuksia tarkastellaan normalisoituna ajomatkaan yksikössä euroa per 100 kilometriä. Tämä mahdollistaa suoran vertailun käyttövoimien välillä. Polttoainehintoina on käytetty case yrityksen 03-12/2025 toteutuneiden hintojen keskiarvoja.

Taulukko 18 kuvaa aineiston polttoainekustannuksia. Biokaasuajoissa polttoainekustannus on keskimäärin 40,14 €/100 km. Dieselajoissa vastaava keskimääräinen kustannus on 37,80 €/100 km. Tässä aineistossa diesel on siten hieman edullisempi. Polttoainekustannuksissa esiintyy kuitenkin ajokohtaista vaihtelua. Biokaasulla kustannukset vaihtelevat 36,49 ja 43,53 euron välillä per 100 kilometriä, kun taas dieselajoissa vaihteluväli on 35,42–42,24 euroa per 100 kilometriä. Tämä osoittaa, että kustannuksiin vaikuttavat polttoaineen hinnan lisäksi myös kulutus ja olosuhteet.

Taulukko 18: Reittianalyysin polttoainekustannukset.

Käyttövoima	€/100 km	Min	Max
Biokaasu	40,14	36,49	43,53
Diesel	37,80	35,42	42,24

4.5.4 Kuormaan (kg) liittyvä tehokkuus

Kuljetusten tehokkuutta voidaan tarkastella myös suhteessa kuljetettuun tavaramäärään. Tämä ei ollut laajemmalla aineistolla mahdollista, koska kuormien painoja ei tiedetty. Tätä varten käytetään tonnikilometriä, joka kuvaa kuljetettua massaa suhteessa kuljettuun matkaan. Tilastokeskuksen (2026b) määritelmän mukaan tonnikilometri kuvaa kuljetustyön määrää, joka saadaan, kun kerrotaan kuljetettu tavaramäärä (tonnia) ja kuljetusmatka (kilometriä).

Taulukko 19 esittää käyttövoimakohtaisesti reittianalyysin yhteenlasketut tonnikilometrit ja €/tonnikilometrit. Reittianalyysin perusteella biokaasuajoissa keskimääräinen suorite on 73 877 tonnikilometriä ja dieselajoissa 72 939 tonnikilometriä. Tämä vahvistaa, että tarkasteltavat ajot ovat kuormatasoltaan keskenään hyvin vertailukelpoisia. Kun polttoainekustannukset suhteutetaan kuljetettuun massaan, biokaasun kustannus on keskimäärin 0,0204 €/tkm ja dieselin 0,0192 €/tkm. Kuormaan suhteutettuna kustannusero käyttövoimien välillä on siten melko pieni.

Taulukko 19: Kuljetustehokkuus tonnikilometreinä.

Käyttövoima	Tonnikilometrit	€/tonnikilometri
<p>Biokaasu</p> <p>Tonnikilometrit biokaasu = (Ajo ID 1 ajetus km * (Ajo ID 1 keski-kuorma / 1000)) + (Ajo ID 2 ajetus km * (Ajo ID 2 keski-kuorma / 1000)) + (Ajo ID 3 ajetus km * (Ajo ID 3 keski-kuorma / 1000)) (11)</p> <p>€/tonnikilometri biokaasu = kokonaiskustannukset biokaasu / tonnikilometrit biokaasu (12)</p>	73 877	0,0204
Diesel	72 939	0,0192

Käyttövoima	Tonnikilometrit	€/tonnikilometri
<p>Tonnikilometrit diesel = (Ajo ID 4 ajetut km * (Ajo ID 4 keski-kuorma / 1000)) + (Ajo ID 5 ajetut km * (Ajo ID 5 keski-kuorma / 1000)) + (Ajo ID 6 ajetut km * (Ajo ID 6 keski-kuorma / 1000)) (13)</p> <p>€/tonnikilometri diesel = kokonaiskustannukset diesel / tonnikilometrit diesel (14)</p>		

4.5.5 Reitti vs Koko otanta

Edellisessä aluvussa tarkasteltiin mahdollisimman vertailukelpoista reittiä käyttövoimien välillä, jossa myös kuormien painot olivat tiedossa. Tässä luvussa reittikohtaisia tuloksia verrataan tutkimuksen laajempaan osioon, jossa kilot eivät olleet tiedossa. Tarkoituksena on arvioida, onko laajemmassa otannassa kuormien painot vaihdelleet huomattavasti ja vaikuttaneet tuloksiin. Koko otannassa tyhjäkäynti on mukana ja reitillä seurataan todellista ajon aikaista kulutusta.

