

# Vaihtoehtoisten käyttövoimien vertailu saha- tavarakuljetuksissa

LAB-ammattikorkeakoulu  
Tradenomi (AMK), Liiketalous  
2024  
Lauri Ruukonen

## Tiivistelmä

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
| Tekijä(t)<br>Ruukonen, Lauri   | Julkaisun laji<br>Opinnäytetyö, AMK<br>Sivumäärä<br>22 | Valmistumisaika<br>Kevät 2024 |
| Työn nimi<br><b>Vaihtoehtoisten käyttövoimien vertailu sahatavarakuljetuksissa</b>   |  |                               |
| Tutkinto<br>Tradenomi, Liiketalous (AMK)   |  |                               |
| Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio<br>Movere Oy   |  |                               |
| Tiivistelmä<br><p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin neljää erilaista vaihtoehtoista käyttövoimaa: HVO-dieseliä, FAME-biodieseliä, biokaasua ja täyssähköä perinteiseen fossiiliseen dieseliin verrattuna, keskittyen niiden käyttöön Movere Oy:n sahatavarakuljetuksissa Suomessa. Työn tarkoituksena oli vertailla kunkin vaihtoehdon ympäristövaikutuksia, taloudelliset kustannuksia, infrastruktuuriin liittyviä vaatimuksia ja kaluston soveltuvuutta.</p> <p>Ympäristövaikutusten osalta HVO-diesel ja biokaasu osoittautuivat puhtaimmiksi vaihtoehtoiksi. Taloudellisten kustannusten vertailussa sähkö osoittautui halvimmaksi kilometrikustannuksiltaan, mutta sen hankintahinta on korkea. Infrastruktuurin osalta fossiilisen dieselin olemassa oleva jakeluverkosto tarjoaa vahvan pohjan, jota voidaan hyödyntää myös uusiutuvien polttoaineiden jakelussa. Kalustovaatimusten näkökulmasta HVO-diesel soveltui parhaiten nykyisiin dieselmootoreihin, kun taas biokaasu ja täyssähkö vaativat kalustopäivityksiä.</p> <p>Tutkimuksen perusteella vaihtoehtoiset käyttövoimat tarjoavat merkittäviä ympäristöhyötyjä verrattuna fossiiliseen dieseliin, mutta niiden laajamittainen käyttöönotto edellyttää infrastruktuurin kehittämistä, taloudellisia kannustimia ja kuluttajien sekä muiden sidosryhmien tietoisuuden lisäämistä.</p> |  |                               |
| Asiasanat<br>Vaihtoehtoiset käyttövoimat, FAME-biodiesel, HVO-diesel, Biokaasu, Täyssähkö  |  |                               |

## Abstract

|  |                                    |                          |
|--|------------------------------------|--------------------------|
| Author(s)<br>Ruokonen, Lauri   | Type of Publication<br>Thesis, UAS | Published<br>Spring 2024 |
|  | Number of Pages<br>22              |                          |
| Title of Publication<br><b>Comparison of alternative power sources in timber transportation</b>  |                                    |                          |
| Name of Degree<br>Bachelor of Business Administration  |                                    |                          |
| Name, title and organization of the client<br>Movere Oy  |                                    |                          |
| Abstract<br><p>This thesis investigated four different alternative power sources: HVO diesel, FAME biodiesel, biogas, and full electricity, compared to traditional fossil diesel, focusing on their use in Movere Oy's timber transportation within Finland. The purpose of the study was to compare each option's environmental impacts, economic costs, infrastructure requirements, and vehicle compatibility.</p> <p>Regarding environmental impacts, HVO diesel and biogas proved to be the cleanest alternatives. In the economic cost comparison, electricity emerged as the cheapest in terms of cost per kilometer, although its acquisition cost is high. From an infrastructure perspective, the existing distribution network for fossil diesel offers a strong foundation that can also be utilized for the distribution of renewable fuels. In terms of vehicle requirements, HVO diesel was best suited to existing diesel engines, while biogas and full electricity require vehicle upgrades.</p> <p>The study concluded that alternative power sources offer significant environmental benefits compared to fossil diesel, but their widespread adoption requires the development of infrastructure, economic incentives, and increased awareness among consumers and other stakeholders.</p> |                                    |                          |
| Keywords<br>Alternative power sources, FAME biodiesel, HVO diesel, Biogas, Full electricity  |                                    |                          |

## Sisällys

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto.....                                    | 1  |
| 1.1 | Työn tausta .....                                | 1  |
| 1.2 | Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....         | 1  |
| 1.3 | Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät .....   | 2  |
| 2   | Käyttövoimavaihtoehdot.....                      | 3  |
| 2.1 | Vaihtoehtoisten käyttövoimien tulevaisuus .....  | 3  |
| 2.2 | Fossiilinen diesel .....                         | 3  |
| 2.3 | FAME-biodiesel polttoainemuotona .....           | 4  |
| 2.4 | HVO-diesel polttoainemuotona .....               | 5  |
| 2.5 | Biokaasuvaihtoehdot käyttövoimamuotona.....      | 5  |
| 2.6 | Täyssähkö käyttövoimana .....                    | 5  |
| 3   | Vaihtoehtoisten käyttövoimien ominaisuudet ..... | 7  |
| 3.1 | Infrastrukturi .....                             | 7  |
| 3.2 | Kalustovaatimukset .....                         | 8  |
| 3.3 | Ympäristövaikutukset .....                       | 9  |
| 3.4 | Päästörajoitukset.....                           | 11 |
| 3.5 | Taloudelliset kustannukset .....                 | 12 |
| 4   | Sahatavarakuljetukset.....                       | 15 |
| 4.1 | Kuljetusvaatimukset.....                         | 15 |
| 4.2 | Sahatavaran ympäristötavoitteet .....            | 15 |
| 5   | Käyttövoimavertailu .....                        | 17 |
| 5.1 | Ympäristövaikutusten vertailu.....               | 17 |
| 5.2 | Taloudellisten kustannusten vertailu .....       | 18 |
| 5.3 | Infrastruktuurin vertailu .....                  | 18 |
| 5.4 | Kalustovaatimusten vertailu.....                 | 19 |
| 6   | Yhteenveto ja pohdinta .....                     | 21 |
|     | Lähteet .....                                    | 23 |

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Vaihtoehtoisten käyttövoimamuotojen käyttö sahatavarakuljetuksissa on keskeinen osa ympäristövaikutuksien vähentämistä ja kestävämmän liikenteen edistämistä. Fossiilisten polttoaineiden raaka-aineet vähenevät jatkuvasti, mikä on kasvattanut vaihtoehtoisten käyttövoimamuotojen käyttöä yhdessä ilmastotietoisuuden kanssa. Perinteisen dieselin korvaajaksi on tänä päivänä tarjolla esimerkiksi biopolttoaineita sekä sähkö-, vety- ja kaasukäyttöisiä ajoneuvoja. (Ramadhas 2011, 1–19.)

Vertaillessa vaihtoehtoisia käyttövoimamuotoja tulee huomioida laajalti erilaisia tekijöitä, kuten ympäristövaikutukset, taloudelliset kustannukset, jakeluinfrastruktuuri, ajoneuvojen suorituskyky, yhteensopivuus liiketoimintatavoitteiden kanssa, saatavuus ja luotettavuus sekä lakisääteiset vaatimukset. Erilaisten vaihtoehtojen vertailussa vaikuttavat myös yrityksen omat prioriteetit, käytännön mahdollisuudet sekä tavoitteet. (Anderhofstadt & Spinler 2019.)

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Movere Oy on logistiikkayritys, joka keskittyy kuljetuksien ja tavaravirtojen ohjaukseen. Yritys tuottaa myös laivaus- ja varastointi- sekä logistiikkaprosessien suunnittelupalveluja.

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan mahdollisuuksia neljän vaihtoehtoisen käyttövoimamuodon käytölle Movere Oy:n sahatavarakuljetuksissa Suomen sisäisessä liikennöinnissä. Tutkimuksessa perehdytään nykytilanteeseen tarjolla olevan täysperävaunun kaluston suhteen ja tarkastellaan mahdollisuuksia vaihtoehtoisten käyttövoimamuotojen saatavuudelle ja soveltuvuudelle sidosryhmien odotukset huomioiden. Työn tavoitteena on vastata asiakkaiden toiveisiin vaihtoehtoisista käyttövoimamuodoista. Tietoa jatkojalostetaan tulevaisuudessa yhteistyökumppanineuvotteluissa.

Opinnäytetyössä tehdään laadullinen tutkimus, jossa vertaillaan vetykäsiteltyä kasviöljyä eli HVO-polttoainetta, FAME-biodieseliä sekä täyssähkö- ja biokaasuvaihtoehtoja perinteiseen dieseliin. Laadullisella tutkimuksella luodaan Movere Oy:lle ja sen sidosryhmille tuotos, jonka pohjalta saadaan informaatiota edellä mainittujen vaihtoehtoisten käyttövoimamuotojen käytännöllisyydestä sekä mahdollisuuksista sahatavarakuljetusten kehitykselle.

Vertailu on rajattu koskettamaan ainoastaan Movere Oy:n sahatavarakuljetuksia operoivaa kalustoa ja sen kehittämistä tulevaisuudessa. Rajaus koskettaa ainoastaan sahatavarakuljetuksia, sillä Movere Oy sisältää useita eri tiimejä, jotka operoivat erilaisten kulje-

tuslajien parissa. Vaihtoehtoisten polttoainemuotojen vertailu Movere Oy:n Suomen sisäisiin sahatavarakuljetuksiin liittyen on paikallisella tasolla globaali aihe.

### 1.3 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö toteutetaan kvalitatiivisena tutkimuksena, jossa tehdään vertaileva analyysi eri käyttövoimamuotojen välillä. Kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus on menetelmäsuuntaus, jossa pyritään ymmärtämään kohteen laatua, ominaisuuksia ja merkityksiä kokonaisvaltaisesti (Jyväskylän yliopisto 2021). Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Työn tutkimuskysymykset ja menetelmät muotoutuivat toimeksiantajan tarpeiden mukaisesti. Päättökysymys on: Miten vaihtoehtoiset käyttövoimamuodot pärjäävät vertailussa perinteistä dieseliä vastaan?

