

Aaron Blasnialis

Vaihtoehtoiset dieselpolttoaineet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinööriytyö

23.5.2018

Tekijä Otsikko	Aaron Blasnialis Vaihtoehtoiset dieselpolttoaineet
Sivumäärä Aika	33 sivua 23.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Heikki Parviainen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työssä selvitettiin, mitä vaihtoehtoisia dieselpolttoaineita on olemassa ja mitä on tulossa, sekä vertailtiin niiden ympäristövaikutuksia ja sopivuutta dieselmootoreihin.</p> <p>Työ toteutettiin kirjallisuus- ja internetlähteisiin perustuvana tutkielmana. Tutkielma keskittyi pääasiassa tieliikenteen vaihtoehtoisiin dieselpolttoaineisiin, mutta vertailukohteena joissakin kohdissa käytettiin ottomootoria ja siihen soveltuvia polttoaineita. Dieselmootorin erittäin laajan käyttökohteiden kirjon vuoksi tutkielman esiin tuomat tiedot ja päätelmät liittyvät vahvasti ajoneuvojen lisäksi mm. työkoneisiin, laivoihin ja energiantuotantoon.</p> <p>Lainsäätäjät, ajoneuvovalmistajat ja öljy-yhtiöt ovat ottaneet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen yhdeksi tärkeimmistä kehittämiskohteistaan. EU on asettanut tiukkoja päästövähennystavoitteita mm. tieliikenteelle. Tavoitteiden saavuttamiseksi fossiiliseen dieseliin sekoitetaan erilaisia biokomponentteja kuten ensimmäisen sukupolven biodieseliä, FAMEa. Toisen sukupolven uusiutuvien dieselpolttoaineiden tuotanto EU:ssa tulee todennäköisesti yli kymmenkertaistumaan 2010-luvulla ja siten HVO:n osuus EU:n biodieseltuotannosta tulee olemaan yli 20 %.</p> <p>Biopolttoaineiden myrkylliset ja haitalliset päästöt ovat monilta osin fossiilisia verrokkejaan pienemmät. Esimerkiksi hiukkaspäästöt ovat massaltaan hyvin pienet, mutta hiukkasten lukumäärälliset päästöt saattavat olla verrattain suuret. Moottorin kuormitusasteen ja olosuhteiden vaikutus hiukkaspäästöihin on suuri. Oman vaikutuksensa hiukkasten kokoon ja lukumäärään tuo nykyaikaisten dieselmootorien hyvin korkeat ruiskutuspainet. Hiukkas-suodattimet poistavat suuren osan partikkeleista, mutta lisää tutkimuksia pitäisi tehdä pienimpien nanohiukkasten määrästä ja terveysvaikutuksista.</p> <p>Insinöörityön tuloksena syntyi selvitys nykyisistä ja lähitulevaisuuden vaihtoehtoisista dieselpolttoaineista, niiden valmistuksen ja käytön ympäristövaikutuksista sekä toimivuudesta dieselmootoreissa.</p>	
Avainsanat	uusiutuva diesel, biodiesel, HVO, FAME

Author Title	Aaron Blasniaalis Alternative Diesel Fuels
Number of Pages Date	33 pages 23 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructors	Heikki Parviainen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out for Metropolia University of Applied Sciences. The aim of this thesis was to examine different alternative diesel fuels available today and in the future. Their environmental effects and suitability for diesel engines were also examined.</p> <p>This Bachelor's thesis was carried out as a study based on literature and internet sources. The study focused mainly on alternative diesel fuels used in road vehicles, but Otto-cycle engine and suitable fuels for it were used sometimes for comparison. Due to diesel engines' very wide range of applications, the facts and conclusions in this thesis are strongly connected to machines, vessels and energy production as well as road transportation.</p> <p>Reducing greenhouse gas emissions has become one of the most important development areas for legislators, vehicle manufacturers and oil companies. EU has set strict targets for road transportation to reduce greenhouse gas emissions. To achieve the goals, first generation FAME-biodiesel has been mixed into fossil diesel fuel. The production of next generation renewable diesel fuel in the EU will most probably multiply by ten in 2010s, in other words, HVO will have a 20 % share of all biodiesel production in EU.</p> <p>Toxic and harmful emissions of biofuels are mostly smaller than their fossil counterparts. For example particle mass emissions are clearly smaller, but particle number may be relatively high. Conditions and engine load have great effect on particle emissions. Very high injection pressures of modern diesel engines, also affects particle size and number. Particulate filters remove major part of particles, but more studies of amount and health effects of nano particles should be carried out.</p> <p>As a result of this thesis a survey of alternative diesel fuels of present-day and near future was carried out. This survey also covers environmental effects of production and use of alternative diesel fuels.</p>	
Keywords	renewable diesel, biodiesel, HVO, FAME

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Dieselmoottori	2
2.1	Historia	2
2.2	Nykytilanne	2
2.3	Tulevaisuus	8
3	Päästömääräykset	9
4	Dieselpolttoaineet	10
4.1	Vaaditut ominaisuudet	10
4.2	Fossiilinen diesel	14
4.3	Biodiesel	15
4.3.1	Yleistä	15
4.3.2	Ensimmäisen sukupolven biodiesel	18
4.3.3	Toisen sukupolven biodiesel	19
4.3.4	Kolmannen sukupolven biodiesel	21
4.4	Dual Fuel	21
4.5	Pyrolyysi	22
4.6	Kasviöljyt	23
4.7	DME	23
4.8	Etanoli	24
4.9	Dieselpolttoaineiden vertailu	24
5	Päätelmät	26
	Lähteet	29

Lyhenteet ja käsitteet

BTL	Biomass to Liquids. Biomassasta valmistettu nestemäinen polttoaine.
CBG	Compressed Biogas. Paineistettu biokaasu.
CTL	Coal to Liquids. Kivihiilestä valmistettu nestemäinen polttoaine.
DME	Dimetyylieetteri.
Dual fuel	Dieselmoottori, jonka polttoaineeksi käy myös maa- tai biokaasu.
EJ	Eksajoule. Eksa, E on kerrannaisyksikkö 10^{18} . Joule on SI-järjestelmään kuuluva energian ja työn yksikkö.
FAME	Fatty Acid Methyl Ester. Rasvahapon metyyliesteri.
FT	Fischer-Tropsch. Menetelmä, jossa synteesikaasusta ($H_2 + CO$) valmistetaan katalyyttisellä reaktiolla nestemäisiä hiilivetyjä, kuten polttoaineita. Tässä työssä sillä tarkoitetaan kyseisellä menetelmällä valmistettua dieselpolttoainetta.
GTL	Gas to Liquids. Maa- tai biokaasusta valmistettu nestemäinen polttoaine.
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil. Vetykäsitelty kasviöljy.
NEDC	New European Driving Cycle. 1980-luvulla luotu eurooppalainen laboratorioissa suoritettava päästömittaussykli.
NEXBTL	Next Generation Biomass to Liquid. Nesteen markkinanimi HVO -tyyppiselle eläinrasvoista ja kasviöljyistä valmistetulle toisen sukupolven uusiutuvalla dieselpolttoaineelle.
RDE	Real Driving Emissions. Päästötesti, joka suoritetaan todellisessa liikenteessä.
RME	Rape seed Methyl Ester. Rapsiöljystä valmistettu metyyliesteri.

SME	Soybean Methyl Ester. Soijapavuista valmistettu metyyliesteri.
WLTP	Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure. 2017 käyttöön otettu NEDC:tä todenmukaisempi kevyiden ajoneuvojen päästömittaussykli.
λ	Lambda. $\lambda = 1$, silloin kun ilma-polttoaineseos on stoikiometrinen eli seoksen ilmassa riittää polttamaan kaiken polttoaineen täydellisesti. Lambda lasketaan jakamalla todellinen ilmassa stoikiometrisen seoksen vaatimalla teoreettisella ilmassalla. $\lambda < 1$ tarkoittaa rikasta ja $\lambda > 1$ laihaa seosta.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitä vaihtoehtoisia dieselpolttoaineita on olemassa ja mitä on tulossa sekä vertaillaan niiden ympäristövaikutuksia ja sopivuutta dieselmoottoriin.

Päättäjät, ajoneuvovalmistajat ja polttoaineyhtiöt ovat alkaneet kiinnittää huomiota ajoneuvojen käytöstä aiheutuvien päästöjen lisäksi sekä ajoneuvojen, että polttoaineiden koko elinkaaren aiheuttamiin päästöihin. Jos keskitytään vain auton ajotilanteessa tuotamiin päästöihin, saatetaan aiheuttaa enemmän esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjä maailmanlaajuisesti, kuin jollakin enemmän lähipäästöjä tuottavalla energianlähteellä. Sähköauto ei tuota lähipäästöjä lainkaan, mutta sen kokonaispäästöt voivat olla joko erittäin pienet tai suuret, riippuen sähkön valmistustavasta. Biopolttoaineetkin saattavat pahimmillaan olla fossiilisia polttoaineita huonompia ympäristölle, vaikka ne palaisivat puhtaammin ja olisivat tehty vain uusiutuvista raaka-aineista. Biopolttoaineiden ongelmana on ollut ruokakasvien käyttö raaka-aineena, jolloin ruoan hinta nousee ja joudutaan raivaamaan lisää peltopinta-alaa.

Biopolttoaineiden valmistajat ovat jo pitkään tutkineet jätteiden, tähteiden ja erilaisten biomassojen käyttöä polttoaineiden raaka-aineina. Viime vuosina jätteistä ja tähteistä valmistettuja nestemäisiä polttoaineita on tullut yleisesti myyntiin sekä fossiilisiin polttoaineisiin sekoitettuna, että sellaisenaan. Ympäristöystävällisempien raaka-aineiden lisäksi, esimerkiksi biodieselin laatu on parantunut huomattavasti uusien tuotantomenetelmien avulla. Toisen sukupolven uusiutuva diesel soveltuu nykyisiin dieselmoottoreihin sellaisenaan tai fossiiliseen dieseliin sekoitettuna.

EU ja Suomi ovat uusiutuvien dieselpolttoaineiden edelläkävijöitä. EU:n biodieselin valmistus ja käyttö ovat maailman huippuluokkaa. Vuonna 2017 Neste valmisti 60% maailman toisen sukupolven uusiutuvasta dieselistä (Vuosikertomus 2017, Neste 2017: 14). UPM käyttää selluteollisuuden tähteitä raaka-aineena uusiutuvalla huippuluokan dieselille (UPM Bioverno on uusiutuva kotimainen polttoaine 2018). Kemiin on suunnitteilla kiinalaisen Sunshine Kaidi New Energy Groupin biopolttoainejalostamo, jonka tarkoituksena on tehdä puusta toisen sukupolven uusiutuvaa dieseliä ja bensiniä (Kemin Biojalostamo).

Tämän insinööriyön alussa käsitellään dieselmoottorin kehitystä, ominaisuuksia ja tulevaisuuden näkymiä. Seuraavassa kappaleessa käsitellään EU:n päästötavoitteita ja määräyksiä, jonka jälkeen siirrytään dieselpolttoaineisiin yleisesti ja sen jälkeen yksittäisiin dieselpolttoaineisiin. Dieselpolttoaineluvun lopussa vertaillaan lyhyesti eri vaihtoehtoisten dieselpolttoaineiden ominaisuuksia liittyen niiden toimivuuteen, kokonaishiilidioksidipäästöihin sekä raaka-aineiden maankäytön tehokkuuteen. Päätelmät-kappaleessa ennustetaan lyhyesti liikenteen energianlähteiden lähitulevaisuutta ja kerrotaan ensimmäisen ja toisen sukupolven uusiutuvan dieselin tuotannon kehityksestä.

2 Dieselmoottori

2.1 Historia

Rudolf Diesel keksi puristussyttyteisen polttomoottorin, patentoi sen 1893 ja rakensi ensimmäisen toimivan prototyypin yhteistyössä MANin kanssa vuonna 1897. Moottori oli 3 metriä korkea ja painoi 4,5 tonnia. Dieselin alkuperäinen idea hiilipölyn käyttämisestä polttoaineena kumoutui, koska hänen kaavailmansa 250 baarin puristuspaine tiputettiin lopulta 90 baarin kautta 30 baariin. Polttoaineeksi kaavailtiin kerosiinia, mutta päädyttiin silti käyttämään bensiiniä, koska virheellisesti luultiin sen itsesyttymisominaisuuksien olevan kerosiinia paremmat. Dieselin suunnitelman pohjalla oli ranskalaisen fyysikon Sadi Carnot'n idea mahdollisimman suurella hyötysuhteella toimivasta lämpövoimakoneesta. Ensimmäiset dieselmoottorit olivat suuria ja raskaita, eikä niitä voinut käyttää ajoneuvojen voimanlähteenä. Dieselin ensimmäisen polttomoottorin hyötysuhde oli 26,2 %. Se oli aikakauden ottomoottoreihin verrattuna korkea. (Dietsche 2014: 3.)

Jo dieselmoottorin alkuaikoina mm. Rudolf Diesel itse kokeili erilaisia polttoaineita moottorissaan. Raakaa maapähkinäöljyä kaavailtiin polttoaineeksi esimerkiksi maatalouden dieselmoottoreihin, koska raskasta polttoöljyä ei ollut saatavilla joka paikassa. (History of Biodiesel Fuel 2018.) Biopolttoaineet eivät siis ole uusi keksintö.

2.2 Nykytilanne

Voelckerin [2014] mukaan maailman autojen lukumäärä ylitti miljardin ja vuoden 2010 aikana ja sen arvioidaan nousevan kahteen miljardiin vuoteen 2035 mennessä. (Wards

Auto.) Euroopassa oli vuonna 2015 yli 378 miljoonaa autoa (Vehicles in use Europe 2017: 8). Mukaan on laskettu henkilöautot, kevyet hyötyajoneuvot (< 3,5 t), linja-autot, keskiraskaat ja raskaat hyötyajoneuvot. Henkilöautoissa bensiini on käyttövoimana dieseliä hieman yleisempi, mutta kaikissa hyötyajoneuvoissa dieselöljy on ylivoimaisesti yleisin. Maakaasu, sähkö ja plug-in-hybridi, hybridi ja muut vaihtoehtoiset käyttövoimat kattoivat kaikissa ajoneuvoluokissa vain runsaat 3 %. Kuvassa 1 näkyy Euroopassa käytössä olevien autojen käyttövoimien prosenttiosuudet vuonna 2015.

