



**RASKAAN LIIKENTEEN SEKTORIN KASVIHUONEKAASUJEN PÄÄSTÖVÄ-
HENNYPOTENTIALIAALI VAIHTOEHTOISIA KÄYTTÖVOIMIA HYÖDYNTÄEN**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2025

Teemu Vallgren

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Esa Tuviala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energijärjestelmien tiedekunta

Sähkötekniikka

Teemu Vallgren

Raskaan liikenteen sektorin kasvihuonekaasujen päästövähennyspotentiaali vaihtoehtoisia käyttövoimia hyödyntäen

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2025

32 sivua, 3 kuvaa ja 3 taulukkoa

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Esa Tuviala

Avainsanat: raskas liikenne, kasvihuonekaasupäästöt, päästövähennyspotentiaali, vaihtoehtoiset käyttövoimat

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää raskaan liikenteen sektorin päästövähennyspotentiaalia vaihtoehtoisilla käyttövoimilla. Työssä keskitytään sähköisen voimalinjan lisäksi uusiutuvaan dieseliin, biokaasuun ja vetyyn. Verrokkina tutkitaan myös dieselöljyä käyttövoimana. Työssä tutustutaan eri voimalinjojen hyötyihin, haittoihin, ja ominaisuuksiin.

Työ on jaettu johdantoon, raskaan kaluston voimalinjaratkaisuja tutkivaan kirjallisuuskatsaukseen, laskennalliseen tapaustutkimukseen, tuloksiin ja pohdintaan, sekä johtopäätöksiin ja yhteenvetoon. Johdannossa pohjustetaan työn tavoitteet ja taustoitetaan tutkimuksen merkitys. Raskaan kaluston voimalinjaratkaisuja tutkitaan monipuolisesti kirjallisuuskatsauksena. Tapaustutkimuksessa lasketaan esimerkkitapaukselle päästökertymiä ISO 14083-standardin mukaisesti. Lopussa esitellään tuloksia ja vertaillaan käyttövoimia sekä käytännöllisyyden että päästövähennysten näkökulmasta.

Tapaustutkimuksen laskennallisen osuuden perusteella sähkökäyttöisellä kalustolla saavutettiin suurimmat päästövähennykset, mutta kirjallisuuskatsauksen perusteella tekniikka todettiin vielä puutteelliseksi esimerkiksi kaukokuljetuksiin. Toiseksi suurimmat päästövähennykset saavutettiin uusiutuvalla dieselillä, joka ei vaadi kompromissia toimintamatkan suhteen, eikä sen käytölle ole esteitä nykyisellä dieselkäyttöisellä kalustolla. Biokaasulla saavutettiin lähes yhtä suuret päästövähennykset, mutta tankkausinfrastruktuuri ei ole kovin tiheää esimerkiksi Lapissa ja Itä-Suomessa. Vetykäyttöisellä kalustolla päästöt olisivat olleet vedyn tämänhetkisen tuotantotavan takia suuremmat kuin dieselkäyttöisellä kalustolla. Lisäksi vetykäyttöisen kaluston hankinta, sekä käyttö on hintavampaa verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Electrical Engineering

Teemu Vallgren

Possibilities of lowering the greenhouse gas emissions of the heavy-duty transportation sector using alternative fuels

Bachelor's thesis

2025

32 pages, 3 figures and 3 tables

Examiners: Junior Researcher Esa Tuviala

Keywords: heavy-duty traffic, greenhouse gas emissions, emission reduction potential, alternative drivetrains, alternative fuels

The objective of this bachelor's thesis is to examine the emission reduction potential of the heavy-duty transport sector using alternative power sources. In addition to electric drivetrains, the study focuses on renewable diesel, biogas and hydrogen. Diesel fuel is also examined as a reference fuel. The thesis explores the benefits, drawbacks, and characteristics of different drivetrain solutions.

The study is divided into an introduction, a literature review on heavy-duty drivetrain solutions, a case study, results and discussion, and conclusions and summary. The introduction outlines the objectives and the significance of the research. The literature review provides a comprehensive analysis of various heavy-duty drivetrain solutions. In the case study, emissions for a sample case are calculated in accordance with the ISO 14083 standard. Finally, the results are presented, and different power sources are compared in terms of both practicality and emission reduction potential.

Electric vehicles achieved the biggest emission reductions, however, based on the literature review, the technology was found to be inadequate for certain applications such as long-haul transport. The second highest emission reductions were achieved with renewable diesel, which does not require compromising the operating range and can be used without modifications in current diesel trucks. Biogas achieved nearly similar emission reductions, but the refueling infrastructure is relatively sparse, especially in Lapland and Eastern Finland. Hydrogen-powered vehicles would have resulted in higher emissions than diesel powered ones due to the current production method of hydrogen. Additionally, the acquisition and operating costs of hydrogen-powered vehicles are higher than other alternatives.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Latinalaiset aakkoset

G_{tot}	Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt	[kg]
G_{VO}	Kasvihuonekaasujen toiminnalliset päästöt	[kg]
Q	Kasvihuonekaasua aiheuttavan toiminnan määrä	[kg, l]

Kreikkalaiset aakkoset

ϵ_{tot}	Kasvihuonekaasujen kokonaispäästökerroin
ϵ_{VO}	Kasvihuonekaasujen toiminnallisten päästöjen päästökerroin

Lyhenteet

8x4*4	Kuorma-auton alusta, jossa neljä akselia, takana kolmen akselin teli, joista kaksi on vetäviä ja niiden takana ohjaava akseli.
8x2/*6	Kuorma-auton alusta, jossa neljä akselia, takana kolmen akselin teli, joista keskimäinen on vetävä ja muut ohjaavia.
8x2/4	Kuorma-auton alusta, jossa neljä akselia, takana kolmen akselin teli, joista keskimäinen on vetävä, ja sen etupuolella on ohjaava akseli ja takapuolella kiinteä tukiakseli.
BEVPO	Battery Electric Vehicle Potential-simulaatiomalli
CO _{2e}	Hiilidioksidiekvivalentti, yksikkö, jota käytetään vertailemaan eri kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksia
FAME	Fatty Acid Methyl Ester, rasvahappometyyliesteri
GHG	Green House Gases, kasvihuonekaasut
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil, vetykäsitelty kasviöljy
MCS	Megawatt Charging System

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuskysymykset ja työn tavoitteet	1
1.2	Tapaustutkimuksen tausta.....	2
1.3	ISO 14083-standardi ja CountEmissionsEU-viitekehys.....	2
1.4	Työn rakenne	3
2	Raskaan kaluston voimalinjaratkaisut	4
2.1	Diesel	4
2.1.1	Uusiutuva diesel.....	7
2.2	Sähkö	8
2.2.1	Akunvaihto.....	10
2.3	Vety.....	11
2.4	Biokaasu.....	13
3	Tapaustutkimus.....	16
4	Tulokset ja pohdinta	20
5	Johtopäätökset ja yhteenveto	23
	Lähteet	25

1 Johdanto

Euroopan ympäristökeskuksen (EEA, 2022) mukaan Euroopassa kokonaispäästöistä yli 6 % ja tieliikenteen päästöistä noin neljännes muodostuu raskaasta liikenteestä. Raskaaksi liikenteeksi määritellään kuorma-autot, eri kokoiset ajoneuvoyhdistelmät, sekä linja-autot. Ilmastolon lämmetessä kasvihuonekaasujen vähennys on erittäin tärkeää, ja raskaassa liikenteessä vähäpäästöisten käyttövoimien, kuten sähkön hyödyntäminen on vielä hyvin vähäistä. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa vuoden 2025 alussa täyssähköisiä kuorma-autoja oli liikennekäytössä 127, eli vain 0,1 prosenttia koko kuorma-autokannasta (Autoalan tiedotuskeskus, 2025). Sähkölinja-autoja sen sijaan oli liikennekäytössä 962, joka vastaa lähes 9 prosentin osuutta.

Raskaan kaluston sähköistäminen ja siirtyminen ilmastoneutraaleihin vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin on keskeinen osa maailmanlaajuisia ilmastotoimia, joilla pyritään vähentämään liikenteen päästöjä ja saavuttamaan Pariisin ilmastopimuksen asettamat tavoitteet. Pariisin ilmastopimuksen mukaan vähintään 20 prosenttia kaikista kuorma-autoista tulisi olla sähkökäyttöisiä vuoteen 2030 mennessä. (UNFCCC, 2015.)

Työssä päästöt mitataan hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂e). Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasupäästöjen yhteismitta, jonka avulla voidaan laskea yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen (Tilastokeskus, 2025). Hiilidioksidiekvivalentissa muiden kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus suhteutetaan hiilidioksidin ilmastoa lämmittävään vaikutukseen, esimerkiksi metaani lämmittää ilmakehää noin 28 kertaa enemmän kuin hiilidioksidi (IPCC, 2024).

1.1 Tutkimuskysymykset ja työn tavoitteet

Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Kuinka paljon kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää raskaan liikenteen sektorilla siirtymällä vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin tai täyssähköiseen voimalinjaan?
2. Millaisia ratkaisuja tarvitaan raskaan liikenteen sähköistämiseksi?

3. Mitkä raskaan liikenteen segmentit hyötyvät eniten sähköistämisestä?

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan raskaan liikenteen päästövähennyspotentiaaliin ensisijaisesti sähköistä liikennettä hyödyntäen. Muista vaihtoehtoisista polttoaineista tutustutaan erityisesti biokaasuun ja uusiutuvaan dieseliin, koska niitä on tänä päivänä melko laajasti saatavilla eri valmistajilta. Lisäksi työssä tehdään myös katsaus vetyteknologiaan, sen haasteisiin ja päästövähennyspotentiaaliin.

