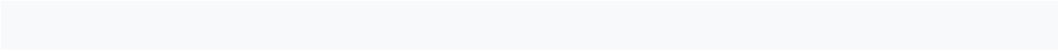


LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
School of Energy Systems
Energiatekniikka
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

**BIOPOLTTOAINEIDEN TUOTANNON
LISÄÄMISMAHDOLLISUUDET LIIKENTEeseen
SUOMESSA**



Työn tarkastaja: Antti Pitkäoja
Työn ohjaaja: Antti Pitkäoja
Lappeenrannassa 11.6.2021
Niko Kämäräinen

TIIVISTELMÄ

Niko Kämäräinen

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Ohjaaja: Antti Pitkäoja

Kandidaatintyö 2021

32 sivua, 11 kuvaa, 1 taulukko

Hakusanat: kandidaatintyö, biomassa, biopolttoaineet, liikenne

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan Suomessa biomassan käytön kehittymistä ja sen roolia energia- ja liikennesektorin piirissä sekä biopolttoaineiden tuotannon lisäämismahdollisuuksia. Työn tavoitteena on esittää konkreettinen tulos, kuinka paljon käyttämällä jotakin raaka-ainetta lämmöntuotannon sijasta biopolttoaineisiin, voitaisiin teoreettisesti vähentää fossiilisen polttoaineen kulutusta Suomessa liikennesektorilla.

Suomessa energiasektori aiheuttaa noin 75 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä ja sieltä kotimaan liikenne noin viidenneksen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Näin ollen, jotta tavoiteltuihin päästövähennyksiin päästäisiin, täytyy näiden sektoreiden aiheuttamiin päästöihin kohdistaa toimenpiteitä. Tähän biomassa tarjoaa hyvän vaihtoehdon johtuen sen monipuolisuudesta ja hiilidioksidineutraaliudesta.

Tämä työ on kirjallisuuskatsaus, jossa esitellään biomassa käsitteenä ja tarkastellaan sen käytön kehitystä ja roolia Suomen energia- ja liikennesektorilla. Tämän jälkeen tarkastellaan biopolttoaineiden tuotannon lisäämismahdollisuuksia liikenteeseen ja sen pohjalta, voidaan tehdä laskelma fossiilisen polttoaineen kulutuksen vähentämisestä biopolttoaineiden avulla liikennesektorilla ja verrata sitä arvioon lisäyspotentialista, jotta tieliikennesektorilla saavutettaisiin 40 % päästövähennys. Työn tuloksena saatiin, että käyttämällä 4 miljoonaa kuutiometriä haketta biopolttoaineisiin liikenteen 40 % päästövähennys voitaisiin saavuttaa ja melkein kolminkertaistaa biopolttoaineiden kulutus nykyisestä.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	4
2 BIOMASSA	6
2.1 Mitä on biomassa?	6
2.2 Biomassan muuntaminen energiaksi	7
2.3 Bioenergian käytön lisääntyminen Suomessa	9
2.4 Biomassan käytön lisäpotentiaali	12
3 BIOMASSAN ROOLI ENERGIAJÄRJESTELMÄSSÄ	16
3.1 Suomen energiankulutus	16
3.2 Liikennesektori Suomessa	18
3.3 Liikenteen biopolttoaineet Suomessa	21
4 FOSSIILISTEN POLTTOAINEIDEN KORVAAMINEN BIOPOLTTOAINEILLA LIIKENTEESSÄ	27
4.1 Laskennan kuvaus	27
4.2 Kuinka paljon vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta?	27
4.3 Tieliikenteen päästövähennemän saavuttaminen	28
5 YHTEENVETO JA BIOMASSAN TULEVAISUUS	30
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Suomessa yhä enemmän korostuu toimet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Näistä kasvihuonekaasupäästöistä merkittävin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Suomessa suurin hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja on energiasektori ja vuonna 2019 energiasektorin kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 74 % kokonaispäästöistä (Tilastokeskus, 2019). Lisäksi Suomessa energiasektorin päästöistä noin kolmannes on peräisin kotimaan liikenteestä ja kotimaan liikenne aiheuttaa näin ollen noin viidenneksen Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä. Kotimaan liikenteestä suurin osa päästöistä aiheutuu tieliikenteestä. Näin ollen Suomessa päästöjen vähentämisessä on keskityttävä energiasektorin ja erityisesti tieliikenteen päästöihin.

