



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet

Ville Aitto-oja

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Tammikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet

Ville Aitto-oja

Oulun yliopisto, konetekniikan tutkinto-ohjelma

kandidaatintyö 2022, 25 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Miro-Tommi Tuutijärvi

Tässä työssä selvitetään mitä vähäpäästöisiä vaihtoehtoja nykyisten polttomoottoriajoneuvojen polttoaineeksi löytyy tällä hetkellä ja mahdollisesti lähitulevaisuudessa. Suomen autokanta on Euroopan vanhinta ja sen uusiutuminen on hyvin hidasta. Liikennesektorille asetettujen tiukkojen päästövähennystavoitteiden takia autokannan uusiutuminen ei vähennä päästöjä riittävän nopeasti, joten päästöjä pitää vähentää muilla keinoilla, kuten kehittämällä vähäpäästöisiä polttoaineita.

Bensiinin ilmastovaikutusta voidaan alentaa sekoittamalla siihen biopohjaista etanolia. Nykymoottorit sietävät etanolia enimmillään 10 % V/V, mutta muutossarjan avulla etanolipitoisuus voidaan nostaa noin 85 % V/V. Ilmaston kannalta paras vaihtoehto olisi biokaasu, joka valmistetaan esimerkiksi biojätteistä. Biokaasun käyttö ei ratkaisevasti pienennä bensiiniauton paikallispäästöjä, mutta sen kokonaisvaikutukset ilmastoon ovat huomattavasti pienemmät kuin bensiinillä, ja tutkimusten mukaan se on parhaimmillaan hiilinegatiivinen.

Dieselin korvaavien bioversioiden valmistamiseen on eri menetelmiä, joiden hinta ja saatavan polttoaineen laatu vaihtelevat suuresti. Biodiesel valmistetaan kasvirasvoista esteröimällä alkoholin kanssa. Sen kokonaispäästöihin vaikuttaa suuresti se, mistä kasveista se valmistetaan, ja onko käytetty alkoholi valmistettu fossiilisten polttoaineiden avulla, vai onko se esimerkiksi bioetanolia. Uusiutuva diesel valmistetaan parhaimmillaan jätebiomassasta ja sen ominaisuudet ovat paremmat kuin perinteisellä dieselillä. Dieselin korvaajaksi löytyy ominaisuuksiltaan hyviä ja täysin biopohjaisia vaihtoehtoja, mutta niiden hinta on vielä korkea.

Biopolttoaineita on jo nyt saatavilla sekä diesel- että bensiiniautoihin ja ajoneuvon käyttäjä voi halutessaan vaikuttaa polttoainevalinnalla omaan hiilijalanjälkeensä. Täydellinen siirtyminen biopolttoaineisiin vaatii kuitenkin vielä paljon tutkimusta ja biopolttoaineiden hinnan halpenemista. Tulevaisuudessa Suomen liikenteestä on mahdollista saada hyvin vähäpäästöistä, mikäli uusiutuvien polttoaineiden tutkimus ja käyttöönotto etenevät hyvin ja autokanta uusiutuu ja sähköistyy riittävää vauhtia.

ABSTRACT

Alternative fuels for road vehicles

Ville Aitto-oja

University of Oulu, Bachelor of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2022, 25 pp.

Supervisor at the university: Miro-Tommi Tuutijärvi

In this bachelor's thesis I aim to find out what alternative fuels there are at the markets today and in the near future. An average car in Finland is older than in other European countries and therefore the emissions are higher. New cars do produce less greenhouse gases, nitrogen oxides and particle emissions than older cars but there are no signs that the percentage of new cars in Finland is increasing. Low emission fuels of a new kind are needed to fulfil the EU's emission laws.

The easiest way of lowering the emissions of a spark ignition engine is to use fuel that is made by mixing petrol with bioethanol. Today's petrol engines can run with fuels containing 10% V/V ethanol. Higher ethanol concentration is possible with conversion kit. The highest concentration is about 85% V/V ethanol. The best possible fuel for a spark ignited engine from a climate point of view is biogas because it can be produced from many kinds of biomass, including biowaste. Using biogas as fuel for a car does not lower emissions locally, but global climate effect is much lower than when using petrol. Some studies show that biogas is at the best-case scenario even coal negative fuel.

Biodiesel and renewable diesel can be produced from different organic sources with couple of different processes. The quality, cost and climate impact of the final product varies significantly depending on the source and process. Especially renewable diesel has superior properties when compared with fossil diesel and it can be produced from biomass, but cost is high.

There are already alternative fuels for petrol and diesel engines and car owners can use those to lower their carbon footprint. There is still lot to do before biofuels are the main

fuel in the traffic in Finland. If the cost of biofuels gets lowers and the car fleet gets slightly younger, the traffic emissions in Finland might be close to zero in the future.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	6
2 Perinteiset polttoaineet	8
2.1 Bensiini.....	8
2.2 Diesel.....	9
3 Vaihtoehtoiset polttoaineet.....	11
3.1 Biodiesel.....	12
3.2 Uusiutuva diesel.....	13
3.3 Bioetanoli	16
3.4 Maakaasu ja biokaasu.....	18
3.5 Vety	20
4 Yhteenveto	22
LÄHDELUETTELO	24

LIITEET:

1 JOHDANTO

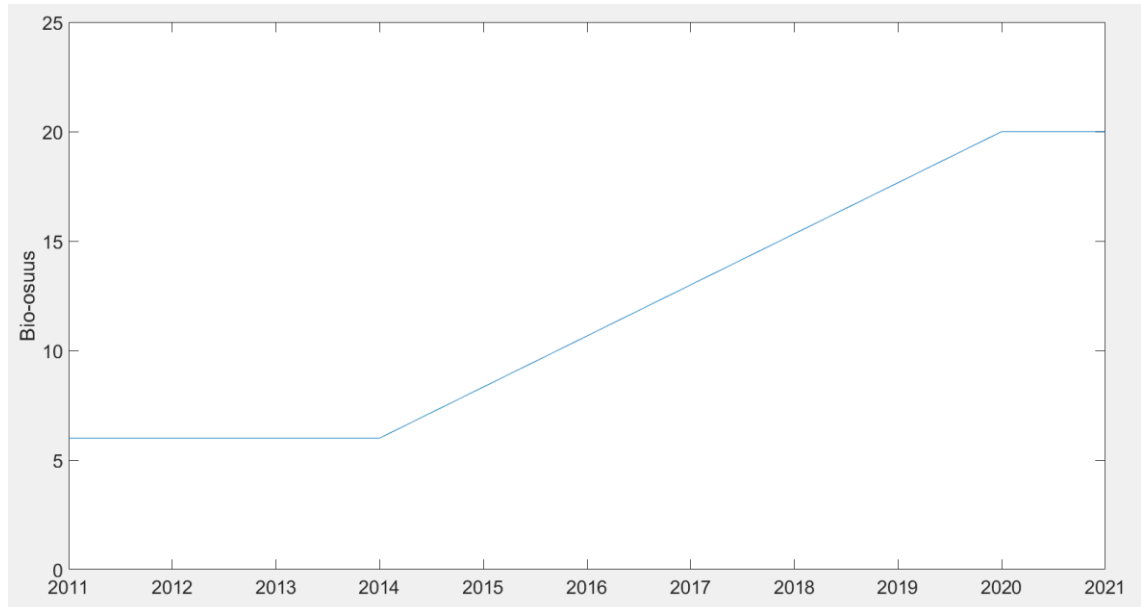
Suomen valtion pitkän aikavälin tavoite on kehittyä tulevaisuudessa hiilineutraaliksi yhteiskunnaksi. Nykyinen valtion toimintaa ohjaava tavoite on vähentää Suomen kasvihuonepäästöjä 80–95 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2017)

