



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Roni Norja

Energialähteiden vertailu raskaassa kalustossa

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Roni Norja

Työn nimi: Energialähteiden vertailu raskaassa kalustossa

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 37

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoella toimivalle Huhtala Logistics Oy:lle. Huhtala Logisticsin toimenkuvaan kuuluu kuljetustoiminta, sisälogistiikka ja varastointipalvelut. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä vertailua erilaisista raskaalle kalustolle tarjolla olevista energiamuodoista ja niiden eroista. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, mikä energiamuoto on tulevaisuuden kannalta toimivin ja vähäpäästöisin ratkaisu Huhtala Logistics Oy:n kuljetuskaluston käyttöön.

Työn teoriaosuudessa tutustuttiin erilaisiin jo olemassa oleviin energiamuotoihin, joita on tarjolla raskaan kaluston käyttöön. Lisäksi tutustuttiin erilaisten energiamuotojen teknisiin ratkaisuihin sekä jakeluinfrastruktuuriin ja vertailtiin niiden eroavaisuuksia.

Työn soveltavassa osassa vertailtiin eri energialähteiden päästöjä ja kustannuksia keskenään ja selvitettiin tulevaisuuden kannalta sopivin vaihtoehto Huhtala Logistics Oy:n käyttöön. Tämän opinnäytetyön tuloksissa tuli esiin, että raskaalle kalustolle suunnattujen energiamuotojen päästöissä ja kustannuksissa on eroja, jotka alkavat jo energiamuodon tuotannosta.

¹ Asiasanat: logistiikka, kuljetus, energia, päästöt, tulevaisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Roni Norja

Title of thesis: Comparison of energy sources in heavy equipment

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2023

Number of pages: 37

Number of appendices: 0

The thesis was made for Huhtala Logistics Oy, located in Seinäjoki. The job description of Huhtala Logistics includes transport operations, internal logistics and storage services. The goal of the thesis was to make a comparison of the various forms of energy available for heavy equipment and their differences, and to find out what the most functional and low-emission solution would be for the future in the use of Huhtala logistics Oy's transport equipment.

In the theory part of the work, different forms of energy and their technical solutions were studied, as well as the distribution infrastructure. In addition, the purpose was to discover what the most functional and low-emission solution for the use of Huhtala Logistics Oy's transport fleet would be in terms of the future. In the applied part of the thesis, different energy sources were compared and the most suitable option for the future was determined.

The applied part of the work compared the emission and costs of different energy sources and determined the most suitable alternative for Huhtala Logistics Oy's future use. The results of the thesis showed that there were differences in the emissions and costs of energy forms aimed at heavy equipment, which already start with the production of the energy form.

¹ Keywords: logistics, transport, energy, emissions, future

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 Johdanto	9
1.1 Työn taustaa	9
1.2 Työn tavoite	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Huhtala Logistics Oy	10
2 Liikenteen energiamuodot	11
2.1 Dieselpolttoaineet	12
2.1.1 Fossiilinen diesel	12
2.1.2 Biodiesel ja uusiutuva diesel	13
2.2 Metaani	13
2.2.1 LNG ja LBG	14
2.2.2 CNG ja CBG	15
2.3 Vety	16
2.4 Sähkö	16
3 Energiamuotojen jakeluinfrastruktuuri	17
3.1 Kaasun jakelu	17
3.2 Sähkön jakelu	17
3.3 Vedyen jakelu	18
4 Tekniset ratkaisut raskaassa kalustossa	19
4.1 Dieselmoottorin tekniikka	19
4.2 Kaasumoottorin tekniikka	19
4.3 Sähköajoneuvon tekniikka	21
4.4 Vetypolttokennon tekniikka	22

4.5	Hybriditekniikka.....	22
5	Energiamuotojen vertailu Huhtala Logistics Oy:ssä.....	24
5.1	Ajosuoritteet.....	24
5.2	Saatavuus ja hinta	25
5.3	Ympäristövaikutukset.....	26
6	Päästöjen laskenta	28
7	Tulokset ja pohdinta	31
	LÄHTEET	33

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Huhtala Logistics Oy:n nesteytetyllä kaasulla kulkeva Volvo Fh	15
Kuva 2. Volvo -FH. n LNG tankin ulkoiset komponentit.....	21
Kuvio 1. Arvio eri käyttövoimien ensirekisteröinneistä	11
Kuvio 2. Käyttövoimien valmistuksen ja käytön aiheuttamat CO ₂ e päästöt	30
Taulukko 1. Jakeluautojen ajosuoritteet vuodelta 2021.....	24
Taulukko 2. Energiamuotojen co ₂ e päästöjen yhteenveto	29
Taulukko 3. Energiamuotojen kustannukset	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

AOC	Ammonia oxidation catalyst tarkoittaa ammoniakin hapetuskatalyysaattoria, jonka tarkoituksena on suodattaa ammoniakkia SCR katalysaattorin jälkeisistä pakokaasupäästöistä.
CBG	Compressed biogas on paineistettua biometaania eli biokaasua.
CNG	Compressed natural gas on paineistettua maakaasua.
DOC	Diesel oxidation catalyst, eli dieselin hapetuskatalysaattori, jonka tarkoitus on vähentää hiilimonoksidi-, hiilivety- ja hiukkaspäästöjä.
DPF	Diesel particulate filter, joka on dieselautoissa käytetty hiukkas-suodatin, jolla suodatetaan palamattomia partikkeleita pakokaasusta ja estetään niiden kulkeutumista ilmaan pakokaasun mukana.
EGR	Exhaust gas recirculation on pakokaasun takaisinkiertäysjärjestelmä, jolla pyritään pienentämään pakokaasun typen oksideja.
EURO 6	Päästöstandardi, jolla säädetään ajoneuvon pakokaasupäästöjen enimmäisrajaa.
FAME	Fatty acid methyl ester on kasviöljyistä tai muista ravoista esteröimällä valmistettua biodieseliä.
HEV	Hybrid electric vehicle tarkoittaa kahdella eri voimanlähteellä toimivaa ajoneuvoa, jossa sähkömoottori saa energian polttomoottorin avulla, sekä ottamalla energiaa talteen jarrutusenergiasta ja rullauksesta.
HVO	Hydrotreated vegetable oil tarkoittaa uusiutuvista raaka-aineista valmistettua dieselpolttoainetta.

LBG	Liquefied biogas on nesteytettyä biometaania eli biokaasua.
LNG	Liquefied natural gas on nesteytettyä maakaasua.
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle tarkoittaa kahdella eri voimanlähteellä toimivaa ajoneuvoa, jota voidaan ladata pistokkeella.
SCR	Selective catalytic reduction tarkoittaa järjestelmää, jolla vähennetään pakokaasusta typen oksideja vesipitoista urealiuosta apuna käyttäen.
TTW	Tank to wheel on energiaketjun osa-alue, joka kuvaa energian kulutusta ajoneuvon käytössä.
WTT	Well to tank energiaketjun osa-alue, joka kuvaa energian tuotannon päästöjä ja energiatehokkuutta, eli sen valmistuksesta polttoainepumppuun tai latauspisteeseen.
WTW	Well to wheels kuvaa ajoneuvon energiamuodon aiheuttamat päästöt tuotannosta käyttöön. Voidaan jakaa energiaketjun osa-alueisiin WTT ja TTV.
Yhdistelmäajoneuvo	Vetoautosta ja perävaunusta muodostuva yhdistelmä.

1 Johdanto

1.1 Työn taustaa

Opinnäytetyössä tutkitaan hyötyajoneuvojen erilaisten energiavaihtoehtojen käyttömahdollisuuksia ja kustannuksia Huhtala Logistics Oy:ssä käyttöelinkaaren aikana. Työssä perehdytään tämänhetkiseen energiatarjontaan raskaan kaluston käytössä ja vertaillaan erilaisten energiamuotojen nykyistä tarjontaa. Lisäksi pohditaan tutkimusten kautta erilaisten energiamuotojen tulevaisuuden näkymiä Huhtala Logistics Oy:n kalustossa. Yritys haluaa toimia kestävän kehityksen tavoitteita silmällä pitäen ja mahdollisimman ekologisesti, panostaen luotettavaan ja vähäpäästöiseen ajoneuvokalustoon. Markkinoille tulee jatkuvasti uusia erilaisia kuorma-automalleja, joita voi valita erilaisilla energiavaihtoehtoilla. Tämän hetken kiinnostavin trendi on sähköllä kulkeva auto, jonka soveltuvuus kuljetustehtäviin kiinnostaa monia. Myös erityyppisiä kaasulla kulkevia ajoneuvoja on alkanut saapua markkinoille, sekä vielä tällä hetkellä yleisimmin käytetty diesel on saanut kilpailijakseen biodieselin ja uusiutuvan dieselin. Tekniikan kehittyessä ja muuttuessa Huhtala Logisticsilla oli tarve selvitykseen, mikä olisi yrityksen toimintaan sopivin vaihtoehto tarkasteltaessa yhtiön tulevaisuuden strategiaa.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli tehdä kattava selvitys erilaisten energiamuotojen käyttömahdollisuuksista Huhtala Logisticsin käytössä yrityksen omaa toimintaa silmällä pitäen. Tavoitteena oli myös selvittää, mikä energiamuoto kuljetuskalustoon olisi jakelujonossa järkevin vaihtoehto dieselin rinnalla tai mahdollisesti jopa täysin dieselin korvaava energiamuoto. Opinnäytetyössä tarkastellaan nestemäisten polttoaineiden ja muiden tarjolla olevien energiamuotojen tämänhetkistä tilannetta ja tulevaisuuden käyttömahdollisuuksia. Opinnäytetyössä vertaillaan myös energialähteiden jakeluinfrastruktuuria ja käyttökustannuksia, sekä näistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia ja päästöjä.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyössä tarkastellaan aluksi teoriassa erilaisia liikenteen energiamuotoja. Teoriaosassa käsitellään energiamuotojen valmistusprosesseja, sekä niiden käyttöä ajoneuvoissa. Teoriaosuuden jälkeen vertaillaan erilaisten polttoaineiden ja sähkön jakeluinfrastruktuuria ja pohditaan niiden tulevaisuuden näkymiä. Lisäksi pohditaan energiamuotojen kehitysmahdollisuuksia hyötyajoneuvokäytössä. Jakeluinfraktuurin analysoinnin jälkeen vertaillaan eri energiamuotojen kulutuksia, kustannuksia sekä päästöjä.