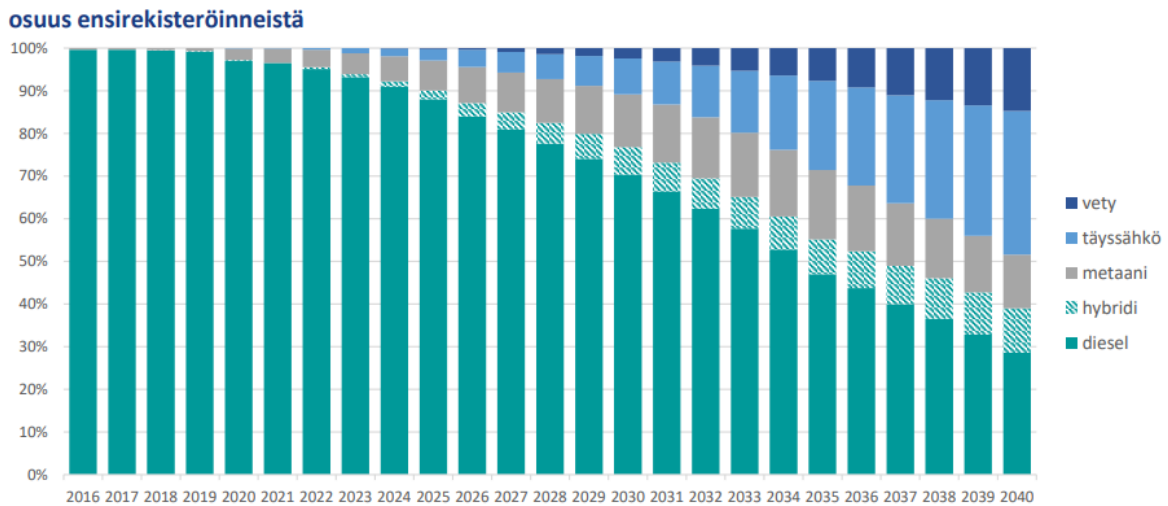
Lisäksi työssä pohditaan käyttövoimamuotojen tärkeimpiä kriteereitä sekä niiden käytännön toimivuutta Suomessa. Tutkimuksessa pohditaan myös, minkälaisia toimia tarvittaisiin, jotta siirtyminen vaihtoehtoisiin käyttövoimamuotoihin edistyisi.

## 2 Käyttövoimavaihtoehdot

### 2.1 Vaihtoehtoisten käyttövoimien tulevaisuus

Kun tulevaisuudessa harkitaan vaihtoehtoisia käyttövoimamuotoja koskevaa politiikkaa, on tärkeää huomioida, että vastakkain eivät ole vaihtoehtoiset käyttövoimat keskenään, vaan vaihtoehtoiset käyttövoimamuodot ja fossiiliset polttoaineet, joista on tulevaisuudessa hankkiuduttava eroon. Tavoitteena on, että uudet kuorma-autot olisivat kykeneviä käyttämään vaihtoehtoisia käyttövoimia vuoteen 2030 mennessä. Vuoteen 2025 mennessä pyritään siihen, että 60 % ensirekisteröidyistä kuorma-autoista olisi yhteensopivia jonkin vaihtoehtoisen polttoainemuodon kanssa. (Jääskeläinen 2020, 12–13.)

Kuviossa 1 on esitetty arvio raskaan kaluston ensirekisteröinneistä vuodelle 2040 asti.



Kuvio 1. Arvio eri käyttövoimien ensirekisteröinneistä vuodelle 2040 asti (Autoalan tiedotuskeskus 2022)

Tämän hetken käyttövoimat painottuvat pääpiirteittäin polttomoottoritekniikkaan. Polttoaineet voivat olla joko nestemäisiä tai kaasumaisia, vaikka niiden käytössä oleva moottoritekniikka olisi samankaltaista. Nestemäisiä polttoaineita käytetään energialähteinä, jotka kuljetetaan ja säilytetään nestemäisessä muodossa, kun taas kaasumaiset polttoaineet ovat energialähteitä, jotka kuljetetaan ja säilytetään kaasumaisessa muodossa. Lisäksi sähkötekniikkaan perustuvissa ajoneuvoissa on erilaisia ratkaisuja energian varastointiin. (Norja 2023, 11–12.)

### 2.2 Fossiilinen diesel

Fossiilinen diesel on pitkään ollut suosittu valinta raskaan kaluston polttoaineeksi useista syistä, mutta sen käyttöön liittyy myös monia haasteita, erityisesti ympäristön kannalta.

Käytön keskeisinä näkökohtina raskaan kaluston polttoaineena voidaan nähdä esimerkiksi sen energiatehokkuus ja suorituskyky. Fossiilinen diesel sisältää korkean energiatihedden, mikä tarkoittaa, että se tuottaa enemmän energiaa per litra verrattuna moniin vaihtoehtoisiin polttoaineisiin. Tämä on yksi syy, miksi se on suosittu valinta raskaalle kalustolle, kuten rekka-autoille, jotka tarvitsevat paljon energiaa toimiakseen tehokkaasti pitkiä matkoja. Dieselmoottorit ovat tunnettuja niiden vääntömomentista, mikä on erityisen tärkeää raskaan kaluston sovelluksissa, joissa tarvitaan suurta voimaa esimerkiksi raskaiden kuormien vetämiseen. (Hosseini 2017, 913.)

Fossiilisen dieselin polttaminen tuottaa hiilidioksidipäästöjä, jotka kiihdyttävät ilmastonmuutosta. Lisäksi dieselmoottorit tuottavat typen oksideja ja hiukkaspäästöjä, jotka voivat olla haitallisia sekä ihmisten terveydelle että ympäristölle. Ne ovat erityinen huolenaihe kaupunkialueilla, missä ne voivat pahentaa ilmanlaatua ja lisätä hengitystieongelmia. Monet hallitukset ympäri maailmaa asettavat yhä tiukempia vaatimuksia päästöjen vähentämiseksi, mikä saattaa vaikuttaa fossiilisen dieselin käytön jatkuvuuteen raskaan kaluston polttoaineena. (Wang 2021, 1–2.)

### 2.3 FAME-biodiesel polttoainemuotona

Uusiutuvat polttoaineet vaihtoehtoisena polttoainemuotona voidaan valmistaa monista erilaisista biomassatyypeistä, kuten eri alkuperistä olevista kasviöljyistä, jäteruokaöljyistä ja rasvoista. Bezergianni ja Dimitriadis (2013, 110) kertovat artikkelissaan, että biopolttoaine FAME-biodiesel (Fatty Acid Methyl Ester) tuotetaan transesteröimällä kasviöljyjä. Transesteröinti on biodieselin tuotantoon liittyvä kemiallinen reaktio, jossa triglyseridi, kuten esimerkiksi kasviöljy reagoi alkoholin kanssa katalyytin läsnä ollessa biodieselin ja glyserolin tuottamiseksi (Toivonen 2023, 7).

Ravinnoksi tarkoitetuista kasveista valmistettavia polttoaineita kutsutaan pääasiassa ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiksi. FAME-biodiesel on rasvahapon metyyliesteriä, jonka raaka-aineen on oltava hyvälaatuista kasviöljyä. Tämän lopputuotteen ominaisuudet eivät ole kuitenkaan fossiilisen dieselin tasolla. (Blasnialis 2018a.)

Kylmäominaisuuksiltaan FAME-biodiesel on heikko ja raaka-aineista riippuvainen. Juuri FAME:n kylmäominaisuudet ovat keskeinen tekijä, miksi sen jakelu Suomessa on hyvin vähäistä. Etenkin seisoessaan ja ollessaan kosketuksissa veden kanssa polttoaine voi aiheuttaa bakteerikasvustoja polttoainesäiliöön ja -järjestelmään. Kilpailukykyisen FAME-biodieselistä tekee sen voiteluominaisuudet, sillä se ei tarvitse voitelulisäaineita. (Blasnialis 2018b.)

## 2.4 HVO-diesel polttoainemuotona

HVO-diesel (Hydrotreated Vegetable Oil) on vetykäsitelty kasviöljy ja tämä uusiutuva diesel valmistetaan korkealaatuisista jäte- ja tähderaaka-aineista. HVO-diesel on ympäristöystävälliset ominaisuudet omaava polttoaine, joka tuottaa jopa 90% vähemmän kasvihuonepäästöjä elinkaarensa aikana fossiiliseen dieseliin verrattuna. Polttoaine palaa normaalia puhtaammin sekä aiheuttaa pienempiä lähipäästöjä. Paikallisesti ilmanlaatu on siis parempi, sillä tavallista parempi palaminen tuottaa auton pakoputkesta vähemmän päästöjä. HVO:n kylmäominaisuudet ovat erinomaiset, joiden ansiosta sitä voidaan käyttää ympärivuotisesti. Koska HVO palaa puhtaammin, se pitää auton moottorin suodattimet puhtaampana. HVO-dieselin setaaniluku (yli 70) tuo enemmän tehoa. Suuri setaaniluku mahdollistaa, että HVO syttyy moottorissa nopeasti palotilaan ruiskuttamisen jälkeen. (Shell a.)

HVO:n valmistusprosessi eroaa perinteisen biodieselin tuotannosta, sillä se käyttää vetyä raaka-aineiden, kuten kasviöljyjen tai eläinrasvojen, kemialliseen muokkaamiseen. Tämä prosessi tuottaa korkealaatuisen dieselpolttoaineen, joka soveltuu suoraan nykyaikaisten dieselmoottorien käyttöön ilman muutoksia. (Aatola 2009.)

## 2.5 Biokaasuvaihtoehdot käyttövoimamuotona

Biokaasu on polttoainemuotona yhä ympäristöystävällisempi ja taloudellisempi vaihtoehto. Sen valmistus tapahtuu käsittelemällä erilaisia orgaanisia jätteitä, kuten biojätteitä, jätevetä ja lantaa. Biokaasu on uusiutuva polttoaine, jonka kiertotalousvaikutusta tehostaa sen tuotannossa talteen kerättävät orgaaniset ravinteet. (Karjalainen 2021, 4.)