1.2 Tapaustutkimuksen tausta

Tutkimus toteutetaan laskemalla päästökertymiä erään kuljetusliikkeen todellisen kulutetun polttoaineen avulla. Materiaaleina työssä käytetään CountEmissionsEU-viitekehystä, kuljetusliikkeeltä saatuja todellisia kulutustietoja autokohtaisesti sekä autojen matkamittarikertymiä. Tutkimuksessa keskitytään joulukuussa 2024 kerättyyn dataan.

Tarkasteltavan kuljetusliikkeen ajo koostuu jakeluliikenteestä ja terminaali ajosta, jossa kuorma haetaan noin 200 kilometrin päästä. Terminaalille ajetaan aina tyhjällä kuorma-autoyhdistelmällä yhdistelmän painon ollessa noin 22 tonnia ja takaisin täydellä, jolloin painoa on kyseiselle yhdistelmälle suurin sallittu 68 tonnia. Kuljetusliikkeellä on viisi kuorma-autoa, joista jokainen poikkeaa hieman toisistaan akselistoratkaisujen, hytin korkeuden sekä moottorin koon osalta. Kaksi kuljetusliikkeen kuorma-autoista on Volvo-merkkisiä ja loput kolme ovat Scania-merkkisiä.

1.3 ISO 14083-standardi ja CountEmissionsEU-viitekehys

ISO 14083:2023 on kansainvälinen standardi, joka määrittelee yhteisen menetelmän GHG (Green House Gas) -päästöjen laskentaan ja raportointiin matkustaja- ja tavarakuljetusketjujen toiminnoista (SFS-EN ISO 14083:2023). Standardi ottaa huomioon sekä suorat että epäsuorat päästöt, mukaan lukien polttoaineiden tuotanto, ajoneuvojen valmistus ja infrastruktuuri.

CountEmissionsEU on Euroopan komission heinäkuussa 2023 julkaisema ISO 14083-standardiin perustuva aloite, jonka tavoitteena on täydentää ISO 14083-standardia EU:n liikennesektorille tarjoamalla tarkempia ohjeita esimerkiksi EU:n päästökauppajärjestelmään,

Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaan ja ilmastotavoitteisiin. Tulevaisuudessa Council EmissionsEU tulee edellyttämään, että kaikki Euroopan Unionin alueella tavaroita kuljettavat yritykset noudattavat yhtenäistä päästölaskentamenetelmää. (Euroopan komissio, 2023.)

1.4 Työn rakenne

Alun teoriaosassa selvitetään taustaa, ja esitellään eri polttoainevaihtoehdot raskaan liikenteen käyttöön. Sen lisäksi paneudutaan eri käyttökohteisiin sekä eri polttoaineiden yhteensopivuuteen erilaisiin ajoprofiileihin. Tämän jälkeen vertaillaan eri polttoaineiden päästökertymiä ja verrataan niitä täyssähköiseen voimalinjaan. Aihetta lähestytään myös tapaus-tutkimuksen kautta laskemalla esimerkkipäästöt erään kuljetusliikkeen joulukuun ajoille. Lopuksi vertaillaan tuloksia ja pohditaan käyttövoimavaihtoehtoja tulevaisuudelle.

2 Raskaan kaluston voimalinjaratkaisut

Tässä luvussa käydään läpi tänä päivänä kuorma-autoihin saatavilla olevat ja yleisesti käytettävät voimalinjaratkaisut. Lisäksi käsitellään tulevia teknologioita, niiden hyötypuolia sekä haasteita.

2.1 Diesel

Tällä hetkellä käytössä olevista polttoaineista fossiilinen dieselöljy on ylivoimaisesti käytetyin käyttövoima kuorma-autoissa. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (2025) mukaan Suomessa liikennekäytössä olevista kuorma-autoista noin 96 % käy dieselillä.

Tavanomaisista öljyjaloiteisista polttoaineista dieselmootoreiden suurimpana etuna on poltomootorille hyvä hyötysuhde. Pitkälle kehittyneen tekniikan avulla uusimmissa kuorma-autojen dieselmootoreissa päästään jopa 50 % hyötysuhteeseen (Scania, 2021). Tämä tarkoittaa sitä, että jopa puolet polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan muutettua työksi.

Dieselmoottori tarjoaa raskaiden kuormien liikuttamiseen tarjoaman väännön dieselöljyn kemiallisen rakenteen vaatiman moottorityypin avulla. Dieselöljy on varsin huonosti syttyvää sellaisenaan, vaan se vaatii painetta syttyäkseen tehokkaasti. Tämän takia dieselmoottorien puristussuhde on paljon korkeampi kuin esimerkiksi bensiinimootoreissa, yleensä noin 16:1, verrattuna bensiinimootoreissa yleisesti käytettyyn 9:1. Suuren puristussuhteen kanssa hyödynnetään yleensä pitkää sylinterin iskupituutta, jolla saadaan moottorista alhaalta vääntävä. Kuorma-autojen dieselmoottorit ovat kaikki myös ahdettuja, lähes aina pakokaasuahtimella eli turboahtimella varustettuja. Ahtimella saadaan tuotettua moottorin imusarjaan ulkoilmaa korkeampi ilmanpaine, jolloin moottorin palotilaan saadaan sopimaan enemmän happea. Suurempi hapen määrä mahdollistaa sen, että pienessä moottorissa voidaan polttaa enemmän polttoainetta korkealla kuormituksella. Vähäisellä kuormituksella pienempi ahdettu moottori on taloudellisempi kuin yhtä tehokas ahtamaton moottori. Tämä mahdollistaa pienempien moottorien käytön säilyttäen saman huipputehon, mutta normaalissa matkajossa saavutetaan pienempi kulutus osakuormituksella. (Motiva, 2025a.)

Dieselöljyn jakeluinfrastruktuuri on erittäin laaja. Dieseliä on käytännössä saatavilla jokaisesta taajamasta (ABC, 2025; Neste, 2025; ST1, 2025; Teboil, 2025), joka mahdollistaa liikennöinnin ilman huolta polttoaineen saatavuudesta. Dieselöljyn varastointi ja kuljetus on helppoa ja turvallista, sillä se ei haihdu helposti, eikä sitä tarvitse paineistaa tai käsitellä erityisellä varovaisuudella. Dieselin tankkauspiste vaatii vain säiliön tuotteelle ja pumpun mittareineen. Tankkaaminen on myös nopeaa kuorma-autoille suunnattujen asemien suurempien polttoainepistoolien, sekä suurtehomittareiden ansiosta. Esimerkiksi 400 litran tankkaukseen kuluu vain muutamia minuutteja, ja se riittää kuorma-autosta riippuen 1000–2000 kilometrin matkalle.

Dieselöljyn energiatiheys on suuri, se sisältää noin 9,9 kilowattituntia energiaa litraa kohden (Motiva, 2025b). Yhdessä modernien taloudellisten moottorien kanssa dieselkuorma-autoilla saavutetaan erittäin pitkä kantama, kevyellä kuormalla ja suurilla polttoainesäiliöillä varustetulla kuorma-autolla voi päästä useamman tuhatta kilometriä tankkaamatta. Tämä tekee dieselistä ainoan mahdollisen polttoainevaihtoehdon joillekin reiteille, joissa ajetaan syrjäseudulle, ja polttoaineen saatavuus voi olla rajallista.

Korjausverkosto on erittäin laaja. Lähes jokaisessa taajamassa on korjaamo, joka osaa korjata monet yleiset viat. Uudemmat ja edistyneemmät käyttövoimat vaativat usein erikoiskorjaamon korjaustarpeen ilmetessä, mutta dieseltekniikka on ollut käytössä niin pitkään ettei niiden korjaaminen vaadi erikoiskoulutusta tai -työkaluja.

ISO 14083-standardin (SFS-EN ISO 14083:2023, 98) mukaan kilogramma dieseliä tuottaa toiminnallisia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä 3,17 kilogrammaa. Dieselin tiheyden ollessa noin 0,832 kilogrammaa litraa kohden, yksi litra dieseliä tuottaa noin 2,63 kilogrammaa päästöjä. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi syntyy muun muassa typen oksidipäästöjä, sekä hiukkaspäästöjä.

Päästöstandardit kiristyvät jatkuvasti ympäri maailmaa. Euroopan unionin alueella tällä hetkellä voimassa oleva Euro 6-standardi, ja Yhdysvalloissa EPA Tier 4-vaatimukset asettavat tiukat rajat tietyille päästöissä esiintyville aineille. Yhdysvalloissa tekeillä on EPA Tier 5-päästöluokitus, jonka on määrä tiukentaa mm. sallittua hiukkaspäästöjen määrää radikaalisti. EU-parlamentti hyväksyi maaliskuussa 2024 uudet Euro 7 -päästönormit, jotka alentavat sallittua hiilivetyjen, sekä hiukkasten määrää (Euroopan unionin neuvosto, 2024). Euro 7-päästönormien on määrä tulla voimaan 29.5.2028 uusille tyypeille ja ensirekisteröinneille

vuotta myöhemmin. Kuorma-autovalmistajilta vaaditaan koko ajan alhaisempia käytönai-
kaisia päästöjä, ja valmistajien on lisättävä tehokkaampia katalyysaattoreita, hiukkassuodat-
timia, sekä muita pakokaasun käsittelylaitteita. Nämä kuitenkin lisäävät hankintahintaa,
sekä ovat varsinkin lyhyessä ajossa herkkiä vikaantumaan (Kuusjärvi, 2012).

