



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

## **Moottoreiden polttoaineet**

Oskari Juntunen

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Moottoreiden polttoaineet

Oskari Juntunen

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 33 s. + 0 liitettä

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Jussi Salakka

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on esitellä erilaisia saatavilla olevia moottoreiden polttoaineiksi soveltuvia energianlähteitä ja käsitellä energian tärkeyttä teollistuneessa yhteiskunnassamme. Työssäni käyn läpi eri polttomoottoreissa käytettäviä polttoaineita ja sitä, miten niitä valmistetaan, miten ne eroavat toisistaan ja millainen osa niillä on polttoaineiden tulevaisuudessa. Käsitelen myös moottoreiden ja niissä käytettävien polttoaineiden kehitystä vuosisatojen aikana, aina polttomoottorin keksimisestä lähtien. Tavoitteenani on tutkia ja tuoda ilmi polttoaineiden ominaisuuksia, energiasisältöjä ja niistä aiheutuvia päästöjä, sekä selvittää sitä, miten hyvin polttoaineita on saatavilla ja onko niiden käyttö taloudellisesti kannattavaa. Valitsin moottoreiden polttoaineet kandidaatintyöni aiheeksi, koska mielestäni aihe on hyvin ajankohtainen ja itseäni kiinnostava.

Suurin osa liikenteessä käytettävästä energiasta saadaan öljystä. Öljynjalostuksesta saadaan monipuolinen valikoima erilaisia öljytuotekomponentteja, joista ajoneuvojen polttoaineet ovat tärkeimpiä ja siksi niin suuri osa raakaöljystä jalostetaan bensiiniksi ja muiksi polttoaineiksi. Lyhyellä aikavälillä katsottaessa, bensiini ja diesel ovat vakiinnuttaneet asemaansa yleisimpänä polttoaineena tieliikenteessä. Syitä tähän on valmis infrastruktuuri ajoneuvojen tankkaukseen ja polttoaineiden jakeluun, näiden polttoaineiden helppo käsiteltävyys ja korkea energiasisältö, joka takaa kuluttajille odotuksenmukaiset toimintamatkat sekä jo olemassa oleva ajoneuvokanta, jota ei voida korvata nopeasti. Vaihtoehtoisia polttoaineita on kuitenkin kehitetty ja niitä on jo markkinoilla huomattava määrä ja pitkällä aikavälillä niiden käyttö tulee yleistymään huomattavasti. Polttoainemarkkinoihin kaikkein oleellisimmin vaikuttavat seikat ovat hinta, saatavuus ja ympäristövaikutukset.

Päästöjen vaikutus polttoaineiden kehittämiseen on keskeisessä osassa tutkimustani, sillä kaikkien hiilivetypolttoaineiden polttaminen tuottaa hiilidioksidia sekä muita haitallisia päästöjä, jotka kerääntyvät ilmakehään. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, jonka määrä ilmakehässä kasvaa hiljalleen, ja jonka uskotaan nostavan maapallon ilmaston lämpötilaa, aiheuttaen dramaattisia ilmastollisia muutoksia. Siksi hiilivetyjen polttamisen sijaan on kehitetty monenlaisia uusia vaihtoehtoisia polttoaineita, joista ei aiheudu samanlaisia haittavaikutuksia ympäristölle. Näistä tunnetuimpina biodiesel ja etanoli, joita sekoitetaan dieselin ja bensiinin kanssa ja voidaan tarvittaessa käyttää sellaisenaan.

*Asiasanat: Fossiiliset polttoaineet, Vaihtoehtoiset polttoaineet, Päästöt, Moottoreiden polttoaineet*

# ABSTRACT

Engine fuels

Oskari Juntunen

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis + 2022, 33 pp. + 0 Appendixes

Supervisor(s) at the university: Jussi Salakka

In this bachelor's thesis I try to present different energy sources suitable for engine fuels and I also discuss the importance of energy in our industrialized society. In my study, I go through different fuels used in different engines and I present how these fuels are manufactured, how they differ from each other and what does the future look like for them. I also process the development of engines and fuels that have been used in them during centuries all the way from developing internal combustion engine. My goal is to examine and present characteristics, energy content and emissions of different fuels and to find how well reachable they are and how profitable is it to utilize them. I chose engine fuels as my subject since I find it very current topic and I am very interested about this subject.

Most of the energy used in transportation comes from oil products. Oil refining gives us multiple different oil components and automotive fuels are most important of them. Most of the crude oil is refined to gasoline and other automotive fuels. On short term gasoline and diesel have stabilized their position as the most common fuel in transportation. The reasons for this are that there is an established infrastructure for vehicle fueling and supply, these fuels have high energy density and ease of handling which provides long driving ranges, and the existing vehicle fleet cannot be replaced quickly. Alternative fuels have been developed and there is notable amount of them in the markets. On long term the use of alternative fuels will get increasingly common. The most significant factors affecting the fuel markets are price, availability, and environmental impact.

The effect of emissions in development of fuels is in key part in my study because the combustion of any hydrocarbon fuel emits carbon dioxide, which accumulates in the atmosphere with other toxic emissions. Carbon dioxide is a greenhouse gas which builds up in the atmosphere and is believed to cause global warming and therefore dramatic environmental changes. As a result of this there have been multiple alternative fuels under development because they do not have the same kind of harmful effect on environment. Best recognized of these are biodiesel and ethanol which are mixed with traditional diesel and gasoline but can be also used as such.

*Keywords: Fossil fuels, Alternative fuels, Emissions, Engine fuels*

# SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto .....	7
2 Polttomoottorit .....	9
3 Moottoreiden polttoaineet .....	10
3.1 Uusiutumattomat ” fossiiliset ” polttoaineet .....	10
3.1.1 Diesel .....	11
3.1.2 Bensiini .....	12
3.1.3 Maakaasu (NG, LNG) .....	13
3.1.4 Nestekaasu (LPG) .....	14
3.1.5 Kivihiili .....	15
3.1.6 Raskas polttoöljy (HFO, MDO) .....	15
3.1.7 Petroli .....	16
3.2 Uusiutuvat ” vaihtoehtoiset ” polttoaineet .....	17
3.2.1 Etanoli .....	17
3.2.2 Metanoli .....	19
3.2.3 Biodiesel .....	20
3.2.4 Vety .....	21
3.2.5 Boori .....	22
3.2.6 P-sarjan polttoaineet .....	23
3.2.7 Sähkö .....	23
4 Päästöt .....	26
5 Polttoaineet liikenteessä .....	29
6 Yhteenveto .....	31
LÄHDELUETTELO .....	32

## MERKINNÄT JA LYHENTEET

CTL	Hiilen nesteytys (Coal-To-Liquid)
FAME	Rasvahappometyyliesteri (Fatty Acid Methyl Ester)
HFO	Raskas polttoöljy (Heavy Fuel Oil)
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö (International Energy Agency)
LPG	Nestekaasu (Liquefied Petroleum Gas)
MBD	Miljoonaa barrelia päivässä (Million Barrels per Day)
MON	Moottorioktaaniluku (Motor Octane Number)
MDO	Meriliikenteessä käytettävä dieselöljy (Marine Diesel Oil)
NG	Maakaasu (Natural Gas)
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)
TOE	Öljykvivalenttitonni (Tonnes of Oil Equivalent)
RON	Tutkimusoktaaniluku (Research Octane Number)

# 1 JOHDANTO

Energia on ensisijainen aloitteentekijä valtioiden taloudelliselle kasvulle ja se on elintärkeä nykyaikaisen kansantalouden ylläpitämiseksi. Tulevaisuuden taloudellinen kasvu on ratkaisevasti kiinni edullisten, hyvin saavutettavien ja ympäristöystävällisten energianlähteiden pitkäaikaisesta saatavuudesta. Energian merkittävimpiä lähteitä ovat fossiiliset polttoaineet (raakaöljy, kivihiili ja maakaasu), uusiutuva energia (vesi-, tuuli-, aurinko-, geoterminen-, merienergia ja energijäte) ja ydinenergia. Nämä primäärienergianlähteet muunnetaan toissijaisiksi energianlähteiksi. Energijätteet käsittävät eläintuotteet, biomassan ja teollisuusjätteet. (Ramadhas 2011, s. 1)

Raakaöljyä, joka on tärkein ja laajimmin saatavilla oleva energianlähde käytetään laajasti ympäri maailmaa. Raakaöljyn hinta on erittäin epävakaa ja sen toimitukset riippuvat markkinahinnasta. Kun kehittyneet teollistuneet valtiot kuluttavat keskimäärin noin 43 miljoonaa barreliä öljyä päivittäin, kehitysmaat kuluttavat ainoastaan 22 miljoonaa barreliä päivässä (MBD). Kivihiili on maailman toiseksi laajin energianlähde, ja sitä käytetään pääasiassa sähköntuotannossa. Maakaasu on energianlähde, jonka käyttömäärän kasvunopeus viime vuosina on ollut suurinta. Maakaasun käyttökohteiden korkea suorituskyky on tehnyt siitä suosituksen vaihtoehdon sähköntuotantoon. Vesivoimasähkö on ollut vesivoimalähteiden pääasiallinen käyttökohde sähköntuotannossa ympäri maailmaa. Uusiutuvat energianlähteet ovat kasvattaneet suosiotaan, mutta polttoaineiden hinnat ja eri maiden säännökset vaikuttavat merkittävästi niiden kehitykseen. Hiilivetyteollisuus on ollut taloudellisen kasvun pääasiallinen edesauttaja maailmanlaajuisesti niin kehittyneissä, kuin kehittyvissäkin maissa. (Ramadhas 2011, s. 2)

Energian saatavuus erilaisissa muodoissa, riittävässä määrin ja kohtuulliseen hintaan on tarpeellista. Vaikka maailman raakaöljyvarastot ovat jakautuneet ympäri maapallon, ne ovat pääasiallisesti saatavilla vain tietyissä valtioissa, erityisesti Lähi-idässä (noin 63 % saatavilla olevista varannoista). Maailmanlaajuinen öljykauppa on väkivaltaisten vaihteluiden kohde ja se on menneisyydessä johtanut useaan kertaan sodan kaltaisiin tilanteisiin erityisesti Persianlahden alueen valtioiden öljytoimituksissa. (Ramadhas 2011, s. 3–4)



Raakaöljyvarannot ovat rajalliset, koska ne ovat peräisin biomassan hautautumisesta ja muuntumista yli 200 miljoonassa vuodessa. Fossiilisia polttoaineita syntyy tälläkin hetkellä paineen ja lämpötilan alla sedimenttikerroksissa, mutta niitä käytetään nopeammin kuin uutta ehtii muodostua tilalle. Lähitulevaisuudessa voikin olla, että raakaöljyn ja siten polttoaineiden saatavuudessa tulee vajuusta, koska öljyvarantoja kulutetaan jatkuvasti ympäri maailman ja nämä varannot kuluvat loppuun nopeasti. Öljyvarantojen nopea loppuun kuluminen aiheuttaa toisen maailmanlaajuisen näkökohdan, joka on alati kasvava polttoaineiden hinta. Siksi onkin tärkeää ymmärtää tämä energiakriisi ja sen vaatima muunnos tavanomaisista energianlähteistä epätavanomaisiin, uusiutuviin energianlähteisiin (taulukko 1). (Ramadhas 2011, s. 4)