Vaikka biokaasun käyttöön liittyy etuja, kuten vähäiset päästöt ja alhaisemmat polttoainekustannukset, sen leviämistä hidastavat useat tekijät. Kaasuautojen hankintahinta on korkea ja kaasuasemia on harvassa, mikä vaikeuttaa infrastruktuurin saavutettavuutta. Lisäksi markkinoilla ei vielä ole tarpeeksi tehokkaita autoja vetämään kaikkein raskaimpia ajoneuvoyhdistelmiä. Vaikka biokaasu näyttäytyy ympäristöystävällisenä vaihtoehtona, sen käytön laajentamista rajoittavat tekniset ja taloudelliset haasteet. Lisäksi valtion tukien puute hidastaa kaasuautojen yleistymistä. (Parviainen 2019.)

## 2.6 Täyssähkö käyttövoimana

Täyssähkökäyttöiset ajoneuvot käyttävät sähkömoottoreita ja akustoja, joita ladataan sähköverkosta. Tämä poistaa tarpeen perinteisille polttoaineille, kuten dieselille tai bensinille. Sahatavarakuljetuksissa tulevaisuudessa täyssähköautoille voidaan nähdä monia etuja,

kuten niiden alhaiset päästöt. Värein sähköisen liikenteen johtava asiantuntija Nieminen (2023) kertoo, että täyssähköautojen moottori tai akusto ei aiheuta päästöjä kulkiessa, vaan auto on paikallisesti päästötön. Liikkeessä energiaa kuitenkin kuluu.

Täyssähköautot ovat myös hiljaisempia kuin perinteiset polttomoottoriautot, mikä vähentää melusaastetta ja voi parantaa työympäristön laatua. Ympäristön hiljaisuuden merkitys korostuu esimerkiksi kaupunkialueilla ja herkillä luontokohteilla. (Rebalski 2016, 54.)

Jotta täyssähköautoista saadaan vielä joustavampia käytön suhteen sahatavarakuljetuksissa, vaatii latausinfra kehitystyötä. Kun latauspisteitä tulee enemmän saataville ja pikalatausteknologia kehittyy, täyssähköautojen käyttöala laajenee ja niiden käyttö sahatavarakuljetuksissa helpottuu entisestään. Ainakin toistaiseksi täyssähköautojen käyttö voi olla relevanttia ainoastaan lyhyemmillä reiteillä tai kaupunkialueilla, joissa latauspisteitä on helposti saatavilla.

### 3 Vaihtoehtoisten käyttövoimien ominaisuudet

#### 3.1 Infrastrukturi

Vaihtoehtoisten polttoainemuotojen infrastruktuurin kehittäminen tulee olemaan avainasemassa sahatavarakuljetuksia ajatellen pyrittäessä vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja riippuvuutta perinteisistä fossiilisista polttoaineista. Toimenpiteiden niin Suomessa kuin EU-tasolla tulisi turvata kaikkien tulevaisuudessa tarvittavien käyttövoimavaihtoehtojen jakelu ja saatavuus. (Jääskeläinen 2020, 9.)

Globaali infrastrukturi fossiilisen dieselin jakelulle on laajalle levinnyt, mikä tekee siitä helposti saatavilla olevan vaihtoehdon useimmissa osissa maailmaa. Kyseistä jakeluinfrastruktuuria voidaan kuitenkin päivittää soveltumaan myös joidenkin vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluun soveltuvaksi.

HVO-dieselin jakelu vaatii sille soveltuvia tankkausasemia. Vaikka HVO voidaan sekoittaa tavalliseen dieseliin ja käyttää olemassa olevissa dieselmootoreissa, sen laajempi käyttöönotto edellyttää investointeja tankkausasemien sopeuttamiseen sekä jakeluverkoston laajentamista. HVO:n uusiutuvia polttoaineita voidaan valmistaa joko rakentamalla erillisiä tuotantolaitoksia tai muokkaamalla olemassa olevia öljynjalostamoja. Monet perinteiset öljynjalostamot Euroopassa ovat soveltuvia tuotannon muuttamiseen HVO:n valmistukseen, sillä niissä on jo käytössä vetykäsittelylaitteistoja, joita voidaan hyödyntää uudelleen tähän tarkoitukseen. (Laitinen 2023.)

FAME-biodieselin tuotanto ja jakelu vaativat erityisiä jalostamoita ja jakeluverkostoja. Monet nykyiset polttoaineasemat voivat kuitenkin tarjota FAME-biodieseliä ilman merkittäviä muutoksia. FAME:n jakelun rajoitteena on, että sitä saa olla maksimissaan 7 % sekoitettuna myytävään tuotteeseen. (Korjula 2013, 26–27.)

Suomessa on jo valmiiksi laaja verkosto nestemäisen dieselpolttoaineen jakeluun, mikä tarjoaa mahdollisuuden hyödyntää sitä HVO:n ja FAME:n levittämisessä. Useilla tunnetuilla polttoaineiden jakelijoilla on jo saatavilla tankkausmahdollisuus uusiutuville tai bioperäisille dieseille useilla asemillaan.

Täyssähköisten ajoneuvojen käyttöönotto vaatii laajan sähköisen latausasemien verkoston rakentamisen sekä päivitettyt sähköverkot suuritehoisen latauksen mahdollistamiseksi. Tämä edellyttää merkittäviä alkuinvestointeja. Tällä hetkellä julkisia latauspisteitä raskaalle kalustolle ei ole tarpeeksi saatavilla, joten ne täytyy useimmiten ladata omassa lataus-tukikohdassa. Tulevaisuudessa lataus voisi tapahtua esimerkiksi terminaalissa kuorman lastauksen ja purkamisen yhteydessä tai yöaikaan, kun autot ovat pysähdyksissä.

Esimerkiksi Volvo on heinäkuussa 2021 ilmoittanut suunnittelevansa investoivansa seuraavan viiden vuoden aikana vähintään 1700 latausasemaan ja ylläpitävänsä niitä. Latausasemat sijoitettaisiin paikkoihin, joissa raskaat ajoneuvot usein vierailevat tai pysähtyvät, kuten huoltoasemille tai terminaalialueille. Samaa latausverkostoa voitaisiin hyödyntää lisäksi ladattavissa hybridikuorma-autoissa. Volvon 43 kilowatin vaihtovirtalaturilla kuorma-auton lataaminen tyhjästä täyteen kestäisi noin 10 tuntia, kun taas 250 kilowattisella tasavirtalaturilla lataukseen kuluisi noin kaksi tuntia. Näitä latausmuotoja voitaisiin yhdistellä esimerkiksi ajoreitin varrella taukojen aikana tai kuorman purku- ja lastausvaiheissa. Tasavirtalaturilla voitaisiin pidentää auton toimintamatkaa, ja vaihtovirtalataus riittäisi, kun auto seisoo pidempään. (Engdahl 2021.)

Biokaasun tuotanto, varastointi ja jakelu vaativat investointeja biokaasulaitoksiin, varastointikapasiteettiin sekä tankkausasemiin. Tällä hetkellä jakeluasemat ovat pääosin keskittyneet suurempiin kaupunkeihin. Nykyisin raskaan kaluston kaasun jakeluasemat ovat pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomessa, ja pohjoisin kaasuasema sijaitsee Keminmaalla (Gasum a).

### 3.2 Kalustovaatimukset

HVO-Diesel soveltuu kaikkiin dieselmoottoreihin. Polttoaine täyttää parafiinisen dieselpolttoaineen standardin EN15940 ja on sellaisenaan sopiva polttoaine kaikkiin dieselautoihin, joissa ajoneuvon ohjekirja hyväksyy EN590 ja EN15940 polttoaineen. HVO-dieseliä voidaan tankata myös sekaisin tavallisen dieselin kanssa täysin vapaassa sekoitussuhteessa. Parhaan tuloksen HVO:sta saa kuitenkin autolla ja ilmastolle käyttämällä vain uusiutuvaa dieseliä. (Shell b.)

FAME-biodieselin tankkaamisessa tulee huomioida sen erityisvaatimukset. Se voi olla aggressiivisempi kuin tavallinen diesel tietyille polttoainejärjestelmän materiaaleille, kuten tiivisteille ja letkuille. On tärkeää, että kuorma-auton polttoainejärjestelmä on valmistettu materiaaleista, jotka kestävät biodieselin kemiallisia ominaisuuksia. Monet nykyaikaiset dieselmoottorit voivat käyttää FAME-biodieseliä ilman muutoksia, joissakin vanhemmissa moottoreissa saattaa tarvita säätöjä. On tärkeää varmistaa, että käytetty FAME-biodiesel täyttää alueelliset laatuvaatimukset ja että se on sekoitettu oikeassa suhteessa tavalliseen dieseliin, jos täydellistä biodieseliä ei käytetä. Sekoitusprosentti vaikuttaa moottorin suorituskykyyn ja päästöihin. Auton valmistajan suositukset biodieselin käytöstä tulee aina tarkistaa ja noudattaa. Jotkut valmistajat voivat rajoittaa biodieselin sekoitusastetta takuuseen liittyvistä syistä tai suositella tiettyjä huoltotoimenpiteitä biodieselin käytön yhteydessä. (Aitto-Oja 2022, 12–13.)

Täyssähkökäyttöinen täysperävaunu on innovatiivinen ratkaisu raskaan liikenteen alalla, joka käyttää sähköä pääasiallisena voimanlähteenään, erottuen perinteisistä dieselkäyttöisistä ajoneuvoista. Täyssähköautoissa on voimanlähteenä yksi tai useampi sähkömoottori, jonka energialähteenä toimii ladattava akusto. Täyssähköisten raskaiden ajoneuvojen, kuten täysperävaunujen, käyttö sahatavarakuljetuksissa kohtaa haasteita rajoitetusta toimintasäteilystä ja latausinfrastruktuurin riittämättömyydestä erityisesti pitkillä ja syrjäisillä reiteillä (Link, 2022, 4–5). Etenkin pitkillä välimatkoilla polttoaineet päihittävätkin vielä sähkön.