Dieselmoottorin suuri suosio hyötyajoneuvoissa johtuu sen selkeästi ottomoottoria paremmasta hyötysuhteesta. Kokonaishyötysuhde lasketaan yhtälöllä 1 (Raatz & Grieshaber 2014: 22).

$$\eta_e = \frac{W_e}{W_B} \quad (1)$$

η_e on kokonaishyötysuhde

W_e on moottorin kampiakselilta saatava työ

W_B on käytetyn polttoaineen sisältämä energia

Fossiilisen dieselöljyn energiatiheytenä (alempi lämpöarvo) voidaan käyttää arvoa 42,5 MJ/kg (Ullmann ym. 2014: 38). 1 kWh on 3,6 MJ, joten dieselöljyn energiatiheys voidaan muuttaa muotoon 42,5 / 3,6 kWh/kg = 11,8 kWh/kg. Suoraruiskutteen, välijäähdytetyn ja turboahdetun raskaankaluston dieselmoottorin ominaiskulutus voi olla parhaimmillaan 190 g/kWh (Lackner ym. 2014: 15). Sijoitetaan arvot yhtälöön 1.

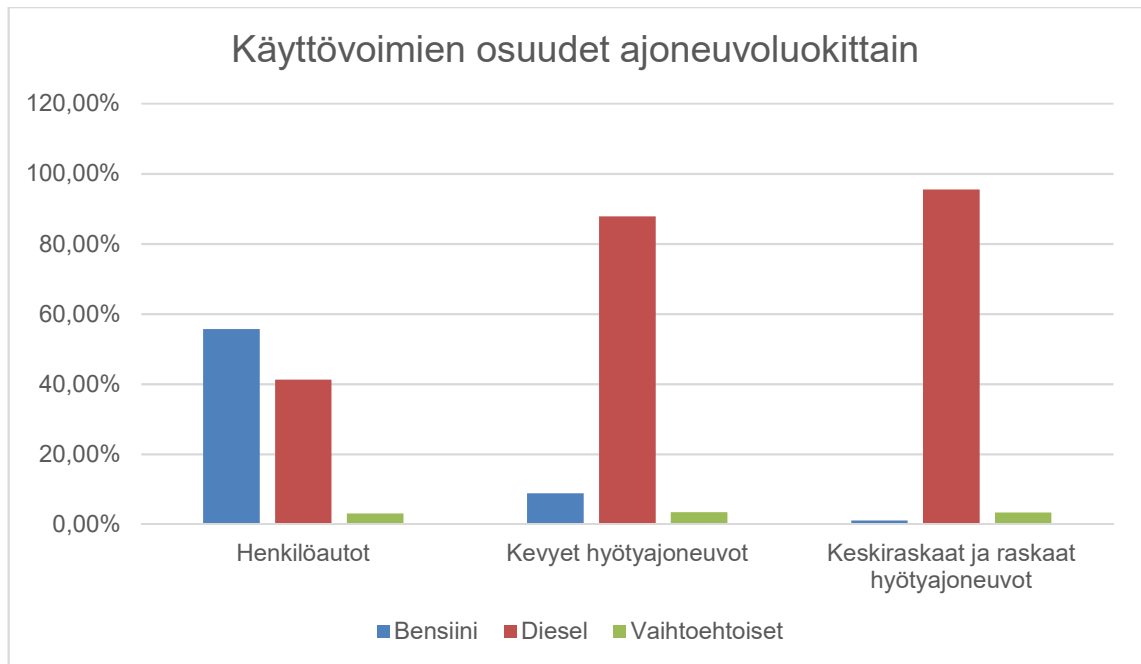
$$\eta_e = \frac{1 \text{ kW}}{0,190 \text{ kg} \cdot 11,8 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = \frac{1}{2,242} = 0,446 \quad (1)$$

$$0,446 \cdot 100\% = 44,6\%$$

$$\eta_e = 44,6\%$$

Raskaan kaluston dieselmoottorin kokonaishyötysuhde voi siis parhaimmillaan olla lähes 45 %. Lacknerin ym. (2014: 15) mukaan henkilöautonkin suoraruiskutteinen, välijäähdytetty ja turboahdettu dieselmoottori voi saavuttaa ominaiskulutuksen 195 g/kWh. Se tarkoittaa n. 43 prosentin kokonaishyötysuhdetta. Turboahdettu bensiinikäyttöinen ottomoottori saavuttaa parhaimmillaan 34 prosentin hyötysuhteen 250 g/kWh:n ominaiskulutuksella (Lackner ym. 2014: 15) ja bensiinin 41,8 MJ/kg energiatiheydellä (alempi lämpöarvo) (Ullmann & Allgeier 2015: 25). Sen lisäksi dieselöljyn energiatiheys tilavuusyksikköä kohti on bensiiniä suurempi. Valitaan esimerkiksi dieselin tiheydeksi 0,8325 kg/l, joka on puoliväli EN 590:2013 -standardin (Engman ym. 2016: 7) kesälaadun dieselin tiheyden raja-arvoista. Bensiinin tiheydeksi valitaan samalla tavalla SFS EN 228:2012 -standardin (Juva 2015: 19) mukaan 0,7475 kg/l. Diesel- ja ottomoottorin litramääräiset kulutukset olisivat siis $0,195 \text{ kg/kWh} / 0,8325 \text{ kg/l} = 0,234 \text{ l/kWh}$ (diesel) ja $0,250 \text{ kg/kWh} / 0,7475 \text{ kg/l} = 0,334 \text{ l/kWh}$ (bensini/ottomoottori). Tässä tilanteessa ottomoottorin kulutus l/kWh on siis 42,7 % dieselmoottoria suurempi.

Dieselöljyn laaja käyttöalue johtuu osittain myös bensiiniä reilusti korkeammasta leimahduspisteestä, joka tekee siitä huomattavasti turvallisemman polttoaineen. Dieselmoottori on kuitenkin ottomoottoria raskaampi ja kalliimpi sekä sisältää tiukempia toleransseja ja pienempiä välyksiä erityisesti ruiskutuslaitteiston kohdalla. Pienissä henkilöautoissa bensiinimoottori on ollut pitkään suosittu sen edullisuuden, yksinkertaisuuden ja helppohoitoisuuden vuoksi. Polttoaineenkulutus ei ole ollut lyhyille matkoille tarkoitetuissa henkilöautoissa kaikkein tärkein ominaisuus. Mitä suuremmasta kulkuvälineestä on kyse, sitä todennäköisemmin siinä on dieselmoottori. Lacknerin ym. (2014: 14–15) mukaan suurimmat dieselmoottorit ovat hidaskäyntisiä, 2-tahtisia laivanmoottoreita, joissa polttoaineena on raskas polttoöljy. Niiden kokonaishyötysuhde voi olla jopa 55 %.



Kuva 1. Euroopassa käytössä olevien ajoneuvojen käyttövoimien prosenttiosuudet ajoneuvoluokittain, vuonna 2015 (Vehicles in use Europe 2017: 12–14).

Nykyaikana diesel- ja ottomootoreiden ominaisuudet ovat lähentyneet toisiaan. Ottomootoreihin on saatu enemmän dieselmoottoria muistuttava vääntömomentti ja dieselmootoreista on saatu laajemmalla käyntinopeusalueella toimivia ja sivistyneempiä ääneltään ja toiminnaltaan. Dieselmootoreiden hiukkas- ja typenoksidipäästöjä on saatu vähennettyä kehittyneiden pakokaasun jälkikäsitteilylaitteiden avulla ja ottomootoreiden hyötysuhdetta on parannettu mm. ahtamisella ja moottorin tilavuuden pienentämisellä. Molempien moottorityyppien polttoaineensyöttöjärjestelmät ovat kehittyneet valtavasti, mm. ruiskutus-/suihkutuspainneiden osalta. Dieselmootoreiden ruiskutuspainheet ovat nousseet 200 baarista 2 200 baarin tuntumaan (Raatz & Grieshaber 2014: 29) ja ottomootoreissa muutamasta baarista 200 baariin (Wolber ym. 2015: 76–78). Dieselmoottorille ominaista ”nakutusta” ja päästöjä on saatu vähennettyä monivaiheisella ruiskutuksella (Raatz & Grieshaber 2014: 68).

Homogeenisella seoksella käyvän ottomoottorin ominaiskulutus on pienimmillään, noin 80 %:n kuormituksella ja 2600 rpm:n käyntinopeudella (Hofmann ym. 2015: 21). Ottomootoreiden downsizing-trendi johtuu juuri siitä, että pienitilavuuksinen moottori joutuu työskentelemään suuremmalla kuormitusasteella kuin suuritilavuuksinen moottori sa-

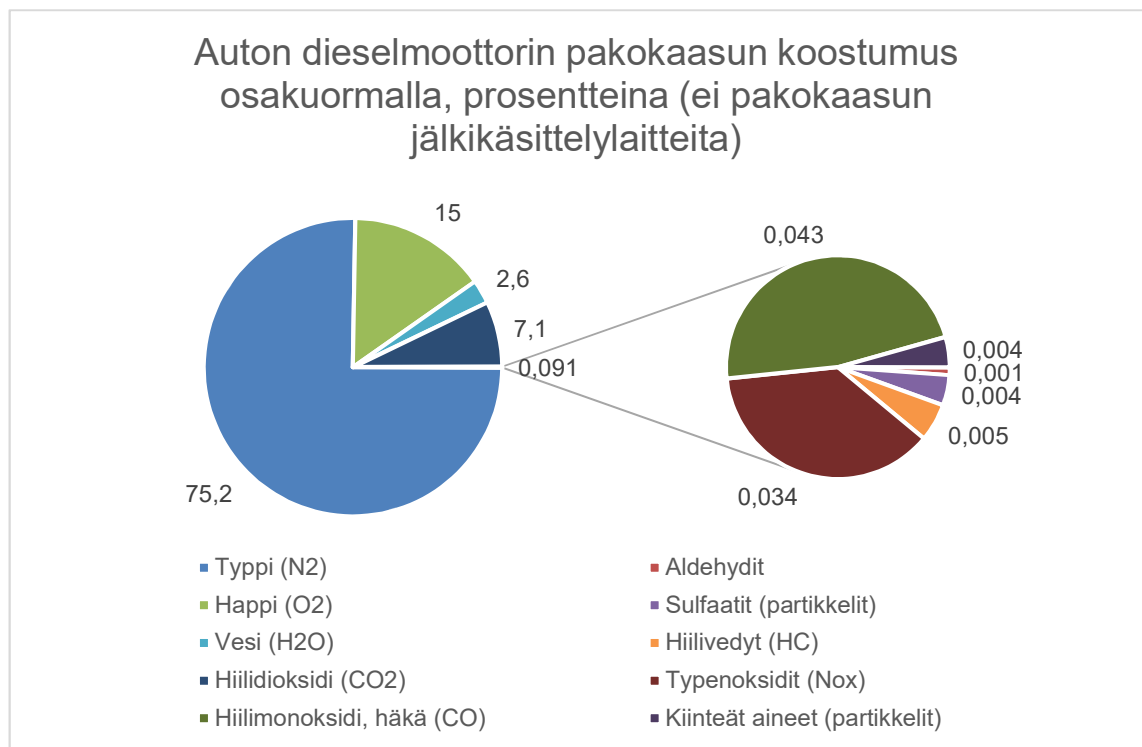
man tehon saavuttamiseksi. Turboahtimella on myös tärkeä rooli nykyisissä moottoreissa. Sillä saadaan pienestä moottorista riittävästi tehoa ja vääntöä, ja samalla hyötysuhde paranee. Joissakin ottomoottoreissa kaasuläpän virkaa toimittaa laajasti säädettävä venttiilien ajoitus ja nosto, jolloin osittain auki olevan kaasuläpän aiheuttamat pump-paushäviöt poistuvat (Fuchs ym. 2015: 37).

Dieselmoottori toimii melko hyvällä hyötysuhteella myös osakuormilla, koska sen volumetrinen hyötysuhde on aina paras mahdollinen johtuen imuilman rajoittamattomasta pääsystä moottoriin. Myös korkea puristussuhde vaikuttaa hyötysuhteeseen positiivisesti. Sen vääntömomenttia säädetään polttoaineen ruiskutusmäärää muuttamalla toisin kuin ottomoottoria, jossa rajoitetaan ilman pääsyä moottoriin. Dieselmoottorin hyötysuhde on ottomoottoria parempi, ja siten myös ominaiskulutus on pienempi. Vaikka 1 kg ideaalisissa olosuhteissa poltettua dieseliä tuottaa 2,65 kg hiilidioksidia (CO_2) ja 1 kg bensiiniä tuottaa vain 2,3 kg hiilidioksidia (CO_2), on dieselmoottorin hiilidioksidipäästö pienempi kuin ottomoottorin (Differences Between Diesel and Petrol 2016).

Palamattomat hiilivedyt eli palamaton polttoaine ei myöskään ole dieselmoottorin ongelma, koska dieselmoottori käy lähes aina reilulla ilmaylimäärällä ja Steinin ja Grieshaberin (2014: 61) mukaan dieselpolttoaine palaa hyvin laajalla ilma-polttoaineseosalueella $\lambda = 1.15 \dots > 10$. Ottomoottorin ilma/polttoaineseoksen tulisi olla $\lambda = 0.75 \dots 1.3$ (Hofmann ym. 2015: 11). Dieselmoottorissa polttoaine alkaa palaa jo ruiskutuksen aikana eikä vasta, kun se on levittäytynyt koko palotilaan kuten ottomoottorissa. Syttyminen myös alkaa yhtä aikaa useasta eri kohdasta. Ottomoottorin yksi ongelma hiilivetypäästöjen osalta on se, että palorintama ei etene aivan sylinteriseinämiin asti ja sinne jää palamattontaa seosta (Stein 2014: 183). Kolmitoimikatalysaattori poistaa tehokkaasti nämä palamattomat hiilivedyt (Frauhammer ym. 2015: 269).