Taulukko 1. Potentiaaliset ja saatavilla olevat moottoripolttoaineet. (Demirbas 2003, s. 476)

Polttoainetyyppi	Saatavilla oleva moottoripolttoaine
<i>Tavanomaiset polttoaineet</i>	Diesel ja Bensiini
<i>Hapetetut polttoaineet</i>	Etanoli 10 % (E10), Metanoli, Metyyli-tert-butyylieetteri (MTBE), Etyyli-tert-butyylieetteri (ETBE), Tert-butanoli (TBA) ja Tert-amyyylimetyylieetteri (TAME)
<i>Vaihtoehtoiset polttoaineet</i>	Nestekaasut (LPG), Etanoli 85 % (E85), Etanoli 95 % (E95) Metanoli 85 % (M85), Metanoli 100 % (M100) Paineistettu maakaasu (CNG), Nesteytetty maakaasu (LNG), Biodiesel (BD), Vety ja sähkö

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on käydä läpi moottoreiden polttoaineita ja niiden historiaa ja kehitystä aina polttomoottoreiden keksimisestä saakka. Valitsin tämän aiheen, koska mielestäni se on hyvin ajankohtainen polttoaineiden kasvavien hintojen, niistä aiheutuvien päästöjen ja fossiilisten polttoaineiden mahdollisen loppuun kulumisen takia. Tarkoituksena tässä työssä on esitellä vaihtoehtoisia polttoaineita, jotka voivat mahdollisesti korvata nykyiset polttoaineet tulevaisuudessa. Lisäksi pyrin löytämään syitä sille, miksi polttoainemarkkinoita dominoivia dieseliä ja bensiiniä ei ole voitu syrjäyttää tehokkaasti tähän mennessä. Rajaan aiheeni liikennekäytössä oleviin polttoaineisiin, joita käytetään lento-, raide-, laiva- ja tieliikenteen moottoreissa. Odotan työltäni konkreettisia tuloksia polttoainemarkkinoiden tulevaisuudennäkymistä niin lyhyellä, kuin pitkällä tähtäimellä.

## 2 POLTTOMOOTTORIT

Polttomoottorin eli lämpövoimakoneen toimintaperiaate koostuu kahdesta vaiheesta: ensin vapautetaan polttoaineesta saatava energia, ja sitten muunnetaan se mekaaniseksi energiaksi. Tätä kemiallista reaktiota kutsutaan palamiseksi, jossa polttoaineen hiili, vety ja muut ainesosat yhdistyvät happeen. Lämpövoimakoneissa happi otetaan yleensä konetta ympäröivästä ilmasta. Tässä eksotermisessä, eli lämpöä vapauttavassa reaktiossa kaasu laajenee suljetussa tilassa aiheuttaen painetta. Paine-energia voidaan muuttaa momentin omaavaksi pyörimisliikkeeksi männän ja kampikoneiston avulla. (Sarmi 1973, s. 11–12)

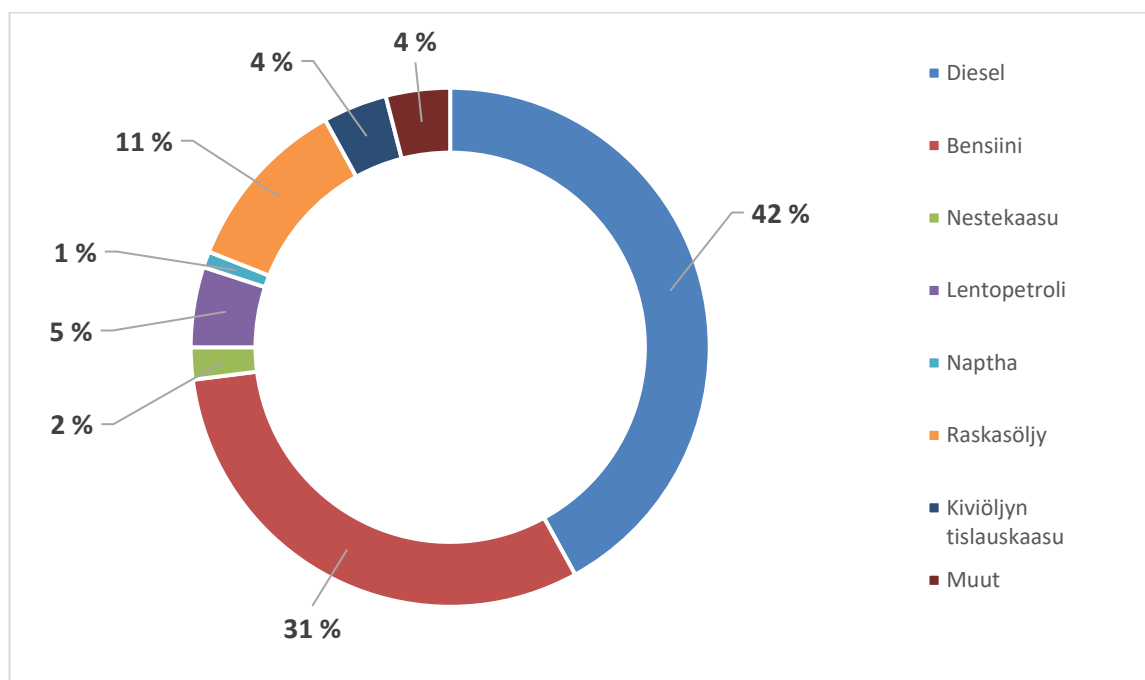
Ensimmäisen tunnetun polttomoottorin rakentaja oli Heron aleksandrialainen. Hän rakensi lähinnä kuumailmaturbiinia muistuttavan polttomoottorinsa jo vuonna 150 eKr. Aluksi moottorin keksimistä rajoitti sopivan polttoaineen puute. Polttoaineiksi oli ehdolla ruutia, tervaa ja tärpähtiä, mutta vasta valokaasu oli polttoaine, joka mahdollisti moottorin ”keksimisen”. Sähkösytytyksen keksijä Philippe Lebon oli ensimmäinen, joka yritti vuonna 1801 rakentaa toimivaa moottoria, mutta hän ei onnistunut siinä. Ensimmäisen toimivan moottorin rakensi Jean Joseph Lenoir vuonna 1860. Moottoreiden kehittäminen jatkui tästä tasaista vauhtia, ja mainittavia kehityskaskelia oli Rochasin nelitahtityötapa vuonna 1862, Deagrandin ja Millionin idea kaasun puristamisesta ennen sytytystä, Braytonin idea bensiinin käytöstä polttoaineena ja Maybachin keksintö kaasuttimen käytöstä vuonna 1893. Samana vuonna kaasuttimen kanssa Rudolph Diesel keksi dieselmoottorin ja vuonna 1902 Bosch kehitti suurjännitemagneeton. Teknisesti mäntämoottorin kehityksessä on ollut mukana mm. Nikolaus Otto, Deutz, Daimler, Bishop, Panhard, Clerk ja Atkinson. (Sarmi 1973, s. 14–15)

## 3 MOOTTOREIDEN POLTTOAINEET

### 3.1 Uusiutumattomat ” fossiiliset ” polttoaineet

Fossiilisista polttoaineista puhutaan yleensä uusiutumattomina polttoaineina, koska niiden muodostumiseen kuluu tuhansia tai jopa miljoonia vuosia. Näitä fossiilisia polttoaineita pumpataan ja kaivetaan kiihtyvällä tahdilla, jonka takia niiden määrä vähenee eikä uutta ehdi muodostua tilalle. Kun nykyiset fossiiliset polttoaineet on käytetty loppuun, niitä ei ole enää saatavilla lisää. (Knight ym. 2012, s. 6)

Kivihiili ja maakaasu ovat sähköntuotannon kannalta tärkeimpiä fossiilisia polttoaineita, kun taas liikenteen kannalta öljy on selkeä voittaja. Öljynjalostuksesta saadaan monipuolinen valikoima erilaisia öljytuotekomponentteja (kuva 1) ja osa näistä komponenteista, kuten esimerkiksi nestekaasuina käytettävät butaani ja propaani sekä lentopetroli voidaan myydä sellaisenaan (Alakangas ym. 2016, s. 180). Ajoneuvojen polttoaineet ovat tärkeimpiä öljynjalostuksesta saatavia tuotteita, koska niin suuri osa raakaöljystä jalostetaan bensiiniksi ja muiksi polttoaineiksi (Richards 2014, s. 1). Yli viidesosa maailman primäärienergiasta käytetään liikenteen tarkoituksiin ja suuri osa öljystä kulutetaan bensiinin muodossa, jota kulutamme lähes 3 miljardia litraa vuorokaudessa. (Knight ym. 2012, s. 38)



Kuva 1. Raakaöljystä saatavat jalosteet (IEA 2018, s.147).

Öljy on fossiilinen energialähde, joka on peräisin sedimentin alle hautautuneista esihistoriallisista kasveista ja muinaisista meren eliöistä vuosimiljoonien kuluessa. Kuumuuden ja paineen avulla nämä jäännökset ovat muuttuneet nestemäisiksi ja kaasumaisiksi hiilivedyiksi. (Alakangas ym. 2016, s. 180)

### 3.1.1 Diesel

Kun Rudolf Diesel kehitti ensimmäisen itsesytyntäisen polttomoottorin 1800-luvun lopussa, hän huomasi bensiinin olevan soveltumatonta polttoainetta moottoriinsa, koska se vastusti itsesytytystä. Kokonaisvaltaiset testit useilla polttoaineilla osoittivat, että niin sanotut keskitisleet olivat huomattavasti paremmin soveltuvia dieselmoottoriin. Periaatteessa itsesytyntäisissä polttomoottoreissa voi käyttää hyvinkin erilaisia polttoaineita, mikäli ne vain ovat helposti syttyviä ja vastaavat moottorin vaatimuksia. Esimerkkinä tästä dieselpolttoaineita käytetään tieliikenteessä, kun taas raskaampia jäännösöljyjä käytetään meriliikenteen moottoreihin. (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 77)

Aluksi raskasta, hitaasti käyvää dieselmoottoria käytettiin pääosin teollisuudessa, laivaliikenteessä ja raideliikenteessä, eikä sillä ollut vielä suurta osaa tie- ja lentoliikenteessä. Ongelmat bensiinin saatavuudessa Saksassa vuoden 1918 jälkeen johti dieselmoottoreiden kehitykseen ajatuksena yleistää niiden käyttöä hyötyajoneuvoissa. Kiinnostus levisi nopeasti muihin Euroopan maihin innostaen dieselmoottoreiden kehitykseen erityisesti tieliikenteeseen. (Richards 2014, s. 22)