Biokaasukäyttöiset ajoneuvot vaativat moottoreita, jotka on joko suunniteltu käyttämään biokaasua tai muunnettu tähän tarkoitukseen. Sahatavarakuljetukset vaativat raskaita ajoneuvoja, joissa on riittävä voima ja toimintasäde. Biokaasukäyttöiset ajoneuvot vaativat erityisiä muutoksia, kuten kaasusäiliöitä ja moottorin muutoksia, jotta ne voivat hyödyntää biokaasua tehokkaasti. (Haltia 2022, 19.)

### 3.3 Ympäristövaikutukset

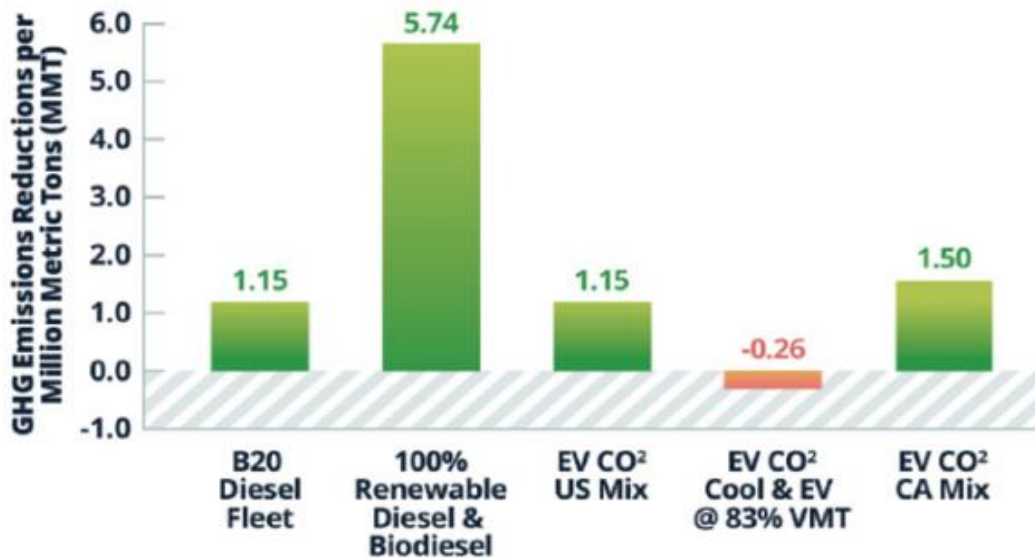
Vaihtoehtoiset käyttövoimat ovat tärkeitä raskaan kaluston päästöjen alentamiseksi useista syistä. Perinteiset fossiiliset polttoaineet, kuten fossiilinen diesel, tuottavat merkittäviä määriä kasvihuonekaasuja, erityisesti hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>), kun niitä poltetaan. Vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten biopolttoaineet, sähkö, ja biokaasu, voivat tuottaa vähemmän tai jopa nollapäästöjä käytön aikana, mikä vähentää merkittävästi ilmastonmuutoksen etenemistä.

Raskaan kaluston käyttämät fossiiliset polttoaineet päästävät ilmaan myös muita saasteita, kuten typen oksideja (NO<sub>x</sub>), hiukkasia ja rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>), jotka voivat aiheuttaa ilmansaasteita ja terveysongelmia. Vaihtoehtoiset polttoaineet voivat merkittävästi vähentää näitä saasteita, parantaen ilmanlaatua ja ihmisten terveyttä. (Syu-Ruei 2016, 89–90.)

Riippuvuus muutamista fossiilisista polttoainelähteistä voi johtaa taloudelliseen ja poliittiseen haavoittuvuuteen, esimerkiksi öljyn hinnanvaihteluihin ja toimitushäiriöihin. Vaihtoehtoiset polttoaineet tarjoavat mahdollisuuden monipuolistaa energianlähteitä, mikä voi vähentää riippuvuutta tuontienergiasta ja parantaa energiaomavaraisuutta. (Mayer 2022.)

Stillwater Associatesin tutkimuksesta (2022) käy ilmi, että edistyneestä dieselteknologiasta voidaan löytää huomattavia etuja, erityisesti käytettäessä uusiutuvia biopolttoaineita verrattuna sähköön. Tutkimus tarkasteli kuorma-autoja kymmenessä osavaltiossa Yhdysvalloissa, jotka ovat ottaneet käyttöön Kalifornian matalapäästöiset ja nollapäästöiset ajoneuvojen säädökset. Tutkimuksessa suoritettiin analyysi, jossa arvioitiin saavutettavissa olevia ympäristöhyötyjä kolmen kohdan strategian käyttöönotolla vuosille 2022–2032,

jotka on kuvattu kuviossa 2. Strategian kolme kohtaa olivat sähköistäminen, nopeutettu kaluston uusiminen ja biodieselin sekä uusiutuvan dieselöljyn käyttöönotto.



Kuvio 2. Raskaan kuorma-autokaluston kasvihuonekaasupäästöjen kumulatiiviset vähennykset 2022–2032 (Concrete News 2022)

Tutkimuksessa saavutettiin 100 prosenttisesti uusiutuvaa dieseliä käyttävillä ajoneuvoilla kolme kertaa suuremmat kumulatiiviset vähennykset kasvihuonekaasuihin vuoteen 2032 mennessä vertaillen sähköön.

Toisin kuin polttomoottorikäyttöiset ajoneuvot, täyssähkökäyttöisessä ajoneuvossa ei ole pakokaasupäästöjä, mikä vähentää ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta. Vaikka täyssähkökäyttöiset autot tuottavat nollapäästöjä ajon aikana, niiden kokonaisenergiankulutus ja hiilijalanjälki elinkaarensa aikana voivat vaihdella riippuen sähköntuotannon lähteistä. Tutkimukset osoittavat, että alueet, joilla on puhtaampi sähköntuotanto, voivat hyötyä enemmän täyssähkökäyttöisten kuorma-autojen käytöstä. (Zhao 2016.)

Uusiutuvan dieselin päästöt ovat jopa 90 % pienemmät kuin perinteisen fossiilisen dieselin päästöt. Lisäksi niiden hiilidioksidipäästöt ovat matalammat kuin fossiiliperäisen sähkön. (Laitinen 2024, 49.)

Biokaasu voi alentaa kasvihuonepäästöjä jopa 90 %. Sen tuotannon raaka-aineet toimitetaan noin sadan kilometrin alueelta tuotantolaitoksesta. Biokaasun elinkaaren päästöt sisältäen raakamateriaalin tuotannon, kuljetuksen ja käsittelyn, biokaasun tuotannon ja jalostuksen, jakelun logistiikan, tankkausasemat sekä käyttövaiheen ovat laskennallisesti nollaluokkaa. (Järvelin 2024, 12.)

Täyssähkökäyttöisellä ajoneuvolla liikennöiminen on täysin puhdasta ja siitä muodostuvat päästöt ovat nollaluokkaa. Ajoneuvojen valmistuksen päästöt taas ovat jopa 70 % suuremmat verrattuna perinteiseen polttomoottoriautoon. Täyssähköisessä liikenteessä tulee tarkistella koko elinkaaren päästöjä, jotka ovat merkittävästi pienemmät kuin dieselillä. (Järvelin 2024, 11.)

### 3.4 Päästörajoitukset

Raskaan kaluston päästörajoitukset ovat tiukentuneet merkittävästi viime vuosikymmeninä. Nämä rajoitukset on suunniteltu vähentämään ilmansaasteiden, kuten typen oksidien (NO<sub>x</sub>), hiilimonoksidin (CO), hiilivedyn (HC), pienhiukkasten (PM) ja rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) päästöjä. Euroopan unioni on kehittänyt Euro-päästönormit määrittelemään sallitut päästötasoille eri ajoneuvoluokille. Nämä standardit ovat tiukentuneet asteittain Euro I -normeista (käyttöön 1992) nykyisiin Euro VI -normeihin (käyttöön 2013 alkaen). (Lumiaho 2017, 6–7.)

Euro VI -standardit ovat nykyisin voimassa oleva standardi EU:ssa, ja ne asettavat erittäin tiukat raja-arvot erityisesti typen oksidien (NO<sub>x</sub>) ja pienhiukkasten (PM) päästöille. Euro VI -standardin mukaisesti NO<sub>x</sub>-päästöjen rajat ovat esimerkiksi 80 mg/kWh ja PM-päästöjen 10 mg/kWh raskaan kaluston dieselmoottoreille. Lisäksi on asetettu vaatimukset pienhiukkasten lukumäärälle, mikä on uusi vaatimus verrattuna aikaisempiin Euro-standardeihin. Suomessa, kuten muissakin EU-maissa, raskaan kaluston ajoneuvojen on noudatettava Euro-päästönormeja. Tämä tarkoittaa, että kaikkien uusien kuorma-autojen, jotka myydään ja rekisteröidään, on täytettävä Euro VI -päästövaatimukset. Suomen sisäisissä sahatavarakuljetuksissa käytettävien ajoneuvojen on siis vastattava näitä standardeja. (ICCT 2016.)

Lisäksi Suomessa on käytössä kansallisia ohjelmia ja kannustimia, jotka tukevat puhtaampien teknologioiden käyttöönottoa ja vähäpäästöisten polttoaineiden käyttöä raskaassa liikenteessä. Näihin kuuluu esimerkiksi liikenteen biopolttoaineiden jakelunvalvonta, joka edellyttää tietyissä määrin uusiutuvien polttoaineiden sekoittamista fossiilisiin polttoaineisiin. Tämä velvoittaa polttoaineiden jakelijoita varmistamaan, että tietty prosenttiosuus myydyistä polttoaineista on peräisin uusiutuvista lähteistä. Tavoite on kasvattaa uusiutuvien polttoaineiden osuutta liikenteessä ja näin vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja päästöjä (Kuikka, 2015, 8–10). Biokaasun tuotantoon ja käyttöön liikennepolttoaineena on tarjolla erilaisia kannustimia, jotka tähtäävät biokaasun käytön lisäämiseen ja biokaasutuotannon taloudellisen kannattavuuden parantamiseen (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2022).