Taulukossa 20 esitetään vertailu reittikohtaisen aineiston ja tutkimuksen laajemman aineiston välillä. Aineisto esitetään pääosin yksikössä per 100 km, jotta se pysyy vertailukelpoisena, koska aineistojen koot eroavat huomattavasti toisistaan. Tuloksista käy ilmi, että lämpötila oli huomattavasti viileämpää reittikohtaisessa tarkastelussa. Keskimääräinen kulutus biokaasun osalta oli molemmissa analyyseissä tasaista (28,31 kg/100 km vs. 28,96 kg/100 km). Dieselin kohdalla kulutus oli myös suhteellisen tasainen (31,24 l/100 km vs. 31,92 l/100 km).

Taulukko 20: Reittianalyysin ja koko aineiston vertailu.

Selite	Reitti Bio- kaasu	Koko otanta Biokaasu	Reitti Diesel	Koko otanta Diesel
Lämpötila °C Seinäjoki	-1,6	8,0	2,2	8,0
Keskimääräinen kulutus (l/kg) / 100 km	28,96	28,31	31,24	31,92
TTW kg CO ₂ e/100 km	0	0	63	64,49
WTW kg CO ₂ e/100 km	-2,30	-2,26	84	85,56
€/100 km	40,14	39,70	37,80	38,07

TTW ja WTW päästöt olivat biokaasun osalta lähes identtiset aineistojen välillä. Dieselissä reittianalyysissä TTW / 100 km olivat 1,49 kg pienemmät, kuin koko otannassa. WTW päästöt taas olivat reittianalyysissä 1,56 kg koko otantaa pienemmät. Voidaan todeta, että biokaasun osalta tulokset ovat lämpötilasta huolimatta erittäin lähellä toisiaan.

Kustannusten osalta tulokset olivat samansuuntaisia ja erot käyttövoimien välillä jäivät suhteellisen pieniksi. Polttoainekustannusten osalta biokaasun kustannus reittiaineistossa oli 40,14 €/100 km ja koko otannassa 39,70 €/100 km. Dieselillä vastaavat luvut olivat 37,8 €/100 km ja 38,07 €/100 km.

Reittiaineiston erityinen lisäarvo koko otantaan nähden liittyy datan laatuun, koska kilot olivat tiedossa. Reittianalyysissä ajoneuvojen keskimääräiset kuormatasot olivat hyvin

lähellä toisiaan, mikä mahdollisti kulutuksen tarkastelun myös kuljetussuoritteeseen suhteutettuna. Tämä vahvistaa tulkintaa siitä, että käyttövoimien välinen kulutusero ei selity merkittävässä määrin kuormatasojen eroilla.

Kokonaisuutena reittianalyysi tukee koko tutkimusotannan perusteella tehtyjä havain-
toja. Molemmat aineistot osoittavat, että biokaasukäyttöinen kalusto voi saavuttaa die-
selkalustoon verrattuna lähes vastaavat kustannukset sekä selvästi pienemmät elinkaa-
ripäästöt. Kustannusten osalta biokaasu on hieman kalliimpi, mutta polttoaineiden hin-
nan vaihtelulla on tässäkin suuri merkitys.

4.6 Skenaariolaskelma 100 % biokaasu vs. 100 % diesel

Tässä luvussa tarkastellaan skenaariota, jossa koko tutkimuksen otannan kilometrit ajet-
taisiin 100 % biokaasulla tai 100 % dieselillä. Tavoitteena on vertailla, miten kustannukset
ja päästöt vaihtelevat käyttövoimien välillä, kun kilometrit ovat samat.

Skenaariolaskennan kilometrit perustuvat tutkimusotannan yhteenlaskettuun ajosuori-
teeseen, joka on 509 205 km. Laskennassa käytetään aiemmin tulososiossa esitettyjä
päästökertoimia ja kulutusarvoja. Dieselin keskikulutus on 31,92 l/100 km ja biokaasun
28,31 kg/100 km. Polttoainekustannukset on laskettu perustuen yrityksen tutkimusajan-
kohdan (03–12/2025) voimassa oleviin arvonlisäverottomiin polttoaineiden keskihinto-
hin. Polttoaineen keskihinta on laskettu kuukausien keskiarvona. Arvoksi saatiin biokaa-
sun osalta 1,41 €/kg ja dieselin osalta 1,19 €/l. Koko aineistoon perustuva polttoainekus-
tannus oli dieselillä noin 0,38 €/km ja biokaasulla noin 0,397 €/km. Skenaariolaskennassa
vastaavat arvot olivat 0,38 €/km dieselille ja 0,40 €/km biokaasulle. Ero syntyy siitä, että
laajemmassa aineistossa ajettut kilometrit ja polttoaineiden hinnat ovat vaihdelleet kuu-
kausitasolla. Täten eroa syntyy, kun esimerkiksi polttoaineen ollessa halvempaa on ajettu
enemmän kilometrejä, mikä tarkoittaa kustannusten laskua kyseessä olevana kuukau-
tena.