1.4 Huhtala Logistics Oy

Työn toimeksiantajana oli logistiikka-alan yhtiö Huhtala Logistics Oy. Yhtiön historia alkaa vuodesta 1978, ja siitä lähtien se on vähitellen kehittänyt toimintaansa logistiikka-alalla (SKAL, 2022). Huhtala Logistics Oy on kokonaisvaltainen logistiikkatalo, jonka palveluihin kuuluu kuljetustoiminnan ohella sisälogistiikka ja varastopalvelut. Yhtiö toimii pääosin Seinäjoelta käsin, sillä siellä sijaitsevat yrityksen toimitilat. Seinäjoen toimitilojen kautta ohjataan mm. elintarvikkeiden jakeluverkostoja ja varastointipalveluita, ja näin pystytään yhdistelemään suuriakin tavaravirtoja. Huhtala Logisticsin kuljetuskalusto koostuu enimmäkseen täysperävaunuyhdistelmistä, joilla ajetaan pidempää runkoliikennettä, sekä jakelukäytössä olevista kuorma-autoista, joilla hoidetaan lähijakelua ympäri maakuntaa. Valtaosa kuljetuskalustosta on dieselkäyttöisiä euro 6 päästöluokan ajoneuvoja. Yhtiön kalustosta löytyy tällä hetkellä jo yksi LNG/LBG-kaasulla liikkuva yhdistelmäajoneuvo, joka on ollut aktiivisessa käytössä jo lähes kolme vuotta. Monet ajoneuvoista ovat jatkuvasti liikkeessä, joten kilometrejä kertyy paljon vuoden aikana. Tämän vuoksi tarve kehittyä hiili-neutraalimmaksi yritykseksi on yhtiön kärkitavoitteita. Kestävä kehitys on Huhtala Logisticsille tärkeässä roolissa, ja se vaikuttaa yhtiön toimintaan, koska halutaan toimia ympäristöystävällisesti ja luontoa säästäen. Huhtala Logistics haluaa yhtiönä sitoutua luomaan päästötöntä tulevaisuutta ja mahdollistamaan myös työlleen jatkuvuuden.

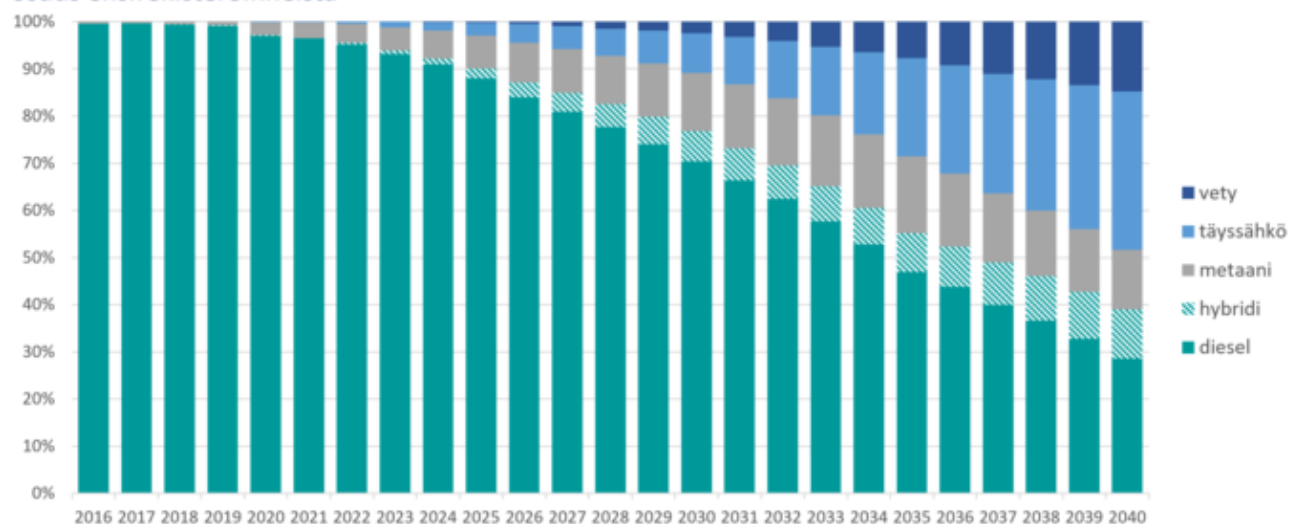
2 Liikenteen energiamuodot

Tulevaisuudessa pyritään siirtymään ympäristöystävällisempiin energiamuotoihin, sillä Liikenne ja viestintäviraston, vuonna 2020 julkaisemassa käyttövoimia koskevassa kansallisessa jakeluinfraohjelmassa on tavoitteeksi asetettu, että Suomen tieliikenne olisi lähestulkoon nollapäästöistä vuonna 2050 (Jääskeläinen, 2020, s.10). Tavoite vuoteen 2030 mennessä vaihtoehtoisten energiamuotojen käytölle on 40 prosenttia.

Nestemäisten polttoaineiden hinnat ovat myös nousseet viime aikoina merkittävästi johtuen osittain raaka-aineiden saatavuuden haasteista ja viimeaikaisesta maailmantilanteesta. Ensimmäinen merkittävä hinnannousu tapahtui maaliskuussa 2022, johtuen Venäjän ja Ukrainan sodasta ja Venäjältä tuodun raakaöljyn käytön vähenemisestä polttoaineiden valmistuksessa.

Kuviossa 1 on esitetty arvio eri käyttövoimien osuudesta kuorma-autojen ensirekisteröinneissä vuodelle 2040 asti.

osuus ensirekisteröinneistä



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

Liikenteen käytössä olevia energiamuotoja on tarjolla jo useita vaihtoehtoja. Pääpiirteittäin tämän hetken energiamuodot perustuvat polttomoottoritekniikkaan ja sähkötekniikkaan.

Polttoaineet voi olla nestemäisiä tai kaasumaisia, vaikka niiden moottoritekniikka olisi samanlaista. Nestemäisillä polttoaineilla tarkoitetaan energialähteitä, jotka kuljetetaan ja säilytetään olomuodoltaan nestemäisinä. Kaasumaisilla polttoaineilla tarkoitetaan energialähteitä, jotka kuljetetaan ja säilytetään olomuodoltaan kaasumaisina. Sähkötekniikkaan perustuvien ajoneuvojen energian varastointiin on myös erilaisia ratkaisuja.

2.1 Dieselpolttoaineet

Dieselpolttoaine on erilaisten hiilivetyjen sekoitus, jota syntyy maaöljyn kerrostislauksessa (Bauer ym., 2002, s.277). Dieselpolttoaineille on asetettu usein kansallisia vaatimuksia, kuten EN 590, joka on voimassa Euroopassa. Dieselmoottori ei tarvitse polttoaineseoksen sytyttämiseksi ulkoista kipinää, vaan se syttyy kuumuuden ja puristuksen seurauksena. Dieselin syttymisherkkyyteen vaikuttaa sen setaaniluku, joka on dieselin syttymisherkkyyden mitta. Nykymoottoreiden polttoaineen setaniluvun tulisi olla vähintään 50.

2.1.1 Fossiilinen diesel

Majewskin ja Jääskeläisen (2020) mukaan, dieselpolttoaine on sekoitus hiilivedyistä, joita saadaan raakaöljystä. Raakaöljyt voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, jotka ovat parafiiniset, nafteeniset ja aromaattiset hiilivedyt. Raakaöljyn jalostusprosessi koostuu pääasiassa kolmesta eri vaiheesta, jossa ensimmäisenä raakaöljyn komponentit erotetaan tislamalla useiksi virroiksi niiden kiehumislämpötilan perusteella. Tislauksen jälkeen yleisin prosessi on katalyyttinen krakkaus tai hydrokrakkaus, joiden tarkoitus on muuntaa raakaöljyn hiilivetyjä pienemmiksi. Viimeisenä vaiheena dieselpolttoaineelle tehdään vetykäsittely, jonka tarkoituksena on poistaa reaktiivisia yhdisteitä, kuten alkeenit, sekä rikki ja typpiyhdisteet.

Nestemäisistä polttoaineista tavallista dieseliä käytetään polttomoottorikäyttöisissä ajoneuvoissa energian lähteenä paljon, ja se on varsinkin raskaassa kalustossa vielä suosituin energialähde sen hyötysuhteen vuoksi (Autoalan Tiedotuskeskus, i.a.-a). Dieselin ongelmiksi on nykypäivänä tullut hintaerojen kaventuminen, sekä pakokaasupäästöt ja niiden rajoittaminen.