Näiden ohjelmien ja kannustimien tavoitteena on edistää kestäviä ja ympäristöystävällisiä liikennemuotoja sekä vähentää liikenteen aiheuttamia päästöjä Suomessa. Ohjelmat ja kannustimet päivittyvät ja kehittyvät jatkuvasti vastaamaan muuttuvia ympäristötavoitteita ja teknologian kehitystä. Tulevaisuudessa voidaankin odottaa päästövähennyksien tiukentuvan entisestään. Euroopan komissio ehdottaa, että vuonna 2030 uusien ensirekisteröityjen raskaiden ajoneuvojen päästöjen tulee olla keskimäärin 45 % pienemmät. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2023.)

### 3.5 Taloudelliset kustannukset

Vaihtoehtoiset polttoaineet, kuten biokaasu ja täyssähkö, tarjoavat paitsi mahdollisuuden vähentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, myös keinoja edistää paikallista energiaomavaraisuutta ja kiertotaloutta. On kuitenkin huomioitava, että niiden käyttöönotto vaatii investointeja uusiin teknologioihin ja infrastruktuuriin, mikä voi lyhyellä aikavälillä nostaa kustannuksia mutta tarjoaa pitkällä aikavälillä mahdollisesti merkittäviä säästöjä.

Polttoainevaihtoehdon taloudellisuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten paikallinen raaka-ainesaatavuus, polttoaineen tuotanto- ja jakelukustannukset, ajoneuvojen muutostarpeet ja infrastruktuurin saatavuus. Vaikuttavana kustannustekijänä voidaan nähdä myös se, onko kalustohankinnan kohteena käytetty vai uusi auto. Keskeisiä tekijöitä taloudellisten kustannusten arvioinneissa ovat myös mahdolliset hankintatuet sekä kalustojen jäännösarvot. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan huomioida kalustojen jäännösarvoja, huoltokustannuksia eikä mahdollisia hankintatukia.

Fossiilinen diesel on usein taloudellisesti kilpailukykyinen vaihtoehto, erityisesti alueilla, joilla sitä on saatavilla runsaasti ja edullisesti. Dieselmootoreiden tehokkuus voi myös johtaa pienempiin polttoainekustannuksiin pitkällä aikavälillä verrattuna joillakin muilla moottorityypeillä.

FAME-biodieselin tuotanto ja käyttö voivat tuoda taloudellisia etuja, kuten vähentää riippuvuutta tuontiöljystä ja edistää paikallista maataloutta. Kuitenkin FAME-biodieselin energiatiheys on hieman alhaisempi kuin perinteisen dieselin, mikä saattaa johtaa suurempaan polttoaineenkulutukseen tietyissä käyttöolosuhteissa. Lisäksi kylmän sään ominaisuudet voivat olla haasteita, vaikka näitä voidaan parantaa lisäaineilla, mikä lisää kustannuksia. (Pechout 2019.)

HVO-diesel tarjoaa useita etuja verrattuna FAME-biodieseliin, kuten paremman kylmän sään suorituskyvyn, paremman varastointivakauden ja korkeamman energiatihedden, mikä voi johtaa pienempään polttoaineenkulutukseen. HVO:n tuotanto on kuitenkin yleensä kalliimpaa johtuen tarvittavasta prosessiteknologiasta ja raaka-ainekustannuksista.

HVO:n soveltuvuus kaikkiin dieselmoottoreihin on suuri etu siinä mielessä, että uusia kalustohankintoja ei kovin usein tarvitse tehdä. (Aatola 2008.)

Biokaasu tarjoaa merkittäviä ympäristöetuja ja voi olla taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto, erityisesti kun se tuotetaan jätteistä tai sivutuotteista. Biokaasun tuotanto ja käyttö voivat tukea kiertotaloutta ja vähentää jäteongelmia. Sen käyttöön liittyy kuitenkin haasteita, kuten tarve päivittää ajoneuvoja tai hankkia uusia ajoneuvoja, jotka on suunniteltu käyttämään biokaasua (Börjesson 2008). Biokaasun suurimpana haasteena voidaan nähdä kaluston suuret hankintahinnat.

Täyssähkö ajoneuvot tarjoavat mahdollisuuden merkittäviin käyttökustannussäästöihin, koska sähkö on yleensä halvempaa kilometriä kohden verrattuna perinteisiin polttoaineisiin. Lisäksi sähköajoneuvoilla on vähemmän liikkuvia osia, mikä voi johtaa alhaisempiin ylläpitokustannuksiin. Sähköajoneuvojen hankintakustannukset ovat kuitenkin usein korkeammat, ja niiden toimintasäde yhdellä latauksella sekä latausinfrastruktuurin saatavuus voivat olla rajoitteita hankinnalle. (Koskinen 2023, 12.)

Roni Norja (2023) avaa eri käyttövoimien kilometrikustannuksia raskaalle kalustolle vuoden 2023 hintojen mukaan, jotka ovat avattuna taulukossa 1. Käyttövoimien kilometrikustannukset perustuvat Norjan tekemiin laskelmiin energiamuotojen co2e päästöistä, joissa on arvioitu myös eri käyttövoimien keskkulutukset. Norjan laskelmissa dieselin ja uusiutuvan dieselin hinta on litroina, kaasun kilogrammoina ja sähkön kilowatteina.

| Käyttövoima      | Hinta € / L, kg, kW | Kilometrikustannus € /100 km |
|------------------|---------------------|------------------------------|
| Diesel           | 2,17                | 58,2645                      |
| Uusiutuva diesel | 2,42                | 64,977                       |
| Biokaasu         | 2,05                | 55,0425                      |
| Maakaasu         | 3,54                | 95,049                       |
| Sähkö            | 0,1114              | 8,355                        |

Taulukko 1. Energiamuotojen kustannukset (Norja 2023)

Fossiilisen polttoaineen, kuten dieselin, käyttö jatkuu yhä laajasti erityisesti alueilla, joilla uusiutuvien energialähteiden infrastruktuuri on puutteellinen. Dieselmoottorien korkea hyötysuhde ja alhainen käyttökustannus ovat tekijöitä, jotka pitävät sen kilpailukykyisenä vaihtoehtona monille kuljetusalan toimijoille. Tulevaisuudessa on kuitenkin odotettavissa, että ympäristövaatimukset ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteet kiristyvät, mikä voi kiihdyttää siirtymistä vähäpäästöisempiin käyttövoimiin. Tämän siirtymän myötä on tärke-

ää, että politiikkatoimet ja taloudelliset kannustimet suunnataan niin, että ne tukevat kestävästä kehitystä ja edistävät uusien teknologioiden omaksumista.

On olennaista, että taloudellisten kustannusten arviointi ottaa huomioon myös näiden polttoainevaihtoehtojen pitkän aikavälin vaikutukset. Tässä yhteydessä on hyödyllistä vertailla eri polttoaineiden elinkaarikustannuksia, jotka kattavat hankintahinnan lisäksi käyttö-, huolto- ja mahdolliset hävittämiskustannukset. Tarkastelemalla kokonaiskustannuksia voidaan paremmin ymmärtää eri vaihtoehtojen taloudellista tehokkuutta ja niiden vaikutuksia kuljetusalan kustannusrakenteeseen. Kattava kustannusarvio on välttämätön työkalu päätöksenteolle, joka pyrkii yhdistämään taloudelliset ja ekologiset näkökulmat liikenteen kehittämisessä. (Norja 2023.)

## 4 Sahatavarakuljetukset

### 4.1 Kuljetusvaatimukset

Sahatavaraksi luokitellaan puumateriaali, joka on sahattu ja käsitelty erikokoisiksi levyiksi, lankuiksi tai pölkyiksi. Se on keskeinen materiaali rakennusteollisuudessa, huonekaluvalmistuksessa ja monissa muissa sovelluksissa. Sahatavaran tuotantoprosessi alkaa puun valinnasta ja hankinnasta, minkä jälkeen puutavara sahataan haluttuihin mittoihin ja useimmiten kuivataan joko luonnollisesti tai teollisesti. Etola (2021) kertoo, että kuivausprosessi on tärkeä, sillä se vähentää puun kosteuspitoisuutta, mikä parantaa sen kestävyyttä ja työstettävyyttä. Sahatavaran laadun, koon ja muiden ominaisuuksien perusteella se luokitellaan ja lajitellaan. (Puuinfo 2020.)

Sahatavara pakataan suojatakseen sitä kuljetuksen aikana. Pakkaamisen tavoitteena on myös optimoida tilankäyttö kuljetusvälineissä. Kuljetuksessa on otettava huomioon useita tekijöitä, kuten säilytyksen ja käsittelyn vaatimukset, säädökset ja määräykset sekä ympäristövaikutukset. Kuljetusketjun tehokkuus voi vaikuttaa merkittävästi sahatavaran lopulliseen hintaan ja saatavuuteen markkinoilla. (Juntunen 2020, 10.)

Sahatavarakuljetuksiin tarvittava raskas kalusto riippuu monista tekijöistä, kuten kuljetettavan sahatavaran määrästä, matkan pituudesta ja maastosta. Sahatavarakuljetuksia operoivan kaluston on kyettävä käsittelemään sekä painavia että pitkänomaisia kuormia, ja niiden on oltava riittävän joustavia toimiakseen erilaisissa olosuhteissa. Lisäksi, kun sahatteollisuus pyrkii vähähiilisyteen, tulevaisuudessa saattaa olla tarvetta siirtyä käyttämään yhä enemmän biopolttoaineita tai jopa sähkökäyttöisiä ajoneuvoja, mikäli ne tulevat teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisiksi.