Raakaöljyä jalostettaessa bensiiniä raskaammat keskitislejakeet eli petroli ja kaasuöljy (= kevyt polttoöljy ja dieselöljy) lauhtuvat ja ne otetaan pois kolonnin sivu-ulosotoista (Alakangas ym. 2016, s. 180). Keskitisleet höyrystyvät, kun raakaöljyä tislataan korkeammassa lämpötiloissa kuin bensiiniä. Aiemmin keskitisleiden käyttö oli rajoittunut lamppuöljyihin ja sen käyttöön lisäaineena kaupunkikaasuun, josta se sen tunnettu nimitys kaasuöljy juontaa juurensa. (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 77)

Aluksi ilmenneistä teknisistä ongelmista huolimatta, dieselpolttoaineen parempi energiatehokkuus ja matalammat kustannukset johtivat sen kaupalliseen menestykseen. Pitkän aikaa dieselpolttoaine olikin bensiinintuotannon sivutuote. (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 77)

### 3.1.2 Bensiini

Bensiiniä saadaan raakaöljystä jalostamalla. Raakaöljy esikuumennetaan putkiuuneissa 355–370 celsiusasteeseen, jolloin noin 80 prosenttia raakaöljystä höyrystyy. Varsinainen tislauk tapahtuu kymmeniä metrejä korkeissa kolonneissa, joita kuumennetaan, jolloin bensiini ja sitä kevyemmät jakeet höyrystyvät, jonka jälkeen ne johdetaan ulos kolonnin yläosasta. (Alakangas ym. 2016, s. 180)

Aluksi ainoat saatavilla olevat polttoaineet olivat liuske- ja raakaöljystä saatavat kevyemmät jakotisleet. Nämä polttoaineet kiehuivat 50–200 asteen lämpötilassa, joka vastaa nykypäivän polttoaineita. Aiemmat polttoaineet kuitenkin vastustivat itsesytytystä huonosti, jonka takia sen ajan moottoreissa oli oltava matala puristussuhde, jotta ne kulkisivat ilman sytytystä. (Richards 2014, s. 11)

Bensiinin kysyntä kiihtyi nopeasti, jonka aikana useita valmistajia palasi Euroopan markkinoille. Vuodesta 1950 alkaen oktaaniluvut rupesivat nousemaan nopeasti, ja vuoteen 1955 mennessä oli jo saavutettu 95 RON. Sen ajan ajoneuvoihin ei tarvittu näin korkeaoktaanisia polttoaineita, mutta niiden kehitys mahdollisti moottorivalmistajille puristussuhteen kasvattamista uusissa malleissaan. (Richards 2014, s. 15)

Lisäaineet ovat avainasemassa nykyaikaisissa bensiiniseoksissa. Puhdistavat lisäaineet, nakutuksenestoaineet, hapetuksenestoaineet, oktaaniluvun korottajat sekä kaikki muut estoaineet ovat tärkeimpiä tekijöitä polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi ja myrkyllisten pakokaasujen keskittämiseksi. Nämä lisäaineet takaavat moottorin vakaan toiminnan ja pidentää sen käyttöikä. (Rang & Kann 2003, s. 137–138)

Aina 1920 luvun loppupuolelta 1980 luvulle asti lyijyn sekoitus bensiiniin oli merkittävin tapa vaadittujen oktaanitasojen saavuttamiseksi. Lopulta niiden käytöstä jouduttiin luopumaan ympäristöhuolien vuoksi. Ympäristöhuolet olivat asia, joka tuli ilmeiseksi 1960 luvun loppupuolella. Puutteet ilmanlaadussa oli tunnistettu jo hetken aikaa ja syyksi katsottiin ajoneuvojen pakokaasut. Ongelmia esiintyi suurkaupungeissa, joissa autokanta oli suuri ja pitkät aurinkoiset jaksot olivat tavallisia. Pakokaasusäädökset esiteltiin Kaliforniassa 1960 luvulla ja vuoteen 1970 mennessä niitä valvottiin ympäri valtion USA:ssa ja Japanissa. (Richards 2014, s. 14, 17)

### 3.1.3 Maakaasu (NG, LNG)

Maakaasu (NG) on yksi nopeimmin kasvava primäärienergianlähde. Se on puhtaampi polttoaine kuin esimerkiksi öljy tai kivihiili, ja se ei ole niin kiistanalainen kuin esimerkiksi ydinvoima, ja siksi maakaasun odotetaan olevan tulevaisuuden polttoaine monelle valtiolle. Maakaasu on laajasti saatavilla oleva polttoaine ja sen hiilidioksidipäästöt ovat alhaisemmat kuin dieselissä ja bensiinissä. Tämä tekee maakaasukäyttöisistä moottoreista suotuisampia kasvihuoneilmion kannalta. (Demirbas 2003, s. 476)

Kuten kaasuille on ominaista, maakaasulla on hyvin alhainen energiatiheys verrattuna muihin polttoaineisiin. Tämä tekee maakaasun käytöstä kuljetukseen käytettävänä polttoaineena normaalilämpötilassa toteutuskelvotonta. Jotta maakaasua voitaisiin käyttää kuljetuspolttoaineena, se täytyy kokoon puristaa tai nesteyttää, jotta sen volumetrinen energiatiheys saataisiin kasvatettua. (Demirbas 2003, s. 483)

Suomeen tuotava maakaasu on pääasiassa metaania (98 %) sekä se sisältää myös pieniä määriä etaania, propaania, butaania ja typpeä. Siperiasta Suomeen tuotavan maakaasun koostumus on esitetty taulukossa 2, josta selviää myös eri komponenttien tiheydet ja moolimassat. Tällainen maakaasu soveltuu hyvin polttoon. (Alakangas ym. 2016, s. 186)

Taulukko 2. Suomeen tuotavan maakaasun koostumus. (Maakaasukäsikirja 2014, s. 6)

	Maakaasun koostumus	Moolimassa g/mol	Tiheys*, kg/m <sup>3</sup>	Suhteellinen tiheys
Metaania CH <sub>4</sub>	> 98 %	16.04	0.72	0.56
Etaania C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.8 %	30.07	1.35	1.05
Propaania C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	> 0.2 %	44.10	2.01	1.56
Butaania C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.02 %	58.12	2.71	2.10
Typpeä, N <sub>2</sub>	0.9 %	28.01	1.27	0.97
Hiilidioksidia CO <sub>2</sub>	0.1 %	-	-	-

\* kaasumaisena normaalioloissa (lämpötila 0 °C, paine 1.01325 bar)

### 3.1.4 Nestekaasu (LPG)

Nestekaasu (LPG) on propaani- ja butaanikaasujen seos ja se on suosittu polttoaine polttomoottoreihin. Sen suosio johtuu sen monista ominaisuuksista, kuten korkeasta oktaaniluvusta tulppasytytyksellä oleville moottoreille ja bensiiniä vastaavasta lämpöarvosta, jonka avulla moottorista saadaan irti vastaavan suuruinen lähtöteho. Muita ominaisuuksia on muun muassa sen varastoitavuus ja kuljetettavuus nestemäisessä olomuodossa sen muodostaman kylläisen höyryn matalan paineen ansiosta, parempi pakokaasujen koostumus ja pienempi kustannus per energiayksikkö verrattaessa bensiiniin. (Ramadhas 2011, s. 203)

Nestekaasua esiintyy luonnollisesti sekoittuneena öljyyn ja maakaasuun. Maakaasu sisältää nestekaasua, vesihöyryä ja muita epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa ennen kuin sitä voidaan siirtää kaasuputkia pitkin myytävänä tuotteena. Nestekaasua voidaan tuottaa maakaasusta puhdistamalla, tai öljystä jalostamalla. Nestekaasu sisältää hiilivetyjä, jotka ovat höyryjä normaalilämpötilassa ja normaalipaineessa, mutta muuttuu nesteeksi paineen muuttuessa. Nestekaasu koostuu pääosin propaanista ja siihen viitataan siksi joskus propaanina. (Ramadhas 2011, s. 204)

Nestekaasulla ja bensiinillä on monia samoja ominaisuuksia, ja nämä hyvät ominaisuudet pätevät niin bensiini, kuin nestekaasujoneuvoihin. Taulukko 3 esittää nestekaasun fyysiset ja kemialliset ominaisuudet verrattuna bensiiniin ja dieseliin. (Ramadhas 2011, s. 206)

Taulukko 3. Nestekaasun ominaisuuksien vertailu bensiini- ja dieselpolttoaineisiin. (Ramadhas 2011, s. 207)

Ominaisuus	Nestekaasu	Bensiini	Diesel
Oktaaninumero	106-111	80-95	20-30
Tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)	46.1	44.2	43.25
Tehollinen lämpöarvo (MJ/litra)	23.63	31.82	35.9
Suhteellinen hiilidioksidi per kilojoule	0.885	1	1.028
Suhteellinen tiheys	0.51	0.74	0.83
Haihtunut entalpia (kJ/kmol stoichiometrinen seos)	820	662	330
Teoreettisesti oikea seossuhde (tilavuuden perusteella)	24.1	60.1	100
Teoreettisesti oikea seossuhde (massan perusteella)	15.7:1	14.7:1	14.5:1
Syttymisraja	0.55-2.35	0.85-3.55	-
Kiehumispiste (°C)	-42.1	130-150	180-350
Sytytyslämpötila (°C)	400	280	250

### 3.1.5 Kivihiili

Kivihiili on sedimenttikiveä, joka koostuu osittain hajonneesta orgaanisesta aineksesta, lukuisista mineraaleista ja vedestä. Kuten raakaöljyn ja maakaasun kanssa, Suomella ei ole kotimaista kivihiilentuotantoa, vaan se on riippuvainen tuontikivihiilestä. Vuonna 2016 Suomeen tuotiin 3.9 megatonnia kivihiiltä, josta 2/3 tuotiin venäjältä. Se, kuinka pitkälle kasvimateriaalin muuntuminen hiileksi on edennyt, on riippuvainen kuhunkin esiintymään vaikuttaneista olosuhteista (paine, lämpötila) sekä esiintymän iästä. Ensimmäisessä vaiheessa turve muuttuu ruskohiileksi, joka on rakenteeltaan melko pehmeää. Ruskohiilen väri voi vaihdella mustasta ruskean eri sävyihin. Lämpötilan ja paineen alaisena ruskohiilessä tapahtuu vuosimiljoonien kuluessa lisää uusia muutoksia ja se muuttuu ensin puolibitumiseksi hiileksi, sitten bitumiseksi hiileksi ja sopivissa olosuhteissa lopulta antrasiitiksi. (Alakangas ym. 2016, s. 169; IEA 2018, s. 153)

Kivihiili on maailman toiseksi eniten käytetty energianlähde, ja sitä käytetään pääasiassa energiantuotannossa. Kivihiili on energiantuotannon kannalta merkittävin energianlähde, kun taas öljyjohdannaiset tuotteet hallitsevat kuljetussektoria. Kivihiilestä saadaan tuotettua polttoainetta myös autoille hiilen nesteytysprosessin (CTL) avulla (Richards 2014, s. 691). Energiankulutus on jakautunut epätasaisesti ympäri useiden eri sektoreiden teollistuneissa kansantalouksissa, kuten se on myös jakautunut epätasaisesti ympäri maantieteellisten alueiden. (Ramadhas 2011, s. 1–2)