Dieselmoottorin pakokaasuista ongelmallisimmat ovat hiukkaspäästöt ja typenoksidit. Steinin (2014: 181) mukaan korkeat palamislämpötilat ja ilmaylimäärä edesauttavat typenoksidien muodostumista. Polttomoottorien pakokaasuissa esiintyy typenoksideista pääasiassa typpimonoksidia (NO) ja typpidioksidia (NO_2) sekä hyvin pieniä määriä dityppioksidia (N_2O) eli ilokaasua. Typpimonoksidi (NO) on väritön ja hajuton kaasumainen yhdiste. Ilmakehässä se yleensä muuttuu typpidioksidiksi (NO_2), joka on myrkyllinen, punaruskea ja pistävänhajuinen kaasu. Typpidioksidin (NO_2) saastuttama ilma aiheuttaa mm. limakalvojen ärsytystä. Typenoksidit aiheuttavat myös haposateita ja savusumua.

(Dietsche 2014: 330.) Kuvasta 2 nähdään osakuormalla toimivan auton dieselmoottorin pakokaasun koostumus.



Kuva 2. Auton dieselmoottorin pakokaasun koostumus osakuormalla, ilman pakokaasun jälkikäsittelyä, prosentteina (Dietsche 2014: 329).

Mitä hienompina sumuna dieselpolttoaine ruiskutetaan sylinteriin, sitä täydellisemmin seos palaa ja näkyvää savua tulee vähemmän. Suuret ruiskutuspainet (1800–2200 bar) tekevät nokihiukkasista entistä pienempiä. Useiden tutkimusten mukaan ruiskutuspaineen nostaminen lisää hiukkasten lukumäärää, mutta pienentää hiukkasten kokonaisuutta (Zhen ym. 2013). Pienimmät hiukkaset ajautuvat syväälle keuhkoihin ja jopa verenkiertoon (Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM) 2016). Hiukkassuodattimet suodattavat yli 95% hiukkasista joiden koko on 10 nm... 1 µm (Breuer ym. 2014: 211). Alle 10 nm:n hiukkasista ei vielä ole kattavasti tutkimuksia.

2.3 Tulevaisuus

Fossiilisten polttoaineiden lähestyessä loppuaan ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisen takia sähkö-, hybridi- ja polttokennoautot kasvattavat suosiotaan. Sähköautojen latausverkosto on vielä varsin puutteellinen ja akkuteknologia on kehitysvaiheessa. Vedyn jakeluverkostokin on lähes olematon.

Nestemäisten polttoaineiden jakeluverkosto on ollut valmis jo vuosikymmeniä, diesel- ja ottomootoreita on käytetty ja kehitetty aktiivisesti toista sataa vuotta ja biopolttoaineiden valmistaminen uusiutuvista biomassoista vaikuttaa lupaavalta. Hiilineutraalimpaan ja päästöttömämpään liikenteeseen tarvitaan biopolttoaineita, koska ajoneuvokannan uusiminen ja jakeluverkoston muuttaminen on hidas prosessi.

Dieselmoottori ja ottomoottori tulevat jatkamaan kilpailua, niiden ominaisuuksien lähenytessä toisiaan. Polttomoottoareiden alkuaikoina kehitettiin myös erilaisia moottorityyppejä, joista osa vakiintui ja osa katosi. Viime aikoina vanhoja moottorityyppejä on alettu yhdistää nykyaikaiseen teknologiaan.

Massasta hyvin erottuva moottorityyppi tulee yhdysvaltalaiselta Achates Powerilta, joka tuo takaisin kaksitahtisuuden, vastamäntärakenteen sekä puristus- ja polttotyön, diesel- ja ottomoottoriin. Tutkimustulokset moottorityypin hyötysuhteesta ja edullisista valmistuskustannuksista vaikuttavat hyvin lupaavilta. Achates Powerin vastamäntämoottorin valmistuskustannuksia alentaa mm. monimutkaisen sylinterikannen ja venttiilikoneiston pois jääminen. Moottorin termistä hyötysuhdetta parantaa erityisesti sylinterikannen puuttuminen. Sylinterikansi ei tee työtä toisin kuin mäntä. Kun sylinterikansi korvataan toisella männällä, lämpöhäviöt pienenevät ja työkierrosta tulee tehokkaampi. Nopeasti laajeneva palotila tasoittaa sylinteripainehuippuja ja edesauttaa myös hyötysuhteen parantamisessa. (Fromm & Redon 2018.)

Achates Powerin kaksitahtisen vastamäntämoottorin pakokaasut poistuvat sylinteriputken ylemmistä kanavista, ja puhdas ilma tulee sisään alemmista kanavista. Tällaisella järjestelyllä kaasut virtaavat tehokkaasti. Männät on muotoiltu siten, että ne saavat puristettavan ilman pyörteilemään voimakkaasti, jotta ruiskutettu polttoaine sekoittuisi mahdollisimman hyvin ilman kanssa. Sylinterin huuhtelu tapahtuu mekaanisen pumpun avulla. Polttoaine ruiskutetaan sylinteriputken keskikohdalta kahdesta suuttimesta. (Fromm & Redon 2018.)

Muita pitkään idean ja prototyyppien tasolla olleita mutta nykyajan teknologian henkiin herättämiä moottoreita ovat mm. Nissanin (Infinitin) tuotantoautoihin asti ehtinyt muuttuvalla puristussuhteella ja iskunpituudella varustettu ottomoottori (VC-Turbo – the world’s first production-ready variable compression ratio engine 2017) ja Mazdan HCCI (homogenous charge compression ignition) -ottomoottori, joka hyödyntää sekä kipinä että puristusytytystä (Voelcker 2017).

3 Päästömääräykset

Vuonna 2014 EU päätti vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 40 % vuoden 1990 tasosta, vuoteen 2030 mennessä. EU:n päästökauppajärjestelmään kuuluvien teollisuus ja sähköntuotantosektorien on vähennettävä 40 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Liikenteen, maatalouden, metsätalouden, rakennusten, maankäytön ja jätteiden kasvihuonekaasupäästöjä on vähennettävä vähintään 30 %. Suomelle asetettu tavoite vuoteen 2030 mennessä, vuoden 2005 tasosta on -39 %. (Driving Europe’s transition to a low-carbon economy 2016.) Moottoriteknikan kehitys ja monimutkaistuvat pakokaasunjälkikäsittelylaitteet ovat vähentäneet myrkyllisten ja haitallisten päästöjen määrää. Moottoreiden hyötysuhteiden parantuminen on vähentänyt ominaiskulutusta ja siten myös hiilidioksidipäästöjä.

EU:n alueella uusien henkilöautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet vuoden 1995 arvosta 186 g CO₂/km arvoon 119,6 g CO₂/km vuonna 2015. Vähennystä on tuolla aikavälillä tapahtunut siis 36 %. Vuoteen 2021 mennessä EU:n autovalmistajien uusien autojen keskimääräinen hiilidioksidipäästö saa olla vain 95 g CO₂/km. Mikäli keskiarvo on korkeampi, autovalmistaja joutuu maksamaan sakkoja. Tavoitteeseen pääseminen tarkoittaa 21 %:n vähennystä vuoden 2015 keskimääräisestä uusien henkilöautojen hiilidioksidipäästöstä (CO₂, a Comprehensive Approach, Reducing CO₂ Emissions From Passenger Cars and Light Commercial Vehicles Post-2020 2017.)

Ilmastonmuutosta edistävän hiilidioksidin lisäksi pyritään vähentämään haitallisten ja myrkyllisten päästöjen, kuten typenoksidien (NO_x) ja pienhiukkasten määrää. Autovalmistajia on viime vuosina jäänyt kiinni päästöhuijauksista. Jotkut dieselmoottoriset autot oli suunniteltu siten, että ne havaitsivat päästömittaustilanteen ja säätivät moottorin ohjauksen tilanteeseen sopivaksi. Moottorinohjauksen päästömittaustilassa polttoaineen

kulutus kasvoi, mutta typenoksidipäästöt pysyivät sallituissa rajoissa. Kun kyseisillä autoilla ajettiin normaalisti, kulutus oli pienempi, mutta päästöt ylittivät sallitut rajat.

1980-luvulla luotiin NEDC (New European Driving Cycle) -päästömittausyksi. Se suoritetaan laboratorio-olosuhteissa, valot ja ilmastointi pois kytkettynä ja paljon tasaista ja kevyttä kuormitusta sisältävänä. NEDC:n ei katsota olevan enää riittävän todennukainen päästömittausyksi. NEDC:n korvaajaksi on tulossa todennukaisempi WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) -ajoyksi. Syyskuusta 2018 alkaen kaikilla uusilla autoilla on oltava WLTP:n mukaiset hiilidioksidi (CO₂) -päästöarvot. Se sisältää enemmän kiihdytyksiä, moottorijarrutuksia, kylmempiä ympäristön lämpötiloja, vaihteen vaihtoja ja suurempia nopeuksia, kuin NEDC-yski. Jos NEDC-yskllillä testatun auton hiilidioksidipäästöt (CO₂) ovat esimerkiksi 100 g/km, ne ovat WLTP-yskllillä mitattuna 120 g/km. (Autojen päästömittaus muuttuu 2017.)

WLTP:tä täydentämään tulee RDE-testi, joka suoritetaan todellisessa liikenteessä. Päästömittauslaitteisto on ajoneuvoon kiinnitettävää mallia, mistä käytetään nimitystä PEMS (Portable Emissions Measuring System). RDE-testi sisältää vaihtelevia olosuhteita ja tapahtuu normaalin ajon aikana, joten se karsii samalla mahdollisuuden päästöjen manipulointiin. Aluksi RDE:llä mitataan vain typenoksideja (NO_x), mutta myöhemmin myös hiukkasten lukumäärää. Raskaankaluston RDE-testissä mitataan kaikkia säänneltyjä päästöjä. Alkuun RDE-testissä sallitaan 110-prosenttinen ylitys tyyppihyväksynnässä määritelyyn päästöön verrattuna. Vuodesta 2020 eteenpäin ylitys saa olla enää 50 %. (Real-Driving Emissions Test Procedure For Exhaust Gas Pollutant Emissions of Cars and Light Commercial Vehicles in Europe 2017.)

4 Dieselpolttoaineet

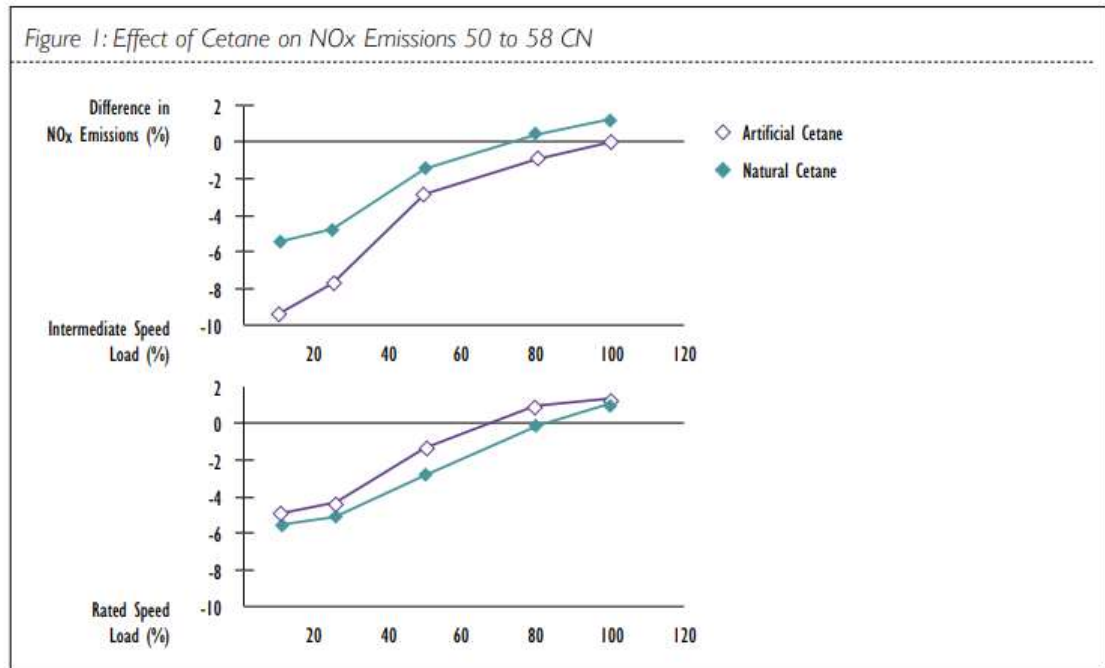
4.1 Vaaditut ominaisuudet

Laadukkaan dieselpolttoaineen ominaisuuksia ovat mm. korkea setaaniluku ja -indeksi. Setaaniluku kuvaa polttoaineen syttymisherkkyttä. Korkealla setaaniluvulla syttyminen tapahtuu nopeasti ruiskutuksen alussa ja palaminen on tasaista. Meteli, värinät ja mekaaninen rasitus vähenevät verrattuna matalampi setaanilukaiseen polttoaineeseen. Kylmäkäynnistyvyys voi nopeutua jopa 40 %, kun setaanilukua nostetaan 50:stä 58:aan

(Worldwide Fuel Charter 2013: 41). Matalalla setaaniluvulla syttyminen tapahtuu myöhemmin, suuren polttoainemäärän ollessa jo sylinterissä ja aiheuttaen brutaalimman palamisen. Melu, värinät ja mekaaninen rasitus ovat tällöin suuremmat.