Skenaariolaskelman tulokset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21: Skenaariolaskelma: 100 % diesel vs. 100 % biokaasu.

Selite	100 % diesel	100 % biokaasu
Kilometrit Kilometrit = Biokaasulla ajetut km + diesel ajetut km (15)	509 205	509 205
Keskimääräinen kulutus (l/kg) /100 km	31,92	28,31
Kokonaiskulutus (l/kg) Kokonaiskulutus diesel/biokaasu = Kilo- metrit * keskikulutus/100 (16)	162 538	144 156
Yksikköhinta l/kg (€)	1,19	1,41
Polttoainekustannus (€) Polttoainekustannus diesel/biokaasu = kokonaiskulutus * yksikköhinta (17)	193 421	203 260
TTW (kg CO₂e) TTW (kg CO ₂ e) diesel/biokaasu = koko- naiskulutus * TTW kerroin (18)	328 327	0
WTW (kg CO₂e) WTW (kg CO ₂ e) diesel/biokaasu = koko- naiskulutus * WTW kerroin (19)	435 602	-11 789
€/km €/km = Polttoainekustannus / Kilometrit (20)	0,38	0,40
WTW/km (kg CO₂e) WTW/km (kg CO ₂ e) diesel/biokaasu = WTW (kg CO ₂ e) / kilometrit (21)	0,86	-0,02

Skenaariolaskelma osoittaa, että polttoainekustannukset olivat melko tasaiset, biokaasun ollessa hieman kalliimpi. Jos kaikki tutkimuksessa mukana olleet ajot olisi suoritettu yhdeksän kuukauden ajan pelkällä biokaasulla, olisi se maksanut yrityksellä 9 839 € enemmän verrattuna dieseliin. Prosentteina ero olisi ollut 5,09 %.

Päästövaikutukset olivat merkittävät. TTW-päästöt dieselillä tuottavat noin 328 000 kg CO₂e kun taas biokaasulla vastaava arvo oli 0 kg CO₂e. WTW-tarkastelussa ero on vielä suurempi, koska biokaasun päästökerroin on tässä tapauksessa negatiivinen. Dieselkaluston WTW-päästöt olivat noin 436 000 kg CO₂e kun taas biokaasulla noin -12 000 kg CO₂e. Päästövähennys simulaatiossa on siis noin 447 000 kg CO₂e.

4.6.1 Päästövähennys suhteessa kustannukseen

Biokaasun kustannusta suhteessa päästövähennykseen voidaan tarkastella myös näkökulmasta ”kuinka paljon päästövähennystä saadaan käytettyä euroa kohden?”. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, miten paljon organisaatio voi vähentää kasvihuonepäästöjä yhtä lisäeuroa kohden, kun käyttövoimaksi valitaan dieselin sijasta biokaasu.

Skenaariolaskelman tilanteessa päästövähennystä syntyi yhteensä 447 391 kg CO₂e käyttämällä biokaasua, mutta samalla kustannukset nousivat 9 839 €. Kun päästövähennys suhteutetaan lisäkustannukseen, saadaan:

$$447\,391 \text{ kg CO}_2\text{e} / 9\,839 \text{ €} = 45,5 \text{ kg CO}_2\text{e/€} \quad (22)$$

Tämä tarkoittaa, että jokainen lisäeuro biokaasun polttoainekustannuksissa vähentää noin 45,5 kilogrammaa CO₂e päästöjä tarkastellulla ajosuoritteella.

On kuitenkin huomioitava, että skenaariolaskelman tulokset saavutettiin tarkasteluajan ajosuoritteella ja tässä arvioitiin puhdasta kulutusta sisältäen tyhjäkäynti. Tarkastelu ei huomioi vakuutuksia, kalustoinvestointeja tai polttoaineen hinnan vaihtelua pidemmässä juoksussa, jotka vaikuttavat myös kustannuksiin.

4.7 Polttoainehintojen herkkyyshanalyysi ja kustannuskilpailukyky

Tarkastelujaksolla biokaasukäyttöisten ajoneuvojen polttoainekustannus oli hieman dieselkalustoa korkeampi. Koska käyttövoimien välinen kustannusero oli kuitenkin melko

pieni, analyysiä täydennettiin herkkyystarkastelulla, jossa arvioitiin polttoaineiden hintojen muutosten vaikutusta kuljetusten kustannuksiin. Tavoitteena oli selvittää, kuinka suuri muutos polttoaineiden yksikköhinnoinnissa muuttaisi kustannusvertailun biokaasun eduksi sekä millaisella hintatasolla biokaasu olisi polttoainekustannuksiltaan dieselvaihtoehtoa edullisempi. Herkkyyksanalyysissä ratkaistiin polttoaineen yksikköhinta, jolla molempien käyttövoimien kustannus kilometriä kohden olisi sama. Tällöin saadaan niin sanottu tasapainohinta, jossa polttoainekustannukset ovat molemmille käyttövoimille yhtä suuret.