### 4.2 Sahatavaran ympäristötavoitteet

Suomen hallitus on asettanut tavoitteekseen, että maa saavuttaa hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä ja muuttuu hiilinegatiiviseksi pian sen jälkeen. Tämän vision saavuttamiseksi hallitus aloitti syksyllä 2019 yhteistyön eri alojen kanssa kehittääkseen suunnitelmia, jotka tähtäävät hiilineutraaliuteen. Nämä suunnitelmat, eli niin kutsutut hiilitiekartat, määrittelevät konkreettisia toimia, joilla alat voivat vähentää päästöjään ja parantaa hiilijalanjälkeään, tarjoten samalla suunnan teollisuuden uudistukselle. Tavoitteena on, että vähähiilisydestä tulee osa yritysten kansainvälistä kasvua ja uusi menestyksen avain, arvioimalla teknologisten ratkaisujen mahdollisuuksia kansainvälisillä markkinoilla. Sahateollisuus on sitoutunut tukemaan hallituksen hiilineutraaliustavoitetta ja on Työ- ja elinkeinoministeriön suosituksesta päättänyt laatia alalleen hiilitiekartan. On oletettu, että sa-

hateollisuuden hiilijalanjälki on alhainen ja hiilikädenjälki suuri, kiitos lähes suljetun tuotantoprosessin, joka ei aiheuta merkittäviä materiaali-, energia- tai nestepäästöjä. Hiilitiekartan tavoitteena on vahvistaa sahateollisuuden asemaa vähäpäästöisenä alana ja tunnistaa keinoja, joilla ala voi entisestään pienentää hiilijalanjälkeään ja parantaa prosessiensa tehokkuutta – sekä sitä kautta kilpailukykyään. (Sahateollisuus ry 2020, 3.)

Pyrittäessä kohti vähähiilisyyttä, sahateollisuuden logistiikan kehittäminen on avainasemassa. Biopohjaisten, uusiutuvien polttoaineiden käyttöönotto fossiilisten polttoaineiden tilalle on toteutettavissa, mutta se vaatii, että biopolttoaineet ovat nykyistä kilpailukykyisempiä hinnaltaan.

## 5 Käyttövoimavertailu

### 5.1 Ympäristövaikutusten vertailu

Tutkimuksessa vertaillaan käyttövoimien ympäristövaikutuksia, taloudellisia kustannuksia, infrastruktuuria sekä kalustovaatimuksia. Ympäristövaikutusten vertailussa pyritään huomioimaan käyttövoimien aiheuttamia päästöjä aina tuotannosta käyttöön asti. Taloudellisten kustannusten osalta tutkimuksessa ei huomioida jälleenmyyntiarvoja tai mahdollisia hankintatukia. Infrastruktuurin osalta huomioidaan nykyinen tilanne energialähteiden saatavuuden sekä tuotantolaitosten suhteen. Kalustovaatimusten osalta tutkimuksessa huomioidaan mahdollisten kalustopäivitysten tarve tai olemassa olevan kaluston soveltuvuus käyttövoimiin tekniikan puolesta.

Fossiilinen diesel tuottaa merkittävästi kasvihuonekaasuja, kuten hiilidioksidia, sekä muita saasteita, kuten typen oksideja, hiukkasia ja rikkidioksidia. Nämä päästöt edistävät ilmastomuutosta ja aiheuttavat ilmansaasteita, jotka voivat heikentää ilmanlaatua ja ihmisten terveyttä. (Wang 2021, 1–2.)

Uusiutuvan dieselin, kuten HVO:n, käyttö voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jopa 90 % verrattuna fossiiliseen dieseliin. HVO:n hiilidioksidipäästöt ovat matalammat kuin fossiiliperäisen sähkön, mikä tekee siitä tehokkaan vaihtoehdon päästöjen vähentämisessä erityisesti alueilla, joilla uusiutuvan energian käyttö on rajoitettua. (Shell c.)

Samoin kuin HVO, FAME-biodiesel voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi käytön aikana. Se tuottaa kuitenkin rajoitettuja määriä päästöjä verrattuna HVO-dieseliin ja sen käyttö voi olla rajoitettua johtuen sekoitusvaatimuksista, jotka rajoittavat sen pitoisuutta dieselsekoituksessa. Optimaalisessa tilanteessa FAME-biodieselin käyttö voi vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä jopa 85 %. (Scania.)

Biokaasun käyttö ajoneuvoissa voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi, varsinkin kun se tuotetaan orgaanisista jätteistä. Se voi myös parantaa energiaomavaraisuutta ja vähentää riippuvuutta tuontienergiasta. Koko elinkaari huomioiden kasvihuonekaasut voivat vähentyä jopa 90 %, kun käytetään biokaasua. (Gasum b.)

Täyssähkökäyttöiset ajoneuvot tuottavat nollapäästöjä ajon aikana, mikä tekee niistä erinomaisen vaihtoehdon ilmastomuutoksen vastaisessa taistelussa alueilla, joilla käytetään pääasiassa uusiutuvia energialähteitä sähköntuotannossa. Täyssähköisten ajoneuvojen hiilijalanjälki riippuu kuitenkin suuresti käytetyn sähkön tuotantotavasta. Alueilla, joilla sähkö tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla, kokonaisuhyödyt voivat olla rajoitetumpia.

Käyttövoimista puhtaimpia ovat HVO-diesel sekä biokaasu, kun huomioidaan tuotannon sekä käytön vaiheet. Ensimmäisen sukupolven FAME-biodiesel häviää ympäristövaikutuksiltaan uusiutuvalla dieselille. Sähkö on käyttöpäästöiltään paras käyttövoima, mutta sen puhtauden arviointiin vaikuttaa merkittävästi energian tuotantotapa. Fossiilinen diesel häviää ympäristövaikutuksia vertaillessa kaikille vertailun vaihtoehtoisille käyttövoimille. Taulukkoon 2 on vertailtu käyttövoimien ominaisuuksia asteikolla (1–5).

| Käyttövoima        | Jakeluinfrastruktuuri | Kalustovaatimukset | Ympäristövaikutukset | Taloudelliset kustannukset |
|--------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| Fossiilinen Diesel | 5                     | 5                  | 1                    | 5                          |
| HVO-Diesel         | 4                     | 5                  | 4                    | 3                          |
| FAME-Biodiesel     | 4                     | 4                  | 3                    | 3                          |
| Täyssähkö          | 2                     | 2                  | 3                    | 2                          |
| Biokaasu           | 3                     | 2                  | 4                    | 2                          |

Taulukko 2. Käyttövoimavertailu asteikolla 1–5

## 5.2 Taloudellisten kustannusten vertailu

Kun tarkastellaan puhtaasti kilometrikustannuksia, on sähkö merkittävästi halvempi kuin muut käyttövoimat. Sähkön, kuten muidenkin energialähteiden kustannuksiin vaikuttavat muuttuvat markkinahinnat. Sähkökäyttöisen ajoneuvon hankintahinta on myös merkittävä sijoitus verrattuna esimerkiksi dieselkäyttöiseen vastaavaan. Lisäksi niiden jälleenmyyntiarvosta ei ainakaan toistaiseksi löydy kovin paljoa informaatiota niiden harvinaisuuden takia. (Norja 2023.)

Biokaasu sekä fossiilinen diesel ovat noin saman hintaisia. Biokaasukäyttöiselle ajoneuvolle merkittäväksi haasteeksi muodostuu kuitenkin soveltuvan kaluston hankintahinta. FAME-biodiesel sekä HVO-diesel ovat kalliimpia käyttökustannuksiltaan kuin muut käyttövoimat. FAME:n ja HVO:n kannalta taloudelliseksi eduksi voidaan kuitenkin nähdä se, että uusia kalustohankintoja ei tarvitse tehdä vertaillessa fossiiliseen dieseliin.

## 5.3 Infrastruktuurin vertailu

Vertaillessa HVO-dieseliä, FAME-biodieseliä, biokaasua ja täyssähköä fossiiliseen dieseliin infrastruktuurin näkökulmasta, eroja ilmenee niiden saatavuudessa, jakelussa ja infrastruktuurin kehitystarpeissa. Fossiilisen dieselin jakeluverkosto on laajalle levinnyt, mikä tekee siitä helposti saatavilla olevan ja luotettavan vaihtoehdon. Tämä olemassa oleva infrastruktuuri tarjoaa perustan, jota voidaan päivittää ja hyödyntää myös vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelussa.

Vaikka HVO voidaan sekoittaa tavalliseen dieseliin ja käyttää nykyisissä dieselmoottoreissa, sen laajamittainen käyttöönotto vaatii investointeja olemassa olevien tankkausasemien

sopeuttamiseen ja uusien asemien rakentamiseen. HVO:n tuotantoa varten voidaan joko muokata olemassa olevia öljynjalostamoita tai rakentaa uusia tuotantolaitoksia. Useat Euroopan öljynjalostamot ovat jo soveltuvia HVO:n tuotantoon vetykäsittelylaitteistojensa ansiosta.

FAME-biodieselin tuotanto ja jakelu vaativat erikoistuneita jalostamoita ja jakeluverkostoa, mutta monet nykyiset polttoaineasemat voivat tarjota FAME-biodieseliä ilman merkittäviä muutoksia. FAME:n käytön rajoituksena on, että se saa olla maksimissaan 7% sekoitettuna myytävään dieseltuotteeseen, mikä voi rajoittaa sen laajempaa käyttöä sekä jakelua.

Biokaasun käyttö raskaassa liikenteessä vaatii investointeja tuotantolaitoksiin, varastointikapasiteettiin ja tankkausasemiin. Gasumin tankkausasemakartasta nähdään, että Suomessa kaasun jakeluasemat ovat keskittyneet suurempiin kaupunkeihin, ja raskaan kaluston tankkausasemat ovat pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomessa.

Täyssähköisten ajoneuvojen käyttöönotto edellyttää merkittäviä investointeja sähköisen latausasemien verkoston rakentamiseen ja sähköverkkojen päivitykseen, jotta sahatavarakuljetukset ovat toteutettavissa. Tällä hetkellä julkisia latauspisteitä raskaille ajoneuvoille on rajallisesti, ja ne täytyy usein ladata omissa latauskohteissa. Volvon kaltaiset yritykset ovat ilmoittaneet suunnitelmistaan investoida merkittävästi uusiin latausasemiin tulevina vuosina. (Engdahl 2021.)