Setaaniluku määritetään testimootorissa, josta mitataan polttoaineen syttymisviive. N-heksadekaani ($C_{16}H_{34}$) eli setaani, on erittäin herkästi syttyvä alkeeni. Sen syttymisherkkyttä kuvaa setaaniluku 100. Alfa-Metyyliinaftaleeni ($C_{11}H_{10}$) taas on hitaasti ja vaikeasti syttyvä ja sille on annettu setaaniluku 0. Jos esimerkiksi testattavan polttoaineen syttymisviive testimootorissa on sama kuin seoksella, jossa on 60 % setaania ja 40 % alfa-metyyliinaftaleenia, on testipolttoaineen setaaniluku 60. Syttymisherkkyttä kuvaa myös setaani-indeksi, joka on setaaniluvusta poiketen täysin laskennallinen. Setaani-indeksi ei huomioi setaanilukua kohottavia lisäaineita, vaan kertoo polttoaineen luonnollisen ja teoreettisen syttymisherkkyden. Polttoaine, jolla on luontaisesti korkea setaaniluku, käyttäytyy moottorissa eri tavalla kuin polttoaine, jossa on setaanilukua parantavia lisäaineita. Parafiinit nostavat ja aromaattit laskevat setaanilukua. Dieselpolttoaineen laatustandardi EN 590 määrittelee rajat sekä setaaniluvulle, että -indeksille. (Ullmann 2014: 34–39.)

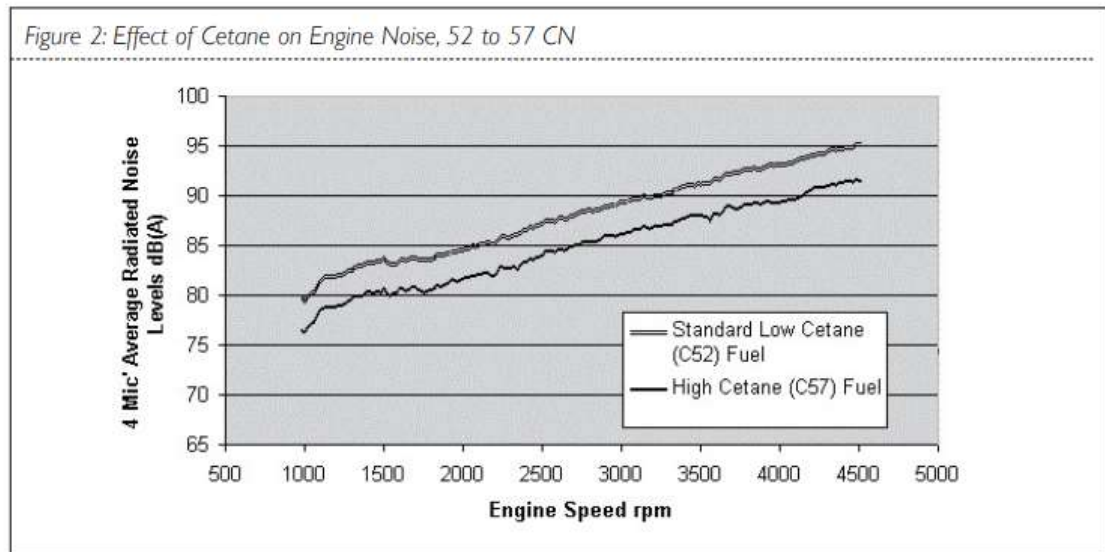
Kuvasta 3 nähdään luonnollisen ja lisäaineilla saavutetun setaaniluvun vaikutus typenoksidipäästöihin. Worldwide Fuel Charterin (2013: 42) mukaan setaaniluvun korotus 50:stä 58:aan, vaikuttaa selvästi typenoksidipäästöihin. Suurin, noin 9,5 %:n vähennys tapahtui lisäaineilla korotetulla setaaniluvulla, keskisuurella käyntinopeudella ja 10 %:n kuormituksella. Korkeilla kuormituksilla typenoksidipäästöt olivat suuremmat tai yhtä suuret korkealla setaaniluvulla kuin matalalla setaaniluvulla. Luonnollisen ja lisäaineilla saavutetun setaaniluvun erot ovat selkeästi nähtävissä. Keskisuurilla käyntinopeuksilla lisäaineella saavutettiin suuremmat päästövähennykset, kun taas korkealla käyntinopeudella luonnollinen setaaniluku tuotti pienemmät typenoksidipäästöt.



Kuva 3. Luonnollisen ja lisäaineilla korotetun (50:stä 58:aan) setaaniluvun vaikutus typenoksidipäästöihin (Worldwide Fuel Charter 2013: 42).

Cuvelierin (2002: 48) mukaan taas setaaniluvun nostamisella 50:stä 58:aan ei ollut merkittävää vaikutusta typenoksiditai partikkelipäästöihin kevyen tai raskaan kaluston moottoreissa. Häkä (CO)- ja hiilivety (HC)-päästöissä oli nähtävissä eroja. Luonnollisen ja lisäaineilla saavutetun setaaniluvun välillä ei havaittu päästöeroja. Moottorin rakenne ja säädöt kuten ruiskutusennakko vaikuttavat todennäköisesti siihen, miten setaaniluvun nostaminen muuttaa päästöarvoja.

Korkeampi setaaniluku pienentää dieselmoottorin äänenpainetta riippumatta siitä, kuinka setaaniluvun korotus on saavutettu. Kuvasta 4 havaitaan setaaniluvun nostamisen 52:sta 57:ään pudottavan äänenpainetta noin 3 dB (A) lähes koko käyntinopeusalueella.



Kuva 4. Korkeamman setaaniluvun vaikutus dieselmootorin äänenpaineeseen (dB (A)) (Worldwide Fuel Charter 2013: 42).

Worldwide Fuel Charterin (2013: 43) esittämän kuvaajan perusteella setaaniluvun nosto 50:stä 58:aan lisäaineilla nostaa ominaiskulutusta ja luonnollisella setaanilla laskee kulutusta. Worldwide Fuel Charterin (2013: 42) mukaan mittaukset on tehty vanhan teknologian raskaankaluston moottoreilla ja tulos on epäjohdonmukainen ja vaatii lisätutkimusta.

Setaaniluku vaikuttaa dieselmootorin syttymisviiveeseen, joten vaikutukset päästöihin ja ominaiskulutukseen riippuvat mm. moottorissa käytetystä ruiskutusennakosta. Yleisesti ottaen korkeasta setaaniluvusta on hyötyä dieselmootorin toiminnalle.

Muita dieselpoltoaineen tärkeitä ominaisuuksia ovat hyvä kylmäjuoksevuus, alhainen vesi-, rikki-, ja aromaattipitoisuus, voitelevuus, korkea energiatiheys tilavuusyksikköä kohti ja sopiva tiheys. Matala kiehumispiste on eduksi talvella, mutta yleensä setaaniluku ja voitelevuus heikkenevät kiehumispistettä madallettaessa. Korkea kiehumispiste taas saattaa aiheuttaa karstoittumista. (Ullmann 2014: 34–39.)

Tislausalue on yksi tärkeä ominaisuus dieselpoltoaineella. Standardi EN 590 määrittelee rajat tislausalueelle eli sille, kuinka suuri prosentiosuus hiilivedystä tislautuu missäkin lämpötilassa. EN 590 -standardin vaatimukset ovat seuraavat: alle 65% tilavuusprosenttia saa tislaantua 250 °C:ssa, vähintään 85 til.-% täytyy tislautua 350 °C:ssa ja vä-

hintään 95 til.-% täytyy tislautua 360 °C:ssa. (Engman 2017: 16-18.) Talvilaatuinen dieselpolttoaine tislautuu matalammissa lämpötiloissa kuin kesälaatuinen, koska kylmemmissä oloissa matalammat kiehumispisteet ovat eduksi.

4.2 Fossiilinen diesel

Fossiilinen diesel on valmistettu raakaöljystä tislaamalla ja lisäaineistamalla sitä mm. voitelevilla, vaahtoamisenesto-, korroosionsuoja- ja juoksevuuatta parantavilla lisäaineilla. Eurooppalainen standardi EN 590 määrittelee raja-arvot fossiilisen dieselöljyn ominaisuuksille, kuten tiheydelle, setaaniluvulle, voitelevuudelle ja viskositeetille. EN 590 -standardin mukaisen dieselpolttoaineen leimahduspiste on oltava yli 55°C ja sen itsesytytmislämpötila on noin 220 °C. (Ullmann 2014: 34-39.)

Dieselmoottorin hyötysuhde on ottomoottoria huomattavasti parempi ja siksi ominaiskulutus (g/kWh) ja tilavuusperustainen kulutus (l/kWh) ovat ottomoottoria pienemmät. Lisäksi fossiilisen dieselin jalostus on helpompaa kuin bensiinin, minkä vuoksi se on halvempaa.

Fossiilisen dieselin ja muiden fossiilisten polttoaineiden ongelma ilmastonäkökulmasta on, että raaka-aine eli öljy on muodostunut ja sitonut kasvihuonekaasuja itseensä miljoonia vuosia sitten. Kun öljystä valmistettu polttoaine poltetaan, siihen varastoitunut hiili muuttuu hiilidioksidiksi, mikä edistää ilmastonmuutosta. Kasvit sitovat hiilidioksidia ja jos odotetaan, että ne taas muuttuvat öljyksi, siinä kestää miljoonia vuosia. Ennen kuin nykyiset kasvit ja eliöt ovat muuttuneet öljyksi, on ilmakehään vapautunut valtava määrä hiilidioksidia ja fossiiliset polttoaineet käytetty loppuun.

EU:n liikenteen päästövähennystavoitteiden seurauksena fossiiliseen dieseliin sekoitetaan erilaisia biokomponentteja. Dieselpolttoaineen laatustandardi EN 590 rajoittaa dieselin FAME-osuuden 7 %:iin (Engman ym. 2017: 7). Suomessa ST1 käyttää fossiilisen dieselin biokomponenttina UPM biovernoa. Se on valmistettu vetykäsittelmällä raakamäntyöljyä, joka on selluntuotannon tähde (Wiljanen & Kukkonen 2018). Nesteen Pro Dieselissä taas on 15 % Nesteen uusiutuvaa NEXBTL- dieseliä. Pro Diesel täyttää autovalmistajien kansainvälisen WWFC (Worldwide Fuel Charter) 5 -laatuluokituksen. Laa-

tuluokitus estää perinteisen biodieselin(FAME) sekoittamisen dieseliin, mutta sallii kehittyneempien biodieseliä sekoittamisen. (Neste Pro Diesel – Edelläkävijän Valinta, Luettu 10.5.2018.)

4.3 Biodiesel

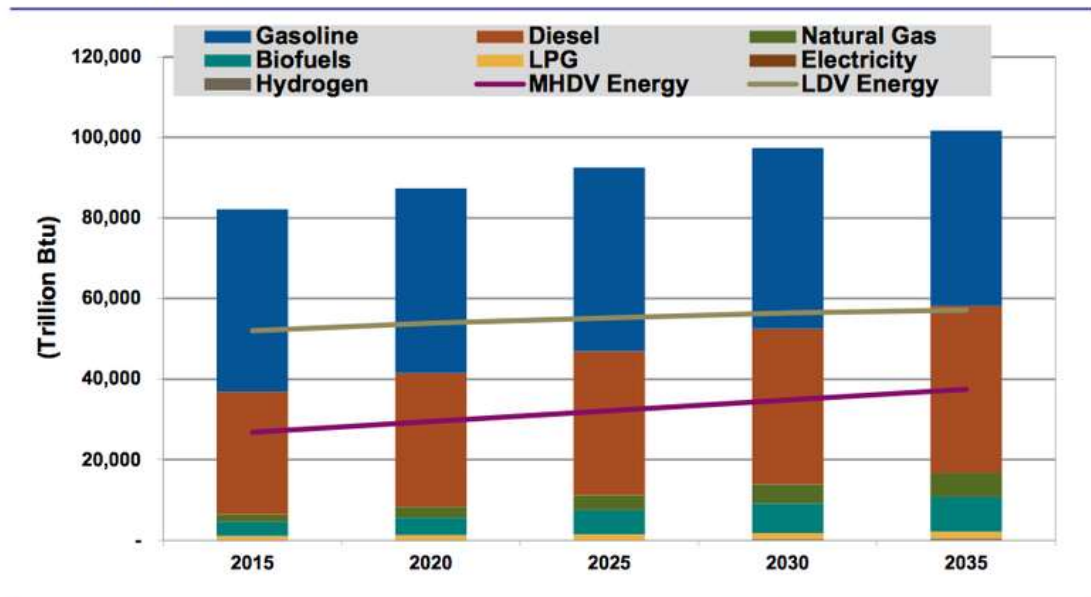
Biodieseliä kutsutaan dieselmoottoriin soveltuvaa polttoainetta, joka on valmistettu uusiutuvista raaka-aineista. Uusiutuvilla raaka-aineilla tarkoitetaan kasveja, eliöitä ja niistä muodostunutta jätettä, jotka hyödynnetään polttoaineen valmistuksessa lyhyellä aikavälillä. Kun uusiutuva raaka-aine hyödynnetään järkevästi, siitä ei pääse hajoamisen yhteydessä vapautumaan metaania ilmakehään ja se jalostetaan mahdollisimman energiatehokkaasti polttoaineeksi, jonka polttaminen vapauttaa mahdollisimman vähän hiilidioksidia. Ilmakehään lopulta vapautunut hiilidioksidi sitoutuu kasveihin ja tulevaisuudessa sitä aiotaan myös varastoida esimerkiksi tyhjiin öljytaskuihin maan alle.

Biopolttoaineet tai muusta kuin raakaöljystä valmistetut polttoaineet eivät ole nykyajan keksintö. Henry Ford kaavaili 1900 -luvulla T-mallin polttoaineeksi etanolia, mutta samoihin aikoihin löytyi uusia öljyesiintymiä ja bensiinistä muodostui edullisempi polttoaine (Kovarik 1998). Myös saksalainen Rudolf Diesel ja Ranskan hallitus kaavailivat 1890-luvun lopulla kasviöljyn käyttöä mm. maatalouden dieselmoottoreissa (History of Biodiesel Fuel 2018).