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisussa Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 listataan konkreettisia toimia EU:ssa sovittujen energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Liikennesektorin pitkän aikavälin tavoitteeksi määritellään erittäin vähäpäästöinen liikenne. Konkreettisempi lyhemmän aikavälin tavoite on vähentää liikenteen päästöjä 50 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2017)

Liikenteen päästöjen pienentämisellä on suuri vaikutus Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa, sillä liikenne tuottaa noin 40 % taakanjakosektorin päästöistä. Henkilöautoliikenne tuottaa noin 58 prosenttia tieliikenteen päästöistä ja paketti- ja kuorma-autoliikenne noin 37 prosenttia. Nopein tapa päästöjen vähentämiseksi on ottaa käyttöön nykyisiä vähäpäästöisempiä uusiutuvia polttoaineita. Tämä ei yksistään riitä, vaan koko liikenteen energiankulutusta pitää pienentää esimerkiksi helpottamalla julkisen liikenteen käyttöä ja parantamalla liikenteen energiatehokkuutta. Energia ja ilmastostrategian mukaan liikenteen päästöjä on helpompi pienentää kuin esimerkiksi maataloussektorin päästöjä. (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2017)

Suomen autokanta on keskimäärin vanhempaa kuin muissa Euroopan maissa. Vuonna 2015 autojen keski-ikä oli noin 11,7 vuotta ja autot romutettiin keskimäärin yli 20-vuotiaina (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2017). Tästä syystä on tärkeää kehittää biopolttoaineita, joita voidaan käyttää nykyautoissa suoraan tai vaadittavat tekniikkamuunnokset ovat pieniä. Vanhojen autojen liikenteestä poistuminen ja korvautumien uudemmilla vähäpäästöisillä ajoneuvoilla on liian hidasta, jotta se yksistään täyttäisi Suomen valtion liikennesektorille asettamat päästöjen vähennysvelvoitteet.

Suomen hallituksen vuonna 2010 tekemässä esityksessä biopolttoaineiden jakelua koskevaa lakia muutettiin kasvattamalla kaikkien polttoaineiden bio-osuusvaatimuksia. Laki tuli voimaan vuoden 2011 ensimmäisenä päivänä. Lain mukaan polttoaineiden bio-osuuden tuli olla 6 % vuosien 2011–2014 välillä ja kasvaa vuoden 2014 jälkeen tasaisesti, kunnes se oli 20 % vuonna 2020 (Kuva 1). (HE 197/2010)



Kuva 1. Polttoaineiden bio-osuus vuosittain (HE197/2010).

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä perinteisten polttoaineiden, bensiinin ja dieselöljyn, korvaaviin vaihtoehtoihin tieliikenteen ajoneuvoissa. Tarkastelun kohteina ovat tällä hetkellä käytetyimmät ja lupaavimmat polttoainevaihtoehdot, kuten biodieselit, maakaasu, biokaasu ja vety. Autokannan uusiutuminen ja korvautuminen vähäpäästöisillä vaihtoehdoilla, kuten sähköautoilla, on niin hidasta, ettei päästötavoitteita saavuteta pelkästään autokannan uusimisella. Sähkö käyttövoimana on rajattu tämän työn ulkopuolelle, koska työssä halutaan keskittyä siihen, mitä vaihtoehtoja nykyisen autokannan päästöjen vähentämiseen on.

2 PERINTEISET POLTTOAINEET

2.1 Bensiini

Bensiini oli vuonna 2020 suosituin valinta käyttövoimaksi uuteen autoon noin 47 % osuudellaan (SVT, 2020). Bensiiniä käytetään kipinäsytytteisissä polttomoottoreissa. Sen kiehumisalue on 30–210 °C ja itsesyttymislämpötila noin 500 °C. Bensiinin ominaisuuksia on listattu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Bensiinin tärkeimpiä ominaisuuksia. Koottu Standardista EN 228

Ominaisuus	Yksikkö	Rajat min/max	
Oktaaniluku RON/MON	-	95/85	-
Tiheys (15 °C)	kg/m ³	720	775
lyijyisältö	mg/l	-	5
Rikkisisältö	mg/kg	-	10
Etanolin määrä	% (V/V)	-	10
Bentseenin määrä	% (V/V)	-	1
Hapen määrä	% (m/m)	2,7	3,7

Oktaaniluku on yksi tärkeimpiä tunnuslukuja bensiinin valinnassa. Se kuvaa polttoaineen kykyä olla syttymättä paineen ja lämpötilan vaikutuksesta. Liian matala oktaaniluku aiheuttaa polttoaineen ennen aikaista syttymistä ja liian korkean sylinteripaineen muodostumista. Tämä voi aiheuttaa moottorin ennen aikaista kulumista ja johtaa jopa moottorivaurioon. Bensiinin oktaanilukua voidaan nostaa lisäämällä siihen etanolia maksimissaan 10 % V/V.

2.2 Diesel

Dieselautojen suosio on ollut pitkään laskussa ja vuonna 2020 rekisteröidyistä henkilöautoista noin 13 % toimi dieselillä (SVT, 2020). Dieselä käytetään puristussytytteisissä moottoreissa. Sen kiehumisalue on noin 160–370 °C ja itsesyttymislämpötila noin 350 °C. Euroopassa myytävän dieselin ominaisuudet määrätään standardissa EN 590. Dieselin tärkeimpiä ominaisuuksia on kerätty taulukkoon 2.