### 3.1.6 Raskas polttoöljy (HFO, MDO)

Raskas polttoöljy (HFO) on sekoitus jäännösöljyjä, joita kertyy raakaöljyn jakotislauksessa. Niiden pääainesosat ovat korkeassa lämpötilassa kiehuvat hiilivetyyhdisteet, jotka jäävät jäljelle raakaöljyn tislauksen jälkeen. Jäännösöljyt ovat huomattavasti edullisempia kuin esimerkiksi bensiini tai kevyt polttoöljy ja siksi niiden käytössä polttoaineena piilee taloudellinen kannustin. Yleensä jäännösöljyihin sekoitetaan muita jakeita, jotta niille osoitetut ominaisuudet täyttyvät ja ennalta määrätty ylempi viskositeettiraja saavutetaan. (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 103–104)

Öljynjalostus on petrokemiallinen teollisuusprosessi, joka aloitetaan raakaöljyssä olevien suolojen ja muiden epäpuhtauksien poistolla. Sen jälkeen raakaöljy jaetaan tislaamalla jakeiksi eli eri lämpötiloissa höyrystyvät hiilivedyt erotellaan niiden kaasuuntumislämpötilan perusteella toisistaan. Raskaammat jakeet, joihin lukeutuu



raskas polttoöljy, bitumi ja pohjaöljy johdetaan pois kolonnin pohjalta. (Alakangas ym. 2016, s. 180)

Raskasta polttoöljyä täytyy käsitellä, ennen kuin sitä voidaan käyttää dieselmootoreissa. Käsittelyssä siitä poistetaan pääosin tai kokonaan ei haluttuja epäpuhtauksia, kuten vettä, johon on liuennut korroosiota aiheuttavia aineita tai muita kiinteitä epäpuhtauksia kuten koksia, hiekkaa, ruostetta, katalyyttijäänteitä jalostamolta tai liejumaisia ainesosia, kuten esimerkiksi keräytyneitä asfalteenihiilivetyjä. Jos näitä epäpuhtauksia ei poisteta, korrosio- ja kulutusvaurioita on syytä odottaa ruiskutusjärjestelmässä (esim. pumpuissa ja suuttimissa) ja moottorissa itsessään (esim. sylinteriputkessa, männässä ja männänrenkaissa) jo lyhyelläkin aikavälillä. (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 104–106)

Raskasta polttoöljyä käytetään pääasiassa laivoissa ja suurissa kiintomootoreissa (Mollenhauer & Tschöke 2010, s. 108). Valtaosassa maailman kauppalaivaston aluksista käytetään suuria diesel-laivamootoreita, jotka toimivat raskaalla polttoöljyllä (Allen ym. 2016, s. 641–642). Polttoöljyt jaetaan niiden omaamien käyttöominaisuuksien mukaan raskaisiin ja kevyisiin öljyihin. Raskaat polttoöljyt sopivat käyttökohteisiin, joissa tarvittava kattilateho on vähintään 500–1 000 kW. Kevyt polttoöljy taas on helposti juokseva ja palava tisle, jonka vuoksi se soveltuu laitteisiin, joiden teho on alle 1 000 kW. (Alakangas ym. 2016, s. 180)

### **3.1.7 Petroli**

Lentopetroli eli kerosiini on öljystä jalostamalla saatava tuote. Öljynjalostuksesta saadaan monipuolinen valikoima erilaisia öljytuotekomponentteja ja niistä esimerkiksi lentopetrolia myydään sellaisenaan. (Alakangas ym. 2016, s. 180) Lentomatkustuksen yleistymisen vuoksi tuotetun lentopetrolin määrä on kasvanut valtaviin mittasuhteisiin (Knight ym. 2012, s. 41).

Kun bensiinin saatavuus oli huonoa 1900-luvun puolessa välissä, myös monet autot käyttivät petrolia bensiinin sijasta pääasiallisena polttoaineena. Autoissa oli kaksi tankkia, joista toinen sisälsi bensiiniä ja toinen petrolia. Bensiiniä käytettiin moottorin käynnistämiseen kylmänä, ja sen lämmettyä se vaihdettiin käymään päätankilla, joka sisälsi petrolia. Jotta petrolia voitiin käyttää, täytyi sylinterilohkon ja kannen väliin asentaa alumiininen levy, joka vastasi kannentiivistettä. Tämän avulla puristussuhdetta saatiin laskettua ja moottori sopi paremmin petrolin käyttöön polttoaineena. Petrolia

käytettäessä moottori lämpeni myös noin 27 celsiusastetta lämpimämmäksi, joka johti siihen, että moottoreissa täytyi käyttää raskaampia moottoriöljyjä, ja niitä oli vaihdettava useammin. Petrolista saatiin vähemmän tehoa moottorille, mutta sen hinta oli jopa 60 prosenttia matalampi bensiiniin verrattuna, ja siksi se ei haitannut suurinta osaa ihmisistä. (Baer 1951, s. 193)

## **3.2 Uusiutuvat ” vaihtoehtoiset ” polttoaineet**

Uusiutuvat polttoaineet saavat nimensä siitä, että nämä energianlähteet eivät lopu koskaan, vaan niitä on mahdollista tuottaa aina lisää ja niitä on aina saatavissa (Knight ym. 2012, s. 6). Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat tärkeässä osassa korvaamassa öljyjohdannaisia polttoaineita. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä on monia hyötyjä ympäristölle, taloudelle ja kuluttajille. (Demirbas 2003, s. 475)

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö tulevaisuudessa on väistämätöntä kasvavan öljyn hinnan ja ilmaston lämpenemisen aiheuttamien ympäristöongelmien takia (Liao ym. 2006). Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat sellaisia polttoaineita, joita ei jalosteta raakaöljystä. Suosittuja vaihtoehtoisia polttoaineita ovat esimerkiksi biodiesel, maakaasu, propaani, metanoli, etanoli ja vety. Vaihtoehtoiset polttoaineet tarjoavat kolme erillistä hyötyä tavanomaisiin polttoaineisiin nähden. Ensimmäiseksi, vaihtoehtoiset polttoaineet voidaan tuottaa pääosin, ellei kokonaan kotimaisista raaka-aineista ja niiden avulla voidaan vähentää valtion riippuvaisuutta tuontiöljystä. Toiseksi, vaihtoehtoisilla polttoaineilla saadaan potentiaalisesti vähennettyä ajoneuvojen pakokaasuista aiheutuvia päästöjä, ja kolmanneksi vaihtoehtoisilla polttoaineilla on potentiaalia laskea ajoneuvojen käyttökustannuksia. (Zhu 1997, s. 2)

### **3.2.1 Etanoli**

Termiä alkoholi käytetään usein viitattaessa etanoliin tai metanoliin polttoaineena. Moottoreiden polttoaineina etanolilla ja metanolilla on hyvin samankaltaiset kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Etanolia voidaan valmistaa selluloosan raaka-aineista, kuten vehnästä, ohrasta, maissinvarsista, riisiöljystä, sokerijuurikkaista ja sokeriruo'osta, paperipuusta, lännenhirssistä tai yhdyskuntajätteestä. Etanolia voidaan valmistaa myös märkäjauhatuksen avulla, ja monet etanolin valmistajat käyttävätkin tätä menetelmää. Etanolin valmistukseen tarvittavat raaka-aineet ovat uusiutuvia ja siksi siihen yleensä viitataan bioetanolina. (Demirbas 2003, s. 475, 477–478)

Etanolin hyödyntäminen moottoripolttoaineena on yksi tapa vähentää raakaöljyn kulutusta ja ympäristön saastumista. Ensisijaisesti harkitaan etanolin valmistamista uusiutuvista luonnonvaroista ja määritetään sen taloudellinen ja tekninen toteutettavuus ajoneuvojen polttoaineena sekoitettuna yhdessä bensiinin kanssa. Tärkeä syy kiinnostukseen uusiutuvia energianlähteitä kohtaan on huoli kasvihuoneilmioista, jota fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa. Etanolin kehittäminen moottoripolttoaineena voi auttaa meitä ehkäisemään tätä ilmiötä. (Demirbas 2003, s. 475)

Etyylialkoholi, joka tunnetaan kaupallisesti nimellä etanoli omaa monia ominaisuuksia, jotka suosivat sen käyttöä auton polttoaineena. Etanolin käytöllä moottoripolttoaineena on yhtä pitkä historia kuin autoilla itsessään, sillä saksalainen polttomoottorin keksijä, Nikolaus August Otto suunnitteli keksintönsä käyvän etanolilla. Alkoholeja on käytetty polttoaineina auton keksimisestä asti ja vuoden 1970 öljykriisin takia, etanolin asema vaihtoehtoisena polttoaineena vakiintui. Kiinnostus etanolia kohtaan laantui, kun öljyn hinta laski, aina vuoteen 1979 asti kunnes kohtasimme uuden öljykriisin. 1980 luvulta lähtien etanolia on harkittu useissa valtioissa yhtenä mahdollisista vaihtoehtoisista polttoaineista. Valtiot, kuten Brasilia ja Yhdysvallat ovat mainostaneet kotimaisesti tuotetun bioetanolin tuotantoa pitkään. Alun perin etanolin ja bensiinin seoksia alettiin suosia oktaaniluvun korottajina lyijyn korvaamiseksi. (Demirbas 2003, s. 477; Ramadhas 2011, s. 11)

Etanoli suoriutuu hyvin auton polttoaineena joko sen puhtaassa muodossa, tai sekoitettuna bensiinin kanssa. Etanolin käyttökohteita on muun muassa: (1) E85, joka sisältää 85 prosenttia etanolia ja 15 prosenttia bensiiniä, (2) E100, joka on etanolia sen puhtaassa muodossa tai (3) oxy-diesel, joka on tyypillisesti seos, jossa on 80 prosenttia dieseliä, 10 prosenttia etanolia ja 10 prosenttia lisäaineita ja sekoitusaineita. Etanolia kuitenkin käytetään useimmiten sekoitettuna bensiiniin korottamaan sen oktaanilukua ja parantamaan sen päästöjen laatua. Etanolia sekoitetaan bensiiniin ja siitä sekoitetaan E10 seosta (10 % etanolia ja 90 % bensiiniä), mutta sitä voidaan myös käyttää suuremmissa pitoisuuksissa, kuten esimerkiksi E85 (85 % etanolia ja 15 % bensiiniä) tai E95 (95 % etanolia ja 5 % bensiiniä). Alkuperäiset laitevalmistajat valmistavat flexifuel-ajoneuvoja, joita voidaan käyttää E85:lla tai millä tahansa muulla etanolibensiini seoksella. Puhtaan etanolin käytöstä saataviin hyötyihin lukeutuu muun muassa vähentynyt ilman saastuttaminen ja vähentynyt riippuvuus ulkomaisesta öljyntuonnista. Etanoli edustaa tärkeää, uusiutuvaa polttoainetta moottoriajoneuvoille. (Demirbas 2003, s. 477)