4.3.1 Yleistä

Vuonna 2035 biopolttoaineiden osuus tieliikenteessä tulee ennusteiden mukaan olemaan 8,4 % (Navigant forecasts global road transportation energy consumption to increase 25 % by 2035; 84 % from conventional fuels 2014). Vuonna 2018 biopolttoaineiden osuus tieliikenteessä on muutaman prosentin luokkaa, kuten kuvasta 5 voidaan nähdä.

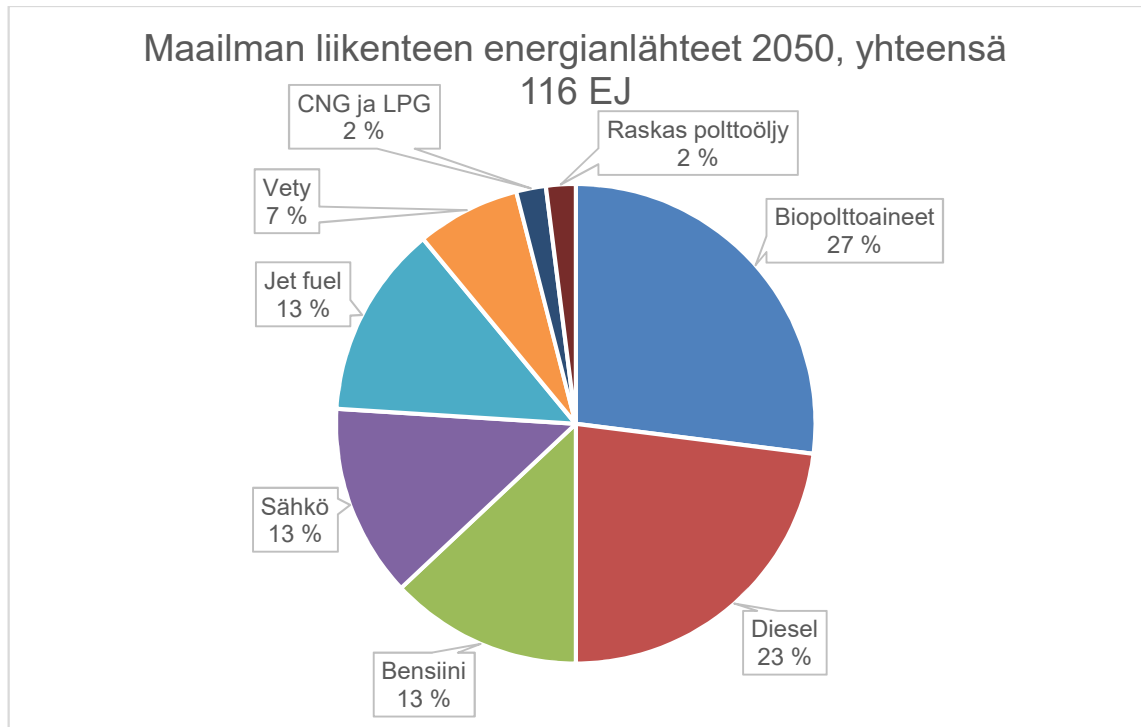
Chart 1.1 Annual Road Transportation Sector Energy Consumption by Fuel Type, World Markets: 2015-2035



(Source: Navigant Research)

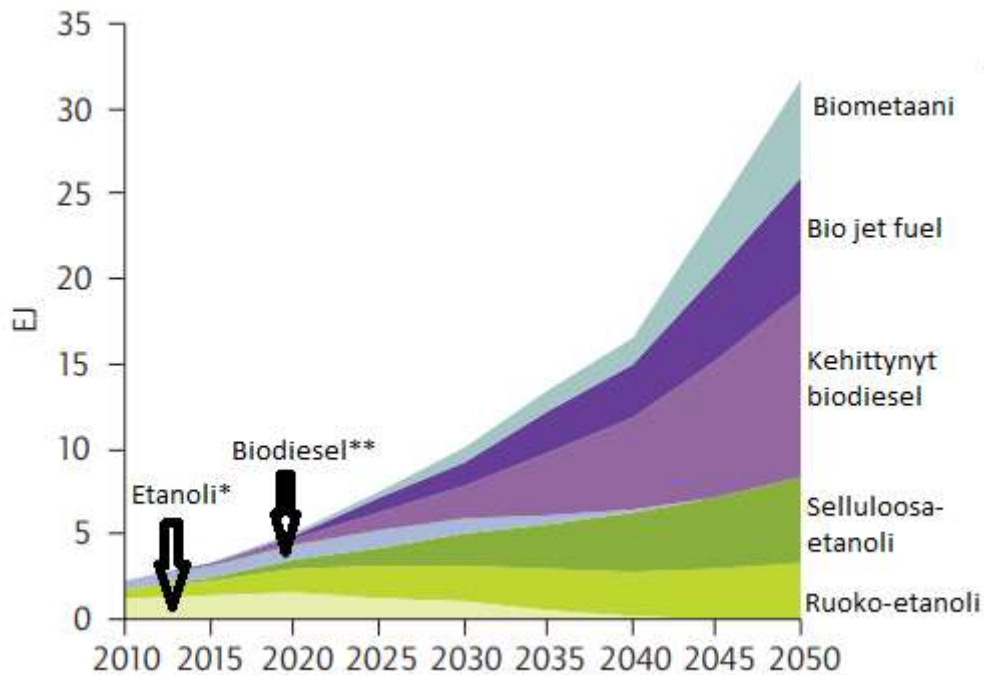
Kuva 5. Maailman tieliikenteen energian kulutus polttoaineittain 2015–2035 (Navigant forecasts global road transportation energy consumption to increase 25 % by 2035; 84 % from conventional fuels 2014).

Kuvasta 6 nähdään, että biopolttoaineiden osuuden maailman liikenteen energianlähteistä on ennustettu nousevan yli neljännekseen vuoteen 2050 mennessä. Dieselin osuus on 10 prosenttiyksikköä bensiiniä suurempi 23 %:n osuudellaan. Dieselin suureen osuuteen kuvassa 6 vaikuttaa kaikkien liikenteen muotojen sisältyminen laskuihin. Dieselmoottorin valtava suosio kevyen ajoneuvokaluston ulkopuolella, nostaa dieselöljyn osuutta.



Kuva 6. Maailman liikenteen (henkilö- ja rahtiliikenne, laivat ja lentoliikenne) energianlähteet vuonna 2050 (Eisentraut 2011: 21).

Kuvasta 7 nähdään ennuste eri biopolttoaineiden kysynnän kehittymisestä vuodesta 2010 vuoteen 2050. Perinteisen etanolin kysyntä loppuu 2042 ja FAME:n kysyntä 2045, koska niiden raaka-aineet ovat myös ruoaksi kelpaavia. FAME:n heikko laatu vaikuttaa myös sen suosion ennustettuun laskuun. Kehittyneiden uusiutuvien dieselpolttoaineiden kysyntä kokee suurimman kasvun. Vuonna 2050 merkittävä osa biopolttoaineista käytetään lentoliikenteessä.



Kuva 7. Maailman biopolitoinerien kysyntä vuonna 2050 (Eisentraut 2011: 27).

4.3.2 Ensimmäisen sukupolven biodiesel

Ensimmäisen sukupolven biopolitoineriksi kutsutaan pääasiassa ravinnoksi tarkoitettuja kasveja valmistettua polttoainetta. Biodieselin valmistus perustuu kasviöljyjen ja rasvojen esteröintiin alkoholilla. Prosessissa käytetty alkoholi on yleensä metanolia (CH_4). Ensimmäisen sukupolven biodiesel on FAME:a (Fatty Acid Methyl Ester) eli rasvahapon metyyliesteriä. Biodieselin nimitys vaihtelee sen raaka-aineen mukaan, esim. SME (Soybean Methyl Ester) tai RME (Rape seed Methyl Ester). FAME:n raaka-aineen on oltava hyvälaatuista kasviöljyä, mutta lopputuotteen ominaisuudet eivät ole fossiilisen dieselin tasolla. Standardi EN 14214 määrittelee FAME:n ominaisuuksien raja-arvot. (Allgeier & Ullmann 2014: 41-45.)

FAMEn kylmäominaisuudet ovat heikot ja raaka-aineista riippuvat. Se saattaa myös aiheuttaa bakteerikasvustoja polttoainesäiliöön ja -järjestelmään, varsinkin seisossa pitkään ja ollessaan kosketuksissa veden kanssa. FAME ei myöskään sovellu kaikille tiivistämateriaaleille. (Engman 2017: 89.) Sen voiteluominaisuudet ovat kuitenkin erinomaiset ja siksi FAME:a sisältävä fossiilinen dieselpolttoaine ei tarvitse erillisiä voitelulisäaineita (Allgeier & Ullmann 2014: 41-45).

FAME:n käyttö sellaisenaan vähentää hiukkas-, häkä- ja hiilivetypäästöjä, mutta lisää typenoksidipäästöjä ja polttoainenkulutusta verrattuna fossiiliseen dieseliin (Engman 2017: 54). Tällaisen biopolttoaineen elinkaaren aikaisten hiilidioksidipäästöjen on arvioitu olevan joissain tapauksissa suuremmat, kuin fossiilisen polttoaineen. Lisäksi ruokakasvien käyttö polttoaineen raaka-aineena vaikuttaa ruoan hintaan.

4.3.3 Toisen sukupolven biodiesel

Toisen sukupolven biopolttoaineiksi kutsutaan pääasiassa ravinnoksi kelpaamattomista raaka-aineista ja kehittyneemmillä prosesseilla valmistettuja polttoaineita (Second Generation Biofuel 2010).

Vetykäsitelty kasviöljy eli HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) luokitellaan toisen sukupolven uusiutuvaksi dieseliksi edellyttäen, että raaka-aineet ovat ravinnoksi kelpaamattomia. HVO:n raaka-aineeksi kelpaavat mm. eläinrasvajätteet ja kasviöljyt. HVO on parafiinista dieselpolttoainetta, ja se on ominaisuuksiltaan fossiilisen dieselin veroista tai parempaa. HVO ei aiheuta tankkiin kasvustoa, sillä on erinomaiset kylmäominaisuudet ja se palaa puhtaammin kuin fossiilinen diesel. HVO ei aiheuta läheskään yhtä paljon moottoriöljyn laimentumaa hiukkassuodattimen regeneroinnin vaatiman jälkiruiskutuksen seurauksena kuin FAME. (Engman ym. 2016.) HVO höyrystyy matalammassa lämpötilassa, joten se ei pisaroidu helposti viileämmillä sylinteriseinämillä ja ajaudu männänrenkaiden ohi kampikammioon.

Neste valmistaa ja myy 100-prosenttista uusiutuvaa dieselpolttoainetta (HVO), jonka markkinanimi on NEXBTL (Next Generation Biomass to Liquid, toisen sukupolven nesteytetty biomassa). HVO:lla viitataan yleensä kasviöljystä valmistettuun biodieseliin, mutta Suomessa myytävä NEXBTL on valmistettu ainoastaan jätteistä ja tähteistä. Nesteen uusiutuvalla dieselillä lähin yleinen nimitys on kuitenkin HVO. Nesteen mukaan NEXBTL on perinteistä biodieseliä ja fossiilista dieseliä korkealaatuisempaa. Sillä on mm. hyvin korkea setaaniluku (70–95) ja se palaa puhtaammin kuin fossiilinen tai perinteinen biodiesel. Se ei sisällä aromaatteja, rikkiä tai muita epäpuhtauksia. (Engman ym. 2016.) Sitä on myyty 9.1.2017 alkaen Suomessa nimikkeellä Neste My diesel (Neste lanseeraa 100 %:sti jätteistä ja tähteistä valmistetun Neste My uusiutuvan dieselin 2017).

Engmanin ym. (2016) mukaan HVO:n valmistaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin FAME:n valmistaminen, vaikka käytettäisiin samaa raaka-ainetta. Rypsiöljystä valmistettu HVO tuottaa 44 gCO₂eq/MJ, kun FAME (RME) tuottaa 53 gCO₂eq/MJ. Nesteen mukaan My-dieselin käyttö nykyaikaisessa henkilöautossa tuottaa alimmillaan 12 grammaa hiilidioksidia kilometrillä ja Suomessa tuotetulla sähköllä kulkeva sähköauto 29 grammaa kilometrillä. Nesteen vertailussa fossiilisella polttoaineella toimiva nykyaikainen auto tuottaisi 115 grammaa kilometrillä. Vertailussa jätettiin pois laskuista My -dieseliä käyttävän auton pakoputkesta tuleva hiilidioksidi, koska sen valmistukseen käytettävät raaka-aineet olisivat kuitenkin tuottaneet kasvihuonekaasua (metaania tai hiilidioksidia) saman verran.

NEXBTL täyttää Euroopan fossiilisen dieselöljyn standardin EN 590:n kaikilta muilta osin paitsi tiheydeltään. Se täyttää parafiinisten dieselöljyjen standardin EN 15940:2016 vaatimukset, Amerikan dieselpolttoainestandardin ASTM D975 ja Kanadan CGSB -3.517 -standardin. Nesteen uusiutuvan dieselin tiheys on välillä 770...790 kg/m³ ja EN 590 mukaisen fossiilisen dieselin tiheys 820...845 kg/m³(talvilaadun on oltava yli 800 kg/m³). (Engman ym. 2016: 6-7.)