Kuorma-autot tuottavat merkittäviä määriä hiukkaspäästöjä ja typen oksideja varsinkin kau-
punkiliikenteessä, sillä ne joutuvat käymään paljon joutokäyntiä, ja ajamaan pienellä kuor-
mituksella. Juhani Laurikko (2008) tutkimuksessaan dieselhenkilöautojen ympäristöystäväl-
lisyydestä toteaa, että nämä päästöt ovat haitallisia ihmisen hengityselimistöille, ja lisäävät
riskiä sairastua mm. astmaan tai sydän- ja verisuonitauteihin. Tämän takia useissa suurem-
missa kaupungeissa on ydinkeskustoissa päästövyöhykkeitä, jotka rajoittavat sinne ajon
vaihtelevasti päästöluokituksen, ajoneuvon iän tai radikaalisti polttoaineen perusteella. Esi-
merkiksi Tukholma on rajoittanut kaikkien yli 3,5 tonnia painavien dieselkäyttöisten ajoneu-
vojen liikkumista ympäristövyöhykkeen sisällä, ja ne sallivat vain uusimman Euro 6-luokan
ajoneuvot (Helsingin kaupunki, 2019). Yhä useammat kaupungit harkitsevat ympäristö-
vyöhykkeitä, esimerkiksi Helsinkiin on suunnitteilla laajentaa nykyisen ympäristövyöhyk-
keen kattavuutta, nykyään se koskee vain Helsingin seudun liikenteen kilpailuttamaa Hel-
singin sisäistä ja seudullista bussiliikennettä sekä Helsingin seudun ympäristöpalveluiden
kilpailuttamaa jätteenkuljetusta. Näitäkin rajoitetaan tällä hetkellä melko löysin kriteerein,
sillä minimitaso on tällä hetkellä Euro 5 päästöluokitus, joka on tullut voimaan lokakuussa
2008. (Helsingin kaupunki, 2024.)

Toinen dieselkäyttöisen raskaan kaluston ongelmatekijä kaupunkiympäristössä on sen ai-
heuttama melu. Melua aiheutuu myös moottorin lisäksi sen apulaitteista, kuten jäähdytysjär-
jestelmän tuulettimista, sekä paineilmakompressorista. Vaikka uudemmissa dieselmootto-
reissa käytetään erilaisia äänenvaimennusratkaisuja, niiden ulospäin aiheuttama äänentaso
ei juurikaan ole laskenut, sillä hyvän hyötysuhteen omaava moottori vaatii korkean puristus-
paineen, sekä korkean ruiskutusaineen, jotka väistämättä aiheuttavat melua. Jäähdytyksen
tarpeen vuoksi moottoritilaa ei voi kovin hyvin eristää. (Defrank, 2023.)

Polttoaineen hinta vaihtelee huomattavasti sekä maailman tasolla, että myöskin Euroopan
maiden välillä. Näihin vaikuttaa globaalien öljyn hinnan lisäksi paikalliset markkinat, sekä
suurimpana verotus. Esimerkiksi Suomessa Autoalan tiedotuskeskuksen mukaan dieselin
hinnasta 49 % on valmisteveroa, sekä arvonlisäveroa (Autoalan tiedotuskeskus, 2024). Glo-
balPetrolPrices-sivuston mukaan esimerkiksi Virossa dieselin keskihinta litraa kohden on

noin 25 senttiä halvempi kuin Suomessa (GlobalPetrolPrices, 2025). Monissa Afrikan maissa litrahinta on noin puolet halvempi, ja Lähi-idässä sitäkin matalampi. Paikalliset hin- taerot vaikuttavat suoraan kannattavuuteen kaluston hankintavaiheessa. Jos maassa sähkö- verkon tilanne on epävakaa, ja dieselin hinta matala, on sähkökäyttöisen ajoneuvon hankin- taa vaikea perustella.

2.1.1 Uusiutuva diesel

Puhuttaessa uusiutuvasta dieselistä sekoitetaan usein biodiesel sekä uusiutuva diesel. Bio- diesel on vanhan sukupolven uusiutuvaa dieseliä, joka on lähes 100 % FAMEa (Fatty Acid Methyl Ester, rasvahappometyyliesteri). Tätä ei nykypäivänä ole Suomen markkinoilla edes enää myynnissä. Kaikki saatavilla oleva uusiutuva diesel pohjautuu HVO-teknoologiaan (Hydrotreated Vegetable Oil), eli vetykäsiteltyyn kasviöljyyn. Nämä tunnetaan mm. kaup- panimillä Neste MY Diesel, ABC NeroDiesel, ST1 HVO Uusiutuva Diesel ja Teboil Green+. Sekava luokittelu lisää epävarmuutta näiden tuotteiden käyttöön, sillä moni diesel- käyttöinen kuorma-auto kieltää ohjekirjassa biodieselin käytön, ja esimerkiksi tiettyjen vuo- simallien Scania-merkkisten kuorma-autojen polttoainetankkien kyljessä on jopa tarrat, joissa kielletään biodieselin käyttö. Näillä tarroilla viitataan kuitenkin FAME-pohjaisiin tuotteisiin, ja nykypäivänä myytäviä uusiutuvia HVO-dieseileitä voi käyttää normaalisti kai- kissa dieselkäyttöisissä moottoreissa.

Uusiutuva diesel sisältää vähemmän terveydelle haitallisia aineita, joten sillä päästään pie- nempiin lähipäästöihin. Neste markkinoi uusiutuvalla dieselituotteelleen noin 90 % pienem- piä päästöjä koko polttoaineen elinkaaren ajalta verrattuna fossiiliseen dieseliin. (Neste, 2025.)

Uusiutuvan dieselin vahvuutena päästöjen vähennyskeinona on sen käytön helppous. Sitä voidaan käyttää normaalisti dieselmoottoreissa ilman minkäänlaisia muutostöitä. Ongelmaa ei tuota myöskään laadun vaihto, sillä se sekoittuu fossiilisen dieselin kanssa. Suurimpana uusiutuvan dieselin laajamittaisen käytön esteenä on sen korkeampi hinta. Vaikka sen val- mistevero on huomattavasti alhaisempi kuin fossiilisen dieselin, sen hinta on yksityisasiak- kaalle noin 25 % korkeampi. Uusiutuvan dieselin valmistusmäärät ovat myös rajalliset, ja

jakeluverkosto ei nykyisellään ole kovin laaja. Sen laajamittaisen jakelun aloittaminen tarkoittaisi myös suuria muutostöitä huoltoasemille, joilla ei yleensä ole ylimääräistä säiliötä uuden laadun myymiseksi.

2.2 Sähkö

Sähkö käyttövoimana on viimevuosina yleistynyt huomattavasti tekniikan kehittyessä. Sähköisen voimalinjan etuna on yksinkertainen rakenne ja sähkömoottoreille ominainen suuri vääntömomentti. Haittapuolena kuitenkin ovat kalliit sekä painavat akut, joilla ei kuitenkaan saavuteta kovin pitkää kantamaa. Suomessa suurteholatureiden verkosto ei ole kovin laaja (Latauskartta, 2025).

Sähköisestä voimalinjasta ei aiheudu lainkaan käytönaikaisia päästöjä, joten se on ihanteellinen ratkaisu varsinkin kaupunkiolosuhteisiin. Sähkön elinkaaripäästöt vaihtelevat maasta riippuen eri sähköntuotantomenetelmien vuoksi. Fingridin mukaan Suomessa vuonna 2024 kulutetun sähkön päästökerroin on 33 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohti (Fingrid, 2025). Eri maiden sähköntuotannon päästölukemia vertailevan Nowtricity-sivuston mukaan Norjassa vastaava luku vuodelle 2024 on 18 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohden (Nowtricity, 2025a). Virossa taas sähkön päästöarvo vuonna 2024 oli 417 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohti (Nowtricity, 2025b).

Diesikäyttöisellä kuorma-autolla kulutus nousee kaupunkiliikenteessä tyhjäkäynnistä sekä jatkuvasta jarrujen käytöstä johtuen. Dieselmoottorin hyötysuhdekaan ei ole parhaimmillaan matalalla kuormituksella. Sähkömoottorissa hyötysuhde säilyy hyvänä, ja sähkökäyttöisillä ajoneuvoilla suuri osa jarrutusenergiasta saadaan otettua ajoakkuihin talteen, eikä jarrupölyäkään synny yhtä paljon. Hieman käyttökohteesta riippuen jarrutusenergian haltuunotolla voidaan saavuttaa noin 20 prosenttia pidempi kantama (Morgan, 2021). Sähkömoottori on myös paljon dieselmoottoria hiljaisempi.

Sähkökuorma-auton käytönaikaiset kustannukset vaihtelevat käytön mukaan reilusti. Kaupallisilla pikalatureilla lataus on melko kallista, esimerkiksi K-Lataus-asemilla suurteholataus maksaa 30–35 senttiä kilowattitunnilta riippuen kellonajasta (K-Lataus, 2025). Varikkolataus maksaa sähkö Sopimuksesta ja sähkön siirto hinnasta riippuen noin puolet

vähemmän, mutta se vaatii mittavat investoinnit latauslaitteisiin. Pörssisähkö sopimuksella latauksia voi mahdollisuuksien mukaan ajoittaa halvemmille tunneille. Monessa käyttötarkoituksessa, esimerkiksi paikallisliikenteen linja-autoissa ja jakeluautoissa yölle sijoittuva hitaampi lataus soveltuisi hyvin, sillä ne usein seisovat varikon pihalla öisin. Kaukoliikenteessä lataukset väistämättä keskittyisivät matkan varrella huoltoasemilla sijaitseville pikalatureille ilman suurempaa latausten optimointia. Soveltuvien osien kuljetusketjut voidaan optimoida toimimaan saumattomasti sähkökuorma-autoilla. Esimerkiksi DB Schenker käyttää Lempäälän ja Vantaan Viinikkalassa sijaitsevien terminaalien välillä runkoajossa sähköistä Volvo FH Electric-vetoautoa, jota ladataan suurteholaturilla kummassakin päässä terminaalilla sillä välin, kun autoa puretaan ja lastataan (DB Schenker, 2024).