### 3.2.2 Metanoli

Metanoli on alkoholipohjainen polttoaine. Massayksikön perusteella metanolilla on alhaisempi energiasisältö bensiiniin verrattuna. Metanolia on käytetty vaihtoehtoisena uusiutuvana polttoaineena monipolttoaineisissa ajoneuvoissa, jotka toimivat M85:lla (sekoitus 85 % metanolia ja 15 % bensiiniä). (Demirbas 2003, s. 478)

Metanoli on kemiallisesti yksinkertainen alkoholi, sisältäen ainoastaan vain yhden hiiliatomin per molekyyli. Se on myrkyllinen, väritön, mauton ja sillä on hyvin heikko haju. Metanolia käsitellään ja säilytetään samalla tavoin kuin bensiiniä, koska se on nestemäisessä olomuodossa. (Ramadhas 2011, s. 82–83)

Metanolia valmistetaan pääasiassa maakaasusta muodostuvasta höyrystä, jota syötetään katalyyttilliseen reaktoriastiaan, jossa siitä muodostuu metanolia ja vesihöyryä. Metanolin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet johtavat useisiin luontaisiin etuihin autonmoottorin polttoaineena. Metanolin hyviin ominaisuuksiin kuuluu alhaiset päästöt, korkea suorituskyky ja bensiiniä alhaisempi syttymisherkkyys. Metanolia voidaan valmistaa myös useasta muusta eri hiilipohjaisista raaka-aineista, kuten esimerkiksi kivihiilestä, ja biomassasta. Metanolin hyödyntäminen vähentää riippuvuutta tuontiöljystä. (Demirbas 2003, s. 478)

Verrattaessa bensiinin kanssa, metanoli on erinomainen polttoaine. Moottorin lämpöhyötösuhde arvot ovat parempia ja sen käytöstä ei aiheudu päästöongelmia. Nimellisesti korkean oktaaniluvun (106) ansiosta metanoli on loistava polttoaine suurpuristuksellisille moottoreille. Metanolin käytöstä polttoaineena on hyötyä ympäristölle, taloudelle ja kuluttajille. (Demirbas 2003, s. 478)

Metanoli kerää enemmän ja enemmän huomiota vaihtoehtoisena polttoaineena ja sillä on potentiaalia niin liikenne- kuin energiasektorin käyttökohteissa (Hong ym. 2005, s. 49). Metanolin pääasialliset käyttökohteet vaihtoehtoisena polttoaineena ovat joko sen käyttö suoraan sekoitettuna dieselin tai bensiinin kanssa tai epäsuoraan, jolloin siitä muodostetaan metyylietteriä, sitä käytetään biodieselin valmistukseen tai sen avulla muodostetaan vetyä polttokennoajoneuvoille. (Ramadhas 2011, s. 83)

### 3.2.3 Biodiesel

Kasviöljyjen metyyli- tai etyyliestereitä kutsutaan biodieseleiksi. Biodiesel on luonnollinen, uusiutuva resurssi, ja sen fysikaaliset ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset tavanomaiseen dieseliin verrattuna (taulukko 4). (Demirbas 2003, s. 478)

Taulukko 4. Biodieselin ja tavanomaisen dieselin ominaisuuksien vertailu. (Demirbas 2003, s. 479)

Ominaisuus	Biodiesel	Tavanomainen diesel
Ominaispaino (kg/L)	0.87-0.89	0.84-0.86
Setaaniluku	46-70	47-55
Samenemispiste (K)	262-289	256-265
Jähmetyspiste (K)	258-286	237-243
Leimahduspiste (K)	408-423	325-350
Rikki (Paino%)	0.0000-0.0024	0.04-0.01
Tuhka (Paino%)	0.002-0.01	0.06-0.01
Jodiluku	60-135	-
Kinemaattinen viskositeetti (313 K)	3.7-5.8	1.9-3.8
Ylempi lämpöarvo (MJ/kg)	39.3-39.8	45.3-46.7

Biodiesel on kotimaisesti tuotettu, uusiutuva polttoaine, jota voidaan valmistaa kasviöljyistä, eläinrasvoista tai kierrätetyistä ravintolarasvoista. Biodieseliä voidaan valmistaa uusista tai käytetyistä kasviöljyistä ja eläinrasvoista, jotka ovat myrkyttömiä, biohajoavia ja uusituvia resursseja. Dieselöljyä korvaavia kasviöljyperäisiä polttoaineita voidaan valmistaa esimerkiksi auringonkukan, rapsin, rypsin, hampun ja soijan siemenistä, rasvoista ja palmuöljystä (Alakangas ym. 2016, s. 130). Rasvat ja öljyt laitetaan reagoimaan kemiallisesti joko metanolin tai etanolin kanssa, jotta saadaan yhdisteitä, joita kutsutaan rasvahappometyyliestereiksi (FAME). (Demirbas 2003, s. 479)

Biodieselin käyttö tavanomaisissa dieselmoottoreissa vähentää huomattavasti päästöjä, jotka aiheutuvat palamattomista hiilivedyistä, häkäkaasuista, sulfaateista, PAH-yhdisteistä ja pienhiukkasista. Nämä vähennykset kasvavat sitä mukaa, mitä enemmän biodieseliä sekoitetaan tavanomaisen dieselin sekaan. Parhaat päästönalennukset saatiin aikaan B100 polttoaineella, joka koostuu sataprosenttisesti biodieselistä. Tutkijat uskovat hiilidioksidin olevan yksi suurimmista kasvihuonekaasuista, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä. 100 prosenttinen biodiesel vähentää hiilidioksidipäästöjä yli 75 prosenttia

öljypohjaiseen dieseliin nähden. Seoksia, joissa on 20 prosenttia biodieseliä ja 80 prosenttia öljypohjaista dieseliä voidaan käyttää muuntelemattomissa moottoreissa. Biodieseliä voidaan käyttää myös puhtaassa muodossa (B100), mutta se voi vaatia muutoksiin moottoreissa, jotta voidaan välttää huolto- ja suorituskykyongelmat. (Demirbas 2003, s. 480)

### 3.2.4 Vety

Vety on kestävä, saastuttamaton energianlähde, jota voidaan käyttää liikkuvissa ja paikallaan olevissa sovellutuksissa. Vety on ilmeinen vaihtoehto hiilivetypolttoaineille kuten nestekaasu, maakaasu ja bensiini. Sille on monia potentiaalisia käyttökohteita, sitä on turvallinen valmistaa ja se on ympäristöystävällinen energianlähde. Vedyn odotetaan olevan keskeisessä asemassa fossiilisten polttoaineiden syrjäyttämisessä ja se kerää mainetta myönteisenä tulevaisuuden energianlähteenä. (Demirbas 2003, s. 475–476)

Vedyn laajamittainen käyttö energianlähteenä voisi lieventää ilmastonmuutosta ja parantaa energiatehokkuutta sekä ilmanlaatua. Polttokennot ovat tärkeä mahdollistava teknologia vedyn tulevaisuudelle, ja niillä on potentiaalia mullistaa tapa, jolla me saamme energiamme. Polttokennot tarjoavat puhtaampia ja tehokkaampia vaihtoehtoja bensiinin ja muiden fossiilisten polttoaineiden käytölle. (Demirbas 2003, s. 480)

Vedyllä on hyvät ominaisuudet autojen polttomoottorien polttoaineena, ja sitä voidaan käyttää suoraan hyvin bensiinimoottoria vastaavissa polttomoottoreissa. Vetyä käyttäville polttomoottoreille osoitetuissa testeissä tuli ilmeiseksi vedyn hyvä suorituskyky polttoaineena. Ongelma muodostuu siitä, että vety tuottaa 3 kertaa enemmän energiaa paunaa kohden mutta sen tiheys on vain kymmenesosan bensiinin tiheydestä, kun vety on nestemäisessä muodossa ja paljon vähemmän sen ollessa kaasumaisessa muodossa. Tämä tarkoittaa sitä, että vetyä olisi säilöttävä erittäin suurissa polttoainesäiliöissä. (Demirbas 2003, s. 481)

Kuten bensiinimoottoreiden kanssa, myös vetyä käyttävien moottoreiden suorituskyky riippuu ajo-olosuhteista. Maantienopeuksissa vetyä käyttävä moottori osoittaa 20 prosentin kasvun suorituskyvyssä bensiinimoottoriin verrattuna. Vetyä käyttävät moottorit osoittavat dieselinmoottorin kaltaista energiatehokkuutta ja bensiinimoottorin kaltaisia suurten kierroslukujen ominaisuuksia. (Demirbas 2003, s. 481)

### 3.2.5 Boori

Booripolttoaine valmistetaan sekoittamalla boorialkuainetta puhtaan hapen kanssa moottorissa. Sen käyttö on erittäin turvallista, koska sitä on hyvin hankala saada syttymään. Se myös sisältää enemmän energiaa kuin öljyjohdannaiset polttoaineet. Boorilla on erittäin korkea energiatiheys, ja siksi se vaikuttaa käytännölliseltä polttoaineelta. Valitettavasti boorin saatavuus on melko rajallista, ja puhdas happi on kallista. (Demirbas 2003, s. 481)

Kemiallisena polttoaineena boori tulee olemaan lupaava moottoripolttoaine tulevaisuudessa. Booripolttoaineella toimivat autot tulevat olemaan aidosti päästöttömiä ajoneuvoja, sillä boori tuottaa ainoastaan kiinteän boorioksidin palaessaan, eikä siitä aiheudu mitään ympäristölle haitallisia päästöjä tai saasteita. Ilmassa boori voi olla käytännössä sytyttämätöntä, mutta se palaa huomattavasti paremmin puhtaan hapen ympäröimänä. Ajoneuvoihin vaaditaan teknologiaa, jolla ympäröivän ilman happea saadaan puhdistettua ja saadaan estettyä, että se ei pala moottorissa boorin mukana. (Demirbas 2003, s. 481)

Idea boorista parempana auton polttoaineena vetyyn verrattuna tulee siitä, että käytettäisiin ydinvoimaa boorioksidien halkaisemiseen, jolloin sitä voitaisiin käyttää sille sopivissa automoottoreissa. Poltosta jäljelle jäävä boorioksidi tiivistetään kiinteäksi ja sitä säilytetään booriasemilla, kunnes se muunnetaan taas uudestaan sopivaksi polttoainekäyttöön. Boorin uniikki tiiviys mahdollistaa sen, että sillä voisi helposti olla mantereenyliittävä toimintamatka. Boorilla on siis erittäin korkea energiatiheys, joka on huomattavasti korkeampi kuin esimerkiksi vedyllä ja se vaikuttaa siksi erittäin käytännölliseltä polttoaineelta. (Demirbas 2003, s. 481)

Boorin etuihin ja haittoihin lukeutuu se, että se palaa erittäin hyvin puhtaassa hapessa, kun taas ilmassa se vastustaa sytytystä erittäin hyvin. Tämän ansiosta sen käyttö on erittäin turvallista, sillä monet onnettomuudet muuttuvat huomattavasti vaarallisemmiksi helposti syttyvien polttoaineiden takia. Tämä kuitenkin aiheuttaa sen, että sitä on poikkeuksetta poltettava puhtaan hapen ympäröimänä ja puhdas happi on suhteessa kallista. Boorin etuihin lukeutuu myös sen päästöttömyys ja hyvä energiatiheys. Muita huonoja puolia on taas sen poltosta aiheutuvat ihmiselle myrkylliset höyryt ja kiinteä palamistuote, jota sen poltosta muodostuu. Näiden haittapuolien takia ehdotettiin, että

booria käytettäisiin polttoaineena ainoastaan lentokoneiden jälkipoltossa. (Demirbas 2003, s. 481–482)