HVO toimii kaikissa dieselmootoreissa sellaisenaan. HVO:ta käytettäessä, pakokaasujen hiukkasmassa on huomattavasti EN 590 -dieseliä pienempi. Hiukkasten lukumäärä tosin on tietyillä moottorin kuormitusalueilla suurempi kuin EN 590 -dieselin. HVO:n korkea setaaniluku ja matala aromaattipitoisuus saattaa olla syynä hiukkasten pienempään kokoon. (Karjalainen ym. 2017.) Säättämällä mm. ruiskutuksen ajoitusta voidaan vaikuttaa polttoaineen kulutukseen, hiukkaspäästöihin tai typenoksidipäästöihin. Volumetrinen ominaiskulutus on HVO:lla fossiilista EN 590 -dieseliä keskimäärin noin 1,7 % korkeampi, mutta gravimetrinen ominaiskulutus taas keskimäärin noin 6 % pienempi. HVO:n energiatiheys massayksikköä kohti on korkeampi kuin EN 590:llä, mutta matalan tiheydensä takia energiatiheys tilavuusyksikköä kohti on pienempi kuin EN 590:llä. (Aatola ym. 2008.)

Fischer–Tropsch -menetelmällä voidaan myös valmistaa toisen sukupolven biodieseliä. Toisen maailmansodan aikoihin mm. Saksassa valmistettiin nestemäisiä polttoaineita kivihiilestä ja maakaasusta, koska öljystä oli pulaa. Mikäli raaka-aineena Fischer–Tropsch-synteesissä on kivihiili tai maakaasu, ei voida puhua vielä biopolttoaineesta. Raaka-aineena voidaan käyttää myös biokaasua tai biomassaa, jolloin lopputuotteena syntynyt

nestemäinen polttoaine on uusiutuvaa. Menetelmän perusajatus on muuttaa hiilimonoksidia (CO) eli häkää ja vetyä (H₂) sisältävä synteesikaasu nestemäiseksi hiilivedyiksi käyttäen katalyyttinä esim. rautaa tai kobolttia. Fischer–Tropsch -polttoaineita kutsutaan myös nimillä Gas to Liquid (GtL), Coal to Liquid (CtL) tai Biomass to Liquid (BtL) riippuen käytetystä raaka-aineesta. (Nylund ym. 2010: 139-141.)

4.3.4 Kolmannen sukupolven biodiesel

Kun erityisesti energiantuotantoon ja polttoaineeksi tarkoitettua raaka-aineesta valmistetaan polttoainetta, sitä kutsutaan kolmannen sukupolven polttoaineeksi. Esimerkiksi levän on arvioitu olevan tulevaisuuden polttoaineiden raaka-aine. Tietty levälajikkeet sisältävät runsaasti rasvaa, jota käytetään polttoaineen valmistukseen. Se vaatii vähemmän pinta-alaa kuin esim. rypsi tai rapsi ja siitä saa helposti sekä dieselpolttoainetta, etanolia ja lentopetrolia. Levän huonot puolet ovat suuri veden ja ravinteiden tarve. (Third Generation Biofuels 2010.)

4.4 Dual Fuel

Dual Fuel -dieselmoottorissa on dieselruiskutusjärjestelmän rinnalla kaasunsyöttöjärjestelmä. Dual Fuel -moottoria voidaan siis käyttää pelkällä nestemäisellä dieselpolttoaineella tai kaasulla dieselin ollessa pilottipolttoaineena. Dual Fuel -moottorissa kaasu anostellaan imusarjaan ja dieselöljy suoraruiskutteisen dieselmoottorin tapaan, korkeapaineisena suoraan palotilaan. (Söderlund 2016: 13-14.) Saatavilla olevat liikenteen bio-kaasut tai maakaasu vaativat kipinäsytytyksen tai dieselmootoreissa pienen määrän puristuksessa syttyvää dieselpolttoainetta syttyäkseen. Puhtaan metaanin oktaaniluku on 120 (Nylund ym. 2010: 147), joten pääasiassa siitä koostuvat bio- ja maakaasu eivät syty pelkästään männän puristaman kuumentuneen ilman vaikutuksesta, toisin kuin dieselöljy. Pieni määrä dieselöljyä syttyy kuumen ilman vaikutuksesta ja nostaa palotilan lämpötilan riittävän korkeaksi, jotta kaasu syttyy.

Henkilöautojen Dual fuel -moottorit ovat jälkikäteen asennettavalla muunnossarjalla tehtyjä. Dual Fuel -moottorin etuna on dieselmoottorin korkea puristussuhde ja hyötysuhde ja kaasumoottorin vähäpäästöisyys sekä hiilidioksidi-, että haitallisten päästöjen osalta.

Maakaasu koostuu lähes pelkästään metaanista (CH_4). Biokaasu on pitkälle jalostettuna myös lähes puhdasta metaania, mutta sellaisenaan metaanipitoisuus vaihtelee 50 % ja 75 % välillä. Metaanin lisäksi jalostamattomassa biokaasussa on hiilidioksidia 25 % - 50 %, vettä (H_2O), happea (O_2) sekä jätteitä rikkivedystä (H_2S) ja rikistä (S_2). (Da Costa Gomez 2013: 2.) Nylundin ym. (2010: 147) mukaan maakaasun (myös biokaasun) ominaishiilidioksidipäästö on 56 g CO_2 /MJ, kun bensiinin ja dieselin päästö on 70 g CO_2 /MJ. Kaasumootoreiden pakokaasuissa on yleensä vähemmän hiilidioksidia (CO_2) kuin nestemäisiä polttoaineita käyttävien moottoreiden, koska maa- ja biokaasun pääkomponentti metaani(CH_4) sisältää enemmän vety(H)-atomeja suhteessa hiili(C)-atomeihin kuin nestemäiset polttoaineet (Allgeier ym. 2015: 122).

Henkilöautokäytössä kaasu varastoidaan yleensä 200 baariin paineistettuna (Nylund ym. 2010: 146). Raskaassa kalustossa kaasu paineistetaan noin 250 baarin paineeseen. Nesteytetty maakaasu LNG (Liquified Natural Gas) on ajoneuvokäytössä harvinainen, mutta LNG-ajoneuvojakin löytyy. Svenssonin (2013: 436) mukaan maa-/biokaasu täytyy pitää $-162\text{ }^\circ\text{C}$ - $-130\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa, jotta se pysyy nestemäisenä. Painetta ajoneuvon LNG -tankissa on 0-8 baaria. Nesteytettynä maa- tai biokaasu vie tilaa vain 1/600:n alkuperäisestä (Nesteytetty maakaasu. Luettu 10.5.2018).

4.5 Pyrolyysi

Pyrolyysi on kemiallinen prosessi, jossa biomassaa kuumennetaan vähähappisessa tilassa. Pyrolyysin tuotteina on kaasuja, nesteitä ja kiinteitä aineita. Pyrolyysissä isot ja monimutkaiset hiilivedyt hajoavat pienemmiksi ja yksinkertaisemmiksi. Se tapahtuu yleensä $300\text{--}650\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa. Biomassan pyrolyysissä syntyy tervaa, raskaita hiilivetyjä, vettä, hiiltä, hiilidioksidia, häkää, asetyleeniä, eteeniä, etaania ja bentseeniä. Pyrolyysissä syntyvän bioöljyn alempi lämpöarvo on 13-18 MJ/kg. (Basu 2013: 147-153.) Chiramontin ym. (2005: 3-15) mukaan pyrolyysiöljy on edullisin nestemäinen polttoaine ja sen kokonaishiilidioksidipäästöt ovat hyvin matalat. Pyrolyysiöljyn käyttäminen dieselmotorissa vaatii pilottipolttoaineeksi dieselpolttoaineen. Pyrolyysiöljyn sisältämä vesi tasoittaa lämpötilan nousua ja vähentää typenoksidipäästöjä. Sen korkea tiheys ja matala lämpöarvo tuovat haasteita polttoainejärjestelmän suunnitteluun. Pyrolyysiöljyn sisältämät partikkelit aiheuttavat kuitenkin ennenaikaista kulumaa suuttimiin eivätkä kaikki tiivistämateriaalit kestä sen matalaa pH-arvoa.

4.6 Kasviöljyt

Kasviöljyt kuten rypsi- ja rapsiöljy toimivat jollakin tavalla dieselmoottorissa, mutta ne ovat täysin eri asia kuin esimerkiksi ensimmäisen sukupolven biodiesel. Raaka kasviöljy toimii esimerkiksi iäkkäämmässä rivipumppu-dieselmoottorissa ja lämpöisissä olosuhteissa. Raakan kasviöljyn viskositeetti on paljon suurempi kuin ideaalisen dieselpolttoaineen. Suuren viskositeettinsa vuoksi se ei sovellu viileisiin tai kylmiin olosuhteisiin. Heikosti höyrystyvä kasviöljy muodostaa myös karstaa palotilaan ja suuttimiin. Raakassa kasviöljyssä on myös enemmän epäpuhtauksia kuin jalostetussa biodieselissä. Kasviöljyä voidaan käyttää, mikäli moottorin kestoikä ja toimintavarmuus eivät ole pääasia. (Allgeier & Ullmann 2014: 43.) Lisäksi kasviöljyn korkea kiehumispiste aiheuttaa öljyn laimentumaa, kun palamaton kasviöljy sekoittuu moottoriöljyyn. Heikkojen kylmäominaisuuksien lisäksi korkea viskositeetti kuormittaa ruiskutuspumppua tavallista dieselpolttoainetta enemmän. (Straight Vegetable Oil as a Diesel Fuel? 2010.)

4.7 DME

Dimetyylieetteri eli DME on kaasu, jonka kiehumispiste on -25 °C ja jota voidaan valmistaa synteetikaasusta tai metanolista. Synteetikaasun tai metanolin raaka-aineeksi taas kelpaa esimerkiksi biomassa. Myös maakaasusta voidaan valmistaa DME:tä. Dimetyylieetteri eroaa muista liikenteen kaasumaisista polttoaineista dieselmoottoriin soveltuvalla setaaniluvulla, joka on noin 55. Se palaa puhtaasti ja sen käyttö vähentää mm. typenoksidien muodostumista ja hiilidioksidipäästöjä verrattuna fossiiliseen dieseliin. DME:n matalan tiheyden ja suuren happipitoisuuden takia, sen lämpöarvo on pieni. Huono voitelevuus, korkea haihtuvuus ja matala viskositeetti tuovat haasteita DME:lle soveltuvan ruiskutusjärjestelmän suunnitteluun. Mm. Volvo pitää DME:tä lupaavana polttoaineena ja on kokeillut sitä raskaassa kalustossa. (Allgeier & Ullmann 2014: 45; Nylund ym. 2010: 153-154.)

4.8 Etanoli

Etanolia voidaan käyttää polttoaineena puristussytytteisessä moottorissa. Etanolin energiatiheys on reilusti dieselöljyä pienempi, joten sitä tarvitaan saman tehon saavuttamiseen enemmän. Etanolin puristuskestävyys on dieselöljyä ja bensiiniäkin korkeampi. Toisin sanoen sen setaaniluku on hyvin alhainen ja siksi joko moottoria tai etanolia on muutettava. Etanoliin voidaan lisätä syttyvyydenparantajia ja voitelevia lisäaineita. Ruis-kutusjärjestelmän kapasiteettia on suurennettava. Detroit Diesel valmisti 1990-luvulla kaksitahtisia dieselmootoreita, jotka kävivät etanolilla hehkutulppa-avusteisena. Etanolin käytön hyötyjä ovat mm. dieselöljyä pienemmät hiilidioksidi (CO₂) -päästöt sekä pienemmät hiukkas-, ja typenoksidipäästöt. Tilavuusperustainen kulutus kasvaa verrattuna dieselpolttoaineeseen ja myrkyllisiä aldehydipäästöjä syntyy enemmän. Hapetus-katalysaattorilla saadaan kuitenkin tehokkaasti vähennettyä aldehydipäästöjä. (Nylund ym. 2010: 134–135.) Etanolin käyttö vaatii lisäksi tavallista dieselmootoria korkeamman puristussuhteen ja etanolia kestäviä tiivistemateriaaleja.

4.9 Dieselpolttoaineiden vertailu

Taulukossa 1 on koottuna vaihtoehtoisten dieselpolttoaineiden tärkeimpiä käyttöön liittyviä ominaisuuksia. HVO ja Fischer–Tropsch -polttoaineet ovat sopivat dieselmootoriin erinomaisesti sellaisenaan ja ovat hyvin laadukkaita. FAMElla on säilyvyysongelmia, maa- ja biokaasu vaativat erillisen kaasunsyöttöjärjestelmän ja pilottipolttoaineen ja etanoli edellyttää suuria muutoksia moottoriin. DME:n käyttö vaatii oman polttoainejärjestelmän, mutta ei pilottipolttoainetta.

Taulukko 1. Vaihtoehtoisten dieselpolttoaineiden vertailu.