2.1.2 Biodiesel ja uusiutuva diesel

Perinteisen dieselin korvaajaksi on kehitelty biopolttoaineet, jotka on erilaisista biomassista valmistettuja polttoaineita (Motiva, 2006). Tärkeimmät syyt biopolttoaineiden käytön edistämiseen ovat kasvihuonekaasujen vähentäminen, uusiutuvan käytön edistäminen ja öljyvarojen ehtyminen. Nestemäisten biopolttoaineiden etuna on valmiina olevat jakeluasemat, joita voidaan hyödyntää niiden jakelussa, ja lisäksi ne soveltuvat jo olemassa olevaan ajoneuvokantaan joissain määrin (Autoalan Tiedotuskeskus, i.a.-c). Nykypäivän dieselit sisältävät biokomponentteja tiettyjen laatukriteereiden mukaisesti, ja tavoitteena olisi nostaa biokomponenttien määrää vuoteen 2030 mennessä vähintään 30 prosenttia. Biopolttoaineita voidaan käyttää myös sekoittamalla niitä fossiiliseen polttoaineeseen sellaisenaan. Ajoneuvojen teknisistä syistä biokomponenttisisältöä voidaan joutua kuitenkin rajoittamaan. Dieselistä on saatavilla biodieseliä FAME eli Fatty Acid Methyl Ester sekä uusiutuvaa dieseliä HVO eli Hydrotreated Vegetable Oil. Ero näiden välillä on niiden valmistusprosessissa. Perinteisen FAME-tyyppisen Biodieselin valmistus tapahtuu esteröimällä kasviöljystä tai muista rasvoista, kun taas uusiutuva HVO-diesel valmistetaan erilaisista jätteistä ja tähteistä, jonka jälkeen ne vetykäsittelään kuumassa sekä puhdistetaan. Uusiutuva HVO-diesel soveltuu kaikkiin dieselmoottoreihin, kun taas FAME-biodieselit eivät välttämättä sovi kaikkiin ajoneuvoihin, ja osa valmistajista on jopa kieltänyt sen käytön tuotteissaan. Nesteen (i.a.-b) mukaan uusiutuvaa dieseliä käyttämällä autoilun hiilijalanjälkeä voitaisiin vähentää jopa 90 prosenttia.

2.2 Metaani

Liikenteen polttoaineena metaania, eli tuttavallisemmin kaasua, on saatavilla nesteytettynä sekä paineistettuna. Metaani on kaasumaista polttoainetta, jota valmistetaan fossiilisesta maakaasusta tai bioperäisesti valmistetusta biokaasusta. Metaania syntyy orgaanisen aineen hajoamisprosessista (Autoalan Tiedotuskeskus, i.a.-b). Biometaania syntyy esimerkiksi kaatopaikoilla ja teollisuuden laitoksissa sivutuotteena, joka otetaan talteen. Raaka-biokaasu sisältää paljon hiilidioksidia ja vesihöyryä, jotka täytyy poistaa ennen valmistusta. Puhdistamisen jälkeen biokaasu on ominaisuuksiltaan vastaavaa kuin maakaasu.

Kaasun etuna on sen vähäpäästöisyys, ja etenkin hyötyajoneuvoissa ero on suuri verrattuna dieselkäyttöisen ajoneuvon päästöihin. Suurimmat erot dieseliin verrattuna ovat typen oksidipäästöissä ja hiilidioksidipäästöissä, koska hiilisisältö on metaanissa pienempi, kuin dieselissä. Eloperäisen materiaalin hajoamisesta tuotettu metaani on erittäin ekologista, sillä metaani on kasvihuonekaasu, jonka käyttö liikenteessä vähentää ympäristön kuormitusta. Vähäpäästöisiin hyötyajoneuvoihin, kuten kaasukäyttöisiin kuorma-autoihin, on mahdollista saada myös tukea valtiolta (Liikenne- ja viestintävirasto, (i.a.). Yritys voi hakea tukea enintään viidelle ajoneuville, jos ajoneuvon pääasiallisena energian lähteenä on kaasu. Tuen määrä riippuu ajoneuvon suurimmasta sallitusta massasta tieliikenteessä ja käytettävästä kaasutyypistä. Raskaalle ajoneuville, jonka suurin sallittu massa tieliikenteeseen on vähintään 16000 kg, voi saada tukea enintään 14000 euroa. Kaasu voi olla paineistettua kaasua, eli CNG, tai nesteytettyä LNG (Gasum, i.a.-b). Nesteytetyllä kaasulla saadaan pienennettyä sen tilavuutta jopa 600 kertaisesti, mikä helpottaa sen jakelua ja varastointia. Vuonna 2021 kaasukäyttöisiä kuorma-autoja rekisteröitiin yhteensä 96 kappaletta, mikä oli noin kolmanneksen enemmän kahteen edeltäneeseen vuoteen.

2.2.1 LNG ja LBG

Nesteytetty maakaasu LNG, eli Liquefied Natural Gas, ja nesteytetty biokaasu LBG, eli Liquefied Biogas, ovat metaanista koostuvaa polttoainetta. LNG ja LBG voidaan luokitella kaasuksi, mutta ne varastoidaan olomuodoltaan nestemäisinä. Nesteytys onnistuu jäähdyttämällä kaasu vähintään -163 celsiusasteiseksi (Suomen biovoima 2019). Jäähdyttäminen riittävän kylmäksi onnistuu, kun kaasua paineistetaan samaan aikaan. Sekä LNG että LBG jäähdytys tapahtuu samalla tavalla. Nesteytetyn maakaasun ja biometaanin tilavuus puristettuna on 600- kertainen verrattuna tilanteeseen, jossa se olisi ilmakehässä. Tämän avulla sitä voidaan varastoida ja kuljettaa helpommin, jolloin sitä mahtuu myös enemmän kerralla säiliöön. LNG:n ja LBG:n etuna on se, että niitä saadaan enemmän kerralla pieneneen tilavuuteen, kuin ilman nesteytystä. Nesteytetty kaasu käytännössä riittää pidempään, ja näin ollen ajoneuvokäytössä saadaan pidemmät toimintasäteet. Nesteytetyt kaasut ovat tarkoitettu käytettäväksi ajoneuvoissa, jotka liikkuvat lähes jatkuvasti. Kuvassa 1 on Huhtala Logistics Oy:n nesteytetyllä kaasulla kulkeva Volvo FH tankkaamassa Gasumin tankkausasemalla.



Kuva 1. Huhtala Logistics Oy:n nesteytetyllä kaasulla kulkeva Volvo Fh (Mikkola, 2020)

2.2.2 CNG ja CBG

Nesteytetyn kaasun lisäksi saatavilla on paineistettua maakaasua CNG (Compressed Natural Gas) sekä paineistettua biokaasua CBG (Compressed biogas) (Gasum 2022b). Paineistettu maakaasu ja biometaani on tarkoitettu lähinnä henkilöautoihin, pakettiautoihin sekä jakeluliikenteen kuorma-autoihin ja busseihin. CNG ja CBG säilytetään ja tankataan 200 baarin paineisena.

2.3 Vety

Vety on energiamuotona varsin vieras käsite, eikä vetytekniikka ole päässyt valtaamaan Suomen markkinoita käytännössä vielä ollenkaan. Lehtisen ja Rantalan (2012, s.41) mukaan vety ei ole suoranaisesti energianlähde, vaan se on pikemminkin energian kantaja, kuten sähkö. Vedyn hyödyt polttoainekäytössä riippuvat pitkälti siitä, miten se on tuotettu. Vedyn tuotannon teolliset prosessit sähköön tai maakaasun avulla ovat jo hyvin valmiiksi kehiteltyjä. Brofeldt (2015, 1:24) kertoo, että vetyä voidaan tuottaa elektrolyysin lisäksi ottamalla sitä talteen sivutuotteena muun teollisuuden kemiallisista prosesseista. Vedyn valmistukseen tarvitaan aina energiaa, sillä se täytyy valmistaa erikseen hajottamalla vedestä vetyä ja happea (Motiva 2022a). Valmistukseen käytettäväksi energiaksi voi käydä lähes mikä tahansa aurinkoenergiasta ydinvoimaan. Vedyn varastointiin ajoneuvoissa tarvitaan Lehtisen ja Rantalan (2012, s.41) mukaan suuri säiliö, jonne vety pakataan 350 tai 700 baarin paineeseen. Polttoaineena vetykaasua voidaan myös nesteyttää, jos sen jäähdytetään -253 celsiusasteiseksi. Vety on energialähteenä vielä vähäisessä käytössä ja jäänyt sähköistämisen ja muiden vaihtoehtoisten tekniikoiden varjoon, mutta henkilöautojen lisäksi vetypolttokennolla toimivia kuorma-autojakin on kuitenkin jo valmistettu (Kuljetusyritys, 2020).

2.4 Sähkö

Raskaan kaluston energiamuotona sähköön osuus on vielä varsin pieni (Autoalan tiedotuskeskus 2022a). Vuoden 2020 tammikuusta vuoden 2022 huhtikuuhun ensirekisteröityjä sähkökuorma-autoja on rekisteröity 13 kpl. Ensirekisteröintien määrä on kasvanut jo sen verran, että sähkökäyttöisiä kuorma-autoja rekisteröitiin 2022 tammi-huhtikuun aikana miltei saman verran, mitä sitä edeltävän kahden vuoden aikana on rekisteröity yhteensä. Sähkö on kuitenkin osoittanut yleistymisen merkkejä myös raskaan kaluston käytössä etenkin lähiliikenteessä ja jakeluajossa. Sähkökuorma-autojen toimintasäde alkaa olla jo inhimillinen lähiliikenteeseen, jossa ajomatkat ovat lyhyitä ja pysähdyksiä paljon. Toimintasäteeseen vaikuttaa ajoneuvon painon ja ajo-olosuhteiden lisäksi akkujen kapasiteetti ja määrä. Tällä hetkellä sähkökuorma-autojen toimintasäteet ovat noin 200–300 km luokkaa.

3 Energiamuotojen jakeluinfrastruktuuri

Vähäpäästöiseen liikenteeseen siirtyminen edellyttää Särkijärven ym. (2018, s. 41) mukaan riittävän kattavaa uuden jakeluinfran toteuttamista ja mahdollisesti myös riittäviä tukirahoituksia kattavan jakeluverkoston mahdollistamiseen.

Nestemäisille dieselpolttoaineille Suomessa on olemassa jo hyvin kattava verkosto, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi uusiutuvien dieseliin- ja biopolttoaineiden jakelussa. Tunnettujen polttoaineiden jakelijoiden useilla asemilla onkin jo mahdollisuus tankata uusiutuvaa tai bioperäisesti valmistettua dieseliä.