### 3.2.6 P-sarjan polttoaineet

P-sarjan polttoaineet ovat etanolin, metyylietrahydrofuraanin ja pentaanien sekoituksia. Kylmissä olosuhteissa käytettäviin seoksiin lisätään butaania, jotta kylmäkäynnistysvaatimukset saavutettaisiin. P-sarjan polttoaineiden valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvat päästöt ovat huomattavasti pienempiä kuin esimerkiksi bensiinin vastaavien ominaisuuksien päästöt. Jokainen P-sarjan polttoaineseos erittää arviolta 50 % vähemmän hiilidioksidia, 35 % vähemmän hiilivetyjä, 15 % vähemmän häkää ja niillä on 40 % pienempi otsonin muodostus potentiaali kuin bensiinillä. (Demirbas 2003, s. 476)

P-sarjan polttoaineet valmistetaan ensisijaisesti uusiutuvista resursseista ja siksi se tarjoaa merkittäviä etuja päästöjen suhteen verrattaessa bensiiniin. P-sarjan polttoaineita voidaan sekoittaa bensiinin kanssa rajoittamattomissa mittasuhteissa ja näitä seoksia voidaan käyttää monipolttoaineajoneuvoissa. (Demirbas 2003, s. 485)

P-sarjan polttoaineet ovat kirkkaita, värittömiä 89–93 oktaanisia seoksia, jotka on muotoiltu käytettäväksi monipolttoaineajoneuvoihin. Ne sisältävät enintään 40 prosenttia öljyjohdannaisia yhdisteitä, ja siksi voidaan katsoa, että niistä saadaan merkittäviä ympäristöhyötyjä. Sen ansiosta, että valtaosa P-sarjan polttoaineiden komponenteista valmistetaan kotimaisista uusiutuvista resursseista, niiden voidaan katsoa edistävän energiavarmuutta ja ympäristön laatua. (Demirbas 2003, s. 485)

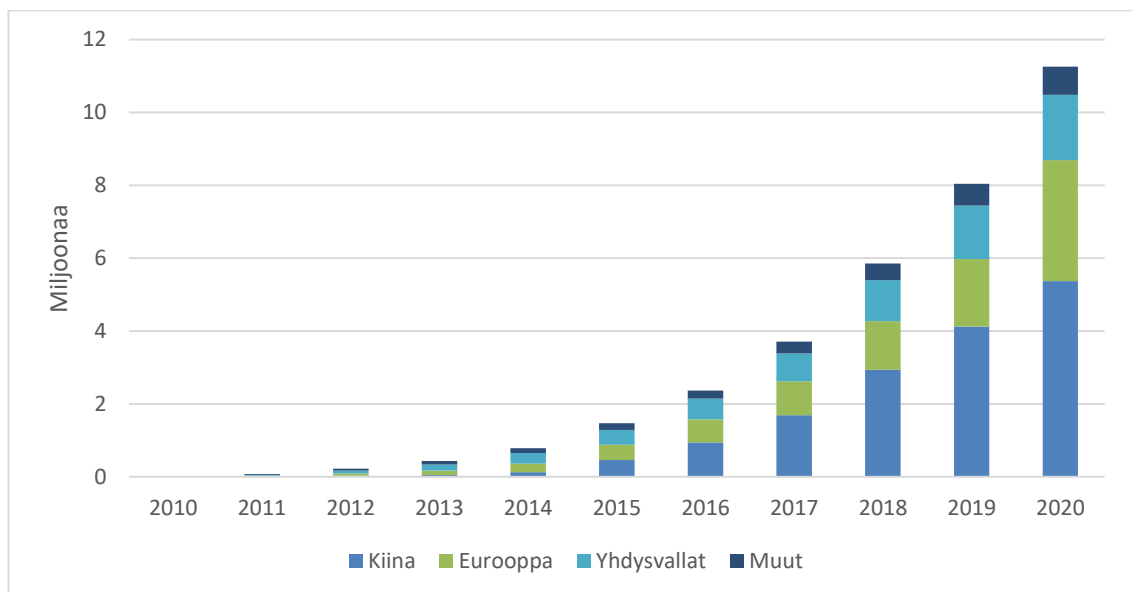
### 3.2.7 Sähkö

Sähkö on yksi pääasiallisista energianlähteistä päivittäisessä toiminnassamme. Useita muita energiamuotoja, kuten esimerkiksi hiiltä, öljyjohdannaisia, ydinvoimaa ja biomassaa voidaan muuntaa sähköksi. Sähköä tuotetaan suurissa määrin lämpövoimalaitoksissa tai ydinvoimalaitoksissa. Varastoitua sähköä voidaan käyttää useisiin sovellutuksiin, kuten avaruussovelluksiin, asuinkäyttöön tai ajoneuvoihin. Sähkön varastointi, hiilidioksidipäästöjen vähentäminen sekä alhaiset käyttökustannukset ovat pääsyyitä sähköajoneuvojen kehitykseen. Sähköajoneuvot lataavat akkujaan sähköverkon avulla, joten siitä ei aiheudu päästöjä liikenteeseen. (Ramadhas 2011, s. 296)

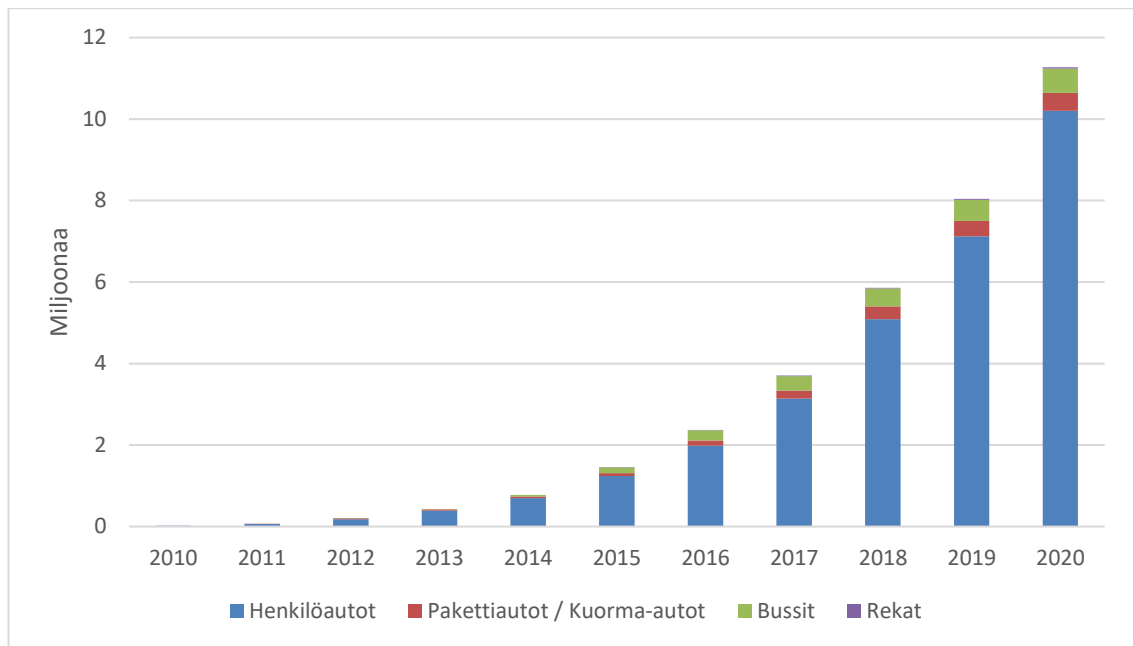


Sähköä voidaan käyttää kuljetuspolttoaineena joko akkujen voimanlähteenä tai polttokennoajoneuvoissa. Sähköä voidaan käyttää suoraan autojen voimanlähteenä ja sitä tuotetaan akuilla tai muilla sähkönlähteillä. Polttokennoajoneuvot käyttävät vedyn ja hapen yhdistämisestä polttokennossa syntyvää sähkökemiallisella reaktiolla tuotettua sähköä polttoaineenaan. Sähkön tuottaminen polttokennolla tapahtuu ilman palamisreaktiota, eikä se siten aiheuta minkäänlaisia päästöjä tai saasteita, sillä sen sivutuotteena syntyy ainoastaan lämpöä ja vettä. Akut ovat energian säilöntälaitteita, kun polttokennot taas muuttavat kemiallista energiaa sähköksi. Niiden hyötyihin kuuluu päästöttömyys ja huollettavien ja vaihdettavien osien pienempi määrä. Sähkön käyttö on myös halvempaa verrattuna bensiinin käyttöön. (Demirbas 2003, s. 485)

Kiinnostus sähköajoneuvoja kohtaan lisääntyy jatkuvasti (kuva 2) (de Santiago ym. 2012, s. 1). Sähköajoneuvot ovat keränneet hyväksyntää kuljetussektorissa maailmanlaajuisesti, ja niiden käytöstä fossiilisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen korvaajana on keskusteltu ympäri maailman (kuva 3). Alun perin kiinnostus sähköajoneuvoihin kehittyi pääasiassa öljykäyttöisten ajoneuvojen pakokaasujen aiheuttamien ilman saastumishuolien takia. Verrattaessa öljypohjaisia polttoaineita käyttäviin ajoneuvoihin, akkukäyttöiset työajoneuvot tarjoavat alhaisemmat huolto- ja käyttökustannukset sähkön alhaisemman hinnan ja pienemmän kysynnän ajan latauksien ansiosta. (Ramadhas 2011, s. 296)



Kuva 2. Maailmanlaajuinen sähköajoneuvokanta alueittain vuosina 2010–2020. (IEA 2021)



Kuva 3. Maailmanlaajuinen sähköajoneuvokanta ajoneuvotyypeittäin vuosina 2010–2020. (IEA 2021)