Akkujen suuri hinta taas nostaa hankintakustannuksia. Sähkökäyttöinen kuorma-auto maksaa 250 000–400 000 euroa (Calero, 2024). Vastaava perinteinen dieselkäyttöinen kuorma-auto maksaa hieman yli 100 000 euroa. Sähkökäyttöisen kuorma-auton hankinta ei siis ole itsestäänselvyys, vaan sen ominaisuudet on tarkkaan harkittava tiettyyn käyttökohteeseen ja tehtävä arvio hankinnan kannattavuudesta sen elinkaaren ajalta.

Nykyteknologialla akut tarjoavat hyvin rajallisen kantaman kaukoliikenteeseen, varsinkin kuljettaessa suuria hyötykuormia. Latausnopeuskaan ei ole riittävällä tasolla, jos tähdätään kuljetusten toteuttamiseen nykyiseen tapaan. Hyvän tavoitteen tulevaisuuden teknologialle antaa ajo- ja lepoaika-asetus. Jos kuorma-autolla pystyy ajamaan ajo- ja lepoaika-asetuksen mukaisesti, on tekniikka riittävällä tasolla. Tällä tarkoitetaan siis pisintä yhtäjaksoista ajoaika, eli neljää ja puolta tuntia. Ajo- ja lepoaika-asetuksen mukaan tämän jälkeen kuljettajan on pidettävä vähintään 45 minuutin yhtäjaksoinen tauko. (Euroopan unionin lainsäädäntö- ja oikeussivusto, 2006.) Kehitystä kuitenkin akkuteknologiaan vaaditaan, jotta sähkökäyttöisellä kuorma-autolla pystyy ajamaan neljä ja puoli tuntia putkeen, ja 45 minuutin lataustauon jälkeen ajaa tarvittaessa toinen vastaava matka. Tällä hetkellä esimerkiksi Volvon tarjoama suurin kuorma-auton akusto on kapasiteetiltaan 540 kilowattituntia. Tällöin realistinen ajoaika maantiellä suurilla massoilla ajettaessa jää noin kolmeen tuntiin. Suurteholaturilla latausaika tyhjästä täyteen on Volvon mukaan noin kaksi ja puoli tuntia. (Volvo Trucks, 2025a.) Kuorma-autovalmistajat kehittävät jatkuvasti uusia ratkaisuja kantaman lisäämiseksi ja pakkaavat kapasiteetiltaan suurempia akustoja kuorma-auton alustaan. Esimerkiksi Scaniaalta on tulossa lähiaikoina saataville jopa 728 kilowattitunnin akustopaketti (Scania, 2025a). Suurempaa lataustehoa lupailaan MCS-standardilla (Megawatt Charging

System), jolla voidaan nimensä mukaisesti ladata sähkökuorma-autoja tulevaisuudessa yli megawatin teholla (Kempower, 2025).

Ilman akkujen energiatiheyttä nostavia innovaatioita entistä suuremmat akut painavat paljon, joka vähentää raskaalle kalustolle tärkeää hyötykuormaa. Esimerkiksi Volvon sähkökäyttöisessä kuorma-autossa 540 kilowattitunnin akusto lisää painoa noin 3,5 tonnia (Volvo Trucks, 2025b). Lainsäädäntöä maailmanlaajuisesti pyritään kuitenkin muuttamaan niin, että päästöttömille kuorma-autoille sallittaisiin suurempi massa. Esimerkiksi Euroopan talous- ja sosiaalikomitean lausunto tukee päästöttömien kuorma-autojen suurimman sallitun massan kasvattamista neljällä tonnilla (Euroopan talous- ja sosiaalikomitea, 2023).

2.2.1 Akunvaihto

Akunvaihdolla tarkoitetaan esitettyä toimintamallia, jossa standardisoidut akkupaketit voidaan vaihtaa nopeasti akunvaihtoasemalla valmiiksi ladattuun. Tyhjä akku jää akunvaihtoasemalle latautumaan. Tämä vaatisi kuitenkin eri kuorma-autovalmistajilta yhteistä ratkaisua yhteisestä akkupakettimallista ja sen asennustavasta. Tällöin useat eri kuorma-autot voisivat käyttää samaa akunvaihtoasemaa, eikä jokaiselle erityyppiselle akulle tarvitsisi omaa asemaa.

Akunvaihtoteknologian etuna on latausajan eliminointi käyttäjältä. Akunvaihtoteknologialla varustetun kuorma-auton hankintahintakin olisi todennäköisesti merkittävästi alhaisempi, sillä omistajan ei tarvitse itse maksaa akusta sen ollessa akunvaihtoasemia ylläpitävän yrityksen omaisuutta.

Akunvaihtoteknologia on yleistymässä Kiinassa, jossa vuonna 2022 myytiin 36000 sähkökuorma-autoa, joista 49,5 % oli akunvaihtoteknologialla varustettuja. Niissä on standardisoitu joko 141 tai 282 kilowattitunnin akusto, ja akun vaihtamisessa menee muutama minuutti. Kiinassa akunvaihtoasemalla on tavallisesti jatkuvasti seitsemän akkua latauksessa, ja akunvaihtotapahtuma on täysin robotisoitu. (International Council on Clean Transportation, 2023.)

2.3 Vety

Aikaisemmin käsitellyn dieselin energiasisältö on hyvin korkea, noin 11,5 kWh/kg. Vety kuitenkin sisältää lähes neljä kertaa enemmän energiaa, noin 39,4 kWh/kg. Tästä syystä vetyteknologiaa on yritetty valjastaa liikennepolttoaineeksi jo kymmeniä vuosia.

Vety ei luonnossa esiinny vetymolekyylinä, vaan se on aina sitoutuneena muihin yhdisteisiin, kuten veteen tai hiilivetyihin. Käyttökelpoisen vedyn tuottamiseksi se on eristettävä yhdisteistä, joka kuluttaa suuren määrän energiaa. (Tukes, 2024.) Vetyä tuotetaan suurimalta osin maakaasusta höyryreformoimalla sen ollessa halvin tapa tuottaa vetyä. Prosessissa kuitenkin syntyy sivutuotteena hiilidioksidia, joten vaihtoehtoisia tapoja tulisi tulevaisuudessa käyttää. Veden elektrolyysissä tapahtuu käytännössä päinvastainen kemiallinen reaktio kuin polttokennossa. Siinä vedestä erotetaan vety ja happi sähkön avulla. Tyypillisesti yhden vetykilon tuottamiseen elektrolyysillä tarvitaan noin 55 kWh sähköä. Elektrolyysillä vedyn tuotannon hyötysuhde on siis noin 70 prosenttia. Hyötysuhdetta voidaan kuitenkin parantaa ottamalla talteen elektrolyysissä syntyvä lämpö, jota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöverkoissa.

Vety on varsin haasteellinen aine säilyttää, sillä normaalioloissa se on kaasumainen ja sen energiatiheys on erittäin matala (Tukes, 2024). Normaalissa ilmanpaineessa ja lämpötilassa 1 kilogramma vetyä vaatii 11 kuutiometrin varastointitilavuuden, siis 11000 litran kokoisen säiliön. Useimmiten vetyä varastoidaan paineistettuna kaasuna 200–700 baarin paineessa. Vetyä voidaan myös varastoida nestemäisenä, mutta silloin osa vedystä menetetään sen höyrystyessä. Nestemäisen vedyn varastointi aiheuttaa suuret haasteet varastosäiliölle, sillä nestemäinen vedyn kiehumispiste on -253°C . Vety on myös erittäin herkästi syttyvää. Tukesin mukaan ilmakehän paineessa vedyn ja ilman seoksen syttymisraja on 4–75 %, ja sen itsesyttymislämpötila on 560°C . Erityisen vaarallista korkeapaineisen vetykaasun varastointi on sen takia, että sopivan säiliövuodon sattuessa vety voi saavuttaa itsesyttymislämpötilansa purkautuessaan säiliöstä.

Varastoinnin lisäksi vedyn käyttämisessä ilmenee haasteita. Vetyä voidaan hyödyntää joko suoraan moottorin polttoaineena, tai muuntamalla sen sisältämä energia ensin polttokennojen avulla sähköksi, ja käyttämällä sähkömoottoreita ajoneuvon liikuttamiseen. Raskaassa kalustossa suuri vääntö on erittäin tarpeellinen moottorin ominaisuus. Suuren väännön saavuttamiseksi tarvitaan korkea puristussuhde ja pitkä sylinterin iskupituus. Sellaisenaan

moottorissa vety täytyy sytyttää kipinällä bensiinimoottorin tavoin, jolloin ei päästä korkeisiin vääntölukemiin. Volvo kehittää tällä hetkellä vetyä polttoaineena käyttävää polttomoottoria, jossa ruiskutettaisiin ensin pieni määrä dieseliä sytytyspolttoaineena, jonka jälkeen ruiskutetaan varsinainen polttoaine eli vetykaasu (Volvo Trucks, 2024). Tällöin diesel syttyy puristuksesta, ja tämä sytyttää vedyn. Tämä teknologia on kuitenkin varsin monimutkaista ja vaatii kuitenkin dieselin, tai uusiutuvan dieselin käyttöä, josta syntyy edelleen hiilidioksidipäästöjä, joskin pienempiä määriä kuin pelkästä dieselin käytöstä. Dieselmoottorille vastaavaa melua syntyy myös edelleen.