3.1 Kaasun jakelu

Kaasukäyttöisille ajoneuvoille alkaa myös olemaan useita jakeluasemia Suomessa. Jakeluasemat ovat sijoittuneet vielä pääosin suurempiin kaupunkeihin. Raskaan kaluston käyttöön tarkoitetut kaasun jakeluasemat sijaitsevat tällä hetkellä pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomessa, ja pohjoisin kaasuasema sijaitsee tällä hetkellä Oulussa (Gasum, i.a.-e). Gasum rakentaa uusia asemia jatkuvasti lisää, ja se tiivistää tulevaisuudessa kaasun jakeluverkostoa ja mahdollistaa samalla raskaan liikenteen tavarankuljetuksia kaasulla pidempiä matkoja. Gasum on tällä hetkellä suurin toimija kaasun jakelussa. Kaasun tankkaamiseen voisi käyttää myös paikallisia biokaasun tuottajia. Esimerkiksi Nurmon bioenergia Oy on hakenut kaavoitusta biokaasulaitoksesta, jossa valmistettaisiin bioenergiaa hyödyntämällä alueen alkutuotannon, teollisuuden ja yhdyskunnan sivutuotteita (Seinäjoen kaupunki, s.4).

3.2 Sähkön jakelu

Sähkön käyttö raskaassa kalustossa edellyttäisi riittävän kattavia latausmahdollisuuksia. Tässä vaiheessa raskaille ajoneuvoille ei ole julkisia latauspisteitä kattavasti saatavilla, vaan ne täytyy pääasiassa ladata omassa lataustukikohdassa. Lataus voi tapahtua esimerkiksi terminaalisissa kuorman lastauksen ja purkamisen yhteydessä tai auton ollessa yöllä pysähdyksissä. Engdahl (29.11.2021) kertoo, että Volvo on suunnitellut investoivansa latausasemia seuraavan viiden vuoden aikana vähintään 1700 kappaletta ja myös samalla ylläpitää niitä. Latausasemat olisivat tulossa paikkoihin, joissa autot usein käyvät tai

seisovat. Paikat latausasemille voivat sijaita esimerkiksi huoltoasemilla tai terminaali-alueilla. Samaa latausverkostoa voidaan hyödyntää myös ladattavissa hybridikuorma-autoissa. Volvon 43 kilowatin vaihtovirtalaturilla kuorma-auton lataaminen tyhjästä täyteen vie noin 10 tuntia, kun taas 250 kilowattisella tasavirtalaturilla päästäisiin 2 tunnin latausaikaan. Molempia latausmuotoja voitaisiin yhdistellä mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi ajoreitin aikana lataamalla tauoilla tai purun/lastauksen yhteydessä. Tasavirtalaturilla voitaisiin pidentää auton toimintamatkaa, ja auton seisoessa pidempään riittäisi myös vaihtovirtalataus.

Kun halutaan ladata esimerkiksi tehokkaalla tasavirtalatauksella, täytyisi mahdollisesti päivittää myös kiinteistön sähköverkostoa, jonne latauspisteitä sähkökuorma-autolle asennetaan. Nopeat laturit aiheuttavat suuria jännitepiikkejä, joita vanhat sähköverkot eivät välttämättä kestä. Sistosen (2021) mukaan kannattaa jo ensimmäistä laturia hankittaessa varautua latauskuormien kasvuun. Useampi latausasema yhdessä voi tarvita jo laajempia sähköverkon remontteja, sillä vanhat sähköverkot voivat riittää sellaisenaan vain yhdelle latausasemalle.

3.3 Vedyn jakelu

Suomessa vetyasemat eivät ole ottaneet vielä tuulta allensa. Ingvesin (2020) mukaan Voikoski Oy on kuitenkin rakentanut kaksi vetyasemaa Suomeen, ja niistä toinen rakennettiin yrityksen toimipaikalle Voikoskelle ja toinen Vuosaaren satamaan Helsinkiin. Vähäisen kysynnän vuoksi Vuosaaren asema on myyty ja Voikosken asema on tyhjillään. Lehtinen ja Rantala (2012, s.41) kertovat, että vedyn jakelu suoraan putkistojen kautta olisi teknisesti toimiva ratkaisu, eikä hyvä jakeluverkosto tarvitsisi kuin riittävän asiakasmäärän. Olomuodoltaan nestemäisen vedyn etuna on sen tankattavuus. Nestemäisen vedyn tankkaus on Brofeldtin (2015, 1:10) mukaan jopa turvallisempaa, kuin esimerkiksi bensiinin tankkaaminen, koska sitä tankatessa ei ilmaan pääse minkäänlaisia höyryjä.

4 Tekniset ratkaisut raskaassa kalustossa

4.1 Dieselmoottorin tekniikka

Dieselmoottori toimii sisäisellä seoksen muodostuksella ja itsesytytyksellä (Bauer ym., 2002, s. 418). Dieselmoottorissa ilman ja dieselpolttoaineen seos sytytetään puristuksen aiheuttaman lämpötilan nousun avulla. Dieselin ongelmina on kuitenkin suuret haittapäästöt ilman pakokaasujen jälkikäsittelyä sekä kiristyvät päästömääräykset (Bauer ym., 2002, s. 596). Etenkin korkeista hiukkaspäästöistä ja typen oksideista johtuen edellytetään nykyisissä dieselmoottoreissa monenlaisia jälkikäsittelylaitteita, joilla hallitaan ajoneuvojen päästöjä. Euro 6 luokan dieselajoneuvoissa pakokaasupäästöjen rajoittamiseen käytetään hapettavaa katalysaattoria DOC, joka hapettaa palamisesta aiheutuvia myrkyllisiä kaasuja puhtaammaksi. Pienhiukkasia pyritään suodattamaan DPF:n avulla, joka vähentää nokihiukkasten pääsyä ilmaan (Majewski, 2020, 2021, 2022). Pelkistyskatalysaattorilla (SCR) pelkistetään typen oksideita typpikaasuksi ja vesihöyryksi. Järjestelmän toiminta perustuu siihen, että kuumen pakokaasun sekaan ruiskutetaan urealiuosta. Yhdessä pelkistyskatalysaattorin kanssa tarvitaan ammoniakkisuodatin (AOC), joka poistaa SCR-järjestelmästä aiheutuvaa ammoniakkihöyryä. Lisäksi kierrättämällä pakokaasua takaisin EGR-järjestelmän kautta, saadaan alennettua pakokaasupäästöjä.

4.2 Kaasumoottorin tekniikka

Kaasukäyttöisistä kuorma-autoista on tarjolla teknisesti erilaisia ratkaisuja. Maakaasua ja biometaania on tarjolla paineistettuna, sekä nesteytettynä. Kokkosen (2018) mukaan paineistettu kaasu sopii paremmin lähiliikenteeseen ja jakeluun, kun taas nesteytetty kaasu on tarkoitettu pidemmille matkoille, sillä nesteytettynä kaasun energiamäärä on suurempi. Kylmässä varastoitava nesteytetty kaasu höyrystyy nopeasti, jos ajoneuvo on käyttämättä pidempään. Silloin kaasua voi päästä purkautumaan hukkaan ajoneuvon paineenhallintajärjestelmän kautta. Paineistetulla kaasulla ei ole tätä ongelmaa, sillä se on jo valmiiksi olomuodoltaan kaasumaista. Merkittävimpiä eroja kaasukäyttöisten kuorma-autojen tekniikassa on sytytyksen toteutus. Volvo on toteuttanut sen FH-mallissa käyttämällä dieseliä käynnistysvaiheessa ja sytytyksessä. Polttoaineen ruiskutus on toteutettu kahdessa vaiheessa, jossa esiruiskutuksessa syötetään dieseliä sytytystä varten ja varsinainen

korkeapaineruiskutus kaasulla. Tällaista moottorityyppiä voidaan kutsua nimellä dual fuel. Dieseliä käytetään sen vuoksi, että kaasulla ei ole riittävää puristusytytävyyttä, kuten dieselillä. Kokkonen (2018) kertoo, että valmistajan mukaan dieselin kulutus LNG-käytössä Volvossa on noin 5–10 prosenttia kulutetun kaasun määrästä. Paineistetulla kaasulla kulkevan Iveco Stralixsen sytytys on ratkaistu käyttämällä sytytystulppia. Myös Volvo käyttää kipinäsytytystä FE CNG -mallissaan (Volvotrucks, 2022a). Kipinäsytytyksen takia pakokaasujen jälkikäsitteilyyn riittää vain kolmitoimikatalysaattori, jolloin ei tarvita dieseljärjestelmässä olevaa SCR-järjestelmää tai hiukkassuodatinta (DPF). Kaasun edellyttämä tekniikka tuo kuitenkin noin 700 kg lisäpainoa ajoneuvon omamassaan (Scania, i.a.-a). Suomessa se ei pienennä kuitenkaan kuormauskapasiteettia, sillä vaihtoehtoisilla energiamuodoilla liikkuvien ajoneuvojen järjestelmistä aiheutuva lisäpaino voidaan lisätä yhdistelmän suurimpaan sallittuun kokonaismassaan, mutta kuitenkin maksimissaan 1000 kg.