Taulukko 2. Dieselin tärkeimpiä ominaisuuksia. Koottu Standardista EN 590

Ominaisuus	yksikkö	Rajat min/max	
Setaaniluku	-	51	-
Setaani-indeksi	-	46	
Tiheys (15 °C)	kg/m ³	820	845
Viskositeetti (40 °C)	mm ² /s	2	4,5
Rikkisisältö	mg/kg	-	10
Voitelukyky	µm	-	460
FAME sisältö	% (V/V)	-	7
Vesisisältö	mg/kg	-	200
Leimahduspiste	°C	55	-

Tärkein dieselin laatua kuvaava ominaisuus on setaaniluku. Se kuvaa polttoaineen itsesyttymiskykyä. Suuri setaaniluku tarkoittaa hyvää dieselin syttymiskykyä ja näin ollen korkeaa laatua. Dieselmoottorin polttoaineet tarvitsevat korkean setaaniluvun, koska

moottori toimii puristussytytteisesti, eli polttoaine syttyy itsestään sylinterissä korkean paineen ja lämpötilan vaikutuksesta. Setaaniluvun pitää olla yli 50, jotta nykyaikaiset moottorit toimivat optimaalisesti. Parafiinit nostavat polttoaineen setaanilukua ja vastaavasti aromaattiset yhdisteet laskevat sitä. (Dietsche et al., 2018. S333)

3 VAIHTOEHTOISET POLTTOAINEET

Biopolttoaineet jaetaan eri sukupolviin sen mukaan, mistä ne valmistetaan.

1.Sukupolvi

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet valmistetaan sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista, sekä kasviöljyistä (Motiva, 2020a). Niiden käytöllä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä, mutta ne kilpailevat samoista raaka-aineista elintarviketeollisuuden kanssa. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden valmistaminen aiheuttaa ruoan hintojen nousua, ruokapulaa ja lisää metsien raivaamista pelloiksi (Puricelli et al., 2021). Sen takia biopolttoaineiden tuotannossa ollaan siirtymässä pois syötäväksi kelpaavien raaka-aineiden käytöstä.

2.Sukupolvi

Toisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineina käytetään esimerkiksi elintarviketuotannon biojätteitä, kasvien syötäväksi kelpaamattomia osia ja eläinten lantaa. Niiden valmistus on monimutkaisempaa ja kalliimpaa kuin 1. sukupolven biopolttoaineiden ja raaka-aineiden saanti on vaihtelevaa. (Puricelli et al., 2021)

3.Sukupolvi

Biopolttoaineiden kolmas sukupolvi on vielä kehitteillä, eikä siihen kuuluvia polttoaineita ole markkinoilla vielä lähivuosina. Niiden valmistukseen tullaan käyttämään täysin uudenlaisia raaka-aineita, kuten leviä. (Motiva, 2020a)

Levillä on monta hyvää ominaisuutta, jotka kannustavat niiden käyttöön biopolttoaineiden raaka-aineena. Ne eivät kelpaa ravinnoksi ja ne kasvavat hyvin nopeasti, joten uusi sato voidaan kerätä muutaman päivän välein, kun taas kasvien kasvaminen kestää kuukausista vuosiin. Levät tarvitsevat vain muutamia ravinteita kasvaakseen täydellä vauhdilla, mutta voivat kasvaa kohtalaisen hyvin huonoissakin olosuhteissa. Levien tuotantomäärät samalla pinta-alalla ovat 15–300 kertaisia ruokakasveihin verrattuna. (Semakula, Inambao, 2021)

3.1 Biodiesel

Biodieselillä tarkoitetaan rasvahapon metyyliestereitä (Fatty Acid Methyl Ester=FAME), joita valmistetaan eläin- tai kasvirasvoista esteröimällä niitä alkoholin, yleensä metanolin, kanssa. Sivutuotteena syntyy glyserolia. Kasvirasvat eivät ole keskenään samanlaisia, joten prosessista saadun biodieselin ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan, mistä se on valmistettu. Prosessin lähtöaineena voidaan käyttää laajasti eri kasvi- eläin- tai jäterasvoja. Maailmanlaajuisesti eniten käytetään palmuöljyä ja Euroopassa lähtöaineena käytetään eniten rapsiöljyä. Käytetyistä paistorasvoista valmistetusta biodieselistä käytetään nimitystä UFOME. FAME:n ominaisuudet määritellään standardissa ISO-EN 14214 ja tärkeimmät ominaisuudet on koottu taulukkoon 3. (Dietsche et al., 2018)

Biodiesel on rakenteeltaan esteri, eikä se säily yhtä hyvin kuin normaali diesel, vaan alkaa ajan kuluessa hajota takaisin lähtöaineisiinsa. Se sitoo itseensä runsaasti vettä ja sen rakenne ja ominaisuudet poikkeavat perinteistä dieselistä merkittävästi. Tämän vuoksi se ei sovellu käytettäväksi nykymootoreissa yksistään, vaan sitä sekoitetaan perinteiseen dieseliin maksimissaan 7 % V/V nostamaan dieselin biopohjaisuutta. Suurien seossuhteiden käyttö vaatisi muutoksia moottorin toimintaparametreihin, kuten ruiskutusennakkoon, puristussuhteeseen ja ruiskutusaineeseen. Näin ollen nykyisten dieselmootoreiden muuttaminen puhtaasti biodieselikäyttöiseksi on hankalaa. (Puricelli et al., 2021).

Viskositeetti tarkoittaa nesteen kykyä vastustaa virtausta sisäisen kitkan avulla. Korkea viskositeetti tarkoittaa suurta sisäistä kitkaa, jonka seurauksena neste virtaa hitaammin. FAME:n viskositeetti on paljon suurempi kuin perinteisellä dieselillä, joten sen ruiskutus sylinteriin aiheuttaa suuremman painehiipun ruiskutusjärjestelmään, ja ruiskutus tapahtuu suurempina pisaroina. Nämä seikat voivat aiheuttaa epäpuhdasta palamista ja käyntiongelmia. FAME:n viskositeetti kasvaa voimakkaasti lämpötilan laskiessa pahentaen edellä mainittujen ongelmien vaikutuksia kylmäkäynnistyksen yhteydessä. (Dietsche et al., 2018)

Perinteisen dieselin voitelukyky on heikko eikä se yksistään riitä täyttämään standardien voitelukykyvaatimuksia. FAME:n sekoittaminen dieselin sekaan parantaa sen voiteluominaisuuksia, eikä voitelua parantavia lisäaineita tarvita. (Dietsche et al., 2018)

Biodieselin ongelmana on se, että sitä valmistetaan usein palmuöljystä. Palmujen viljely kuluttaa paljon luonnonvaroja ja viljelmien tieltä raivataan sademetsiä ja soita. Mikäli raaka-aineiden viljelyyn käytetyt resurssit ja viljelmien aiheuttama metsien hakkaaminen huomioidaan biodieselin päästöihin, on sen kokonaispäästöt ovat jopa suuremmat kuin perinteisellä dieselillä. Euroopan unioni onkin kieltämässä palmuöljyn käytön polttoaineissa. (Ikävalko, 2020).