Polttokennoteknologialla vety ja ulkoilmasta saatava happi muutetaan sähköenergiaksi ja vedeksi. Tällöin voidaan käyttää luotettavaa sähköistä voimalinjaa, ja melko pientä akustoa välivarastona, jotta sähkömoottorit voivat ottaa esimerkiksi mäissä paljon enemmän tehoa kuin polttokennolta saisi suoraan käyttöön. Polttokennoilla toimivat vetykuorma-autot ovat täysin hiljaisia, ja niiden ainoa päästö on vesi, joten esimerkiksi ruuhkaisissa kaupungeissa ilmanlaatu paranisi huomattavasti. Polttokennot kuitenkin tarvitsevat katalyytin, joina käytetään yleensä platinaa tai iridiumia, jotka kummatkin ovat erittäin harvinaisia ja täten myös todella kalliita. Näiden jalometallien tarve nostaa valmistuskustannuksia merkittävästi. Tekniikka kuitenkin kehittyy jatkuvasti ja tulevaisuudessa katalyytteinä voidaan mahdollisesti käyttää jotain paljon kustannustehokkaampaa vaihtoehtoa, jolloin vedystä voi tulla kustannustehokkaampi ratkaisu (Gyan-Barimah et al. 2024).

Suomessa jakeluverkostoa vedylle ei tällä hetkellä ole. Jakeluverkoston rakentaminen on myös erittäin hintavaa ja haastavaa vedyn varastoinnin vaikeuden vuoksi. Myös itse polttoaine on melko kallista rajallisen saatavuuden takia. Etelä-Korean vetytankkausasemaketju H2nBiz listaa sivuillaan ajantasaiset kuluttajatankkaushinnat vedylle (H2nBiz, 2025). Etelä-Koreassa vetyinfrastruktuuri on melko pitkälle rakennettu ja ympäri maata vetyä saa noin 10 000–11 000 wonin kilohintaan, euroihin muutettuna noin 6–7 euron välillä. Vetykilossa on suurin piirtein sama määrä energiaa kuin neljässä litrassa dieseliä, joka tämän hetken noin 1,60 euron litrahinnoilla maksaisi 6,40 euroa. Vetyteknologian myötä itse ajoneuvon valtavasti suurempi hankintahinta ei tee vetykäyttöisen kuorma-auton hankinnasta järkevää kustannusnäkökulmasta tankkaushintojen ollessa samat.

2.4 Biokaasu

Maakaasu on maan kuoresta vapautettua metaania, jota on käytetty pitkään liikennepolttoaineena henkilöautoissa, mutta viimevuosina sen käyttö on kiihtynyt voimakkaasti raskaan kaluston ajoneuvoissa. Nykyään Suomessa maakaasua ei enää saa tankattua, vaan kaikki ajoneuvojen polttoaineena käytettävä kaasu on biokaasua. Biokaasu on fossiilista maakaasua vastaava polttoaine, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Biokaasua tehdään paljon kuluttajilta ja yrityksiltä kerätystä biojätteestä. Valmistusprosessissa biojäte murskataan ja valmistellaan mädätysprosessia varten liettämällä, eli siihen lisätään nestettä helpottamaan käsittelyä. Sen jälkeen biojäte lämmitetään noin 37 asteen lämpötilaan, ja kaasu tuotetaan mädättämällä biojättemassaa suurissa säiliöissä noin kolmen viikon ajan. Tämän jälkeen kaasu puhdistetaan ja muutetaan liikennepolttoaineeksi tankattavaan muotoon nesteyttämällä tai paineistamalla. Syntynyt biokaasu on noin 98 prosenttia metaania (CH_4), ja loput hiilidioksidia. (Gasum, 2025.) Jotkin paikalliskuljetuksissa käytettävät kuorma-autot ja linja-autot käyttävät paineistettua kaasua, mutta suurin osa kaukokuljetuksiin suunnitelluista kuorma-autoista käyttää nesteytettyä kaasua.

Varsinkin nesteytetyn biokaasun jakelu vaatii monimutkaisemman laitteiston dieselin jakeluun verrattuna. Biokaasu nesteytetään -162 celsiusasteessa, joka asettaa omat vaatimuksensa myös kuljetuksessa, että varastoinnissa käytettäville säiliöille. Säiliöiden on oltava hyvin eristettyjä, jotta hukkaan menevän höyrystyvän ns. boil off-kaasun määrä voidaan minimoida. (Tukes, 2025.) Myös kuorma-auton tankin on oltava hyvin eristetty, ja pitkään seisossa säiliön paineen noustessa höyrystyneen kaasun takia, osa kaasusta saattaa haihtua ylipaineventtiilin kautta ulkoilmaan. Tankin paineen ollessa liian korkea, sitä ei välttämättä voi suoraan tankata, vaan tankin paine on ensin tasapainotettava.

Toinen tapa säilyttää ja jakaa biokaasu on paineistamalla. Vakiintunut jakelupaine on noin 200 baaria. Suuri paine vaatii vahvat painetta kestävästä säiliöstä, jotka nostavat hankintahintaa sekä kuorma-autolle että tankkausasemalle. Osalla asemista biokaasua säilytetään nesteytetynä, mutta boil off-kaasu kerätään talteen erilliseen säiliöön ja jaetaan paineistettuna, jolloin polttoainetta ei pääse häviämään. Paineistetun kaasun säilyttäminen kuitenkin vie paljon tilaa, vastaavan energiamäärän säilyttäminen paineistettuna vaatii noin seitsemän kertaa suuremman säiliön verrattuna nesteytettyyn kaasuun. (Tukes, 2025.)

Tekniikoissa on suuriakin eroja valmistajien välillä. Osa kaasua käyttävistä moottoreista pohjautuu suoraan dieselteknologiaan, eli puristus- ja sytytykseen. Biokaasu ei syty puristuksesta, sillä sitä säilytetäänkin jatkuvassa erittäin korkeassa paineessa. Puristus- ja sytytyksen moottorin ominaisuudet säilyttääkseen moottoriin ruiskutetaan kaasun mukana pieni määrä dieseliä, joka syttyy puristuksesta ja sytyttää samalla kaasun mukanaan. Esimerkiksi Volvo käyttää tätä tekniikkaa, jolloin voidaan pitää sama korkea puristussuhde, ja moottorilta saavutetaan hyvä vääntö. (Volvo Trucks, 2025c.) Scania käyttää kaasukuorma-autoissaan bensiinimoottoreista tuttua ottomoottoritekniikkaa, jolloin kaasua sytytetään sytytystulpan tuottamalla kipinäillä. Tämä menetelmä on paljon yksinkertaisempi, koska se ei vaadi pakokaasun monimutkaista käsittelyä, eikä AdBlue-laitteistoa tai hiukkassuodatinta. (Scania, 2025b.)

Biokaasun jakeluinfrastruktuuri on melko laaja, mutta suurella osalla asemista on saatavilla vain paineistettua biokaasua, joten nesteytettyä biokaasua käyttävän kuorma-auton hankintaa harkitessa on pohdittava tarkasti ajoreittejä ja sen varrella olevia tankkausmahdollisuuksia. Joissakin kaasukäyttöisissä kuorma-autoissa on mahdollisuus käyttää dieseliä varavoi- mana alhaisilla ajonopeuksilla, jos kaasua pääsee loppumaan.

Nesteytetyn biokaasun kokonaispäästöarvo ISO 14083-standardin mukaan on 1,52 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilogrammaa kohti. Paineistetulla biokaasulla päästöarvo on vieläkin alhaisempi, 1,31 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilogrammaa kohti. Käytön aikaisia päästöjä näiden käytöstä syntyy 0,08 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilogrammaa kohti. Kokonaispäästöarvot ovat noin 40 prosenttia dieselöljyn kokonaispäästöistä, ja käytön aikaiset päästöt ovat noin kaksi ja puoli prosenttia dieselin käytön aikaisista päästöistä. Vaikka päästöt ovat näin paljon pienemmät, kilossa biokaasua on noin 15 prosenttia enemmän energiaa kuin kilossa dieselöljyä. (SFS-EN ISO 14083:2023, 99.)

Kaasukäyttöisen kuorma-auton hankintahintaan vaikuttavat siihen asennettavat säiliöt. Esimerkiksi Scania-merkkiseen kuorma-autoon paineistetut säiliöt lisäävät hintaa noin 10 000 euroa vastaavaan dieselkäyttöiseen kuorma-autoon. Nesteytetyn kaasun säiliöt lisäävät hintaan noin 25 000 euroa. Vastaavasti polttoaine on noin dieseliin verrattuna 10–20 senttiä halvempaa, ja sitä kuluu myös hieman vähemmän korkeamman energiasisältönsä vuoksi. Tavallisessa käytössä kaasukäyttöinen kuorma-auto on siis maksanut korkeamman hankintahintansa takaisin noin parin vuoden käytön jälkeen. (Scania, 2024.) Suomessa Gasumilla

on käytännössä monopoliasema nesteytetyn biokaasun myynissä, joka voi vaikuttaa hinnoittelun kilpailevien yritysten puuttuessa.

3 Tapaustutkimus

Tapaustutkimuksessa lasketaan ISO 14083-standardin mukaisesti päästökertymiä eri käyttövoimilla (SFS-EN ISO 14083:2023). Taulukosta 3.2 löytyy kaluston todelliset kulutukset dieselille ja arvioidut kulutukset muille polttoaineille, sekä polttoaineiden päästökertoimet. Laskuissa eritellään kokonaispäästöt, sekä toiminnalliset ajoneuvon käytöstä johtuvat lähipäästöt. Kaikille tapauksille käytetään samaa kuljetusliikkeeltä saatua kilometrikertymää. Dieselkäyttöiselle kuorma-autolle käytetään taulukosta 3.1 löytyviä todellisia kulutuslukuja ja päästökertoimena standardin mukaista 3,74 kg CO₂e kilogrammaa dieseliä kohti, eli 3,11 kg litraa kohden. Dieselin toiminnalliset päästöt ovat 3,17 kg CO₂e kilogrammaa dieseliä kohti, eli 2,63 kg litraa kohden. Uusiutuvalle dieselille kulutus pysyy samana, mutta päästökertoimena käytetään standardin mukaista arvoa HVO:lle, 1,26 kg CO₂e kilogrammaa kohti, eli 0,97 kg litraa kohden. Toiminnallisia päästöjä uusiutuvan dieselin käytöstä ei aiheudu.