Taulukko 22 esittää herkkyyksanalyysin tulokset. Tulosten perusteella dieselpolttoaineen hinnan tulisi nousta noin 1,25 €/l, että käyttövoimien polttoainekustannukset olisivat samat. Vaihtoehtoisesti biokaasun hinnan tulisi laskea noin 1,34 €/kg. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tarkastelujakson keskihintoihin verrattuna dieselpolttoaineen hinnan tulisi nousta noin 5,1 % tai vaihtoehtoisesti biokaasun hinnan tulisi laskea noin 4,8 %, että biokaasukalusto olisi polttoainekustannuksiltaan kilpailukykyinen dieselkalustoon nähden. Tulokset osoittavat, että kustannusero käyttövoimien välillä on melko pieni ja jo vähäinen muutos polttoaineiden hintasuhteessa voi muuttaa kustannusvertailun biokaasun eduksi.

Taulukko 22: Polttoainehintojen herkkyyksanalyysi ja tasapainohinnat.

Selite	Diesel	Biokaasu
Keskimääräinen kulutus (l/kg) / 100 km	31,92	28,31
Yksikköhinta l/kg (€)	1,19	1,41
€/km	0,38	0,40
Tasapainohinta Tasapainohinta diesel = kulutus biokaasu * hinta biokaasu / kulutus diesel (23)	1,25	1,34

Selite	Diesel	Biokaasu
Tasapainohinta biokaasu = kulutus diesel * hinta diesel / kulutus biokaasu (24)		
Muutos %	5,09	-4,84

4.7.1 2026 alkuvuoden hintatason vaikutus skenaariolaskelmaan

Herkkyysanalyysiä täydennettiin tarkastelemalla vaihtoehtoista markkinatilannetta, johon valikoitui vuoden 2026 alkupuoli (1.1.-15.3.2026). Tässä laskelmassa käytettiin samoja arvoja kuin skenaariolaskelmassa, mutta polttoaineiden yksikköhinnat päivitettiin vastaamaan vuoden 2026 alun hintatasoa. Dieselin yksikköhinnaksi tuli 1,377 €/l ja biokaasun 1,36 €/kg. Hinnat perustuvat case yrityksen toteutuneisiin hintoihin.

Taulukko 23 esittää tulokset 2026 vuoden alun polttoainehinnoilla. Päivitetyillä hinnoilla biokaasun polttoainekustannus olisi ollut lähes 28 000 € pienempi kuin dieselkalustolla. Kilometrikustannuksena tämä tarkoittaa biokaasun osalta 0,385 €/km ja dieselillä 0,44 € /km. Biokaasu olisi täten ollut huomattavasti edullisempi vaihtoehto dieseliin verrattuna.

Taulukko 23: Skenaariolaskelma vuoden 2026 alun polttoainehinnoilla.

Selite	100 % diesel	100 % biokaasu
Kilometrit	509 205	509 205
Keskimääräinen kulutus (l/kg) / 100 km	31,92	28,31
Kokonaiskulutus	162 538	144 156
Yksikköhinta l/kg (€)	1,377	1,36
Polttoainekustannus	223 815	196 052
€/km	0,440	0,385
Erotus €		27 763
Erotus % (suhteessa dieseliin)		12,4

Selite	100 % diesel	100 % biokaasu

Tulokset osoittavat, että diesel- ja biokaasukaluston välinen kustannuskilpailukyky riippuu merkittävästi polttoaineiden markkinahinnoista. Vaikka tarkastelujakson keskihinoilla diesel oli hieman edullisempi vaihtoehto, vuoden 2026 alun hintatasolla biokaasu olisi ollut selvästi kustannustehokkaampi. Tämä viittaa siihen, että biokaasun taloudellinen kilpailukyky voi olla realistinen erityisesti tilanteissa, joissa fossiilisten polttoaineiden hinnat nousevat tai biokaasun saatavuus paranee.

4.8 Tulosten yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin diesel- ja biokaasukäyttöisten kuorma-autojen kulu- tusta, päästöjä ja kustannuksia. Analyysi tehtiin kahdella tasolla, koska laajemmassa ai- neistossa painot eivät olleet tiedossa, reittianalysillä haluttiin eliminoida mahdollinen painojen puuttumisen vääristymä tuloksiin.

Kulutusvertailu osoitti, että biokaasukäyttöisten ajoneuvojen keskimääräinen polttoai- neenkulutus oli hieman dieselajoneuvoja alhaisempi suhteessa ajettuun kilometriin. Yk- siköt olivat kuitenkin eri (litra ja kilogramma), joten tällä ei ole merkittävää vaikutusta tuloksiin. Lämpötilan vaikutusta tarkasteltaessa havaittiin, että ulkolämpötilan vaihtelu vaikutti molempien käyttövoimien kulutukseen, mutta vaikutus oli samansuuntainen eikä muuttanut käyttövoimien välistä suhteellista eroa. Kylmemmällä ilmalla polttoai- neen kulutus suurenee.