Taulukko 3. FAME:n tärkeimpiä ominaisuuksia. Koottu standardista ISO-EN 14214

Ominaisuus	yksikkö	Rajat	
		min	max
Fame sisältö	% (m/m)	96,5	-
Setaaniluku	-	51	-
Tiheys (15 °C)	kg/m ³	860	900
Viskositeetti (40 °C)	mm ² /s	3,5	5
Rikkisisältö	mg/kg	-	10
Leimahduspiste	°C	101	-
Vesi sisältö	& (m/m)	-	0,05

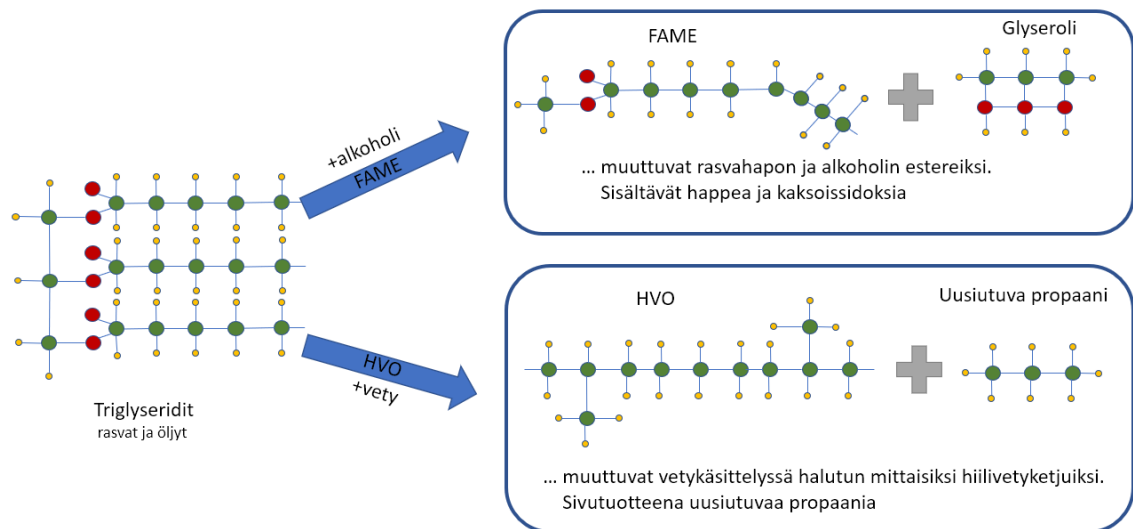
3.2 Uusiutuva diesel

Uusiutuvilla dieseleillä tarkoitetaan toisen sukupolven biodieseleitä. Uusiutuviin dieseleihin kuuluu vetykäsitelty kasviöljy (HVO) ja Fischer-Tropsch diesel (FT-diesel tai synteettinen diesel). (Puricelli et al., 2021)

HVO tarkoittaa vetykäsiteltyä kasviöljyä, jota voidaan nimityksestä huolimatta valmistaa kaikista öljyistä ja rasvoista. Menetelmä ei ole yhtä tarkka lähtöaineiden alkuperän ja

laadun suhteen kuin esteröinti, jolla biodieseliä valmistetaan. Vetykäsittelyllä saadaan tasalaatuista hiilivetyseosta, jonka ominaisuudet vastaavat perinteistä dieseliä. Se on puhtaasti biopohjainen, sillä sen valmistamiseen ei tarvita ollenkaan maaöljyä. (Puricelli et al., 2021)

Yksinkertaistettu HVO:n valmistusprosessi on esitetty kuvassa 2. Rasvahappo ja vety reagoivat korkeassa paineessa ja lämpötilassa, jolloin rasvahapon kaksoissidokset purkautuvat muodostaen monihaaraisia hiilivetyketjuja. Samalla epäpuhtautena oleva glyseriini muodostaa propaania. (Neste Oyj, 2020)

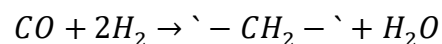


Kuva 2. FAME:n ja HVO:n valmistusprosessit (Mukaihen Neste Oyj 2020).

HVO on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin lähellä perinteistä dieseliä, joten sitä voidaan käyttää tavallisen dieselmoottorin polttoaineena yksistään. Se ei sisällä happea, aromaattisia yhdisteitä eikä rikkiä, joten se palaa puhtaammin kuin bio- tai perinteinen diesel ja sillä on niitä korkeampi setaaniluku, lämpöarvo ja hapettumisvakaus. (Puricelli et al., 2021)

Fischer-Tropsch-diesel

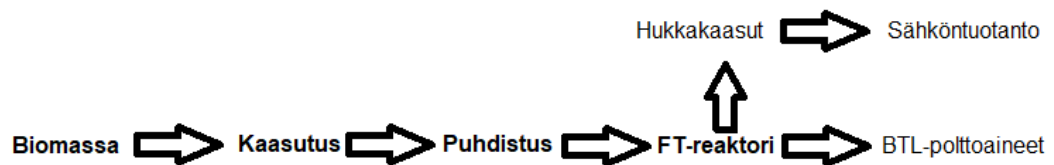
Fischer-Tropsch (FT) -synteesi on reaktio, jossa hiilimonoksidi ja vety reagoivat FT-reaktorissa korkean lämpötilan ja paineen alaisena muodostaen hiilivetyketjuja. Synteesiä kuvaa reaktioyhtälö,



jossa $\text{-CH}_2\text{-}$ kuvaa eri mittaisia hiilivetyketjuja. Reaktio tapahtuu 150–300 °C lämpötilassa, jolla estetään haitallinen metaanin muodostuminen. Korkea paine parantaa reaktion hyötysuhdetta. Reaktiossa käytettävät paineet vaihtelevat yhdestä muutamaa kymmeneen ilmakehän paineeseen. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

FT-menetelmän lähtöaineeksi tarvitaan vety- ja hiilimonoksidipitoista synteetikaasua, jota saadaan kaasuttamalla hiilestä, metaanista tai biomassasta. Prosesseja kuvataan termeillä Gas-To-Liquid (GTL), Coal-To-Liquid, (CTL) tai Biomass-To-Liquid (BTL) lähtöaineesta riippuen. Koska hiili ja metaani ovat fossiilisia polttoaineita, lukeutuvat niistä valmistetut synteettiset dieselitkin fossiilisiin polttoaineisiin. Ympäristön kannalta kestävin vaihtoehto on BTL. (Dietsche et al., 2018)

Biomassan FT-prosessi sisältää kolme päävaihetta, jotka ovat raaka-aineiden kaasutus synteetikaasuksi, synteetikaasun puhdistus ja FT-synteesi. Prosessin vaiheet kuvataan kuvassa 3.