Taulukko 3.1: Dieselkäyttöisen kaluston kulutustiedot

Kuorma-auton merkki ja malli	Kulutettu polttoaine (litraa)	Ajettu matka (km)	Laskettu keskikulutus (litraa/100 km)
Volvo FH 460 i-Save 8x4*4	5 162,63	13 509	38,22
Volvo FH 460 i-Save 8x2/*6	5 483,30	14 485	37,86
Scania R540 8x4*4	5 665,67	14 462	39,18
Scania R520 8x2/4	4 638,80	11 169	41,53
Scania G500 8x2/*6	5 445,59	13 854	39,31

Sähkölle kulutusluku lasketaan BEVPO (Battery Electric Vehicle Potential) -simulaatiomallia käyttäen. BEVPO-mallilla on laskettu vastaaville massoille vastaavan sähkörekan kulutus ottaen huomioon alentunut kantavuus. Volvon FH Electric-mallin alustan paino on noin 3,5 tonnia suurempi kuin vastaavalla akselivälillä varustetun dieselkäyttöisen alustan (Volvo, 2025). Esimerkkitapauksessa dieselkäyttöisen kuorma-autoyhdistelmän kantavuus

on noin 45,5 tonnia, joten käytetään sähkökuorma-autolla hyötykuormana 42 tonnia. BEVPO-malli arvioi kulutukseksi 2,16 kWh/km. Sähkön päästökertoimena käytetään Fingridin ilmoittamaa päästökerrointa Suomessa kulutetulle sähkölle vuonna 2024, 33 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohti (Fingrid, 2025). Sähkökäyttöisestä kuorma-autosta ei aiheudu toiminnallisia lähipäästöjä.

Biokaasumootoreissa hyötysuhde on melko vastaava dieselmootoriin, joten lasketaan kulutus dieselkuorma-auton kulutuksien mukaan vastaamaan samaa energiasisältöä. Kilogramma nesteytettyä biokaasua sisältää saman verran energiaa kuin hieman yli 1,4 litraa dieseliä. Laskujen perusteella käytetään keskilähtökulutusena 27,7 kg/100 km. Nesteytetyn biokaasun kasvihuonekaasupäästökertoimena käytetään standardin mukaista arvoa 1,52 kg CO₂e kilogrammaa kohti. Toiminnallisia päästöjä nesteytetystä biokaasusta syntyy 0,08 kg CO₂e kilogrammaa kohti. Laskuissa käytetään yksinomaan biokaasua, koska Suomessa maakaasua saa enää vain harvoilta asemilta paineistettuna, mutta ei nestemäisenä.

Varteenotettavimpana teknologiana polttokennoilla varustetun vetykäyttöisen kuorma-auton hyötysuhde on noin 60 %. Täten voidaan arvioida vedyn sisältämän energian avulla kuorma-auton kulutukseksi noin 10 kiloa vetyä sataa kilometriä kohden. Koska tällä hetkellä vetyä valmistetaan valtaosin maakaasusta höyryreformoimalla, sen päästökerroin on melko suuri, 13,73 kg CO₂e kilogrammaa kohden. Tässä kohtaa on kuitenkin huomioitava, että mikäli vety tuotettaisiin uusiutuvalla energialla veden elektrolyysillä, tai biokaasua höyryreformoimalla, päästökerroin olisi huomattavasti alhaisempi. Joillakin alueilla kuten Kaliforniassa ei myydä muuta kuin ns. vihreää vetyä eli veden elektrolyysillä ja uusiutuvalla sähköllä tuotettua vetyä. Vetykäyttöisesti kuorma-autosta ei aiheudu toiminnallisia päästöjä.

Taulukko 3.2: Eri polttoaineiden kulutukset ja päästökertoimet

Käyttövoima	Kulutettu polttoaine	Polttoaineen kokonaispäästökerroin	Polttoaineen toiminnallinen päästökerroin
Diesel	26 396 litraa	3,11 kg CO ₂ e/l	2,63 kg CO ₂ e/l
Uusiutuva diesel	26 396 litraa	0,97 kg CO ₂ e/l	0 kg CO ₂ e/l
Sähkö	67 479 km × 2,16 kWh/km = 145 754,64 kWh	0,033 kg CO ₂ e/kWh	0 kg CO ₂ e/kWh
Vety	67 479 km × 10 kg/100 km = 6 747,9 kg	13,73 kg CO ₂ e/kg	0 kg CO ₂ e/kg
Biokaasu	67 479 km × 27,7 kg/100 km = 18 691,7 kg	1,52 kg CO ₂ e/kg	0,08 kg CO ₂ e/kg

Sähkökäyttöisen kaluston päästöt riippuvat huomattavasti kulutetun sähkön päästökertoimesta. Tehdään herkkyyksianalyysi sähkökäyttöisen kaluston päästökertymistä Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimilla vuosilta 2018–2024, jotka löytyvät taulukosta 3.3 (Fingrid, 2025). Lisäksi tutkitaan vertailuna päästökertymiä Virossa, sekä Norjassa vuonna 2024 kulutetun sähkön päästökertoimilla. Nowtricity-sivuston mukaan Virossa vuonna 2024 kulutetun sähkön päästökerroin oli 417 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohti (Nowtricity, 2025b), ja Norjassa 18 grammaa hiilidioksidiekvivalenttia kilowattituntia kohti (Nowtricity, 2025a).

Taulukko 3.3 Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimet viime vuosilta

Vuosi	Päästökerroin (g CO ₂ e/kWh)
2018	120
2019	104
2020	73
2021	94
2022	63
2023	38
2024	33

Kokonaispäästöt lasketaan ISO 14083 mukaan kaavalla (SFS-EN ISO 14083:2023, 38):

$$G_{tot} = Q \times \varepsilon_{tot} \quad (1)$$

jossa G_{tot} on kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt, Q on kasvihuonekaasua aiheuttavan toiminnan (polttoaineen käytön) määrä ja ε_{tot} ajoneuvojen käyttämän polttoaineen kasvihuonekaasupäästökerroin.

Toiminnalliset päästöt lasketaan kaavalla:

$$G_{VO} = Q \times \varepsilon_{VO} \quad (2)$$

jossa G_{VO} on ajoneuvon käytöstä johtuvien kasvihuonekaasujen määrä, Q on kasvihuonekaasua aiheuttavan toiminnan (polttoaineen käytön) määrä ja ε_{VO} ajoneuvojen käyttämän polttoaineen toiminnallisten päästöjen päästökerroin.

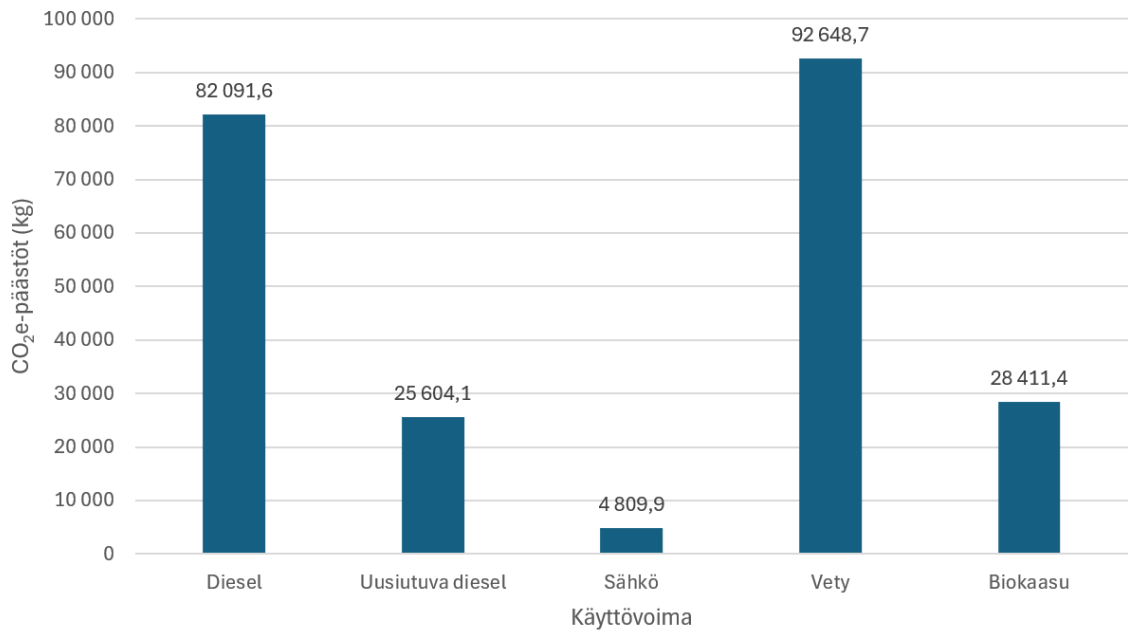
4 Tulokset ja pohdinta

Tässä luvussa esitellään tapaustutkimuksen tulokset, ja vertaillaan eri käyttövoimien tuloksia sekä kokonaispäästöjen, että käytönaikaisten päästöjen osalta. Lisäksi tarkastellaan herkkyyksianalyysin tuloksia sähkökäyttöisen kaluston päästöistä.