Päästövertailussa käyttövoimien välinen ero oli merkittävä. Tank-to-Wheel-tarkastelussa biokaasun suorat ajonaikaiset hiilidioksidipäästöt olivat nolla, kun taas dieselajoneuvoilla päästöt olivat merkittävät suhteessa ajosuoritteeseen. Well-to-Wheel-tarkastelussa bio- kaasun kokonaispäästöt muodostuivat negatiivisiksi käytetyn päästökertoimen perus- teella, mikä korostaa biokaasun tuotantoketjuun liittyviä ilmastohyötyjä. Dieselajoneu- voilla myös Well-to-Wheel-päästöt olivat huomattavat.

Kustannusvertailussa havaittiin, että polttoainekustannukset kilometriä kohden olivat aineistossa biokaasu- ja dieselajoneuvoilla lähellä toisiaan, biokaasun ollessa hieman hintavampi. Kuitenkin 2026 alkuvuoden hinnoilla biokaasu osoittautui kustannustehokkaammaksi vaihtoehdoksi. Tämä viittaa siihen, että polttoainekustannusten näkökulmasta biokaasun käyttö ei aiheuta merkittävää kustannuseroa verrattuna dieselkäyttöön tarkastellussa runkoliikenteessä.

Yksittäisen reitin syväanalyysi vahvisti koko aineistosta saadut havainnot. Kulutuksen, päästöjen ja kustannusten suhteet olivat samansuuntaisia kuin koko otannan analyysissä, mikä tukee tulosten luotettavuutta.

Skenaariolaskelmassa tarkasteltiin tilannetta, jossa koko tarkasteltu ajosuorite olisi toteutettu pelkästään diesel- tai biokaasukäyttöisillä ajoneuvoilla. Tulosten perusteella tällainen siirtymä johtaisi merkittävään päästövähennykseen verrattuna dieselkäyttöön, samalla kun polttoainekustannusten taso pysyisi lähellä nykyistä tasoa, mutta nousisi kuitenkin hieman.

Kokonaisuutena tulokset osoittavat, että biokaasu voi tarjota merkittävän päästövähennyspotentiaalin runkoliikenteessä ilman merkittävää polttoainekustannusten kasvua tarkastellussa kuljetusympäristössä.

5 Johtopäätökset

5.1 Tutkimuksen keskeiset tulokset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella diesel- ja biokaasuajoneuvojen päästöjä ja kustannuksia. Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena suomalaiselle elintarvikekuljetuksiin erikoistuneelle yritykselle. Analyysi ja laskenta perustui yrityksen todelliseen operatiiviseen dataan. Tutkimuskysymykset ja niihin vastaukset olivat seuraavat:

Miten biokaasulla toimivat kuorma-autot vertautuvat dieselkalustoon kustannusten ja päästöjen näkökulmasta elintarvikekuljetuksissa?

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että dieselin ja biokaasun hintaero kilometrille oli suhteellisen pieni. Laajemmassa otannassa, sisältäen tyhjäkäynnin, tulokseksi saatiin biokaasun osalta 39,70 €/100 km ja dieselin tulokseksi 38,07 €/100 km. Ero oli siis noin 4,3 %. Reittianalyysissä, ilman tyhjäkäyntiä, tulokseksi saatiin biokaasun osalta 40,14 €/100 km ja dieselin osalta 37,8 €/100 km. Tässä eroa oli noin 6,2 %. Voidaan todeta biokaasun olevan tutkimuksen ajankohdalta hieman kalliimpi. Kuitenkin vuoden 2026 alun polttoaineen hintatasolla biokaasu olisi ollut huomattavasti edullisempi vaihtoehto.

Päästöjen osalta tulokset olivat merkittävät. Tulokset osoittavat, että biokaasu mahdollistaa merkittävän päästövähennyksen verrattuna dieseliin. Biokaasun WTW-päästöt olivat negatiiviset ja dieselillä 239 277 kg CO₂e.

Voiko biokaasun käyttö parantaa kuljetusyrityksen kilpailukykyä ja houkuttelevuutta ympäristötietoisille asiakkaille, ja onko tämä taloudellisesti kannattavaa yrityksen näkökulmasta?