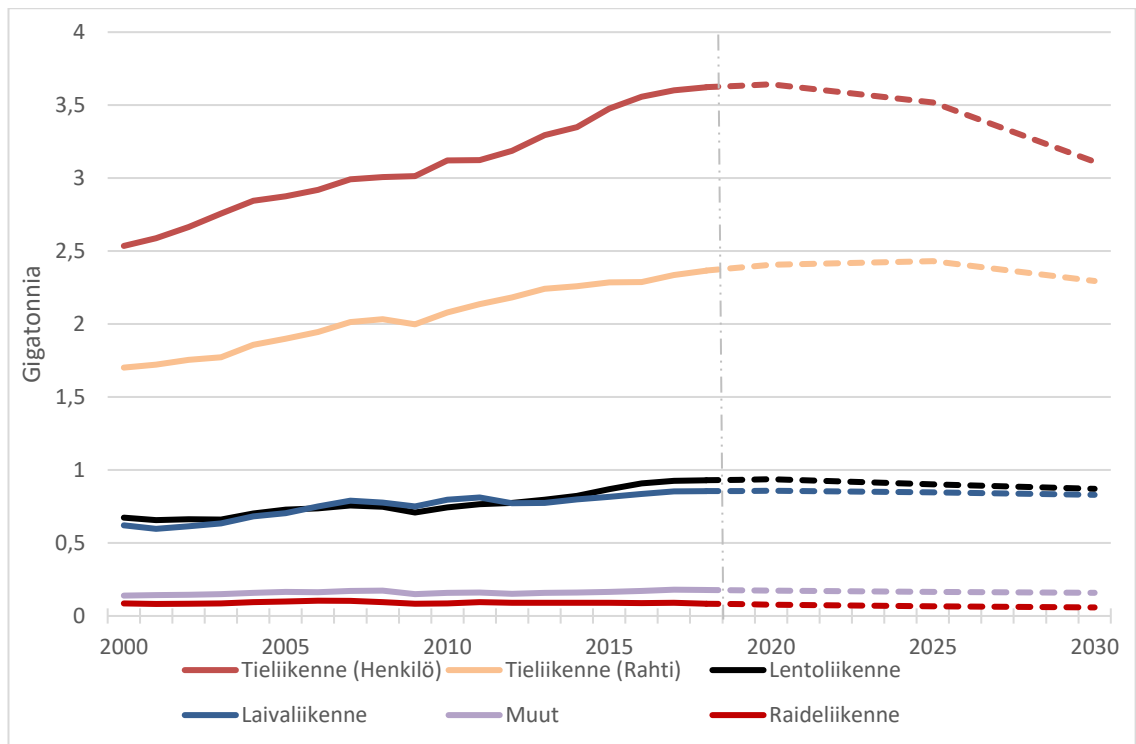
Sähköajoneuvon sydän on sen akku, ja avain sähköajoneuvojen menestymiseen on paremmat akut, jotka ovat kevyempiä, kompaktimpia, parempia säilömään energiaa, jotka kestävät pidempään, latautuvat nopeammin ja maksavat vähemmän kuin olemassa olevat akut. Ajoneuvon suorituskyky on riippuvainen pääasiassa akun suorituskyvystä, tehokkuudesta ja luotettavuudesta. (Ramadhas 2011, s. 296)

## 4 PÄÄSTÖT

Parhailtaan maailmaa kohtaa kaksi kriisiä, jotka ovat fossiilisten polttoaineiden ehtyminen ja ilmastohuolet (Ramadhas 2011, s. 6). Ympäristösaaste on merkittävä kansanterveyttä vaarantava ongelma suurimmassa osassa kehitysmaiden kaupungeista. Saastuneisuustasot suurkaupungeissa kuten Bangkokissa, Kairossa, Delhissä ja Méxicossa ylittävät minkä tahansa teollistuneen valtion kaupungin saastuneisuustasot. Epidemiologiset tutkimukset osoittavat, että ilman saastuminen kehitysmaissa on vastuussa kymmenistä tuhansista liiallisista kuolemista ja biljoonista dollareista sairaalakuluina ja tuottavuuden menetyksinä. Nämä menetykset ja niiden yhteys alentuneeseen elintasoon asettaa merkittävän taakan ihmisille kaikissa yhteiskunnan sektoreissa, mutta erityisesti köyhien keskuudessa. (Faiz ym. 1996, s. 13)

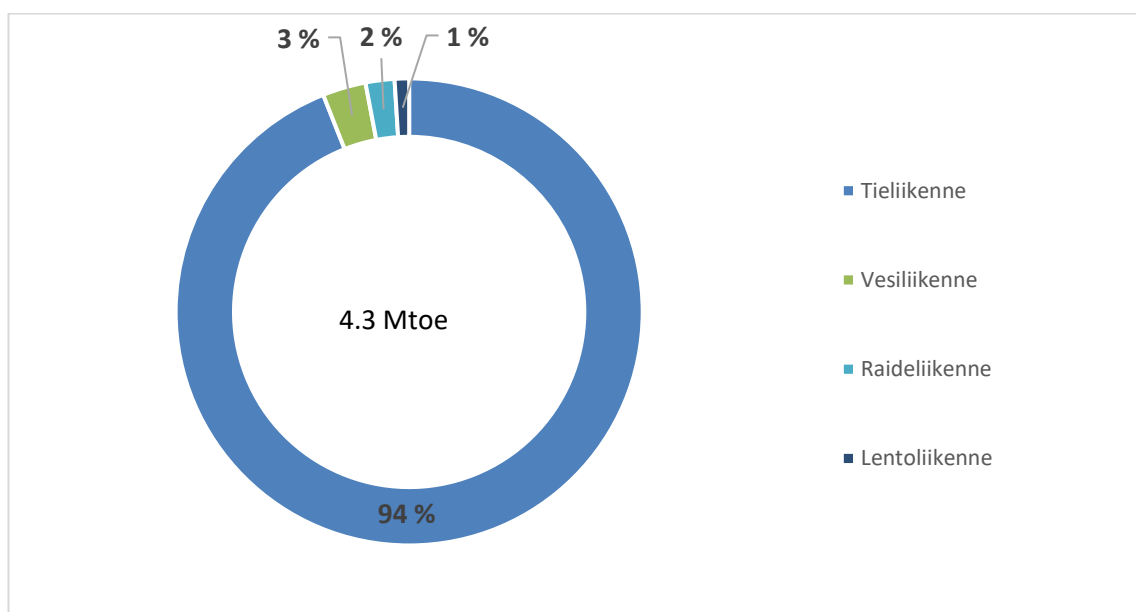
Suomen hallituksen tavoitteista kasvattaa biopolttoaineiden käyttöä huolimatta, kuljetusala on yhä hiili-intensiivisin osa Suomen energiasysteemissä, käsittäen yli neljänneksen valtion energialähtöisistä hiilidioksidipäästöistä (IEA 2018, s. 75). Jos tieliikenteen lisäksi lento- ja laivaliikenne otetaan huomioon, nousee kattavuus jo yli kolmannekseen Suomen valtion hiilidioksidipäästöistä (IEA 2018, s. 77).

Kaikkien hiilivetyypolttoaineiden polttaminen tuottaa hiilidioksidia, joka kerääntyy ilmakehään (kuva 4). Hiilidioksidi on kasviuonekaasu, jonka määrä ilmakehässä kasvaa hiljalleen, ja jonka uskotaan nostavan maapallon ilmaston lämpötilaa, aiheuttaen dramaattisia ilmastollisia muutoksia. Valtaosa kehittyneistä maista on sitoutunut kohdennettuihin päästövähennyksiin vuoden 1997 Kioton protokollassa, joka astui voimaan vuonna 2005. Hiilivetyypolttoaineiden poltto tuottaa sekä ”suoria”, että ”epäsuoria” kasviuonekaasuja. Liikenteestä aiheutuviin suoriin kasviuonekaasuihin kuuluu hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) ja säteilevästi aktiiviset karbonaattipolttokennot. Epäsuoriin kasviuonekaasuihin kuuluu hiilimonoksidi (CO), typen muut oksidit ja ei-metaaniset haihtuvat orgaaniset hiilivedyt. Näillä ei ole vahvaa säteilevää vaikutusta itsessään, mutta ne vaikuttavat suorien kasviuonekaasujen pitoisuuksiin ilmassa esimerkiksi hapetuksen kautta, muodostamalla hiilidioksidia tai avustamalla otsonin muodostusta — joka on voimakas suora kasviuonekaasu. (Ramadhas 2011, s. 6)



Kuva 4. Hiilidioksidipäästöt liikennesektoreittain. (IEA 2022)

Vuonna 2016 tieliikenne vastasi 94 prosentista kotimaisesta liikenteen energiantarpeesta, ja jäljelle jäävät 6 prosenttia jakautuivat laiva-, lento-, ja raideliikenteelle (kuva 5). Tieliikenteen energiantarpeesta suurin osa menee henkilöautoille, jonka jälkeen seuraavana tulee rahtiajoneuvot, ja sitä seuraa pieni osuus, joka menee busseille ja moottoripyörille. (IEA 2018, s. 77)



Kuva 5. Energiankulutus liikennesektoreittain vuonna 2016. (IEA 2018, s. 77)

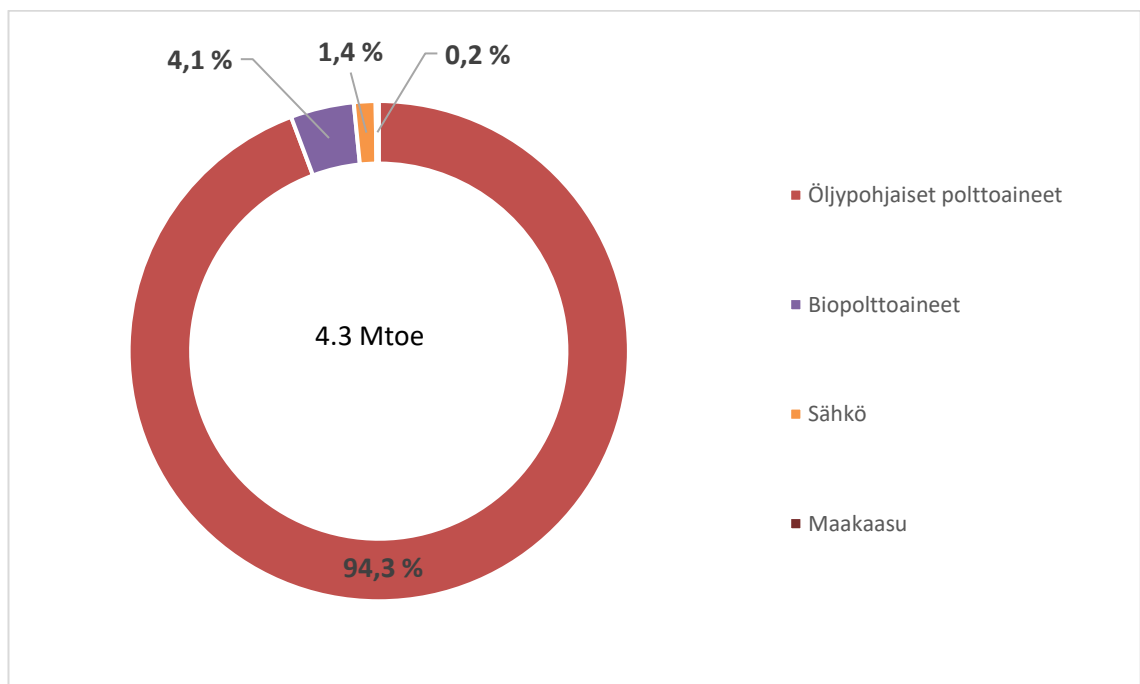
Ensimmäiset päästönhallintalaitteet ajoneuvoissa sisälsi moottorimuunnoksia, jotka johtivat uhrauksiin suorituskyvyssä. Katalysaattorin käyttöönotto antoi kuitenkin paremman hallinnan päästöjen suhteen, sillä sen avulla saatiin vähennettyä häkää, palamattomia hiilivetyjä sekä typenoksideja vaikuttamatta moottorin suorituskykyyn. Katalysaattorilla käytettäviä ajoneuvoja ei voitu enää tankata lyijyä sisältävällä polttoaineella, koska lyijy myrkytti katalysaattoreissa käytettävät arvokkaat metallit. Tämä johti huomattaviin muutoksiin polttoaineiden jalostuksessa ja oktaaniluvun nostamisessa ilman lyijyä. Myöhemmin lyijyn myrkyllisyys itsessään ja sen terveysvaikutukset ihmisille, jotka joutuvat hengittämään lyijypolttoaineiden pakokaasuja aiheutti sen, että lyijyn käyttöä polttoaineiden seassa vähennettiin huomattavasti varsinkin sellaisissa valtioissa, joissa katalysaattoreita ei ollut vielä käytössä. (Richards 2014, s. 17)