Kuva 3. FT-prosessin vaiheet (Mukaillen Luque, Campelo & Clark 2011).

Kaasutuksessa biomassaa muutetaan synteetikaasuksi, joka sisältää vetyä, hiilimonoksidia, metaania ja hiilidioksidia.

Prosessin hankalin ja kallein vaihe on synteetikaasun puhdistus, joka aiheuttaa jopa 60–70 % koko prosessin kustannuksista. Biomassasta valmistettu synteetikaasu sisältää runsaasti epäpuhtauksia, kuten pienhiukkasia, tervaa, rikkivetyä, suolahappoa ja ammoniakkaa. Monet epäpuhtauksista ovat haitaksi FT-reaktorin katalyyteille ja etenkin tervat kondensoituvat reaktorin pinnoille heikentäen sen toimintaa ja tukkimaalla putkistoja. Tämän vuoksi synteetikaasu pitää puhdistaa ennen reaktoria. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

FT-synteesi tapahtuu FT-reaktorissa katalyytin vaikutuksesta. Katalyytteinä käytetään jaksollisen järjestelmän VIII ryhmän metalleja, joista rauta on sen helpon saatavuuden takia käytetyin. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

FT-synteesin lopputuloksena saadaan erittäin tasalaatuista hiilivetyseosta, jossa ei ole juuri ollenkaan aromaattisia- eikä rikkiyhdisteitä. Koska aromaattisia yhdisteitä ei ole, on sen setaaniluku erittäin korkea, jopa 75. Se sopii täysin käytettäväksi nykyisten dieselmootoreiden polttoaineena tai sekoitettavaksi millä tahansa seossuhteella perinteiseen dieseliin. (Dietsche et al., 2018)

HVO ja BtL-diesel ovat lupaavia biopolttoaineita tulevaisuuden liikenteeseen. Ne ovat ominaisuuksiltaan parempia kuin tavallinen diesel ja niiden biopohjaisuuden takia niiden kokonaisilmastovaikutukset ovat huomattavasti perinteistä dieseliä pienemmät. (Puricelli et al., 2021)

3.3 Bioetanoli

Etanoli (C_2H_5OH) on väritön neste. Sen kiehumispiste on $78\text{ }^{\circ}C$ ja se on erittäin syttymisherkkää. Sitä voidaan käyttää polttoaineena ottomootoreissa tai sekoitettuna bensiiniin tai dieseliin. Sen lämpöarvo ja höyrynpaine ovat matalampia kuin bensiinillä aiheuttaen käynnistymisongelmia matalissa lämpötiloissa. Etanoli ei ole ympäristön kannalta yhtä vaarallista kuin bensiini tai diesel ja se voidaan esimerkiksi ympäristöön joutuessaan hajottaa bakteerien avulla hiilidioksidiksi ja vedeksi. Etanolia valmistetaan usein fossiilisten polttoaineiden avulla, mutta bioetanolia voidaan valmistaa biomassasta. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

Bioetanolia voidaan valmistaa glukoosia, tärkkelystä tai lignoselluloosaa sisältävästä biomassasta. Tärkkelystä ja glukoosia sisältävät kasvit kuten sokeriruoko, sokerijuurikas ja peruna ovat kuitenkin ruokakasveja, joten niiden käyttö polttoaineiden valmistuksessa on kyseenalaista. Ilmaston kannalta lupaavin vaihtoehto bioetanolin valmistukseen on lignoselluloosaa sisältävä biomassa, kuten puu, syömäkelvottomat kasvit ja biojätteet. Lignoselluloosa sisältää selluloosaa, hemiselluloosaa ja ligniiniä, sekä pieniä määriä suoloja. Suurin osa siitä on selluloosaa, joka koostuu 100–1400 yksikköä pitkistä glukoosiketjuista. Glukoosiketjut ovat suoria ja niiden väliin voi muodostua useita

vetysidoksia. Tämän seurauksena selluloosa muodostaa hyvin stabiileja kristallirakenteita vaikeuttaen sen hydrolyysiä. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

Hydrolyysissä vesi reagoi selluloosan ja hemiselluloosan kanssa hajottaen sen sokereiksi kuten glukoosiksi ja ksyloosiksi. Hydrolyysin jälkeen irronneet sokeriyksiköt käyvät hiivan kanssa muodostaen etanolia. Hiiva ei pysty reagoimaan ksyloosin kanssa, joten sen käyttämiseksi tarvitaan muita mikrobeja tai bakteereita. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

Etanolin oktaaniluku on erittäin korkea, noin 129. Oktaaniluku kuvaa polttoaineen nakutuksen vastustuskykyä, eli kykyä olla syttymättä itsestään kovan paineen ja lämpötilan vaikutuksesta. Polttoaineen korkea oktaaniluku mahdollistaa suuremman puristussuhteen käytön ennen haitallisen nakutuksen syntymistä, kuin matalamman oktaaniluvun polttoaineet. Tämä parantaa moottorin hyötysuhdetta. (Dietsche et al., 2018)

Etanolin setaaniluku on erittäin matala, noin 8, joten sen käyttäminen dieselmootoreissa on mahdotonta ilman syttymistä parantavia lisäaineita. Etanolin ja dieselin sekoitus vaatii myös lisäaineita, jotka parantavat aineiden sekoittumista keskenään, sillä etanoli pyrkii erottumaan dieselistä. Lisäaineistukset kasvattavat polttoaineen hintaa, joten etanolia käytetään yleensä vain ottomootoreissa. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

Ajoneuvovalmistajat lupaavat nykymootoreiden kestävän maksimissaan 10 % V/V etanolia sisältävän bensiinin käytön ilman muutoksia, joten nykyiset bensiinilaadut sisältävät etanolia 5–10 % V/V (Luque, Campelo & Clark, 2011). Ruiskutusjärjestelmän muutossarjan avulla polttoaineen etanolipitoisuus voidaan nostaa 85 % (Dietsche et al., 2018). Etanolin lämpöarvo on matalampi kuin bensiinin, joten sylinteriin ruiskutetaan enemmän polttoainetta työkiertoa kohti. Tästä johtuen ruiskutusaika on pidempi. Ajoneuvoon asennetaan järjestelmä, joka tunnistaa tankatun polttoaineen ja säättää ruiskutusajan sen mukaan. (eFlexFuel, 2021)