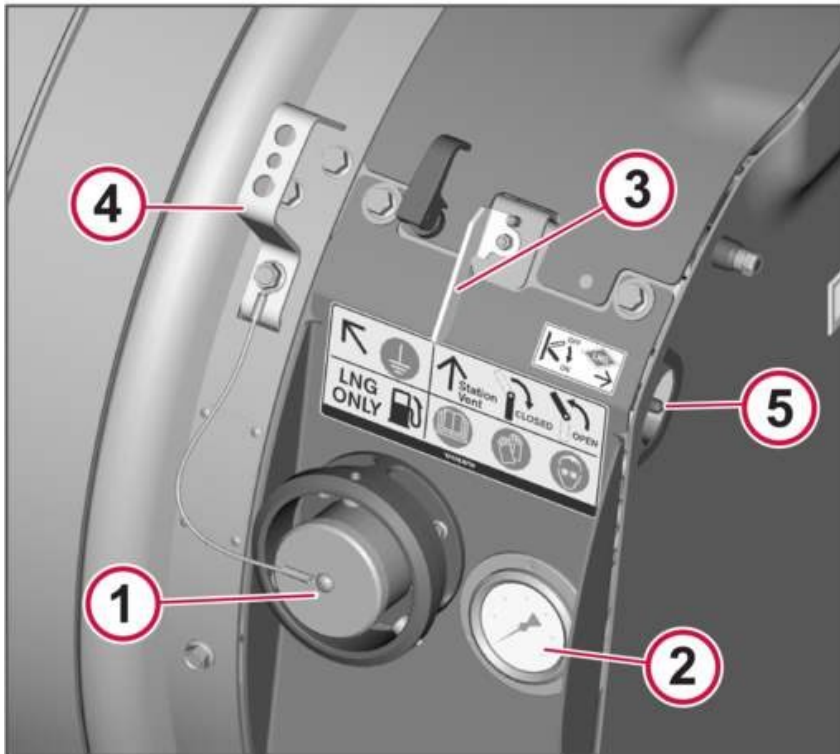
Paineistetun kaasun tankkaus on Kokkosen (2018) mukaan helppo ja siisti toimenpide. Nesteytetyn kaasun tankkaus sen sijaan vaatii riittävät suojavarusteet, johtuen nesteytetyn kaasuun matalasta lämpötilasta. Suojavarusteisiin kuuluvat peittävät vaatteet, pitkävartiset hanskat, kasvosuojus sekä varrelliset kengät (Volvotrucks, i.a.-a). Kun tarvittavat suojavarusteet on puettu, voidaan aloittaa tankkaus. Ensimmäisenä kiinnitetään tankkausaseman maadoituskaapeli ajoneuvon maadoitusliittimeen ja puhdistetaan paineilmalla tankkauspistokkeen pää sekä ajoneuvon tankkausliitäntä. Paineilmapuhdistuksella varmistetaan liitännän puhtaus ja tiiveys. Kun liittimet on puhdistettu, varmistetaan että paineenrajoitusventtiili on kiinni, jolloin voidaan kytkeä tankkausaseman suutin säiliöön. Jos painemittari näyttää paineen olevan yli 10 baaria, avataan paineenrajoitusventtiiliä sen verran, että paine laskee 10 baariin. Tämän jälkeen voidaan käynnistää tankkaus. Kapasiteetiltaan 205 kiloisin säiliön tankkaus kestää noin 10–15 minuuttia.

Kuvassa 2. on numeroituna Volvo FH -kuorma-auton LNG tankin ulkoiset komponentit, jossa

1. täyttöaukko
2. painemittari
3. paineenrajoitusventtiili

4. maadoitusliittimen paikka

5. LNG-pumpun hätäkatkaisin



Kuva 2. Volvo -FH. n LNG tankin ulkoiset komponentit (Volvotrucks, i.a.-a)

4.3 Sähköajoneuvon tekniikka

Täyssähköauton energiavarastona toimii akusto ja voimanlähteenä sähkömoottori (Motiva 2006, 2022b). Sähkömoottorin pyörimisnopeutta ohjataan taajuusmuuttajalla, joka säättää auton ajonopeutta. Sähköisen voimansiirron toteutukseen ei ole olemassa vain yhtä oikeaa tapaa, sillä sähkömoottoreita voi olla yksi tai useampi sijoitettuna joko yksi isompi perinteiselle moottorin paikalle tai pienemmät jokaiselle pyörän navalle tai akselille. Sähköisen voimansiirron toteutustapa riippuu valmistajasta. Täyssähköauto saa sähköverkosta käyttämänsä energian, joka varastoidaan akkuihin. Sähköajoneuvon lataus tapahtuu sille suunnitellusta latauspisteestä.

Akkujen latausaikaan vaikuttaa akkujen koon ja määrän lisäksi käytetty lataustapa. Jos akut halutaan ladata nopeasti, käytetään siihen tehokasta tasavirtalaturia. Hitaampi lataus esimerkiksi yöaikaan, jos auto on muutenkin parkissa, voidaan akut ladata vaihtovirtalaturilla. Engdahlin mukaan 43 kilowattisella vaihtovirtalaturilla täyteen lataus kestää noin 10 tuntia ja enimmäisteholtaan 250 kilowattisella tasavirtalaturilla saadaan akku täyteen noin kahdessa tunnissa. Volvo FL Electric -mallin akkukapasiteetiksi on tarjolla 200–395 kWh, joka on toteutettu 3–6 akulla. Toimintasäteeksi luvataan maksimissaan 300 kilometriä (Volvo Trucks, 2022b). Scania on toteuttanut akustonsa 5–9 akulla, joiden kapasiteetti voi olla 165–300 kWh (Scania, i.a.-d). Toimintasäteeksi täydellä latauksella luvataan maksimissaan noin 250 kilometriä. Latauspistokkeena käytetään CCS (Combined Charging System) Type2 latausliitintä, joka mahdollistaa latauksen sekä tasavirralla että vaihtovirralla.

4.4 Vetypolttokennon tekniikka

Vetypolttokennon toiminta perustuu siihen, että säiliöihin varastoitu nestemäinen tai kaasumainen vety ohjataan polttokennoon kaasumaisena (Motiva 2006, 2022a). Kun vety reagoi hapen kanssa, siitä vapautuu elektroneja ja siitä taas syntyy sähköä. Käynniltään vetypolttokennoauto on hiljainen.

Vedyn hyvänä puolena on sen puhtaus, sillä sitä poltettaessa ei tule ympäristöön kuin vettä, jos se on tuotettu uusiutuvasti (Scania Suomi, i.a.-b.). Koska vedyn energiasisältö on Lehtisen ja Rantalan (2012, s.41) mukaan vain noin 30 prosenttia vastavasta maakaasun energiasisällön määrästä, vaatisi vety myös suuret ja raskaat säiliöt ajoneuvoihin, jotta saataisiin riittävän suuri toimintasäde vetypolttokennoauton toimintaan. Säiliöt vievät paljon tilaa ajoneuvon rakenteista ja lisäävät painoa.

4.5 Hybriditekniikka

Hybrid on ollut suosittu vaihtoehto henkilöautokäytössä jo jonkin aikaa. Pohjosen (2018) mukaan hybrid tarkoittaa, että ajoneuvossa käytetään useampaa kuin yhtä voimanlähdettä ja yleensä hybridiajoneuvo onkin perinteisen polttomoottorin ja sähkömoottorin yhdistelmä. Hybridistä on saatavilla HEV, eli itselataava hybrid ja PHEV, eli ladattava hybridi. Eroina näissä on lähinnä se, että HEV ottaa latausenergiansa ajoneuvon polttomoottorista ja

jarrutusenergiasta, kun taas PHEV-mallista ajoneuvoa voidaan energian talteenoton lisäksi myös ladata sähköverkosta, kun auto on pysäköitynä. Ladattavalla hybridillä päästään parempaan hyötysuhteeseen sähkön kanssa. Ainakin Scanialla on markkinoilla dieselmoottorin ja sähkömoottorin yhdistelmiä eli HEV- ja PHEV-kuorma-autoja (Scania, i.a.-c). HEV-mallissa on asennettuna 30 kWh kokoinen akku ja sen kantamaksi sähköllä luvataan 15 kilometriä. PHEV-mallissa taas on 90 kWh akku, jolle luvataan kantamaksi sähköllä 90 kilometriä. Lataus onnistuu mahdollisuuksien mukaan vaikka kesken työpäivän, sillä latausnopeudeksi luvataan noin 35 minuuttia 95 kW tasavirtalaturilla.

5 Energiamuotojen vertailu Huhtala Logistics Oy:ssä

5.1 Ajosuoritteet

Vertailussa otettiin tutkinnan kohteeksi Huhtala Logistics Oy:n kolmen eri jakeluauton ajosuoritteita vuodelta 2021. Ajoneuvot ovat kaksiakselisia euro 6 luokan dieselkuorma-autoja, joilla ajetaan jakeluajoa Seinäjoella ja lähikunnissa. Ajosuoritteet saatiin ajoneuvoihin asennettujen työajanseurantalaitteiden kautta. Tiedoista selviää kunkin ajoneuvon vuoden aikaiset kilometrit ja polttoaineen kulutukset. Lisäksi näistä saadaan selville myös vuoden aikaiset hiilidioksidipäästöt, jotka ovat suhteessa polttoaineen kulutuksen kanssa. Vertailussa otettiin huomioon näiden kolmen ajoneuvon kesikulutusten yhteinen keskiarvo.

Taulukko 1. Jakeluautojen ajosuoritteet vuodelta 2021.

	Kok.	CO2	Kok. PA	Ø	Ø l/100 km
	matka	kg	L	km/h	
Auto 1	78705,50	51154	19484,2	45,4	24,8
Auto 2	39560,80	32649,1	12434,1	21,1	31,4
Auto 3	75787,70	44458,4	16932,4	49,9	22,3
Keskiarvo:	64684,67	42753,83	16283,57	38,80	26,85

Ajoneuvojen keskimääräistä kilometrimäärää ja kesikulutusta käytetään muiden energiavaihtoehtojen päästöjen ja kustannusten vertailussa. Laskennan tarkoituksena oli selvittää dieselpolttoaineiden, maa- ja biokaasun sekä sähkön CO₂e-päästöt ja kilometrikustannukset euroina niillä kilometreillä, mitä jakeluautoihin oli keskimäärin kertynyt vuoden aikana. Dieselin päästöjä laskettaessa voidaan ottaa polttoaineen kulutus suoraan auton omasta datasta. Kaasun laskelmiin ei ole suoraan tarjolla vastaavanlaisia kulutustietoja, sillä Huhtala Logisticsin LNG Volvo on raskaampi, kuin opinnäytetyön kohteena olevat ajoneuvot. Keskimääräinen kaasun kulutus on arvioitava sen ominaispainon ja energiasisällön sekä saatavilla olevien vertailujen kautta. Kaasun kulutuksessa verrataan Huhtala Logisticsin LNG-käyttöisen Volvon kaasun kulutusta vastaavan

kokoisiin dieselkuorma-autoihin, joita yrityksellä on. Sähkökäyttöisen kuorma-auton energiakulutuksen laskelmiin ei myöskään ole dieselautojen kaltaisia kulutustietoja, joten laskuihin täytyy hyödyntää pelkästään vastaavan kokoisten kuorma-autojen energiakulutuksia. Tampereella on ollut kokeilussa 16-tonninen DAF LF 220 FA, jonka keskilutus oli vastaavan tyyppisessä ajossa 0,75 kW/km (Teknologiateollisuus, 2018).