Kuvasta 4.1 havaitaan eri käyttövoimien CO₂-ekvivalenttikokonaispäästöissä olevan merkittäviä eroja. Suurimmat kokonaispäästöt syntyivät vetyä ja dieseliä käytettäessä. Kummatkin näistä ovat peräisin fossiilisista aineista, sillä vihreää, veden elektrolyysillä tuotettua vetyä ei juurikaan ole saatavilla. Veden elektrolyysillä tuotetun vedyn päästöihin vaikuttaa pelkästään siihen käytetyn sähkön päästöt (International Energy Agency, 2024). Sähkön ollessa uusiutuvaa ja vähäpäästöistä, on siten sillä tuotettu vetykin vähäpäästöistä. Esimerkiksi Suomessa tai Norjassa elektrolyysillä tuotettu vety olisi paljon vähäpäästöisempää. Nykyään käytössä olevasta maakaasun höyryreformoimalla tuotetusta vedystä syntyy niin suuri määrä päästöjä, että sen kokonaispäästöt olivat noin 13 prosenttia suuremmat kuin perinteisellä fossiilisella dieselillä.

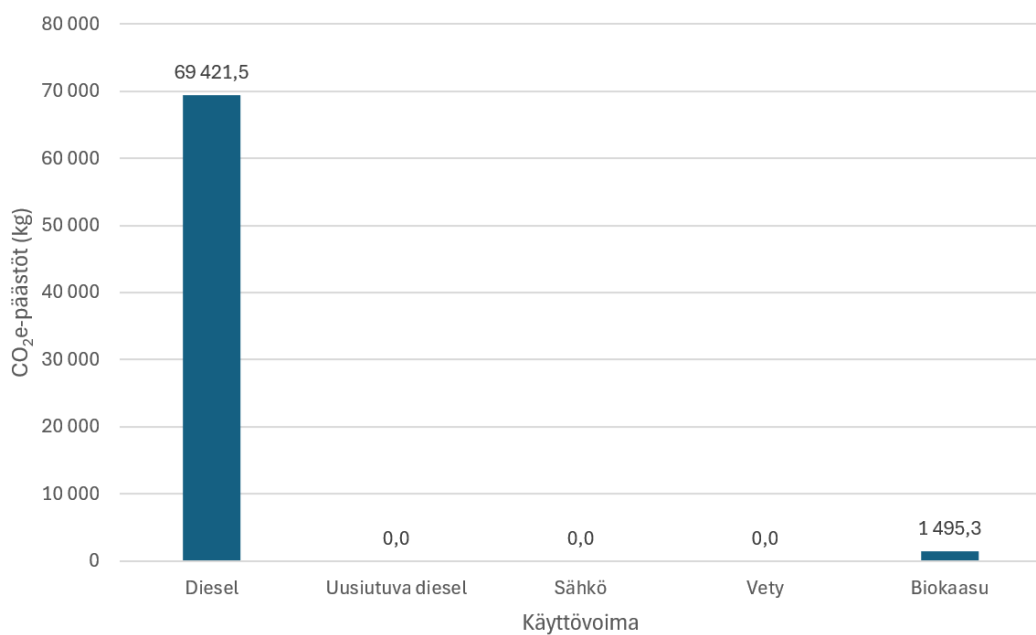
Kolmanneksi suurimmat päästöt olivat biokaasukäyttöisellä kalustolla. Sen päästöt olivat noin 35 prosenttia dieselin päästöistä. Uusiutuvalla dieselillä päästöt olivat toiseksi pienimmät, vain noin 31 prosenttia fossiilisen dieselin päästöistä. Pienimmät päästöt syntyivät sähkökäyttöisestä kalustosta, jonka kokonaispäästöt olivat alle 6 prosenttia verrattuna dieselikäyttöiseen kalustoon.

Tulokset osoittavat, että sähkökäyttöiseen kalustoon siirtyminen voi vähentää raskaan liikenteen sektorin aiheuttamia päästöjä huomattavasti. Myös uusiutuvalla dieselillä ja biokaasulla voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä säilyttäen pitkän kantaman, joka ei nykyisellä akkuteknologialla ole mahdollista. Vedyn tämänhetkisen tuotantomenetelmän aiheuttamat korkeat päästöt eivät tällä hetkellä puolla sen käyttöä päästövähennysnäkökulmasta.



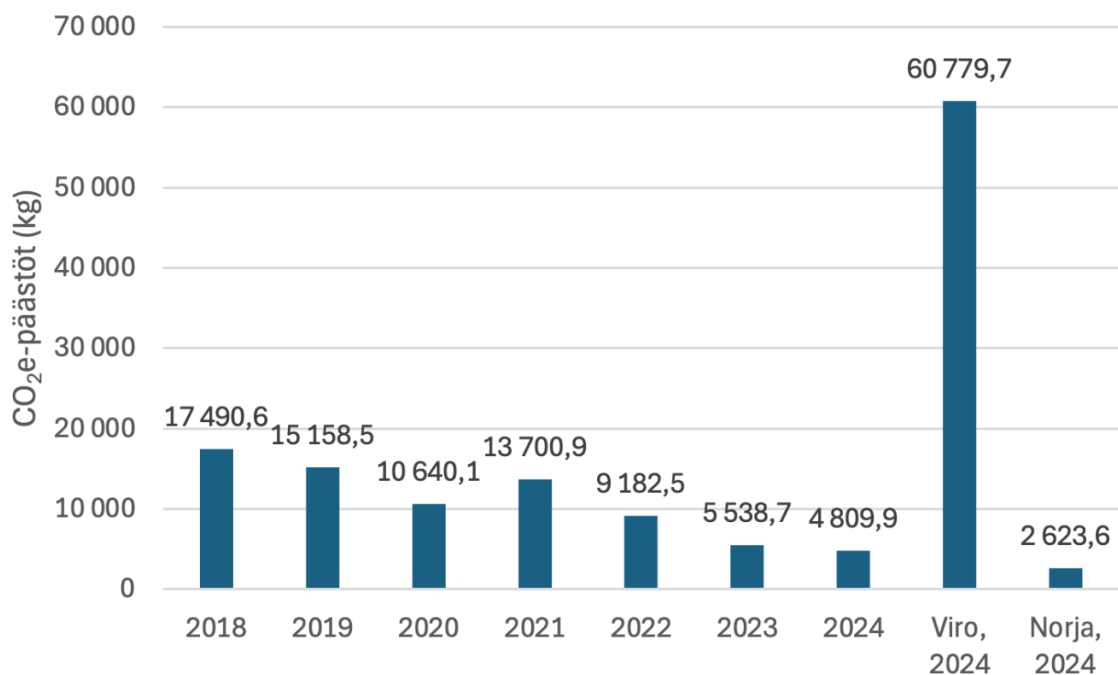
Kuva 4.1 Lasketut CO₂e -kokonaispäästöt eri käyttövoimilla

Kuvasta 4.2 nähdään suurimman osan dieselin kokonaispäästöistä olevan toiminnallisia päästöjä. Biokaasukäyttöisestä kalustosta syntyi hyvin pieni määrä toiminnallisia päästöjä, noin 2 prosenttia dieselin päästöistä. Toiminnallisten päästöjen vähentäminen on erittäin tärkeää ruuhkaisten kaupunkien ilmanlaadun paranemisen kannalta.



Kuva 4.2 Toiminnalliset CO₂e -päästöt eri käyttövoimilla

Kuvassa 4.3 on vertailtuna Suomessa eri vuosina kulutetun sähkön päästökertoimilla tapaus- tutkimuksen ajosta syntyvät päästöt. Lisäksi oikeassa laidassa on vertailukohteena Viron ja Norjan kuluttaman sähkön päästökertoimet vuodelta 2024. Kuvasta nähdään Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimen laskeneen melko tasaisesti lukuun ottamatta vuoden 2020 notkahdusta. Norjassa päästöt vuonna 2024 olisivat olleet melkein puolet vähemmän kuin Suomessa samana vuonna, sillä Norjassa sähkö tuotetaan lähes kokonaan vesivoimalla. Virossa sen sijaan sähköä tuotetaan paljon hiilivoimalla ja öljyä polttamalla, joten siellä päästöt olisivat valtavasti isommat, yli kaksinkertaiset biokaasulla tai uusiutuvalla dieselillä toimivaan kalustoon verrattuna. Suomeen verrattuna Virossa sähkökäyttöisellä kalustolla ajaminen tuottaisi yli 12-kertaiset päästöt.



Kuva 4.3 Sähkökäyttöisen kaluston päästöjen herkkyyksianalyysi sähkön eri päästökertoimilla

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää päästövähennyspotentiaali raskaan liikenteen sektorilla. Ohessa tutkimuskysymysten muodossa selvitettiin raskaan liikenteen sähköistämiseksi tarvittavia ratkaisuja, sekä sähköistämisen hyötyjä eri raskaan liikenteen segmenteissä.

Päästövähennyspotentiaalia on valtavasti, Euroopassa kokonaispäästöistä 6 prosenttia aiheutuu raskaasta liikenteestä. Suomessa kulutetun sähkön päästöarvoilla sähkökäyttöisellä kuljetuskalustolla voitaisiin vähentää 94 prosenttia päästöistä dieselkäyttöiseen verrattuna. Kiinnostavaa oli eri maiden sähkön päästöarvojen vertailu, Viron päästöarvoilla sähkökäyttöisellä kalustolla saavutettaisiin vain noin 25 prosentin säästö.