#### 5.4 Kalustovaatimusten vertailu

Vertailtaessa HVO-dieseliä, FAME-biodieseliä, biokaasua ja täyssähköä fossiiliseen dieseliin niiden kalustovaatimusten näkökulmasta, kullakin polttoaineella on omat erityisvaatimuksensa, jotka vaikuttavat niiden soveltuvuuteen ja käyttöönottoon erityisesti raskaassa liikenteessä. HVO-diesel on hyvin yhteensopiva nykyisten dieselmootoreiden kanssa, sillä se täyttää parafiinisen dieselpolttoaineen standardin EN15940. Se voidaan tankata mihin tahansa dieselautoon, joka hyväksyy EN590 tai EN15940 polttoaineen, ja sitä voidaan käyttää sekaisin tavallisen dieselin kanssa ilman rajoituksia. Tämä tekee HVO:sta helposti adoptoitavan vaihtoehdon ilman tarvetta merkittäville muutoksille kalustossa.

FAME-biodiesel voi olla aggressiivisempi tietyille polttoainejärjestelmän materiaaleille, kuten tiivisteille ja letkuille, joten sen käyttö vaatii, että polttoainejärjestelmä on suunniteltu kestäväksi biodieselin kemiallisia ominaisuuksia. Vaikka monet uudemmat dieselmootorit voivat käyttää FAME-biodieseliä ilman muutoksia, joissakin vanhemmissa moottoreissa voi tarvita säätöjä. Lisäksi on tärkeää noudattaa valmistajan suosituksia biodieselin käytöstä, mukaan lukien sekoitussuhde tavallisen dieselin kanssa. (Blasnielis 2018c.)

Biokaasukäyttöiset ajoneuvot vaativat erikoismuutoksia, kuten kaasusäiliöiden asennuksen ja moottorin muutokset biokaasun käyttöön. Nämä muutokset voivat olla merkittäviä ja vaativat investointeja kaluston muuntamiseen. Biokaasumoottorien on oltava suunniteltu tai muunnettu kestävästi kaasun ominaisuudet, jotta ne toimivat tehokkaasti ja turvallisesti. Kokonaan uudet kalustoinvestoinnit voivat muodostua useille kuljetusyrityksille kynnyskysymyksiksi kovien hankintahintojen vuoksi.

Täyssähkökäyttöiset ajoneuvot käyttävät pääasiallisena voimanlähteenään sähkömoottoreita, joiden energialähde on ladattava akusto. Tämä vaatii täysin erilaisen kalustorakenteen verrattuna perinteisiin dieselkäyttöisiin ajoneuvoihin. Täyssähköisten ajoneuvojen haasteita ovat rajoitettu toimintasäde ja latausinfrastruktuurin riittämättömyys, erityisesti pitkillä ja syrjäisillä reiteillä.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Vaihtoehtoisista käyttövoimista puhtaimpia ovat biokaasu sekä HVO-diesel, kun huomioidaan niiden käytön sekä tuotannon päästöjä. Sähkö on käyttöpäästöiltään puhtain ratkaisu, mutta sen valmistuksen päästöt huomioiden se häviää ympäristövaikutuksiltaan HVO-dieselille sekä biokaasulle. Sähkön päästöihin vaikuttaa merkittävästi sen todellinen tuotantotapa. FAME-biodiesel ei yletä positiivisissa ympäristövaikutuksissa uudemman HVO-dieselin tasolle ja sen käyttö voi olla rajoitettua johtuen sekoitusvaatimuksista.

Käyttökustannuksissa sähkö on käyttövoimista halvin, mutta täyssähkökäyttöisen ajoneuvon hankintahinta on suuri, jonka takia se on monille liikennöitsijöille vielä epärealistinen hankinta. Fossiilinen diesel ja biokaasu ovat kilometrikustannuksiltaan suurin piirtein samat ja niiden jälkeen sijoittuvat HVO-diesel ja FAME-biodiesel. Kuten myös sähkön osalta, biokaasukäyttöisen ajoneuvon hankintahinta on merkittävän suuri, jonka takia se on valtaosalle liikennöitsijöistä vielä mahdoton hankinta.

Infrastruktuurin osalta dieselit pärjäävät vertailussa parhaiten, sillä olemassa oleva jakelu- ja tuotantoinfrastruktuuri on jo kattavalla tasolla sekä biodieselin ja uusiutuvan dieselin osalta helposti muokattavissa. Biokaasun jakeluasemia on jo eteläisen Suomen osalta melko hyvin saatavilla, mutta koko Suomen mittakaavassa jakelu ei vielä ole täysin saatavilla, mikä voi vaikeuttaa pitkien välimatkojen ajosuoritteita. Sähkön jakeluverkosto vaatii vielä merkittäviä investointeja, jotta käytännön toimivuus olisi mahdollista sahatavarakuljetuksille.

Myös kalustovaatimusten osalta dieselit pärjäävät vertailussa parhaiten. HVO-diesel sopii sellaisenaan nykyisiin dieselmootoreihin. FAME toimii uusimmissa dieselmootoreissa, mutta se voi tarvita säätöjä vanhempiin moottoreihin. Biokaasu ja täyssähkö vaativat erilaista kalustoa.

Jotta siirtyminen vaihtoehtoisiin käyttövoimiin onnistuisi kattavammin tarvitaan pitkäjänteisiä hankinta- ja verokannusteita. Valtion ja myös asiakkaiden tulee kyetä tukemaan logistiikan kehittymistä kestävämmäksi. Kestävämmät käyttövoimat tarvitsevat kannusteita jo kalustotarpeiden kilpailutusvaiheisiin, jotta siirtyminen vaihtoehtoisiin energialähteisiin on liikennöitsijöille myös taloudellisessa mielessä mahdollista. Keskeistä on ajatella, että vaihtoehtoiset käyttövoimat eivät kilpaile keskenään, vaan fossiilisia energialähteitä vastaan.

Käytännön tason toimivuuteen sahatavarakuljetuksissa vaihtoehtoiset käyttövoimat tarvitsevat kehitystä lataus- ja jakeluinfrastruktuurin suhteen. Toistaiseksi infrastruktuurin puutteellisuus on rajaava tekijä etenkin pitkämatkaisessa kuorma-autoliikenteessä.

Vaihtoehtoiset käyttövoimat kuten HVO-diesel, FAME-biodiesel, biokaasu ja täyssähkö tarjoavat potentiaalin vähentää merkittävästi kasvihuonekaasupäästöjä ja muita ilmaansaasteita verrattuna fossiiliseen dieseliin. Näiden käyttöönotto vaatii kuitenkin yksityiskohdista harkintaa kaluston, alueellisten energialähteiden ja infrastruktuurin suhteen, jotta voidaan maksimoida ympäristöhyödyt. Fossiilinen diesel jatkaa toimimista keskeisenä polttoaineena raskaalle kalustolle lähitulevaisuudessa, mutta on selvää, että sen rooli alkaa muuttua, kun siirrytään kohti vähäpäästöisempiä ja uusiutuvia energialähteitä.

Työssä validiteetti on varmistettu käyttämällä luotettavia ja tunnustettuja lähdeaineistoja sekä vertaisarvioituja tutkimuksia, jotka tukevat tutkimuskysymysten asettelua ja tulosten tulkintaa. Näiden periaatteiden noudattaminen takaa, että opinnäytetyö tuottaa luotettavaa tietoa sahatavarakuljetusten käyttövoimavaihtoehtojen vertailuun, mikä on arvokasta sekä tieteellisesti että käytännön sovellusten kannalta.

Tutkimusmenetelmät, aineistonkeruu ja analyysiprosessit on kuvattu tarkasti opinnäytetyössä. Tämä mahdollistaa tutkimuksen toistamisen tarkasti samanlaisissa olosuhteissa, mikä on reliabiliteetin keskeinen vaatimus.

Opinnäytetyössä tutkittiin eri käyttövoimien ominaisuuksia sahatavarakuljetuksissa, keskittyen ympäristövaikutuksiin, taloudellisiin kustannuksiin, infrastruktuuriin ja kalustovaatimuksiin. Jatkotutkimuksena aiheeseen olisi mielenkiintoista saada kokonaisvaltainen elinkaarianalyysi, jossa huomioitaisiin auton sekä käyttövoiman koko elinkaaren aikaisia päästöjä. Tutkimalla tarkemmin, miten kuluttajat ja muut sidosryhmät suhtautuvat eri käyttövoimiin, voitaisiin ymmärtää paremmin, mitkä tekijät vaikuttavat käyttövoimien hyväksyntään ja käyttöönottoon. Tämä voisi sisältää kyselytutkimuksia, haastatteluja ja tapaustutkimuksia. Nämä jatkotutkimusehdotukset voivat auttaa kehittämään tarkempaa tietoa siitä, miten vaihtoehtoisia käyttövoimia voidaan tehokkaasti hyödyntää sahatavarakuljetuksissa ja laajemmin logistiikassa. Tutkimusten avulla voidaan myös löytää ratkaisuja, jotka tukevat kestävämpää kehitystä, ja auttavat yrityksiä ja julkishallintoa tekemään perusteltuja päätöksiä käyttövoimapolitiikassa. Kattavampi ymmärrys auttaa myös ennakoimaan tulevia haasteita ja mahdollisuuksia, jotka liittyvät energia-alan nopeaan muutokseen ja ilmastomuutoksen hillitsemiseen.