Biokaasukalusto oli tutkimuksessa hieman dieselkalustoa hintavampi. Päästövähennys on kuitenkin huomattava. Skenaariolaskelmassa todettiin, että jokainen euro, jonka yritys investoi biokaasupolttoaineeseen dieselin sijasta, vähentää yrityksen kokonaispäästöjä 45,5kg CO₂e. Tämä on merkittävä määrä. Päästövähennykset voivat parantaa yritysten kilpailukykyä tilanteessa, jossa asiakkaat ja sääntely lisäävät paineita kuljetusten ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Vähäpäästöiset kuljetusratkaisut voivat toimia kilpailuetuna markkinoilla, joissa vastuullisuus on kasvava valintakriteeri.

5.2 Tulosten yleistettävyyden ja rajoitteet

Tutkimuksen tulosten yleistettävyyttä tulee tarkastella tapaustutkimuksen luonteen kautta. Tutkimus perustuu yhden yrityksen operatiiviseen dataan kymmeneltä kuukaudelta, minkä vuoksi tuloksia ei voida suoraan yleistää kaikkiin kuljetusoperaatioihin. Keskeinen rajoite liittyy ajoneuvojen ajosuoritteiden ja reittien vaihteluun. Kaikki tarkastellut ajoneuvot eivät ajaneet täysin identtisiä reittejä tarkastelujakson aikana, mikä voi vaikuttaa kulutuslukuihin. Myös kuormien painot vaihtelivat huomattavasti ja biokaasuajoneuvot olivat 2-akselisia ja dieselajoneuvot 3-akselisia.

Toinen rajoite liittyy polttoaineiden hinnan kehitykseen. Biokaasun ja dieselin kustannusvertailu riippuu voimakkaasti polttoaineiden markkinahinnoista, jotka voivat vaihdella suuresti ajan mittaan. Tästä syystä tutkimuksen kustannustulokset kuvaavat ensisijaisesti tarkasteluajankohdan tilannetta tai vaihtoehtoisesti vuoden 2026 alun tilannetta.

Lisäksi biokaasun saatavuus ja tankkausinfrastruktuuri vaihtelevat alueittain. Tämä voi vaikuttaa siihen, kuinka helposti biokaasukäyttöinen kalusto voidaan ottaa käyttöön eri logistiikkayrityksissä. Saadut tulokset riippuvat myös voimakkaasti käytetyistä päästökertoimista, ja muilla kertoimilla WTW-päästöt eivät välttämättä ole negatiivisia.

Tutkimuksessa käytettiin yrityksen polttoaineen toimittajien raportoimia päästökertoimia ja yrityksen sopimushintojen keskiarvoja. Hinnat ja päästökertoimet eivät ole yleistettävissä muille yrityksille.

5.3 Jatkotutkimus

Jatkossa olisi mielenkiintoista tehdä vastaavaa analyysiä suurempaan ajoneuvo-otantaan sekä useampiin kuljetusreitteihin. Tämä mahdollistaisi tarkemman vertailun eri käyttövoimien välillä sekä parantaisi tulosten tilastollista luotettavuutta. Tutkimuksesta saisi erinomaisen, jos biokaasu ja diesel ajaisivat samaa reittiä jatkuvasti, ajoneuvot olisivat täysin vertailukelpoiset (esimerkiksi sama valmistaja, sama malli, eri käyttövoima), kuormat olisivat vakiopainoisia, kuljettajat olisivat molemmilla autoilla samoja ja autojen käyttöasteet olisivat lähellä toisiaan.

Lisäksi tulevassa tutkimuksessa olisi hyödyllistä tarkastella biokaasun vaikutuksia kuljetusyritysten kokonaiskustannuksiin laajemmin. Tämä voisi sisältää ajoneuvojen hankintahintojen, huoltokustannusten sekä mahdollisten tukijärjestelmien tarkastelun.

Myös muiden vaihtoehtoisten käyttövoimien, kuten sähkökäyttöisten tai vetypohjaisten kuorma-autojen, vertailu biokaasun ja dieselin kanssa tarjoaisi arvokasta tietoa tulevaisuudelle.

Lähteet

- AFRY. (2023, September 27). *ISO 14083 -materiaali (webinaari)*. Suomen Huolinta- ja Logistiikkaliitto. https://www.huolintaliitto.fi/media/koulutusmateriaalit/3.-afry_iso14083_materiaali_webinaari-27.9.2023.pdf
- CLECAT. (2025). *Electric truck sales in the EU jump 70% in 2025, but growth remains highly uneven across member states*. Retrieved April 15, 2026 from <https://www.clecat.org/news/newsletters/electric-truck-sales-in-the-eu-jump-70-in-2025-but>
- CO₂emissiefactoren.nl. (2026). *Emissiefactoren (downloads)*. Retrieved February 20, 2026 from <https://co2emissiefactoren.nl/downloads/>
- Demir, E., Bektas, T., & Laporte, G. (2014). *A review of recent research on green road freight transportation*. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 775–793. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.033>
- European Automobile Manufacturers' Association. (2021). *Preliminary CO₂ baseline for heavy-duty vehicles in the EU*. Retrieved March 2, 2026 from https://www.acea.auto/files/ACEA_preliminary_CO2_baseline_heavy-duty_vehicles.pdf
- European Automobile Manufacturers' Association. (2025). *Vehicles on European roads 2025*. Retrieved March 2, 2026 from https://www.acea.auto/files/ACEA_Report_-_Vehicles_on_European_roads_2025.pdf
- European Commission. (2004). *Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council on the hygiene of foodstuffs*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004R0852>
- European Commission. (2026). *EU climate, energy and environmental targets*. Retrieved February 20, 2026 from https://commission.europa.eu/topics/climate-action/eu-climate-energy-and-environmental-targets_fi
- European Environment Agency. (2025, October 22). *Share of trains and inland waterways in freight transport in Europe*. Retrieved January 27, 2026, from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/use-of-collective-transport-modes>