5.2 Saatavuus ja hinta

Vertailtavista energiamuodoista saatavuudeltaan diesel on selvästi ylivoimaisin, sillä dieselin tankkausasemia on saatavilla keskimäärin hyvin lyhyillä etäisyyksillä. Suurimpia ja tunnetuimpia toimijoita dieselin jakelussa Suomessa ovat Neste Oyj, St1 Nordic Oy ja sen omistamat Shell-asemat Suomessa sekä Oy Teboil Ab.

Nesteen mukaan heillä on lähes 330 raskaalle kalustolle suunnattua tankkausasemaa, joista 270 asemalla on tarjolla erikseen kesä- ja talvilaatua (Neste, i.a. -c). St1 ja Shell raskaankaluston asemia asemakartan mukaan Suomesta löytyy yhteensä 145 kappaletta (St1, i.a). Teboilin ammattiliikenteelle suunnattuja asemia löytyy yhteensä 217 kappaletta (Teboil, i.a. -a). Keskimääräinen dieselin hinta 2022 tammikuusta lokakuuhun oli Tilastokeskuksen (2022) mukaan 2,16 €/L ja viimeisin, eli lokakuun hinta oli 2,17 €/L, jota käytettiin laskelmiin

St1-asemakartan mukaan heidän uusiutuvaa HVO-dieseliä on tarjolla Truck-asemilla yhteensä 24 Shell- ja St1-asemalla, jotka sijaitsevat Helsingin ja Ylivieskan välillä. (St1, i.a. -a). Neste Oyj:n tarjoamaa Neste My uusiutuvaa dieseliä on saatavilla yhteensä jo 49 truck asemalla, joista pohjoisin asema sijaitsee Rovaniemellä (Neste, i.a.-a). Teboilin myymää Green+ uusiutuvaa dieseliä on tarjolla yhteensä 39 asemalla (Teboil, i.a. -b). Sivuilla ei kerrottu erikseen niiden Truck-asemien määrää, jotka myivät uusiutuvaa dieseliä. Nesteen mukaan heidän uusiutuva MY diesel on hinnaltaan 25 senttiä kalliimpaa, kuin tavallinen fossiilinen diesel, jolloin sen hinnaksi tulisi tilastokeskuksen viimeisimmän litrahinnan mukaan 2,42 €/L.

Gasum on pohjoismainen energiayritys, jonka yhtenä toimialana on biokaasun tuottaminen ja jätejakeiden käsittely (Gasum, i.a. -a). Gasum kuljettaa myös maakaasua Suomeen ja

on suurin LNG:n jakelija. Kaasutankkausasemia Gasumilla oli tammikuussa 2022 Suomessa 38 kappaletta ja uusia rakenteilla olevia asemia 3 (Gasum, 2022a). Lisäksi muut toimijat rakentavat uusia kaasuasemia jakeluverkoston parantamiseksi. Biokaasu maksoi marraskuussa 2022 noin 2,05 €/kg alueella 1 ja 2,10 €/kg alueella 2, maakaasu 3,54 €/kg alueella 1 ja 3,61 €/kg alueella 2 (Gasum, i.a -d). Hinnan nousu on ollut merkittävä, sillä alkukesästä Gasumin hintatietojen mukaan maakaasu maksoi 2,58 €/kg ja biokaasu 1,95 €/kg alueella 1. Laskelmissa käytin hintana alueen 1 viimeisempää marraskuun hintaa. Alue 1 kattaa koko Suomen pois lukien alueen 2 asemat, joihin kuuluvat Helsinki Hermannin, Hämeenlinna, Kotka, Lohja ja Pori tankkausasemat.

Raskaan kaluston käyttöön julkisia latausasemia ei käytännössä vielä ole tarjolla samalla tavalla kuin henkilöautoille. Ajoneuvon latauspaikkana toimisi silloin oma latauspiste, joka on asennettu paikkaan, jossa ajoneuvo seisoo paikallaan eniten. Huhtala Logisticsin kohdalla lataus tapahtuisi toistaiseksi ainoastaan omalla terminaalilla, jonne täytyisi asentaa sähkökäyttöisen kuorma-auton tarvitsema latauspiste. Sähkön hinta riippuu yrityskohtaisesta sähkösopimuksesta ja kaupungin sähkönsiirtohinnoista. Laskelmiin käytin Tilastokeskuksen (i.a. -c) sivuilta löytämäni hintaa, joka on suuntaa antava arvio siitä, mitä sähkön hinta voisi olla. Hintaan sisältyi sähköenergian lisäksi siirtomaksu ja verot.

5.3 Ympäristövaikutukset

Ajoneuvojen ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella WTW (well to wheels) analyysillä (Volkswagen 2022). WTW-analyysi käsittää ajoneuvon energiamuodon aiheuttamat päästöt tuotannosta käyttöön. WTW-analyysi voidaan jakaa kahteen osaan alueeseen, joista toinen käsittelee energialähteen tuotannosta käyttöön aiheutuneita päästöjä ja toinen käytössä aiheutuvia päästöjä. Termi Tank to wheel (TTW) viittaa ajoneuvon energiaketjun osaan alueeseen. TTW kuvaa polttoaineen käyttöä ajoneuvossa ja päästöjä ajon aikana, kun taas termi Well to tank (WTT) kuvaa polttoaineen saannin aluetta energialähteen tuotannosta polttoaineen syöttöön, eli siirtoon latauspisteeseen tai polttoainepumppuun.

Edellä mainittuja hiilidioksidipäästöjä nestemäisen energialähteiden kohdalla on tarkasteltu lähinnä TTW-analyysillä, ja sähkön kohdalla on huomioitu vain valmistukseen käytetyt päästöt.

Päästölaskuissa otetaan kuitenkin huomioon hiilidioksidiekvivalentti CO₂e tai CO₂-ekv, joka on päästömitta eri kasvihuonepäästöjen yhteisvaikutukselle (Tilastokeskus, i.a. -b). Tällä voidaan laskea tuotettua hiilijalanjälkeä, eli päästöjen vaikutusta kasvihuoneilmiöön, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. Merkittävimpiä kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, vesihöyry, otsoni ja fluoratut kasvihuonekaasut (SVT, i.a.).

6 Päästöjen laskenta

Dieselmääräysten ajoneuvojen vuoden aikana aiheuttamat hiilidioksidipäästöt saadaan selville suoraan Huhtala Logisticsin kalustonseurantajärjestelmästä. Keskiarvo kolmen jakeluauton hiilidioksidipäästöistä vuoden aikana oli 42753,83 kg. Tämä jaettuna keskiarvoisilla kilometreillä tekee keskimääräisillä vuosikilometreillä 66 Kg co₂/100 km. Kun päästöissä otetaan huomioon myös hiilidioksidiekvivalentti, laskuissa käytetään Suomen ympäristökeskuksen (2022) Y-hiilari laskurista saatua dieselin co₂e päästökerrointa 2,67 kg co₂e/l, jonka kertomalla Huhtala Logisticsin kuorma-autojen polttoaineen keskikulutukseen 26,85 l/100 km saadaan co₂e päästökseen 71,69 kg/100 km. Kun käytetään uusiutuvaa dieseliä, jonka päästökertoimeksi oli ilmoitettu Suomen ympäristökeskuksen (2022) mukaan 0,35 kg co₂/l, päästökseen saataisiin vain 9,39 kg co₂/100 km. Kun huomioidaan myös energialähteen valmistuksesta aiheutuneet päästöt, tulisi dieselin päästökertoimeksi 3,24 kg co₂/l ja uusiutuvalle dieselille 1,134 kg co₂/l. Tällä periaatteella olisi päästöt dieselille 86,99 kg co₂e/100 km ja uusiutuvalle dieselille 30,45 kg co₂e/100 km.

Tarkkoja vastaavan kokoisen kaasukäyttöisen kuorma-auton energiakulutustietoja voidaan vaan arvioida, sillä konkreettisia vertailutuloksia ei ole. Espoon kaupungin (2022) kestävän kehityksen projektia varten tehdyistä laskelmista kuitenkin selviää, että dieselmääräysten kuorma-auton kulutus litroina vastaa lähes samaa, kuin kaasukuorma-autolla kiloina kaasu. Myös Gasumin (i.a. -c) mukaan LNG-rekkaveturin kulutus verrataan vastaavan kokoiseen dieselrekkaveturiin. Tämä vahvistaa myös vertailua Huhtala Logisticsin kaasukäyttöisen kuorma-auton ja vastaavan kokoisten dieselkuorma-autojen kulutustietoja, joten käytin laskelmiin kaasusta samaa kulutuslukemaa kiloina. Eli jos kaasukuorma auton kulutus olisi 26,85 kg/100 km kerrottuna Suomen ympäristökeskuksen (2022) ilmoittamaan maakaasun päästökertoimeen 2,68 co₂e/kg mukaan hiilijalanjälki olisi 79,96 kg/100 km. Gasumin (i.a.-c) ilmoittamaan LBG:n päästöarvoon 0,39 kg CO₂/kg tulisi Gasumin biokaasua käytettäessä päästökseen vain 10,47 kg/100 km. Energialähteiden valmistus huomioituna olisi maakaasun päästökerroin 3,07 kg CO₂/L ja biokaasun 1,51 kg CO₂/L. Näiden perusteella maakaasun aiheuttama päästö olisi 82,42 kg CO₂e/100 km ja biokaasun 40,54 kg CO₂/100 km.