Alkoholin määrän kasvattaminen polttoaineessa vähentää terveydelle haitallisten hiukkaspäästöjen määrää. Toisaalta etanolin bensiiniä matalampi lämpöarvo lisää polttoaineen kulutusta, minkä seurauksena kaasumaiset päästöt kasvavat. (Ilmatieteenlaitos, 2017)

Kaikkea tuotettua etanolia ei voida käyttää liikennepolttoaineeksi, vaan sitä tarvitaan useilla eri teollisuuden aloilla. Suuri osa etanolista valmistetaan fossiilisista polttoaineista, joten sen korvaaminen bioetanolilla vähentää hiilidioksidipäästöjä monilla teollisuuden aloilla. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

3.4 Maakaasu ja biokaasu

Maa- ja biokaasu ovat pohjimmiltaan samaa kaasua, mutta niiden alkuperä on erilainen. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, jota pumpataan maan kuoresta. Biokaasu valmistetaan orgaanisista jätteistä. Molemmat sisältävät lähes pelkästään metaania (CH₄). (Gasum, 2020)

Metaanin käyttö polttoaineena vähentää ajoneuvon hiilidioksidipäästöjä noin 25 % verrattuna bensiiniin (Dietsche et al., 2018). Dieseliin verrattuna hiilidioksidipäästöjen aleneminen on lähteestä riippuen 16–10 % (Gustafsson, Svensson, 2021). Metaanin palaminen tuottaa vähemmän hiilidioksidia tuotettua energiayksikköä kohti kuin diesel tai bensiini, mutta kaasun tuotannon, kuljetuksen, tankkauksen ja epäpuhtaan palamisen seurauksena tapahtuvat metaanivuodot, sekä kaasumootorin heikompi hyötysuhde nostavat maakaasulla toimivan ajoneuvon kokonaisilmastovaikutukset samalle tasolle dieselin kanssa (Gustafsson, Svensson, 2021). Näin ollen maakaasun käyttö polttoaineena ei vähennä ajoneuvon ilmastovaikutuksia, vaan kaasuauton todelliset edut saavutetaan vasta, kun siinä käytetään biokaasua.

Biokaasulla tarkoitetaan metaania, joka on valmistettu uusiutuvista lähtöaineista. Biokaasua valmistetaan mädättämiseksi kutsutulla menetelmällä, jossa orgaaniset yhdisteet hajoavat metaaniksi ja hiilidioksidiksi hapettomassa ympäristössä. Reaktiota tapahtuu luonnollisesti hapettomissa ympäristöissä kuten järvien pohjassa, maan alla ja eläinten suolistoissa, mutta mädätyksellä viitataan teollisen mittakaavan prosessiin, joka tapahtuu suljetussa säiliössä. (Luque, Campelo & Clark, 2011)

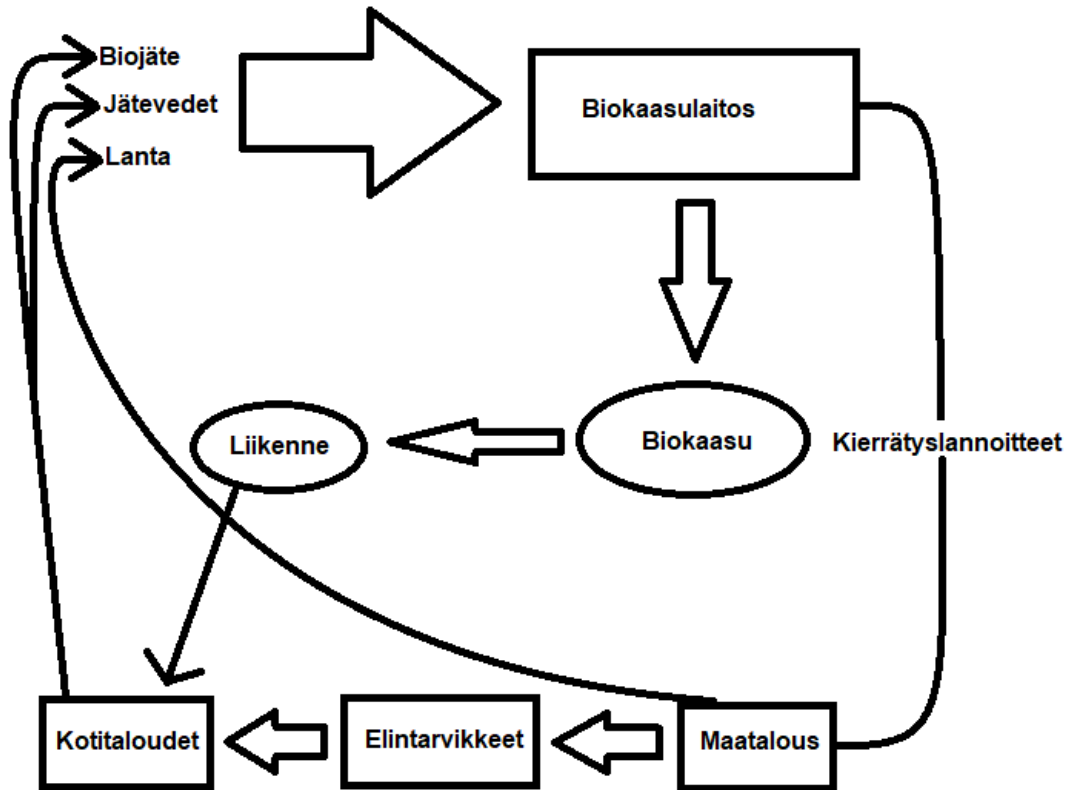
Biokaasun tuotantoon kelpaa monenlaiset orgaaniset jätteet, kuten biojäte, kasvien syömäkelpottomat osat ja eläinten lanta. Lähtöaineet silputaan pieniksi palasiksi ja lietteistetään veden kanssa. Saatu liete suljetaan lämmitettyyn säiliöön useiksi viikoiksi, jolloin mikrobit hajottavat orgaanisen lietteen metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Saatu kaasu

puhdistetaan, jolloin metaanipitoisuus kasvaa noin 98 %:iin. Jäänyt liete kuivatetaan ja käytetään lannoitteena. (Gasum Oy, 2020)