Tapaustutkimuksen perusteella sähkö on jo nykyisellään lähiliikenteessä toimivalle raskaalle liikenteelle hyvin soveltuva käyttövoima, jolla saavutetaan paljon pienemmät päästöt verrattuna dieselkäyttöiseen kalustoon. Esimerkiksi pakkaavissa jäteautoissa, keskusta-alueella tapahtuvassa jakoliikenteessä, sekä kaupungin sisäisessä linja-autoliikenteessä se toimii hyvin. Sähkömoottori ei käy polttomoottorin tavoin tyhjäkäyntiä, joten ruuhkaisessa kaupunkiliikenteessä se vähentää sekä kulutusta, että lähipäästöjä. Sähkökäyttöinen voimalinja toimii myös hyvin esimerkiksi vakioidulla reitillä, jossa sitä voidaan ladata suurteholaturilla kummassakin päässä sillä välin, kun kuljettaja purkaa ja lastaa ajoneuvoa. Kaukoliikenteen sähköistymisen tueksi vaaditaan tällaisia ratkaisuja, joissa autoa voidaan ladata mahdollisimman paljon ilman ylimääräisiä pysähdyksiä. MCS-latausinfrastruktuuri tulee lyhentämään latausaikoja huomattavasti, mikä parantaa sähkökäyttöisten kuorma-autojen käytännöllisyyttä ja lisää toimintasädettä. Samalla se kuitenkin asettaa sähköverkolle kapasiteettivaatimuksia näiden latauspisteiden yleistyessä.

Kaukokuljetusten päästöjä voidaan tällä hetkellä tehokkaimmin vähentää siirtymällä biokaasua tai uusiutuvaa dieseliä käyttävään kalustoon. Näilläkin saavutettiin yli 65 prosenttia pienemmät päästöt verrattuna dieseliin. Uusiutuvalla dieselillä voidaan saavuttaa vastaava tuhansien kilometrien kantama ilman tankkauksia, joten se soveltuu parhaiten syrjäseudulle

suuntautuvaan liikenteeseen. Uusiutuvan dieselin käyttö ei vaadi kalustolta muutoksia tai kokonaan uuden kaluston hankintaa dieselkäyttöisen tilalle. Myös biokaasukäyttöinen kuorma-auto toimii kaukokuljetuksissa hyvin, kunhan ajettavalla reitillä on kaasutankkaus-
asemia.

Vety ei tällä hetkellä ole ainakaan Suomessa realistinen vaihtoehto, sillä vedyn tankkausase-
miakaan ei Suomesta löydy. Kaluston hankintahinta on suuri, sekä vedyn valmistus on niin
kallista, että säästöjä polttoainekustannuksista ei tule. Tutkimuksen perusteella myös
päästöt olivat dieselkäyttöistä kalustoa suuremmat vedyn tämänhetkisen valmistusmenetel-
män vuoksi.

Hyvä jatkotutkimusaihe tälle tutkimukselle olisi kustannusten analyysi eri käyttövoimilla
koko kuorma-auton elinkaaren aikana. Tätä on kuitenkin varsin hankala tutkia, sillä kuorma-
autojen hinnastot eivät ole julkisesti saatavilla. Myöskään yritysten polttoainehinnastoja ei
ole julkisesti saatavilla. Myös pörssisähkön hintaa on vaikea ennustaa ja sitä kautta arvioida
varikkolatauksen hintaa.

Lähteet

ABC. 2025. ABC-asemat kartalla. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.abcasemat.fi/asemat>

Autoalan Tiedotuskeskus. 2024. Polttonesteiden verotus. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://www.aut.fi/tieliikenne/liikenteen_verotus/polttonesteiden_verotus

Autoalan Tiedotuskeskus. 2025. Sähköautojen määrän kehitys. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/sahkoautojen_maaran_kehitys

Calero, J. 2024. Volvo Trucks to launch electric truck with 600 km range. Reuters. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/volvo-trucks-launch-electric-truck-with-600-km-range-2024-09-03/>

Defrank, L. 2023. Noise Reduction Technologies For Modern-Day Diesel Engines. Diesel Museum. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.dieselmuseum.com/what-are-some-of-the-most-common-noise-reduction-technologies-available-on-modern-day-diesel-engines>

Euroopan talous- ja sosiaalikomitea. 2023. Revision of the Weights and Dimensions Directive 96/53/EC. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/revision-weights-and-dimensions-directive-9653ec>

Euroopan unionin lainsäädäntö- ja oikeussivusto. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 561/2006, annettu 15 päivänä maaliskuuta 2006, tieliikenteen sosiaalilainsäädännön yhdenmukaistamisesta ja neuvoston asetusten (ETY) N:o 3821/85 ja (EY) N:o 2135/98 muuttamisesta sekä neuvoston asetuksen (ETY) N:o 3820/85 kumoamisesta. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5cf5ebded494-40eb-86a7-2131294ccb9.0008.02/DOC_1&format=PDF

Euroopan unionin neuvosto. 2024. Euro 7: neuvostolta uudet säännöt henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen päästörajoista. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2024/04/12/euro-7-council-adopts-new-rules-on-emission-limits-for-cars-vans-and-trucks/>

Euroopan ympäristökeskus. 2022. Reducing greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles in Europe. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-of-new-heavy/reducing-greenhouse-gas-emissions-from>

Fingrid. 2025. CO₂-päästötiedot. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Gasum. 2025. Miten biokaasua tuotetaan? Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/miten-biokaasua-tuotetaan/>

Global Petrol Prices. 2025. Diesel prices, liter, 21-Apr-2025. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/

Gyan-Barimah, C., Mantha, JSP., Lee, HY., Wei, L., Shin, CH., Maulana, MI., Kim, J., Henkelman, G., Yu, JS. 2024. High vacancy formation energy boosts the stability of structurally ordered PtMg in hydrogen fuel cells. Nature Communications. 15, 7034. Saatavissa DOI: 10.1038/s41467-024-51280-2.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2024. Global Warming Potential Values. Greenhouse Gas Protocol. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

International Energy Agency (IEA). 2024. Global Hydrogen Review 2024. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>

Helsingin kaupunki. 2019. Selvitys Helsingin ympäristövyöhykkeen laajentamisen mahdollisuuksista. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://ahjojulkaisu.hel.fi/697FE793-6AAE-CD0F-8D9B-6DCF5A400000.pdf>

Helsingin kaupunki. 2024. Selvitys liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavista ympäristövyöhykkeistä. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/aineistot/aineistoja-05-24.pdf>

K-Lataus. 2025. K-Lataus-asemien hinnasto. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://k-lataus.fi/>

Kuusjärvi, J. 2025. DPF puhtaaksi Fortella – hiukkassuodattimen puhdistusaine kokeessa. Koneporssi. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://koneporssi.com/autot/dpf-puhtaaksi-fortella-hiukkassuodattimen-puhdistusaine-kokeessa/>

Latauskartta. 2025. Latausasemat kartalla. Viitattu 28.4.2025. Saatavissa: <https://latauskartta.fi/>

Morgan, J. 2021. Electric truck regenerative braking, explained. Fleet Equipment Mag. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.fleetequipmentmag.com/electric-truck-regenerative-braking-explained/>

Motiva. 2025a. Bensiinimoottorin energiatehokkuuden parantaminen. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/bensiinimoottori/bensiinimoottorin_energiatehokkuuden_parantaminen

Motiva. 2025b. Energialähteet. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/energialahteet

Neste. 2025. Neste MY Uusiutuva Diesel. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.neste.fi/yksityisille/tuotteet/polttoaineet/neste-my-uusiutuva-diesel>

Nowtricity. 2025a. CO2 emissions per kWh in Norway. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.nowtricity.com/country/norway/>

Nowtricity. 2025b. CO2 emissions per kWh in Estonia. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.nowtricity.com/country/estonia/>

Pulse by DB Schenker. 2024. Täyssähköinen HCT-yhdistelmä liikennöi Suomessa – mitä DB Schenker on oppinut pilottihankkeen aikana? Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://pulse.dbschenker.com/fi/db-schenker-sahkokayttoinen-hct-yhdistelma-kayttokokemukset/>

Scania. 2021. Scania Super 13-litre engine brochure. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.scania.com/content/dam/www/market/master/campaigns/super-exp/downloads/brochures/Scania-Super-13-litre-engine-brochure.pdf>

Scania. 2024. Pohjois-Suomen komein kaasu-Scania sai seuraajan. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/about-scania/newsroom/news/luokkalan-uusi-kaasukuorma-auto.html>

Scania. 2025a. Scania sähkökuorma-autot. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/trucks/sahkokuorma-auto.html>

Scania. 2025b. Scania kaasukuorma-autot: tekniset tiedot. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/trucks/gas-truck/gas-truck-specifications.html>

SFS-EN ISO 14083:2023. Kasvihuonekaasut. Kuljetusketjujen kasvihuonekaasupäästöjen määrittäminen ja raportointi. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1304134.html.stx#>

ST1. 2025. Asemahaku. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://st1.fi/asehaku>

Teboil. 2025. Asemahaku. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.teboil.fi/asehat-jal-palvelut/asehat>

Tilastokeskus. 2025. Hiilidioksidiekvivalentti. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>

Traficom. 2025. Liikennekäytössä olevat kuorma-autot - käyttövoimat ja päästöt. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikennekaytossa-olevat-kuorma-autot-kayttovoimat-ja-paastot>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. 2024. Vedyn käsittelyn ja varastoinnin turvallisuus. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://tukes.fi/vedyn-kasittelyn-ja-varastoinnin-turvallisuus>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. 2025. LNG-asiakassäiliöt. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/63219859/LNG-asiakass%C3%A4ili%C3%B6t+-ohje.pdf>

UNFCCC. 2015. Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>

Volvo Trucks. 2024. Volvo tuo markkinoille vetykäyttöisiä kuorma-autoja. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/news/press-releases/2024/may/Volvo-to-launch-hydrogen-powered-trucks.html>

Volvo Trucks. 2025a. Volvo FH Electric. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/electric/volvo-fh-electric.html>

Volvo Trucks. 2025b. Volvo FH 6x2 Tractor ELECTRIC. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh62tte_fin_fin.pdf

Volvo Trucks. 2025c. Kaasukäyttöinen Volvo FH. Viitattu: 28.4.2025. Saatavissa: <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/gas-powered/volvo-fh-gas-powered.html>