	Uusiutuva	Toimii sellaisenaan ja seoksena	Toimii seoksena EN 590 dieselin kanssa	Muutoksia polttoainejärjestelmään jos sellaisenaan	Muutoksia koko moottoriin
HVO	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei
FAME	kyllä	ei***	kyllä	kyllä	ei
BTL	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei
CTL	ei	kyllä	kyllä	ei	ei
GTL	*	kyllä	kyllä	ei	ei
Biokaasu	kyllä	ei	ei	kyllä	ei
Maakaasu	ei	ei	ei	kyllä	ei

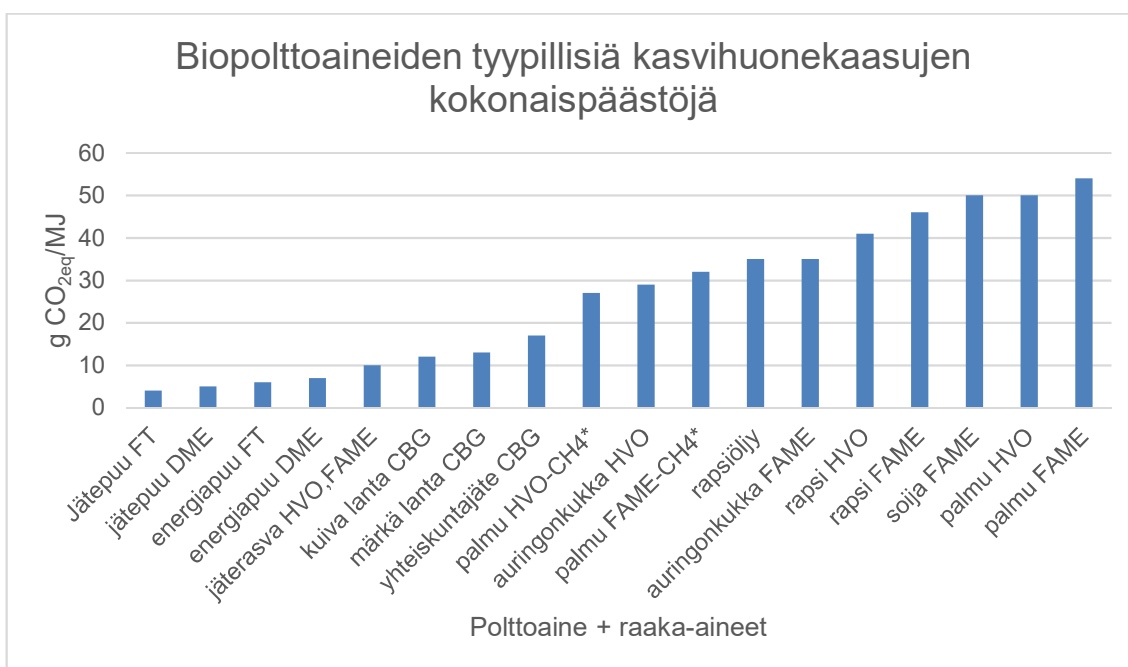
Etanoli	kyllä	ei	ei	ei	kyllä
DME	**	ei	ei	kyllä	ei

*GTL (Gas to Liquid) -diesel on uusiutuvaa jos valmistuksessa käytetty maakaasu on korvattu biokaasulla.

**DME (Dimeetyylieetteri) on uusiutuvaa, mikäli se on tehty uusiutuvasta raaka-aineesta, kuten biokaasusta.

***FAME saattaa aiheuttaa kasvustoa polttoainejärjestelmään seisoessaan kauan ja varsinkin jos sen seassa on vettä. FAME saattaa myös kutistaa tiettyjä tiivistemateriaaleja.

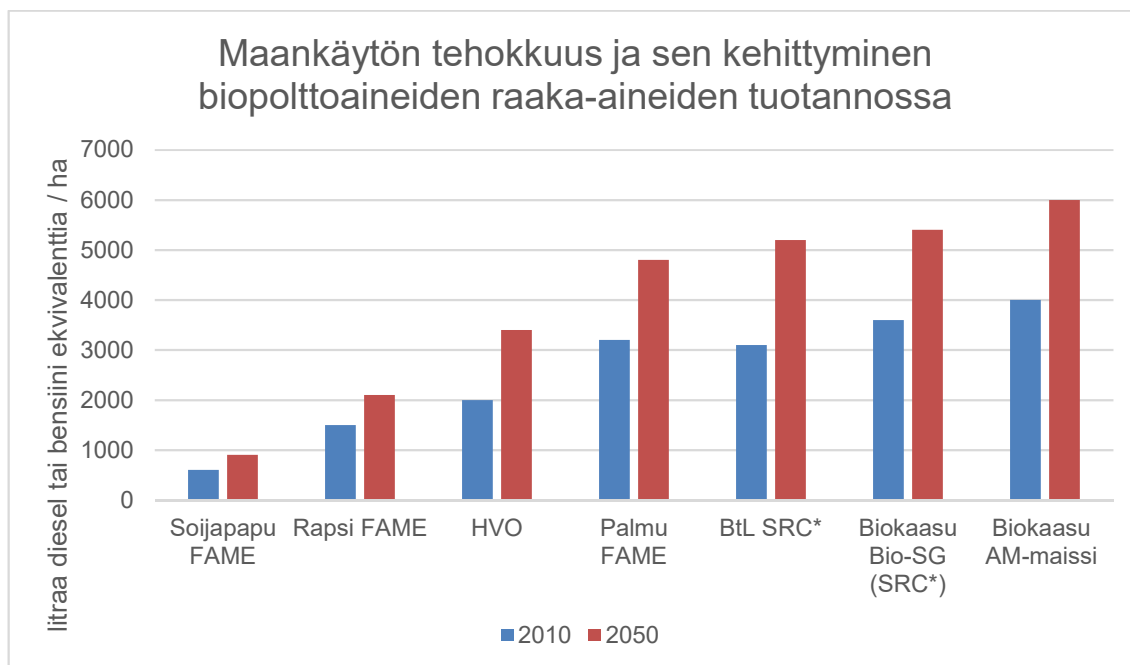
Kuvasta 8 nähdään, että puupohjaisesta jätteestä Fischer–Tropsch -menetelmällä valmistetun toisen sukupolven parafiinisen dieselpolttoaineen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt ovat pienimmät. Palmuöljystä valmistettu ensimmäisen sukupolven FAME-biodiesel taas tuottaa eniten päästöjä. Palmuöljyn tuotantovaiheessa on tärkeää poistaa öljyn puristamisesta syntyvistä jätevesistä orgaaninen aines tai ottaa sen mädäntymisestä syntyvä metaani talteen. Talteen otettu biokaasu voidaan käyttää esimerkiksi sähköntuotantoon. Metaanin talteenotolla palmuöljystä valmistetun FAME:n kokonaispäästöt saadaan huomattavasti pienemmiksi.



Kuva 8. Biopolttoaineiden tyypilliset kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt (DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL 2009: 58-59).

*-CH₄ tarkoittaa metaanin talteenottoa palmuöljyn tuotantovaiheessa.

Maankäytön tehokkuudella on suuri vaikutus biopolttoaineen elinkaaren aikaisiin kasvi- huonekaasupäästöihin. Kuvasta 9 nähdään, että biokaasu on maankäytöllisesti tehokain biopolttoaine. Nestemäisistä biopolttoaineista



Kuva 9. Biopolttoaineiden raaka-aineiden tuotannon maankäytön tehokkuus vuonna 2010 ja ennustettu tehokkuus vuonna 2050 (Eisentraut 2011: 27–28).

*SRC = short rotation Coppice. Oletettu keskimääräinen sato puun lyhytkiertoviljelyllä 15 t/ha.

5 Päätelmät

Sähkömoottorit ovat tulossa korvaamaan polttomoottoreita, koska niiden hyötysuhde on omaa luokkaansa, mutta akkujen vaatimaton energiatiheys rajoittaa vielä niiden lopullista vallankumousta. Vetypolttokenno vaikuttaa lupaavalta vaihtoehdolta akulle, mutta vedynjakeluverkosto on varsin puutteellinen. Vaihtoehtoiset polttoaineet auttavat nopeasti vähentämään kasvihuonekaasuja. Ajoneuvokannan uusiutuminen on hidasta, ja siksi on tärkeää valmistaa jo olemassa olevalle kalustolle sopivia, puhtaampia polttoaineita. Bensiinin korvaava etanoli on tärkeä erityisesti pienemmälle ajoneuvokalustolle, mutta vaihtoehtoiset dieselpolttoaineet vaikuttavat henkilöautokannan lisäksi hyvin laajaan ajoneuvojen, työkoneiden, laivojen ja energiantuotannon dieselmootoreiden päästöihin. Varsinkin erilaisista biomassoista ja ravinnoksi kelpaamattomista rasvoista ja ölj-

jiystä valmistetut toisen sukupolven uusiutuvat dieselpolttoaineet ovat merkittäviä kasvihuonekaasujen vähentäjiä. Toisen sukupolven biopolttoaineet, kuten vetykäsitelty kasviöljy (HVO) tai Fischer–Tropsch-menetelmällä valmistetut XTL-polttoaineet soveltuvat nykyiseen ajoneuvokantaan sellaisenaan tai niitä voidaan sekoittaa fossiilisiin polttoaineisiin. HVO:n hiukkaspäästöt ovat massaltaan fossiilista EN 590 -dieselitä selkeästi pienemmät, mutta hiukkasten lukumäärän osalta tutkimusten tulokset eivät ole aivan yhtä selvät. HVO:n tuottamat hiukkaset ovat pienempiä kuin EN 590 -dieselin. Pienimmät hiukkaset ajautuvat syvemmälle ihmisen elimistöön, eikä niiden kaikkia vaikutuksia tunneta, ja siksi on tärkeää selvittää keinot niiden vähentämiseksi. Hiukkassuodattimen kehittäminen on varmasti yksi tärkeä keino.

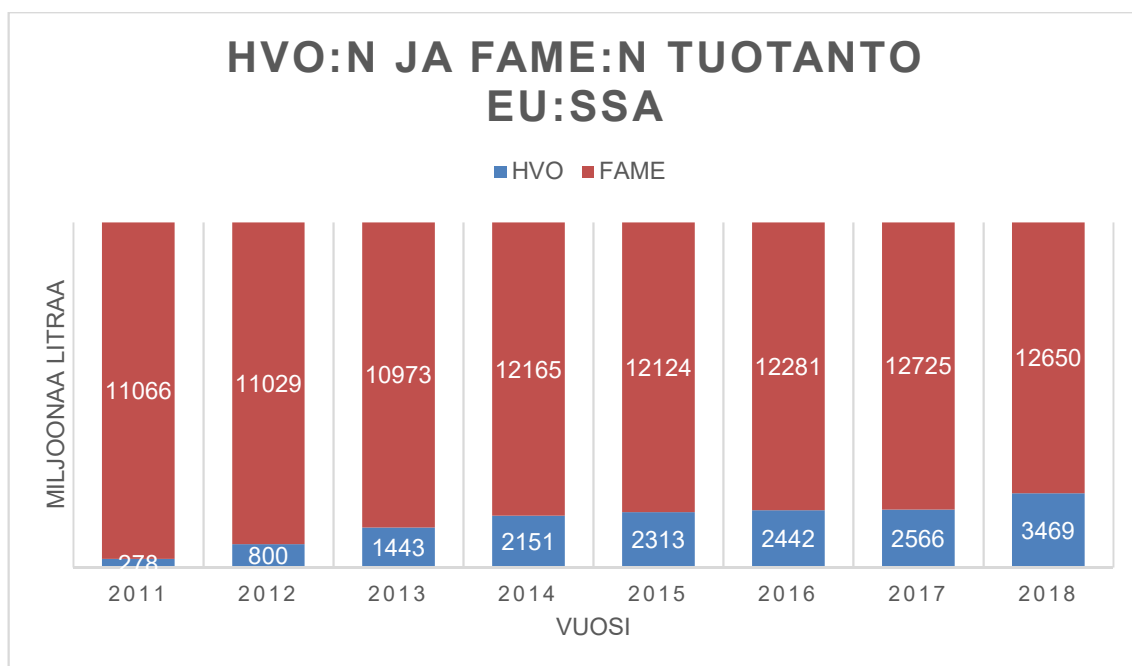
Biokaasu on erinomainen polttoaine, koska se on uusiutuvaa ja sen tuotanto on suhteellisen yksinkertaista. Biokaasun kemiallisen koostumuksen vuoksi sen polttaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia kuin nestemäiset polttoaineet. Biokaasu olisi vapautunut joka tapauksessa ilmakehään metaanina ja hiilidioksidina, joten sen katsotaan olevan hiilidioksidineutraali. Biokaasulle tai bi-fuel -toiminnalle muutetussa ottomoottorissa biokaasu toimii hyvin, korkean oktaaniluvun ja valmiiksi kaasumaisen olomuotonsa vuoksi. Dual fuel -dieselmoottorissa käytettynä, se vaatii nestemäisen pilottipolttoaineen.

Kaikki liikenteessä olevat ajoneuvot eivät muunnu hetkessä biokaasulla, 100-prosenttisellä FAME:lla, 100-prosenttisellä etanolilla tai muilla teknisiä muutoksia vaativilla polttoaineilla käyviksi. Siksi luvussa mainittujen lisäksi on järkevää tutkia ja kehittää uusiutuvia, nestemäisiä "drop in" -polttoaineita olemassa oleville ajoneuvoille, työkoneille, laivoille, lentokoneille ja energian tuotannolle. Suomi on edelläkävijä jätteistä ja tähteistä valmistettujen polttoaineiden tuotannossa. Nesteen vuosikertomuksen (2017: 11–14) mukaan Neste valmistaa 60 % maailman uusiutuvasta dieselistä. Neste ei valmista FAMEa eli biodieselitä ja sitä ei ole otettu huomioon. Vuonna 2017, 76 % Nesteen uusiutuvien polttoaineiden raaka-aineista oli jätteitä ja tähteitä. Suomessa myytävä My-diesel on tehty kokonaan jätteistä ja tähteistä. Nesteen uusiutuvien polttoaineiden tuotantokapasiteetti oli vuonna 2017, 2,6 miljoonaa tonnia.

Kemiin on rakenteilla kiinalaisen Sunshine Kaidi New Energy Groupin biopolttoainejalostamo. Kaidi Finlandin toimitusjohtaja on Karl Haglund. Biopolttoainejalostamon on tarkoitus valmistaa puusta ja metsätaloustähteistä uusiutuvia polttoaineita 225 000 tonnia vuodessa. 75 % tulee olemaan uusiutuvaa dieselitä ja 25 % uusiutuvaa bensiiniä. Raaka-

aineena käytettävä energiapuu käy läpi plasmakaasutuksen ja paineistetun kaasutuksen. Kaidin jalostamon vuotuinen puun tarve tulee olemaan noin 2,8 miljoonaa kuutiometriä ja Luonnonvarakeskuksen mukaan se määrä puuta voidaan saada kestävästi 200 kilometrin säteeltä jalostamosta. (Kemin Biojalostamo.) Kaasutuksessa aikaan saatu synteetikaasu muutettaneen Fischer–Tropsch-menetelmällä nestemäisiksi polttoaineiksi, jotka ovat täysin sopivia nykyisiin moottoreihin sellaisenaan tai seoksena muiden polttoaineiden kanssa.