Mädätysliete sisältää paljon erilaisia ravinteita, kuten hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja, joten sen hajottamiseen tarvitaan useita erilaisia mikrobiryhmiä. Eri mikrobiryhmien hajotusreaktiot aiheuttavat erilaisia muutoksia säiliön olosuhteisiin ja jonkun ryhmän aktiivisuuden kasvaessa, muut ryhmät jäävät alakynteeseen. Pahimmillaan olosuhteet tankissa voivat muuttua myrkyllisiksi ja reaktio pysähtyä. Tämä estetään säätämällä tankin Ph-arvoa, lämpötilaa ja varmistamalla, että eri ravinteiden osuus lietteessä on tasapainossa. (Gasum Oy, 2020)

Mädätyksestä saadaan kaasua, joka sisältää paljon metaania ja hiilidioksidia. Kaasu voidaan puhdistaa, jolloin metaanipitoisuus nousee hyvin korkeaksi. Prosessin lähtöaineet ovat enimmäkseen jätteitä ja tähteitä, joille ei ole mitään muuta käyttöä, joten biokaasun tuotanto ei aiheuta raaka-ainepulaa millekään muulle sektorille. Koska orgaaniset jätteet hajoaisivat ajan myötä joka tapauksessa tuottaen metaania, on metaanin talteen ottaminen ja käyttäminen energian tuotantoon tai ajoneuvojen polttoaineeksi järkevää. Metaani kiihdyttää ilmaston lämpenemistä huomattavasti enemmän kuin hiilidioksidi, joten hiljalleen hajoavien jätteiden kerääminen mädätykseen ja saadun metaanin polttaminen hiilidioksidiksi on jo ilmastoteko itsessään. Prosessin lopussa saatava mädätysjäte voidaan käyttää lannoitteena, mikä vähentää lannoitteiden valmistuksen tarvetta vähentäen näin hiilidioksidi päästöjä. (Gasum Oy, 2020)

Biokaasuauto tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin bensiini- ja dieselautot ja sen polttoaine on valmistettu jätteistä, joten sen kokonaispäästöt lähellä nollaa. Jos päästöissä huomioidaan biokaasun valmistuksessa syntyvän mädätysjäätännöksen käyttö lannoitteena ja sen vähentämä lannoitteiden tarve, on biokaasuauto käytännössä hiilineutraali tai jopa hiilinegatiivinen (Gustafsson, Svensson, 2021). Raaka-aineiden kierto biokaasun tuotannossa on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Tavarankulku biokaasun tuotannossa (Mukaiillen Gasum Oy 2020).

Biokaasun tuotanto Suomessa kasvaa keskimäärin muutamalla prosentilla vuodessa. Sitä tuotetaan eniten jäteasemien yhteyteen perustetuilla kaasulaitoksilla. Siitä käytetään enimmäkseen sähkön- ja lämmöntuotantoon, mutta liikennekäytön kasvu on nopeaa. (Työ- ja Elinkeinoministeriö, 2017)

3.5 Vety

Vetyä ei löydy maapallolta yksinään, vaan se on reagoinut muiden aineiden kanssa muodostaen yhdisteitä. Vedyn valmistus vaatii paljon energiaa, sillä vety pitää saada irrotettua siihen liittyneistä aineista.

Maailmanlaajuisesti eniten käytetty tapa vedyn valmistamiseksi on maakaasun höyryreformointi. Siinä vety irrotetaan hiilestä ja hiili hapetetaan hiilidioksidiksi. Menetelmää käytetään sen taloudellisuuden takia, mutta sivutuotteena tuotetaan paljon hiilidioksidia. Tällä menetelmällä valmistettu vety vastaa hiilidioksidi päästöiltään fossiilisia polttoaineita. (Motiva Oy, 2020b)

Puhtaampi tapa valmistaa vetyä on kaasuttaa kiinteää biomassaa ja erotella vety lopputuotteista. Prosessissa tuotettu vety sisältää hyvin paljon epäpuhtauksia, joten menetelmä vaatii vielä paljon kehittämistä. (Motiva Oy, 2020b)

Puhtainta vetyä valmistetaan hajottamalla vettä hapeksi ja vedyksi elektrolyysin avulla. Menetelmä vaatii paljon sähköä, joten sillä valmistettu vety on hyvin kallista. (Motiva). Yksi lupaavimmista keinoista tulevaisuuden liikenteen päästöttömyyteen on valmistaa vetyä uusiutuvalla energialla ja käyttää sitä liikennepolttoaineena polttokennoautoissa.

Vetyä voidaan käyttää polttoaineena polttomoottorissa tai valmistaa sillä sähköä polttokennossa. Polttokennoja käytetään, koska sillä saavutetaan huomattavasti korkeampi hyötysuhde. (Dietsche et al., 2018). Polttokennojen korkea hinta ja vedynjakelu infrastruktuurin puute hidastaa tekniikan käyttöönottoa. (Puricelli et al., 2021)

Polttokennossa vety reagoi hapen kanssa muodostaen vettä ja sähköä. Niinpä vetyauto on käytännössä sähköauto, jota ladataan polttokennolla. Vetyauton paikallispäästöt ovat pelkkää vesihöyryä, joten niiden käyttö kaupungeissa voi parantaa ilman laatua huomattavasti. Vetyauton kasvihuonepäästöt muodostuvat vedyn valmistuksesta ja kuljetuksesta syntyvistä päästöistä.

Vedyn varastointi on hankalaa. Vaikka vedyn lämpöarvo on hyvin korkea, noin 120MJ/kg, sen energiatiheys tilavuuden suhteen on hyvin matala. Vety täytyy säilöä hyvin korkeaan paineeseen tai nesteyttää -253°C lämpötilassa, jotta kaasupullosta saadaan riittävän pieni ajoneuvokäyttöön. Vedyn säilöminen metallien hybrideinä on jatkuvan tutkimuksen kohteena, mutta tekniikka ei ole vielä kaupallisessa käytössä. (Dietsche et al., 2018, Puricelli et al., 2021)

4 YHTEENVETO

Tällä hetkellä tunnettujen vaihtoehtoisten polttoaineiden kirjo on kohtalaisen laaja ja perinteisiä polttoaineita vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja on saatavilla. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön yleistymiselle on useita ongelmia, kuten jakeluinfran puute ja korkea hinta, mutta polttoaineiden tutkimus ja uusiutuvia energialähteitä suosiva verotus ajavat vaihtoehtoisten polttoaineiden kannattavuutta parempaan suuntaan. Perinteisten polttoaineiden hinta kasvaa jatkuvasti, joten erotus perinteisten ja uusiutuvien vaihtoehtojen välillä pienenee koko ajan.