Sähkökäyttöisen kuorma-auton päästöjen laskentaan täytyi selvittää sähköntuotannon aiheuttamat päästöt, johon myös käytettiin Suomen ympäristökeskuksen (2022) hiilijalanjälkityökalun mukaista arvoa, jossa sähköntuotannon CO₂e päästö on 0,158 kg/kWh. Jos sähkökäyttöisen kuorma-auton energiakulutus olisi kesäaikaan noin 0,75 kWh/km, eli 75 kWh/100 km (Teknologiateollisuus, 2018), voitaisiin siitä laskea hiilidioksidipäästö kertomalla sähköntuotannon aiheuttama hiilidioksidipäästö energiankulutuksella kilometriä kohden, joka olisi 100 kilometrille 11,85 kg. Taulukosta 2 löytyy laskelmien tulokset käyttövoimittain, josta selviää jokaisen energiamuodon CO₂e päästöt. Taulukkoon on eritelty energiamuodon käytöstä aiheutuvat päästöt sekä yhdistetyt energiamuodon valmistuksen ja käytön aiheuttamat päästöt.

Taulukko 2. Energiamuotojen co₂e päästöjen yhteenveto

			Käyttö (TTW)	valmistus + käyttö
Käyttövoima	päästöarvo co ₂ e/l, kg, Kw	keskikulutus/100 km	co ₂ e päästö kg/100 km	co ₂ e päästö kg/100 km
Diesel	2,67	26,85	71,6895	86,994
Uusiutuva diesel	0,35	26,85	9,3975	30,4479
Biokaasu	0,39	26,85	10,4715	40,5435
Maakaasu	2,68	26,85	71,958	82,4295
Sähkö	0,158	75	11,85	11,85

Taulukko 3 havainnollistaa energiamuotojen aiheuttamaa kilometrikustannusta, joka on laskettu tutkimuksen hetkellisten hintojen mukaan ja arvioidun energiankulutuksen mukaan. Dieselille ja uusiutuvalle dieselille hinta on litroina, bio- ja maakaasulle kilogrammoina ja sähkölle kilowatteina.

Taulukko 3. Energiamuotojen kustannukset

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

Taulukon 4 pylväsdiagrammi havainnollistaa energiamuotojen päästöjä kilogrammoina 100 kilometriä kohden.



Kuvio 2. Käyttövoimien valmistuksen ja käytön aiheuttamat CO2e päästöt

7 Tulokset ja pohdinta

Tuloksista voidaan havaita, että polttoaineina käytettävistä energialähteistä uusiutuva diesel ja biokaasu ovat puhtaimpia tank to wheel -periaatteella, sekä valmistus huomioiden. Fossiiliset polttoaineet diesel ja maakaasu ovat kohtalaisen tasaväkisiä. Maakaasun valmistuksen päästökerroin on dieseliä pienempi, mikä tekee siitä puhtaamman, kun huomioidaan myös valmistuksen aiheuttamat päästöt. Sähkö on tulosten mukaan puhtain, mutta todellisuudessa siihen vaikuttaa tuotantotapa, sillä sähköä voidaan tuottaa monella eri tavalla. Kilometrikustannuksissa sähkö voittaa muut energiamuodot reilusti, mutta tässäkin täytyy ottaa huomioon sähkön hinta, joka riippuu täysin yrityksellä olevasta sähkösopimuksesta. Vaikka sähkö olisi tuplahintainen, olisi se silti huomattavasti halvempaa, kuin muut energiamuodot. Biokaasu ja fossiilinen diesel ovat suunnilleen samoissa hinnoissa, joiden jälkeen tulee uusiutuva diesel ja viimeisenä maakaasu.

Vertailussa täytyy ottaa huomioon, että energiamuotojen hinnat muuttuvat usein ja vallitseva maailmantilanne horjuttaa esimerkiksi maakaasun saantia, sillä Venäjältä toimitetun maakaasun saanti on epävarmaa, ja tilanne nostaa myös kaikkien muiden energialähteiden hintoja. Paras vaihtoehto päästöjen ja kustannusten kannalta olisi ehdottomasti sähkö, mutta tämänhetkisen sähkön saannin epävarmuuden vuoksi se ei välttämättä ole turvallisin vaihtoehto. Sen sijaan uusiutuva diesel ja biokaasu olisivat varteenotettavia vaihtoehtoja perinteisen dieselin korvaajaksi. Uusiutuva diesel olisi helpoin toteuttaa, sillä sitä voisi käyttää nykyisessä kalustossa sellaisenaan, ja tankkausverkosto alkaa olla jo riittävän laaja.

Vaikka sähkö onkin energiamuotona ylivoimaisiin, täytyy sähköajoneuvon kohdalla kuitenkin huomioida myös ajoneuvon hankintahinta ja jälleenmyyntiarvo. Opinnäytetyöprosessin aikana selvisi, että sähkökäyttöisen kuorma-auton hankintahinta olisi huomattavasti korkeampi vastaavaan dieselkäyttöiseen kuorma-autoon verrattuna. Prosessin aikana selvisi myös, että erilaisten kuorma-autojen hankintahinnat ovat ainoastaan valmistajan ja yrityksen välisiä tietoja. Tämän takia hankintahintoja ei voitu kirjata tähän opinnäytetyöhön. Hankintahintaa kuitenkin pienentää vähäpäästöisille ajoneuvoille valtiolta haettava hankintatuki, jota oli haettavissa 2022 marraskuuhun saakka.

Sähkökäyttöinen kuorma-auto on vielä varsin uusi ilmentys alan markkinoilla, eikä vielä ole varmaa tietoa niiden jälleenmyyntiarvosta. Lisäksi täytyy ottaa huomioon tämän hetken energiakriisin uhka. Kaasukäyttöisten ajoneuvojen osalta biokaasua käytettäessä saataisiin myös aikaan merkittäviä päästövähennyksiä verrattuna fossiiliseen dieseliin. Gasumin lisäksi uudet paikalliset biokaasuasemat voisivat tarjota tulevaisuudessa hyvät tankkausmahdollisuudet lisäten biokaasun jakeluinfrastruktuuria. Kaasun hinta on tämän vuoden aikana noussut enemmän suhteessa dieselin hintaan, vaikkakin molempien hinnat ovat vaihdelleet paljon.

Uusiutuvalla HVO-dieselillä pystyttäisiin pienentämään päästöjä myös merkittävästi, ja sitä olisi saatavilla jo monella johtavien tankkausasemaketjujen asemilla. Etuna on myös se, että sitä voidaan käyttää kaikissa dieselkäyttöisissä kuorma-autoissa sellaisenaan, jolloin se on helppo ottaa käyttöön. Uusiutuvan dieselin litrahinta vain on suhteellisen korkea. Vedystä ei tehty enempää tutkimuksia, sillä tämän hetken jakeluinfrastruktuuri vie siltä mahdollisuudet, eikä näkymiä asemista vielä ole, koska ei ole tankkaajakaan. Tilanne on siis molemminpuolinen. Tarvittaisiin vetyasemat sekä tankattava kalusto, että asemia rakennettaisiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisten energiamuotojen eroja raskaan kaluston käytössä. Työ oli aiheena kiinnostava ja tietoa löytyi työn edetessä paljon. Tutkimusongelmia kuitenkin tuli vastaan heti aluksi, ja oli vaikea päästä alkuun. Lopulta kuitenkin tietojen hankinnan ja teoriaosuuden valmistuttua alkoi työn kokonaiskuva muodostua. Teoriaa polttoaineista, tekniikasta ja jakeluinfrasta löytyi paljon, ja tavoitteena oli pitää kokonaiskuva järkevänä sulkematta mitään tärkeää pois. Aiheen rajaaminen tuotti hieman epävarmuuksia päästölaskennan suhteen, sillä laskelmia voi tehdä monet asiat huomioiden, kuten valmistus, varastointi ja kuljetus. Nämä eivät olleet kuitenkaan alkuperäinen tavoite, joten työssä keskityttiin enimmäkseen ajoneuvojen lähipäästöihin.

Tulevaisuuden jatkotutkimuksena aiheeseen liittyen olisi mielenkiintoista selvittää eri energiamuodoilla liikkuvien ajoneuvojen jälleenmyyntiarvoa ja koko elinkaaren aikaisia päästöjä, joissa käsiteltäisiin myös ylläpitokuluja.

LÄHTEET

Autoalan Tiedotuskeskus. (2.5.2022a). *Kuorma-autojen käyttövoimatilastot*.

https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/ensirekisteroinnit_kayttovoimittain/kuorma-autojen_kayttovoimatilastot

Autoalan Tiedotuskeskus. (14.10. 2022b). *Polttonesteiden kuluttajahinnat*.

https://www.aut.fi/tilastot/verotus_hintakehitys_ja_liikennemenot/bensiinin_ja_dieselin_hintakehitys

Autoalan Tiedotuskeskus. (i.a.-a). *Dieselmoottori on energiatehokas ja taloudellinen*.

https://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/diesel

Autoalan Tiedotuskeskus. (i.a.-b). *Bio- ja maakaasu*. https://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/bio-_ja_maakaasu

Autoalan Tiedotuskeskus. (i.a.-c). *Nestemäiset biopolttoaineet*. https://www.aut.fi/tieliikenne/polttoaineet_ja_kayttovoimat/biopolttoaineet

Bauer, H., Boström, B., & Haapaniemi, H. (2003). *Autoteknillinen taskukirja* (6. p.). Autoalan koulutuskeskus.