- European Parliament. (2024, April 10). *MEPs adopt stricter CO₂ emissions targets for trucks and buses*. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240408IPR20305/meps-adopt-stricter-co2-emissions-targets-for-trucks-and-buses>
- FMS-Standard. (2026). *Fleet management system standard*. Retrieved March 3, 2026 from <https://www.fms-standard.com/Truck/index.htm>
- Food supply chain | EU CAP Network. (2026). Retrieved January 25, 2026 https://eu-cap-network.ec.europa.eu/topics/food-supply-chain_en
- GARO. (2026). *AFIR – vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria koskeva EU-asetus*. retrieved April 19, 2026 osoitteesta <https://garo.fi/ratkaisut/afir-vaihtoehtoisten-polttoaineiden-infrastruktuuria-koskeva-eu-asetus/>
- Gasum. (2025). *Gasum starts work on three new liquefied biogas filling stations in Finland*. Retrieved March 3, 2026 from <https://www.gasum.com/en/news-and-customer-stories/news-and-press-releases/2025/gasum-starts-work-on-three-new-liquefied-biogas-filling-stations-in-finland/>
- Gasum. (2026a). *Biokaasun päästöt*. Retrieved March 3, 2026 from <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/biokaasun-paastot/>
- Gasum. (2026b). *Maakaasu ja nesteytetty maakaasu (LNG)*. Retrieved March 3, 2026 from <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/maakaasu-ja-nesteytetty-maakaasu-ling/>
- Global Market Insights. (2025, February). *Europe hydrogen trucks market*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/europe-hydrogen-trucks-market>
- Hautakangas, P. (2021, June 6). *Kiivas tilausrytmi kirittää elintarvikekuljetuksia*. Kehittyvä Elintarvike. Retrieved January 26, 2026, from <https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/logistiikka-energiatehokkuus/kiivas-tilausrytmi-kirittaa-elintarvikekuljetuksia/>

- Havulatva. (2026). *Mikä on hiilijalanjälki?* Retrieved March 7, 2026 from <https://havulatva.fi/mika-on-hiilijalanjalki/>
- Ilmatieteen laitos. (2026). *Havaintojen lataus*. Retrieved April 1, 2026 from <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Chapter 10: Transport*. Teoksessa *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report)*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-10/>
- International Council on Clean Transportation. (2023). *Total cost of ownership of zero-emission trucks in Europe* https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/11/ID-54-%E2%80%93-EU-HDV-TCO_paper_final2.pdf
- International Council on Clean Transportation. (2026, March 12). *Europe records strong uptake of electric trucks and buses as first-ever CO₂ standards take effect*. <https://theicct.org/pr-europe-records-strong-uptake-of-electric-trucks-and-buses-as-first-ever-co2-standards-take-effect/>
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO 14083:2023 Greenhouse gases — Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14083:ed-1:v1:en>
- Kotilainen, M., Koski, H., Mankinen, R., & Rantala, O. (2010). *Elintarvikkeiden hinnanmuodostus ja markkinoiden toimivuus*. *Etna*. <https://www.etla.fi/julkaisut/dp1209-fi/>
- Mårtensson, L. (2025, May 21). *Mitä HVO voi tarjota raskaalle kuorma-autoliikenteelle?* Volvo Trucks. Retrieved April 15, 2026 from <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/news/insights/articles/2025/may/what-is-hvo-fuel.html>
- Maustaja Oy. (2025, November, 14). *Mitä kustannuksia elintarvikkeiden sopimusvalmistukseen liittyy?* Retrieved February 26, 2026 from <https://maustaja.fi/mita-kustannuksia-elintarvikkeiden-sopimusvalmistukseen-liittyy/>