Kuvasta 10 nähdään, että HVO:n tuotanto EU:ssa on ollut kovassa kasvussa, kun taas FAME:n tuotanto on pysynyt melko tasaisena. HVO:n tuotanto lähes kahdeksankertaistui vuodesta 2011 vuoteen 2014. Mikäli Phillipsin ym. (2017: 24) ennusteet toteutuvat, kasvu vuodesta 2014 vuoteen 2018 tulee olemaan 61,3 %. FAME:n vastaavat kasvu luekat ovat +9,9 % ja +4,0 %. Ennusteiden toteutuessa HVO:n tuotannon osuus EU:n koko biodiesel (HVO+FAME) tuotannosta vuonna 2018, tulee olemaan 21,5 %. Vuonna 2011 se oli ainoastaan 2,5 %.



Kuva 10. HVO:n ja FAME:n tuotanto EU:ssa vuosina 2011-2018 (Phillips ym. 2017: 24). 2011-2015 tuotantomäärät on vahvistettu, 2016 ja 2017 arvioitu ja 2018 ennuste.

Lähteet

Aatola, Hannu; Larmi, Martti; Sarjovaara, Teemu & Mikkonen, Seppo. 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. Verkkoaineisto. <http://www.etipbioenergy.eu/images/SAE_Study_Hydrotreated_Vegetable_Oil_HVO_as_a_Renewable_Diesel_Fuel.pdf>. Luettu 10.5.2018.

Allgeier, Thorsten & Ullmann, Jörg. 2014. Fuels, Alternative Fuels. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 41–45. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Allgeier, Thorsten; Haug, Martin; Frehoff, Roger; Weikert, Michael; Kröger, Kai; Langer, Winfried; Förster, Jürgen; Thurso, Jens & Wörsinger, Jürgen. 2015. Operation of gasoline engines on natural gas. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 122–133. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Autojen päästömittaus muuttuu. 2017. Verkkoaineisto. Liikenteen turvallisuusvirasto. <<https://www.trafi.fi/tieliikenne/wltp-paastomittaus>>. Luettu 10.5.2018.

Basu, Prabir. 2013. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction. E-kirja. Elsevier Inc.

Breuer, Norbert; Schaller, Johannes; Hauber, Thomas; Wirth, Ralf & Stein, Stefan. 2014. Exhaust-gas treatment. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 200–218. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Chiaramonti, David; Oasmaa, Anja & Solantausta, Yrjö. 2005. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. Elsevier Ltd. Verkkoaineisto. <http://www.combio-project.com/download/PDF/Power_generation_using_fast_pyrolysis_liquids_from_biomass.pdf>. Luettu 10.5.2018.

CO₂, a Comprehensive Approach, Reducing CO₂ Emissions From Passenger Cars and Light Commercial Vehicles Post-2020. 2017. Brussels: ACEA.

Cuvelier, D.; Clark, R.; De Craecker, R.; Guttman, H.; Honkanen, M.; Jansen, E.; Martini, G.; Reynolds, E.; Rickeard, D.; Wolff, G.; Zemroch, P. & Thompson, N. 2002. evaluation of diesel fuel cetane and aromatics effects from euro-3 engines. Verkkoaineisto. Brussels: Concaawe. <<https://www.concaawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/2002-00214-01-e.pdf>>. Luettu 19.4.2018

Da Costa Gomez, C. 2013. Biogas as an energy option: an overview. Teoksessa Wellingner, Arthur; Murphy, Jerry & Baxter, David. The Biogas Handbook. E-kirja. 2013, s. 1–15. Woodhead Publishing Limited.

Dietsche, Karl-Heinz. 2014. Exhaust-gas emissions. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel engine management. E-kirja. 2014, s. 328–330. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Dietsche, Karl-Heinz. 2014. History of the diesel engine. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 2–8. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Differences Between Diesel and Petrol. 2016. Verkkoaineisto. Brussels: ACEA. <<http://www.acea.be/news/article/differences-between-diesel-and-petrol>>. Luettu 25.4.2018

DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. 2009. Verkkoaineisto. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>>. Luettu 1.5.2018

Driving Europe's transition to a low carbon economy. 2016. Verkkoaineisto. European Commission. <https://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2016072001_en>. Luettu 23.4.2018

Eisentraut, Anselm ym. 2011. Verkkoaineisto. Technology Roadmap, Biofuels for Transport. Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels_Roadmap_WEB.pdf>. Luettu 11.5.2018.

Engman, Ari. 2017. Diesel ja sen ominaisuudet. Luentomateriaali. Neste.

Engman, Ari; Hartikka, Tuukka; Honkanen, Markku; Kiiski, Ulla; Kuronen, Markku; Lehto, Kalle; Mikkonen, Seppo; Nortio, Jenni; Nuottimäki, Jukka & Saikkonen, Pirjo. Neste Renewable Diesel Handbook. 2016. Verkkoaineisto. Espoo: Neste Corporation. Luettu 23.4.2018

Frauhammer, Jörg; Schenk zu Schweinsberg, Alexander & Winkler, Klaus. 2015. Catalytic emission control. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 268–280. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Fromm, Laurence & Redon, Fabien. 2018. Verkkoaineisto. Achates Power. <http://achatespower.com/wp-content/uploads/2018/02/JSAE_s171308_API_2017.pdf>. Luettu 10.5.2018.

Fuchs, Heinz; Bauer, Bernhard; Schulz, Torsten; Bäuerle, Michael & Milos, Kristina. 2015. Cylinder-charge control systems. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 32–49. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). 2016. Verkkoaineisto. EPA. <<https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>>. Luettu 10.5.2018.

HISTORY OF BIODIESEL FUEL. 2018. Verkkoaineisto. Pacific Biodiesel. <<http://www.biodiesel.com/biodiesel/history/>>. Luettu 9.5.2018.

Hofmann, Dirk; Mencher, Bernhard; Häming, Werner; Hess, Werner. 2015. Basics of the gasoline (SI) engine. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 8–22. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Juva, Ari. 2015. Bensiiniopas. Espoo: Neste Oyj.

Karjalainen, P.; Järvinen, A.; Wihersaari, H.; Nuottimäki, J.; Kytö, M.; Keskinen, J. & Rönkkö, T. 2017. PEMS measurements of particle number and mass emissions from loaders using conventional and renewable diesel fuels. Tampere University of Technology.

Kemin Biojalostamo. <<http://www.kaidi.fi/>>. Luettu 30.4.2018

Kovarik, Bill. Henry Ford, Charles Kettering and the Fuel of the Future. Automotive History Review, spring 1998, No.32, p. 7–27. Verkkoaineisto. <<http://www.environmental-history.org/billkovarik/about-bk/research/henry-ford-charles-kettering-and-the-fuel-of-the-future/>>. Luettu 10.5.2018.

Lackner, Joachim; Schumacher, Herbert & Grieshaber, Hermann. 2014. Areas of use for diesel engines. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 12–15. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Lehtoranta, Kati; Murtonen, Timo; Vesala, Hannu; Koponen, Päivi; Alanen, Jenni; Rönkkö, Topi; Simonen, Pauli; Saarikoski, Sanna & Timonen, Hilikka. 2017. Controlling emissions of natural gas engines – Final report. Espoo: VTT. Verkkoaineisto. <<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-02327-17.pdf>>. Luettu 8.3.2018.

Navigant forecasts global road transportation energy consumption to increase 25 % by 2035; 84 % from conventional fuels. 2014. Green Car Congress. Verkkoaineisto. <<http://www.greencarcongress.com/2014/07/20140728-navigant.html>>. Luettu 5.5.2018.

Neste lanseeraa 100 %:sti jätteistä ja tähteistä valmistetun Neste My uusiutuvan dieselin. 2017. Neste Oyj. Verkkoaineisto. <<https://www.neste.com/fi/fi/neste-lanseeraa-100-sti-j%C3%A4tteist%C3%A4-ja-t%C3%A4hteist%C3%A4-valmistetun-neste-my-uusiutuvan-dieselin>>. Luettu 10.5.2018.

Neste Pro Diesel – Edelläkävijän valinta. Neste. Verkkoaineisto. <<https://www.neste.fi/artikkeli/neste-pro-dieseltm-edellakavijan-valinta>>. Luettu 10.5.2018.

Nesteytetty maakaasu. Verkkoaineisto. Aga. <http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20LNG%20Brochure%20FI634_169000.pdf?v=1.0>. Luettu 10.5.2018.

Nylund, Nils-Olof; Sipilä, Kai; Mäkinen, Tuula & Aakko-Saksa, Päivi. 2010. Polttoaineiden laatuporttustuksen kehittäminen. VTT. Verkkoaineisto. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2528.pdf>>. Luettu 10.5.2018.

Octane rating. Gazprom. Verkkoaineisto. <<http://www.gazprominfo.com/terms/octane-number/>>. Luettu 10.5.2018.

Phillips, Susan; Flach, Bob; Lieberz, Sabine & Rossetti, Antonella. 2017. EU Biofuels Annual 2017. Verkkoaineisto. <https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-19-2017.pdf>. Luettu 30.4.2018.

Raatz, Thorsten & Grieshaber, Hermann. 2014. Basic principles of the diesel engine. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 16–30. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Real-Driving Emissions Test Procedure For Exhaust Gas Pollutant Emissions of Cars and Light Commercial Vehicles in Europe. 2017. Verkkoaineisto. ICCT. <https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU-RDE_policy-update_18012017_vF.pdf>. Luettu 10.5.2018.

Second Generation Biofuels. 2010. Biofuel.org.uk. Verkkoaineisto. <<http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html>>. Luettu 10.5.2018.

Stein, Jens Olaf & Grieshaber, Hermann. 2014. Basic principles of diesel fuel injection. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 60–71. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Stein, Jens Olaf. 2014. Minimizing emissions inside of the engine. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 178–199. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Straight Vegetable Oil as a Diesel Fuel? 2010. U.S. Department of Energy. Verkkoaineisto. <http://biodiesel.org/docs/default-source/ffs-engine_manufacturers/clean-cities-fact-sheet-straight-vegetable-oil-as-a-diesel-fuel-.pdf?sfvrsn=6>. Luettu 10.5.2018.

Svensson, M. 2013. Biomethane for transport applications. Teoksessa Wellinger, Arthur; Murphy, Jerry & Baxter, David. The Biogas Handbook. E-kirja. 2013, s. 428–442. Woodhead Publishing Limited.

Third Generation Biofuels. 2010. Biofuel.org.uk. Verkkoaineisto. <<http://biofuel.org.uk/third-generation-biofuels.html>>. Luettu 10.5.2018.

Ullmann, Jörg. 2014. Fuels, Diesel fuel. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Diesel Engine Management. E-kirja. 2014, s. 34–39. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Ullmann, Jörg & Allgeier, Thorsten. 2015. Fuels. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 24–29. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

UPM Bioverno on uusiutuva kotimainen polttoaine. 2018. Verkkoaineisto. <<http://www.upmbiopolttoaineet.fi/tuotteet/Pages/Default.aspx>>. Luettu 9.5.2018.

Söderlund, Kasper. 2016. Valmet 502-traktorin Dualfuel -Biokaasumuutoksen suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu.

VC-Turbo – the world’s first production-ready variable compression ratio engine. 2017. Verkkoaineisto. <<https://newsroom.nissan-global.com/releases/release-917079cb4af478a2d26bf8e5ac00ae49-vc-turbo-the-worlds-first-production-ready-variable-compression-ratio-engine?la=1&downloadUrl=%2Freleases%2Fat-attachment%2Frelease-917079cb4af478a2d26bf8e5ac00ae49%2F59daa3b888eb11c4fe1bd8415cf78344690ca627>>. Luettu 8.3.2018.

Vehicles in use Europe 2017. 2017. Verkkoaineisto. Brussels: European Automotive Manufacturers’ Association (ACEA). <http://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2017_FINAL2.pdf>. Luettu 24.4.2018

Voelcker, John. 1.2 Billion Vehicles On World’s Roads Now, 2.0 Billion By 2035: Report. 2014. Verkkoaineisto. <https://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report>. Luettu 24.4.2018

Voelcker, John. 2017. Mazda 3 to feature world-first HCCI engine for efficiency: report. Verkkoaineisto. Green Car Reports. <https://www.greencarreports.com/news/1111978_2019-mazda-3-to-feature-world-first-hcci-engine-for-efficiency-report>. Luettu 10.5.2018.

Vuosikertomus 2017, Neste. 2017. Verkkoaineisto. <http://ir-service.funkton.com/download/ahBzfmlyLXNlcnZpY2UtaHJkchLEg5GaWxlQXR0YWNobWVudBiAgN-CUUs_TCAw/Nesteen_vuosikertomus_2017.pdf?action=open>.

Wiljanen, Mika & Kukkonen, Petri. 2018. Uudistunut St1 Diesel plus sisältää UPM:n kotimaista uusiutuvaa dieseliä. Verkkoaineisto. <<http://www.st1.fi/uutiset/tiedotteet/uudistunut-st1-diesel-plus-sisaltaa-upm-n-kotimaista-uusiutuvaa-dieselia>>. Luettu 10.5.2018.

Wolber, Jens; Schelhas, Peter; Müller, Uwe; Baumann, Andreas & Keller, Meike. 2015. Fuel supply. Teoksessa Reif, Konrad (ed.). Gasoline Engine Management. E-kirja. 2015, s. 76–95. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Worldwide Fuel Charter. 2013. Verkkoaineisto. ACEA. <http://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf>. Luettu 17.4.2018.

Zhen, Xu; Xinling, Li; Chun, Guan & Zhen, Huang. 2013. Verkkoaineisto. Effects of Injection Pressure on Diesel Engine Particle Physico-Chemical Properties, Aerosol Science and Technology, 48:2, 128-138, DOI: 10.1080/02786826.2013.862589. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02786826.2013.862589>>. Luettu 10.5.2018.