Fossiilinen diesel on tällä hetkellä helpon korvattavissa uusiutuvilla vaihtoehdoilla. Öljy-yhtiöt tarjoavat sekä bio- että uusiutuvia dieselitä, vaikkakin niiden hinta on fossiilista dieselä korkeampi. Biodieselä, eli FAME:a käytetään fossiilisessa dieselissä parantamaan sen voitelukykyä ja nostamaan sen biopohjaisuusprosenttia. FAME ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi suurina pitoisuuksina, eikä sen kokonaisilmasto vaikutuksista ole kovin suurta varmuutta, joten se ei pitkällä tähtäimellä ole ratkaisu liikenteen päästöjen merkittävässä vähentämisessä.

Uusiutuvat dieselit, HVO ja FT-dieselit, soveltuvat diesel moottoreihin sellaisenaan. Ne ovat koostumukseltaan lähes ideaaleja, eivätkä sisällä juuri mitään epäpuhtauksia. Uusiutuvilla dieselillä on myös se hyvä puoli, että ne sopivat nykyiseen polttoaineen jakelu infrastruktuuriin, joten niiden käyttöönotto on helppoa. Ongelmana on niiden valmistamisen monimutkaisuus ja sen seurauksena korkea hinta. Dieselin käyttövoimavero on hyvin korkea, joten dieselin käyttö tulee luultavasti vähenemään tulevaisuudessa. Uusiutuvat dieselit voisivat olla kuitenkin vastaus ainakin raskaan kaluston päästöjen pienentämiseen.

Bensiiniautojen uusiutuvat polttoainevaihtoehdot ovat biokaasu ja bioetanoli. Bensiini tarvitsee aina etanolia nostamaan sen oktaanilukua, joten fossiilisen bensiinin bioastetta voidaan nostaa käyttämällä bioetanolia. Mikäli bensiiniautossa halutaan käyttää kaasua tai etanolia korkeilla seossuhteilla, vaatii polttoaineen jakelujärjestelmä muutoksia. Ilmaston kannalta paras ratkaisu olisi muuttaa mahdollisimman monta bensiiniautoa toimimaan biokaasulla, sillä tutkimusten mukaan biokaasu on parhaimmillaan jopa hiilinegatiivinen polttoaine. Biokaasun jakeluinfra on vielä puutteellinen, mutta se

kehittyy kovaa vauhtia. Biokaasulaitoksia perustetaan usein kaatopaikoille ja maatiloille, joten sen saatavuus kaupunkien ulkopuolella paranee koko ajan.

Vety olisi polttoaineista puhtain, sillä se tuottaa pakokaasuna ainoastaan vesihöyryä. Vetyautot eivät käytä polttomoottoria, joten ne ovat sähköautojen tapaan hiljaisia, eivätkä aiheuta paikallis päästöjä. Näin ollen ne olisivat ihanteellinen vaihtoehto etenkin kaupunkialueille. Vedyn ongelmana on sen pieni energiatiheys, joten ajoneuvokäyttöön riittävän energiamäärän varastointi vaatii joko erittäin suuren kaasupullon tai paineen. Nämä seikat aiheuttavat omat ongelmansa sen käytön laajentamiseen. Suomessa ei ole myöskään vedylle sopivaa laajamittaista jakeluverkostoa, joten sen käyttöönotto tulee olemaan hidasta ja kallista. Mikäli vedyn valmistus saadaan ajan mittaan kannattavaksi ja jakeluinfra kehittyä, voi vedystä tulla aikanaan paras vaihtoehto puhtaan liikenteen polttoaineeksi.

Suomi on polttoaineiden saannin kannalta hyvin riippuvainen muista maista. Maaöljy ja maakaasu tuodaan ulkomailta ja jalostetaan Suomessa polttoainekäyttöön sopivaksi. Uusiutuvia polttoaineita voitaisiin valmistaa Suomessa kotimaisista raaka-aineista, jolloin ylimääräinen rahtiliikenne vähenisi, joka jo yksinään vähentäisi ilmaston rasitusta huomattavasti. Polttoaineiden saanti olisi turvattu kriisiaikoinakin ja polttoaineiden hinnat eivät vaihtelisi öljyn markkinahinnan mukaan. Etenkin Bioetanolin, biokaasun ja uusiutuvan dieselin valmistukseen löytyy raaka-aineita pitkäksi aikaa.

LÄHDELUETTELO

Dietsche, K., Reif, K., Thiess, M. & Robert Bosch GmbH 2018, Automotive handbook, 10th edition, revised and extended edn, Robert Bosch GmbH, Karlsruhe

eFlexFuel Oy, 2021. Info. Pirkkala: eFlexFuel Oy. Saatavissa: <https://eflexfuel.fi/toimintaperiaate> [Viitattu: 11.2.2021]

Gasum Oy, 2020. Miten biokaasua tuotetaan? Espoo, Gasum Oy. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan>. [Viitattu 17.2.2021]

HE 197/2010. (2010). Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta. [online, viitattu 16.11.2021]. saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2010/20100197>

Ikävalko, K., 2020. Tutkijan väite: Nesteen biodiesel lisää reippaasti ilmastopäästöjä – Neste pitää raaka-ainettaan jätteenä. Helsinki, Yleisradio. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-11185697> [Viitattu 23.11.2021]

Ilmatieteenlaitos, 2017. Etanolipolttoaineet pienentävät autojen hiukkaspäästöjä. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/366920718> [Viitattu 11.02.2021]

Motiva Oy, 2020a. Biokaasu [verkkosivusto]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/nestemaiset_biopolttoaineet/ [viitattu 16.11.2021]

Motiva Oy, 2020b. Biokaasu [verkkosivusto]. Helsinki: Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet/vety [viitattu 16.11.2021]

Neste Oyj, 2020. Neste renewable diesel handbook. Espoo: Neste Oyj. Saatavissa: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf [Viitattu: 22.11.2021]

Puricelli, S., Cardellini, G., Casadei, S., Faedo, D., van den Oever, A. E. M. & Grosso, M. 2021, "A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137.

Semakula, M. & Inambao, F. 2021, "Waste To Energy Feedstock Sources for the Production of Biodiesel as Fuel Energy in Diesel Engine - A Review", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 109-446

SFS-EN 2008:2012+A1:2017:en, 2017, Automotive fuels. Unleaded petrol. Requirements and test methods. PAINOS 5. 18 s.

SFS-EN 590:2013 + A1:2017:en. Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods. PAINOS 6. 15 s.

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2020: Moottoriajoneuvokanta [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-856X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 18.5.2021]. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/mkan/index.html>

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>. [Viitattu 17.2.2021]. 119 s.