- McKinsey & Company. (2024, June 19). *Decarbonizing logistics: Charting the path ahead*.
<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/decarbonizing-logistics-charting-the-path-ahead>
- Neste. (2026). *Neste MY uusiutuva diesel*. Retrieved April 14, 2026 from
<https://www.neste.fi/yksityisille/tuotteet/polttoaineet/neste-my-uusiutuva-diesel>
- Opetushallitus. (2026). *Kestävän kehityksen keskeiset käsitteet*. Retrieved March 5, 2026 from
<https://www.oph.fi/fi/opettajat-ja-kasvattajat/kestavan-kehityksen-keskeiset-kasitteet>
- Persyn, D., Díaz-Lanchas, J., and Barbero, J. (2019). *Estimating road transport costs between EU regions*. JRC Working Papers on Territorial Modelling and Analysis No. 04/2019, European Commission, Seville, 2019, JRC114409. retrieved
<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/202274/1/jrc-wptma201904.pdf>
- Petit Forestier. (2025, October 15). *Refrigerated transport standards: everything you need to know*. Retrieved January 26, from
<https://www.petitforestier.com/en-gb/posts/282-refrigerated-transport-standards-everything-you-need-to-know>
- Prema Energy. (2026). *How much does HVO fuel cost compared to fossil diesel?* Retrieved April 14, 2026 from
<https://premaenergy.co.uk/how-much-does-hvo-fuel-cost-compared-to-fossil-diesel/>
- Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards. (2020, September 23) *JEC Well-To-Wheels report v5*. EUR 30284 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-20109-0, doi:10.2760/100379, JRC121213.
- Ruokavirasto. (2026). *HACCP-järjestelmä*. Retrieved February 2, 2026 from
<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/elintarvikeyrityksen-perustaminen-ja-omavalvonta/omavalvonta-ja-jaljitettavyys/omavalvonta/haccp/>
- Ruokavirasto. (2023, November 11). *Esimerkkejä elintarvikkeiden säilytyslämpötiloille*. Retrieved January 26, 2026, from
<https://www.ruokavirasto.fi/elintarvikkeet/elintarvikeala/hygieeninen-toiminta/tuotanto-ja->

[kasittelyhygienia/elintarvikkeet/esimerkkeja-elintarvikkeiden-sailytyslampotiloille/](#)

- Scania. (2021). *How does a hydrogen fuel cell electric truck work?* Retrieved April 15, 2026 from <https://www.scania.com/fi/fi/home/about-scania/news-room/news/2021/how-does-a-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-work.html>
- Scania. (2026). *Sähkökuorma-autot.* Retrieved April 15, 2026 from <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/trucks/sahkokuorma-auto.html>
- Smart Freight Centre. (2025). *Global Logistics Emissions Council (GLEC) Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting, version 3.2.* Retrieved April 10, 2026 from https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3.2_21_10_25_1.pdf
- St1. (2026a). *B2B-biokaasu.* Retrieved March 2, 2026 from <https://st1.fi/yrityksille/energiatuotteet/b2b-biokaasu>
- St1. (2026b). *Nestemäiset biopolttoaineet.* Retrieved April 15, 2026 from <https://st1.fi/tietoa-meista/vastuullisuus/energiasiirtyma/nestemaiset-biopolttoaineet>
- Suomen ilmastopaneeli. (2024). *Tieliikenteen päästövähennystoimet ja niiden vaikutukset* (Raportti 1/2024). <https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2024/08/ilmastopaneelin-raportti-1-2024-tieliikenteen-paastovahennystoimet-ja-niiden-vaikutukset.pdf>
- Tilastokeskus. (2026a). *Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv.).* Retrieved March 16, 2026 from <https://stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>
- Tilastokeskus. (2026b). *Kuljetussuorite.* Retrieved March 20, 2026 from <https://stat.fi/meta/kas/kuljetussuorite.html>
- Tilastokeskus. (2026c). *Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksi.* Retrieved March 15, 2026 from <https://stat.fi/tup/kustannusindeksit/kuorma-autoliikenteen-kustannusindeksi.html>
- Tilastokeskus. (n.d.). *Kuluttajahintaindeksi (KHI) [PxWeb-taulukko; statfin_khi_pxt_11xx]* [Data set]. PxWeb, StatFin. Retrieved March 20, 2026 from

https://pxdata.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__khi/stat-fin_khi_pxt_11xx.px

UNECE. (2024, June 22). *Agreement on the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to Be Used for Such Carriage (ATP)*. United Nations.

https://unece.org/sites/default/files/2024-08/ATP%202024_E_pdf_web_protected.pdf

UNEP; FAO. (2022) *Sustainable food cold chains: Opportunities, challenges and the way forward*. <https://doi.org/10.4060/cc0923en>

Volvo Trucks. (2023). *Questions about biogas and gas-powered trucks*. Retrieved March 10, 2026 from <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/insights/articles/2023/jan/questions-about-biogas-and-gas-powered-trucks.html>

Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2008). Food-Miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environmental Science & Technology*, 42(10), 3508–3513. <https://doi.org/10.1021/es702969f>