## Lähteet

Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T. & Mikkonen, S. 2009. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel. SAE International Journal of Engines. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa <https://www.jstor.org/stable/26308354>

Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T. & Mikkonen, S. 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE International journal of engines. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa <https://doi.org/10.4271/2008-01-2500>

Aitto-Oja, V. 2022. Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet. Oulun Yliopisto. Viitattu 20.3.2024. Saatavissa <https://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202202021142>

Anderhofstadt, B. & Spinler, S. 2019. Factors affecting the purchasing decision and operation of alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany – A Delphi study. Transportation research. Viitattu 20.1.2024. Saatavissa <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.saimia.fi/science/article/pii/S1361920918310599?via%3Dihub>

Autoalan tiedotuskeskus. 2022. Ensirekisteröityjen kuorma-autojen käyttövoimatilastot. Viitattu 23.2.2024. Saatavissa [https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit\\_kayttovoimittain/kuorma-autojen\\_kayttovoimatilastot](https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/kuorma-autojen_kayttovoimatilastot)

Bezergianni, S. & Dimitriadis, A. 2013. Comparison between different types of renewable diesel. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Viitattu 20.1.2024. Saatavissa <https://doi-org.ezproxy.saimia.fi/10.1016/j.rser.2012.12.042>

Börjesson, P. & Mattiasson, B. 2008. Biogas as a resource-efficient vehicle fuel. Opinion. Viitattu 2.4.2024. Saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.09.007>

Concrete Products. 2022. Research findings make emissions case for diesel vs. electric truck power. Viitattu 30.3.2024. Saatavissa <https://concreteproducts.com/index.php/2022/08/16/research-findings-make-emissions-case-for-diesel-vs-electric-truck-power/>

Engdahl, H. 2021. Toimiva latausstrategia laajentaa sähkökuorma-auton kantamaa. Volvo Trucks. Viitattu 29.2.2024. Saatavissa <https://www.volvotrucks.fi/fi/news/insights/articles/2021/nov/How-a-good-charging-strategy-can-extend-an-electric-trucks-range.html>

Etola, A. 2021. Sahatavarakuljetusten täyttöasteiden parantaminen. LAB-ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.4.2024. Saatavissa <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021090917616>

Gasum. Tankkausasemakartta. Viitattu 4.2.2024. Saatavissa <https://www.gasum.com/fi/kaasu-liikenteelle/raskas-liikenne/kaasutankkausasemat/?stationTypes=CNG&stationTypes=LNG>

Gasum. Uusiutuvalla biokaasulla voidaan tehokkaasti vähentää päästöjä. Viitattu 24.4.2024. Saatavissa <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/biokaasun-paastot/>

Haltia, C. 2022. Kaasukuorma-autojen vertailu dieselkäyttöisiin kuorma-autoihin. Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 30.3.2024. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/783339/Haltia\\_Carita.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/783339/Haltia_Carita.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Hosseini, S. & Rouhollah, A. 2017. Performance and emissions characteristics in the combustion of co-fuel diesel-hydrogen in a heavy duty engine. Applied Energy. Viitattu 27.3.2024. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261917310607?via%3Dihub>

Juntunen, S. 2020. Sahalaitoksen laadutusjärjestelmän tarkkuus. Karelia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.4.2024. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343219/Juntunen\\_Sami.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343219/Juntunen_Sami.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Jyväskylän Yliopisto. 2021. Laadullinen tutkimus. Koppa. Viitattu 2.2.2024. Saatavissa <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus>

Järvelin, H. 2024. Ympäristöystävälliset ja tehokkaat kuljetukset kuljetusalan yrityksessä. Satakunnan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.4.2024. Saatavissa [Jarvelin\\_Henrik.pdf \(theseus.fi\)](#)

Jääskeläinen, S. 2020. Liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfra – kansallisen ohjelman seuranta 2019. Liikenne- ja viestintäministeriö. Viitattu 7.3.2024. Saatavissa [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162100/LVM\\_2020\\_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162100/LVM_2020_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Karjalainen, H. 2021. Biokaasu ja sen käyttö liikennepolttoaineena. Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto. Viitattu 15.2.2024. Saatavissa

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/162820/Hanna%20Karjalainen%20-%20Biokaasu%20ja%20sen%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20liikennepolttoaineena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Korjula, V. 2013. Tieliikenteen biopolttoaineet Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa [Korjula\\_kandi \(lut.fi\)](#)

Koskinen, J. 2023. Kuorma-auton hankinnan arviointimalli pienelle kuljetusyritykselle. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.4.2024. Saatavissa <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202302152415>

Kuikka, O. 2015. Viranomaissäätelyn merkitys biopolttoaineiden tulevaisuudelle. Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/119944/Viranomaissa%CC%88a%CC%88telyn%20merkitys%20biopolttoaineiden%20tulevaisuudelle.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Laitinen, E. 2024. Vaihtoehtopolttoaineet henkilöauto-, työkone-, raskaan liikenteen sekä harrastekäytössä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.4.2024. Saatavissa [Laitinen\\_Emma.pdf \(theseus.fi\)](#)

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2023. Euroopan komissio ehdottaa raskaan kaluston CO<sub>2</sub>-päästörajoihin tiukennuksia. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa <https://lvm.fi/-/euroopan-komissio-ehdottaa-raskaan-kaluston-co2-paastorajoihin-tiukennuksia-1940087>

Link, S. & Plötz, P. 2022. Technical Feasibility of Heavy-Duty Battery-Electric Trucks for Urban and Regional Delivery in Germany—A Real-World Case Study. World Electric Vehicle Journal. Viitattu 30.3.2024. Saatavissa <https://www.mdpi.com/2032-6653/13/9/161>

Lumiaho, E. 2017. INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI KULJETUSYRITYKSESSÄ. Centria-ammattikorkeakoulu. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123862/Lumiaho\\_Essi.pdf;sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123862/Lumiaho_Essi.pdf;sequence=1)

Mayer, A. 2022. Fossil fuel dependence and energy insecurity. Energy, Sustainability and Society. Viitattu 30.3.2024. Saatavissa <https://link.springer.com/article/10.1186/s13705-022-00353-5>

Nieminen, J. 2023. Onko sähköauto oikeasti nollapäästöinen? Väre. Viitattu 2.3.2024. Saatavissa <https://vare.fi/onko-sahkoauto-oikeasti-nollapaastoinen/>

Norja, R. 2023. Energialähteiden vertailu raskaassa kalustossa. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 26.2.2024. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792560/Norja\\_Roni.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/792560/Norja_Roni.pdf?sequence=2)

Parviainen, A. 2019. Biokaasulla käyvä kuorma-auto on yhä harvinaisuus Suomen teillä – reilusta neljästäkymmenestä autosta puolet löytyy yhden yrityksen varikolta. Yle. Viitattu 3.2.2024. Saatavissa <https://yle.fi/a/3-10700595>

Pechout, M., Kotek, M., Jindra, P., Macoun, D., Hart, J. & Vojtisek-Lorn, M. 2019. Comparison of hydrogenated vegetable oil and biodiesel effects on combustion, unregulated and regulated gaseous pollutants and DPF regeneration procedure in a Euro6 car. The Science of the total environment. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719336873?via%3Dihub>

Puuinfo. 2020. Sahatavara ja sen jalosteet. Viitattu 6.4.2024. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavara/>

Ramadhas, A. 2011. Alternative Fuels for Transportation. E-kirja. Boca Raton: CRC Press. Viitattu 20.1.2024. Saatavissa <https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.1201/b16260/alternative-fuels-transportation-ramadhas>

Rebalski, E. 2016. A Ticket to Ride. The Market Potential for Electric Trucks in Urban Building and Construction. Lund University. Viitattu 16.2.2024. Saatavissa <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8895415&fileId=8895493>

Sahateollisuus ry. 2020. Ilmastoviisas sahateollisuus. Sahateollisuuden hiilitiekartta - raportti. Viitattu 6.4.2024. Saatavissa [https://www.sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st\\_hiilikartta\\_raportti.pdf](https://www.sahateollisuus.com/wp-content/uploads/2020/06/st_hiilikartta_raportti.pdf)

Scania. Biodiesel – vähähiilinen vaihtoehto. Viitattu 24.4.2024. Saatavissa <https://www.scania.com/fi/fi/home/about-scania/sustainability/vaihtoehtoiset-polttoaineet/fame.html>

Shell. HVO – Uusiutuva diesel. Viitattu 24.4.2024. Saatavissa <https://www.shell.fi/motorists/shell-fuels/hvo-renewable-diesel.html>

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. 2022. Tiedote: Valtion talousarvioesitys 2023 huomioi hyvin biokaasun ja ravinnekierrätyksen, mutta toimeenpano huolettaa. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa <https://biokierto.fi/tiedote-valtion-talousarvioesitys-2023-huomioi-hyvin-biokaasun-ja-ravinnekierrätyksen-mutta-toimeenpano-huolettaa/>

Syu-Ruei, J., Kang-Shin, C., Sheng-Lun, L., Yuan-Chung, L. & Way, C. 2016. Reducing pollutant emissions from a heavy-duty diesel engine by using hydrogen additions. Fuel. Viitattu 30.3.2024. Saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.032>

The International Council On Clean Transportation. 2016. A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa

[https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_Euro6-VI\\_briefing\\_june2016.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Euro6-VI_briefing_june2016.pdf)

Toivonen, L. 2023. Jäterasvojen käyttö biopolttoaineiden valmistuksessa.

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT. Viitattu 21.1.2024. Saatavissa

[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165536/Kandidaatinty%C3%B6\\_Toivonen\\_Lauri.pdf?sequence=1](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165536/Kandidaatinty%C3%B6_Toivonen_Lauri.pdf?sequence=1)

Wang, X., Song, G., Zhai, Z., Wu, Y., Yin, H. & Yu, L. 2021. Effects of Vehicle Load on Emissions of Heavy-Duty Diesel Trucks: A Study Based on Real-World Data. Outdoor and Indoor Air Quality. Viitattu 28.3.2024. Saatavissa [https://www.mdpi.com/1660-](https://www.mdpi.com/1660-4601/18/8/3877)

[4601/18/8/3877](https://www.mdpi.com/1660-4601/18/8/3877)

Zhao, Y., Onat, N., Kucukvar, M. & Tatari, O. 2016. Carbon and energy footprints of electric delivery trucks: A hybrid multi-regional input-output life cycle assessment.

Transportation Research Part D-transport and Environment. Viitattu 3.4.2024. Saatavissa

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920916303054?via%3Dihub>