Brofeldt A. (16.11.2015). *Näin tankataan vetyä autoon* [video]. Iltasanomat.

<https://www.is.fi/autot/art-2000001036471.html>

Engdahl, H. (29.11.2021). *Toimiva latausstrategia laajentaa sähkökuorma-auton kantamaa*. Volvotrucks.

<https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/news/insights/articles/2021/nov/How-a-good-charging-strategy-can-extend-an-electric-trucks-range.html>

Espoon kaupunki. (28.4.2022). *Voitaisiinko diesel korvata biokaasulla kaupungin kuorma-autoissa?*.

<https://www.espoo.fi/fi/artikkelit/voitaisiinko-diesel-korvata-biokaasulla-kaupungin-kuorma-autoissa>

Gasum. (19.1.2022a). *Gasum seuraa tankkausasemiensa toimintaa tarkasti – myös jokainen asiakaspalaute huomioidaan*.

<https://www.gasum.com/ajassa/puhdas-liikenne/2022/gasum-seuraa-tankkausasemiensa-toimintaa-tarkasti/>

Gasum. (2022b). *Liikennekaasu CNG ja CBG*. <https://www.gasum.com/kaasusta/liikennekaasu-cng/>

Gasum. (i.a.-a). *Gasum lyhyesti*. <https://www.gasum.com/gasum-yrityksena/organisaatio/gasum-lyhyesti/>

Gasum. (i.a.-b). *Kaasusta*. <https://www.gasum.com/kaasusta/>

Gasum. (i.a.-c). *Kuljeta tehokkaasti kaasulla – säästät kuluissa ja päästöissä.* <https://www.gasum.com/Yrityksille/puhdas-liikenne/kuljeta-kaasulla/kuljeta-tehokkaasti-kaasulla/#laskuri>

Gasum. (i.a.-d). *Maa- ja biokaasun hinnat tankkausasemilla.* <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>

Gasum. (i.a.-e). *Tankkausasemat.* <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>

Ingves, B. (2.1.2020). *Ruotsalaisyritys kehitti pohjoisiin oloihin soveltuvan vetyaseman konseptin – ostaisi Voikosken aseman.* Kauppalehti. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/ruotsalaisyritys-kehitti-pohjoisiin-oloihin-soveltuvan-vetyaseman-konseptin-ostaisi-voikosken-aseman/3ae152b1-ab6c-4d04-a0fe-f35319b0e6a6>

Jääskeläinen, S. (26.2.2020). *Liikenteen vaihtoehtojen käyttövoimien jakeluinfra – kansallisen ohjelman seuranta 2019.* Liikenne- ja viestintäministeriö. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162100/LVM_2020_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kokkonen, S. (2018). *Vaihtoehtona kaasukäyttöinen kuorma-auto.* Kuljetusyrittäjä. <https://www.skaf.fi/fi/ekuljetusyrittaja/vaihtoehtona-kaasukayttoinen-kuorma-auto>

Kokkonen, S. (2020). *Vähäpäästöinen tulevaisuus polttokennolla.* Kuljetusyrittäjä. <https://www.skaf.fi/fi/ekuljetusyrittaja/vahapaastoinen-tulevaisuus-polttokennolla>

Lehtinen, A., & Rantala, J (2012). *Autotekniikka 4: moottori.* Otava

Liikenne- ja viestintävirasto. (i.a.). *Hae hankintatukea sähkö- ja kaasukäyttöiselle kuorma-autolle.* <https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/hae-hankintatukea-sahko-ja-kaasukayttoiselle-kuorma-autolle?toggle=Tuen%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t%20s%C3%A4hk%C3%B6k%C3%A4ytt%C3%B6isen%20kuorma-auton%20ja%20s%C3%A4hk%C3%B6k%C3%A4ytt%C3%B6isen%20per%C3%A4vauun%20hankintaan&toggle=Tuen%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t%20kaasuk%C3%A4ytt%C3%B6isen%20kuorma-auton%20hankintaan>

Majewski, W.A. (2020). *Diesel Particulate Filters.* Dieselnet. <https://dieselnet.com/tech/dpf.php>

Majewski, W.A. (2021). *Diesel Oxidation Catalyst.* Dieselnet. https://dieselnet.com/tech/cat_doc.php

Majewski, W.A., (2022). *Selective Catalytic Reduction.* Dieselnet https://dieselnet.com/tech/cat_scr.php

Majewski, W.A. & Jääskeläinen H. (2020). *What is Diesel Fuel*.
https://dieselnet.com/tech/fuel_diesel.php

Mikkola, J. (27.01.2020). *Pohjois-Suomen ensimmäinen LNG-Volvo Huhtala Logistics Oy:lle* [valokuva]. Koneporssi. <https://koneporssi.com/kuljetuskalusto/pohjois-suomen-ensimmainen-Ing-volvo-huhtala-logistics-oylle/>

Motiva. (2006). *Vaihtoehtoiset polttoaineet*. https://www.motiva.fi/files/2131/Vaihtoehtoiset_polttoaineet_ja_ajoneuvot.pdf

Motiva. (22.4.2022.-a). *Polttokennoauto*. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava liikenne ja liikkuminen/valitse auto viisaasti/autotyyppi/polttokennoauto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/polttokennoauto)

Motiva. (12.5.2022.-b) *Sähkämoottorityypit*. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava liikenne ja liikkuminen/valitse auto viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit)

Motiva. (15.12.2022.-c). *Täyssähköauto*. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava liikenne ja liikkuminen/valitse auto viisaasti/autotyyppi/tayssahkoauto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi/tayssahkoauto)

Neste. (i.a.-b). *Asemat*. Neste MY. <https://nestemy.fi/asemat>

Neste. (i.a.-c). *Merkittävästi pienemmät päästöt*. <https://www.neste.fi/vastuulliset-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-polttoaineet/neste-my-uusiutuva-diesel/pienemmat-paastot>

Neste. (i.a.-a). *Nesteen truck- asemat- Aina paalupaikalla*. <https://www.neste.fi/truck-asemat-aina-paalupaikalla>

Pohjonen, P. (26.11.2018). *Mitä eroa on täyssähköautolla ja itselataavalla hybridillä*. <https://www.autotaloampeeri.fi/blogi/blogi-sahkoautotyyppit/>

Scania. (i.a.-a). *Bio- ja maakaasu*. <https://www.scania.com/fi/fi/home/about-scania/sustainability/vaihtoehtoiset-polttoaineet/biokaasu-maakaasu.html>

Scania. (i.a.-b). *Kuinka vetypolttokennolla varustettu sähkökuorma-auto toimii*. <https://www.scania.com/fi/fi/home/about-scania/newsroom/news/2021/how-does-a-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-work.html>

Scania. (i.a.-c). *Sähköhybridikuorma-autot*. <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/trucks/plug-in-hybrid-truck.html>

Scania. (i.a.-d). *Sähkökuorma-auto*. <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/trucks/battery-electric-truck.html>

Seinäjoen kaupunki (5.3.2019). *Kaupunkisuunnittelun ja kaavoituksen asemakaavan selostus*. <https://www.seinajoki.fi/wp-content/uploads/2020/04/51055-Selostus-KvHyv-2019-05-20.pdf>

Sistonen, S. (3.5.2021). *Millainen laturi sähköautolle*. <https://www.eltelnetworks.fi/ajankoh-taista/2021/millainen-laturi-sahkoautolle/>

SKAL. (11.6.2022). *Rohkeasti toimintaansa kehittävä Huhtala Logistics Oy on vuoden 2022 SKAL kuljetusyritys*. <https://www.skal.fi/fi/julkaisut/rohkeasti-toimintaansa-kehittava-huhtala-logistics-oy-vuoden-2022-skal-kuljetusyritys>

St1. (i.a.). *Asemahaku*. <https://www.st1.fi/asemahaku/?f=%7B%22stationTy-pes%22%3A%5B%22finland%2Ftruckstation%22%2C%22%21finland%2Fmarinestation%22%5D%2C%22services%22%3A%5B%22%21finland%2Fploq%22%5D%7D>

Suomen biovoima. (2019). *Kaasun kompressointi ja nesteytys*. <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasun-kompressointi-ja-nesteytys>

Suomen virallinen tilasto (SVT). i.a. *Kasvihuonekaasut*. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/khki/kas.html>

Suomen ympäristökeskus. (30.5.2022). *Y-HIILARI Hiilijalanjälki -työkalu*. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari

Teboil. (i.a. -a). *Asematyypit*. <https://www.teboil.fi/asemat/asematyypit/>

Teboil. (i.a. -b). *Asemahaku*. <https://www.teboil.fi/asemat/#f=Green%2B+Uusiutuva+Diesel.&q=>

Teknolohiateollisuus. (1.2.2018). *Sähköisen jakeluauton energiatehokkuus vakuuttaa*. Teknolohiateollisuus. <https://emobility.teknolohiateollisuus.fi/fi/sahkoisen-jakeluauton-energia-tehokkuus-vakuuttaa>

Tilastokeskus. (i.a.-a). *Polttonesteiden kuluttajahinnat*. https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/stat-fin_ehi_pxt_12ge.px/table/tableViewLayout1/

Tilastokeskus. (i.a. -b) *Hiilidioksidiekvilalentti*. <https://www.stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html>

Tilastokeskus. (i.a. -c) *Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin*. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12gx.px/

Volkswagen. (2022). *T is for Tank-to-wheel (TTW)*. Newsroom. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/t-is-for-tank-to-wheel-ttw-4865>

Volvotrucks. (2022a). *Volvo FE CNG. Kaasuvoimalla kohti nollapäästöjä*. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/trucks/volvo-fe/volvo-fe-cng.html>

Volvotrucks. (2022b). *Volvo FL Electric. Ovelta ovelle -toimitukset*. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>

Volvotrucks. (i.a.). *Tankkaus, LNG. Volvo-kuorma-auton Kuljettajan opas*. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/services/driver-support/driver-guide.html>