## 5 POLTTOAINEET LIIKENTEESSÄ

Vuonna 2016 liikennesektori vastasi 17 prosentista maailmanlaajuisesta energiankulutuksesta. Energiankulutus kuljetussektorissa kävi huipussaan vuonna 2007, kun kokonaiskulutus nousi aina 4.4 miljoonaan öljykvivalenttitonniin ja vuoteen 2016 mennessä se on vähentynyt vain 4.3 miljoonaan öljykvivalenttitonniin. (IEA 2018, s. 75)

Suomalaiset kuluttajat maksavat suhteellisen korkeaa hintaa polttoaineesta verrattaessa muihin IEA:n jäsenmailhin. Tämä johtuu pääasiassa korkeasta verotuksesta. Vuoden 2017 kolmannessa neljänneksessä Suomessa oli kuudenneksi kalleinta dieseliä, seitsemänneksi kalleinta bensiiniä ja kuudenneksi kalleinta kevyttä polttoöljyä jäsenmaiden kesken. (IEA 2018, s.147)

Valtaosa liikenteessä käytettävästä energiasta tulee öljyjohdannaisista polttoaineista, ja öljyn osuus maailmanlaajuisesta energiankulutuksesta liikennesektorissa olikin 94.3 prosenttia vuonna 2016 (kuva 6). Tästä huolimatta öljyn osuus liikennesektorissa on pienentynyt, sillä vielä vuonna 2005 sen osuus oli 98 prosenttia. Tämä johtuu biopolttoaineiden määrän nopeasta kasvusta. Jäljelle jäävä osuus liikenteessä käytettävästä energiasta koostuu pääosin sähköstä, jota käytetään raideliikenteessä. Pienen loppuosan täydentää tieliikenteessä käytettävä maakaasu. (IEA 2018, s. 76)



Kuva 6. Liikennekäytössä olevien polttoaineiden jakautuminen vuonna 2016. (IEA 2018, s. 75)

Biopolttoaineiden käyttö lisääntyi mitättömältä tasolta vuodelta 2005 aina 0.5 miljoonaan öljykvivalenttiin vuonna 2015, kattaen 12 prosenttia liikennesektorin kulutuksesta. Kuitenkin vuonna 2016 biopolttoaineiden osuus laski jälleen 4.1 prosenttiin, koska uusiutuvan dieselin käyttö romahti 75 prosentilla. Polttoaineiden jakelijoilla on biopolttoaineen sekoitusvaatimuksia, jotka voidaan täyttää etukäteen. Tämä voi johtaa muutoksiin biopolttoaineen tarjontaan vuositasolla, ja siten osakseen selittää vuoden 2016 romahdusta. (IEA 2018, s.76)

Suomella on laajat biodiesel markkinat ja vuonna 2016 biodiesel käsittikin 62 prosenttia tieliikenteessä käytettävistä biopolttoaineista. Biodieseliä voidaan sekoittaa tavanomaiseen dieseliin ilman rajoituksia. Tämä on huomattavaa kehitystä siihen nähden, että biodieselin valmistus Suomessa perustuu jätteeksi luokiteltavien öljyjen ja rasvojen vetykäsittelyyn. Biopetroli käsittää loput 38 prosenttia tieliikenteessä käytettävistä biopolttoaineista. (IEA 2018, s. 76)

## 6 YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin niin vaihtoehtoisia polttoaineita kuin myös perinteisiä, fossiilisia polttoaineita. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttö tulevaisuudessa tulee olemaan väistämätöntä kasvavan öljyn hinnan ja ilmaston lämpenemisen aiheuttamien ympäristöongelmien takia. Syynä fossiilisten polttoaineiden hintojen nousuun ja tulevaisuuden toimitusten epävarmuuksiin on se, että fossiilisia polttoaineita ei yksinkertaisesti ehdi muodostua niin nopeasti kuin me niitä kulutamme. Vaihtoehtoiset polttoaineet ovat kuitenkin erittäin kilpailukykyisiä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Sen vuoksi tällä hetkellä keskitytäänkin suuresti vaihtoehtoisten polttoaineiden, kuten etanolin, biometanolin, biodieselin, vedyn, boorin, maakaasun, nestekaasun, p-sarjan polttoaineiden, sähkön ja aurinkovoiman hyödyntämiseen moottoreiden polttoaineina. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytöstä saadaan useita hyötyjä niin ympäristölle, taloudelle kuin kuluttajillekin, sillä näitä polttoaineita voidaan valmistaa sellaisista kotimaisista raaka-aineista, joita tuotettaessa tai poltettaessa ei aiheudu ympäristölle haitallisia päästöjä.

Lyhyellä aikavälillä polttomoottorit tulevat jatkamaan hallitsemista kuljetussektorin voimanlähteinä ja nämä moottorit tulevat käyttämään polttoaineenaan pääasiassa fossiiliseksi polttoaineiksi lukeutuvia bensiini- ja dieselpolttoaineita. Syitä tähän on muun muassa valmis infrastruktuuri ajoneuvojen tankkaukseen ja polttoaineiden jakeluun, näiden polttoaineiden helppo käsiteltävyys ja korkea energiasisältö, joka takaa kuluttajille odotuksenmukaiset toimintamatkat sekä jo olemassa oleva ajoneuvokanta, jota ei voida korvata nopeasti. Uudenlaisten polttoaineiden esittely markkinoille on mahdollista, mutta vanhoista polttoaineista luopuminen tulee silti ottamaan aikaa. Tämän vuoksi on selvää, että lyhyellä aikavälillä ei ole mahdollista tehdä suuria muutoksia bensiinin ja dieselin koostumuksissa ja niiden ominaisuuksissa.

Jotta vaihtoehtoiset polttoaineet tulevat menestymään polttoainemarkkinoilla, kuluttajilla on oltava joku kannustin käyttää näitä polttoaineita. Pieni osa kuluttajista on valmis käyttämään näitä polttoaineita ympäristösyistä, mutta loppujen lopuksi kannustimen on oltava rahallinen, sillä se on yksi pääsyyistä siihen, että bensiinin ja dieselin markkinoita ei ole voitu horjuttaa. Siksi tulevaisuuden kannalta olisikin tärkeää löytää sellainen polttoaine, jota on edullista tuottaa, josta ei aiheudu ympäristölle haitallisia päästöjä ja joka vastaa energiasisällöltään vähintään nykyisiä polttoaineita.



## LÄHDELUETTELO

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J., 2016. *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia* [verkkodokumentti]. Espoo: VTT, 229 s. ISBN 978-951-38-8419-2 Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2016/T258.pdf>.

Baer, F. H., 1951. *Report from abroad on kerosene-fed cars* [verkkodokumentti]. Popular Science, 159 (6), S. 193 Saatavissa: [https://books.google.fi/books?id=nCEDAAAAMBAJ&pg=RA2-PA193&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=true](https://books.google.fi/books?id=nCEDAAAAMBAJ&pg=RA2-PA193&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true) [viitattu 31.3.2022].

de Santiago, J., Bernhoff, H., Ekegård, B., Eriksson, S., Ferhatovic, S., Waters, R. & Leijon, M., 2012. Electrical Motor Drivelines in Commercial All-Electric Vehicles: A Review. *IEEE transactions on vehicular technology* [verkkodokumentti], 61 (2), 475–484. Saatavissa: <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=25565010>.

Demirbas, A., 2003. Current Advances in Alternative Motor Fuels. *Energy Exploration & Exploitation* [verkkodokumentti], 21 (5/6), 475–487. Saatavissa: <http://www.jstor.org.pc124152.oulu.fi:8080/stable/43754059>.

Faiz, A., Weaver, C. S. & Walsh, M. P., 1996. *Air pollution from motor vehicles: Standards and technologies for controlling emissions* [verkkodokumentti]. Washington: World Bank Publications, 245 s. ISBN 0-8213-3444-1 Saatavissa: <http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eoh&AN=0422917&site=ehost-live&scope=site>.

IEA, 2018. Energy Policies of IEA Countries: *Finland 2018 Review*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-finland-2018-review>

IEA, 2021. Global electric vehicle stock by region, 2010-2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-vehicle-stock-by-region-2010-2020>

IEA, 2021. Global electric vehicle stock by transport mode, 2010-2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-vehicle-stock-by-transport-mode-2010-2020>

IEA, 2022. Transport sector CO<sub>2</sub> emissions by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/transport-sector-co2-emissions-by-mode-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>

Knight, M. J., Morris, N., Valjakka, N., Palanterä, J. & Perhemediat, 2012. *Fossiiliset polttoaineet*. Helsinki: Perhemediat, 63 s. ISBN 978-952-494-400-7

Liao, S. Y., Jiang, D. M., Cheng, Q., Huang, Z. H., & Zeng, K., 2006. Effect of methanol addition into gasoline on the combustion characteristics at relatively low temperatures. *Energy & fuels*, 20 (1), 84–90.

Mollenhauer, K. & Tschöke, H., 2010. *Handbook of Diesel Engines* [verkkodokumentti]. Berlin: Springer, 636 s. ISBN 978-3-540-89083-6 Saatavissa: <http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=338038&site=ehost-live&scope=site>.

Ramadhas, A. S., 2011. *Alternative Fuels for Transportation*. 1 painos. Boca Raton, FL: CRC Press, 445 s. ISBN 978-1-4398-1957-9

Rang, H. & Kann, J., 2003. Advances in petrol additives research. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 52 (3), 130.

Richards, P., 2014. *Automotive Fuels Reference Book* [verkkodokumentti]. Warrendale, PA: SAE International, 840 s. ISBN 0-7680-8793-7 Saatavissa: [http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=.](http://pc124152.oulu.fi:8080/login?url=)

Sarmi, I., 1973. *Polttomoottorit*. Helsinki: Kirjayhtymä, 113 s. ISBN 951-26-0222-9

Suomen Kaasuyhdistys, 2014. *Maakaasukäsikirja* [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen kaasuyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/> [viitattu 11.3.2022]

Uhler, A. D., Stout, S. A., Douglas, G. S., Healey, E. M. & Embso-Mattingly, S. D., 2016. Chemical character of marine heavy fuel oils and lubricants. Teoksessa: Stout, S. A. & Wang, Z. (toim.) *Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics*. 2 painos. Academic Press, S. 641–683. ISBN 978-0-12-803832-1