Suomen tavoite on esimerkiksi puolittaa kotimaan liikenteen kasvihuonepäästöt vuoteen 2030 mennessä ja vuonna 2045 tavoite on olla liikenteen osalta nollapäästöinen (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Tavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa uusiutuvien energialähteiden osuus on kasvanut vuosien saatossa. Lisäksi liikenteessä fossiilisten polttoaineiden käyttöä on pyritty vähentämään lisäämällä biopolttoaineiden määrää liikennesektorilla. Tällä hetkellä biopolttoaineiden käytön lisääntymistä liikennesektorilla ohjaa EU:n lainsäädäntö ja biopolttoaineiden jakeluelvoite. Euroopan unionin mukaan taakanjakosektorin päästöjen on vähennyttävä 39 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 tasosta (Ympäristöministeriö, 2021). Taakanjakosektoriin kuuluu muun muassa asumisen, rakennusten lämmityksen, maatalouden ja liikenteen päästöt. Koska liikennesektori ja erityisesti tieliikenne on merkittävä päästöjen aiheuttaja taakanjakosektorilla, biopolttoaineet ja niiden käytön lisääminen on kohdennettu kyseiselle sektorille tavoitteiden saavuttamiseksi.

Biopolttoaineiden jakeluelvoite on kuitenkin tällä hetkellä suurin tekijä biopolttoaineiden lisääntymiseen liikennesektorilla. Jakeluelvoitteen mukaan Suomessa vähintään 30 % kaikesta tieliikenteeseen myytävästä polttoaineesta on oltava biopolttoaineita vuonna 2030 (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Lisäksi Suomen omat tavoitteet vaikuttavat biopolttoaineiden käytön lisääntymiseen.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi, voidaan päästä fossiilisten polttoaineiden riippuvuudesta eroon sekä kasvattaa energiaomavaraisuutta lisäämällä uusiutuvan kotimaisen energian tuotantoa.

Näistä biomassalla on hyvin tärkeä rooli Suomessa uusiutuvan energian lisäämisessä ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä energia- ja liikennesektorilla. Biomassalla tuotettu energia on Suomessa merkittävin uusiutuvan energian lähde. Biomassa soveltuu useisiin eri käyttötarkoituksiin, sillä sitä voidaan käyttää esimerkiksi Suomessa voimalaitosten polttoaineena sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä biomassasta voidaan jalostaa biopolttoaineita liikenteen tarpeisiin. Biomassaa on Suomessa saatavissa runsaasti, sillä biomassaa koostuu eläin- ja kasviperäisestä biomassasta, kuten maa- ja metsätalouden erilaisista tuotteista, jätteistä ja sivuvirroista.

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan aluksi yleisesti biomassaan käsitteenä, biomassan muuntamiseen energiaksi sekä bioenergian kehittymiseen Suomessa ja sen mahdolliseen lisäyspotentiaaliin liikennesektorille. Tämän jälkeen siirrytään tarkastelemaan enemmän Suomen energia- ja liikennesektoria biomassan näkökulmasta ja selvitetään millaisia biopolttoaineita Suomessa, on käytössä. Näiden pohjalta tässä kandidaatintyössä on tarkoitus esittää konkreettinen tulos kirjallisuuden avulla, siitä kuinka paljon liikennesektorilla voidaan vähentää fossiilisen polttoaineen kulutusta biopolttoaineilla, käyttämällä biopolttoaineiden tuotantoon jotakin metsäteollisuudesta saatavaa raaka-ainetta tietty määrä sähkön- ja lämmöntuotannon sijasta. Lisäksi saatua tulosta verrataan tehtyihin arvioihin biopolttoaineiden lisäystarpeelle tulevaisuudessa, jotta liikenteessä saavutettaisiin 40 % päästövähennys. Lopuksi vielä pohditaan biomassan tulevaisuutta.

2 BIOMASSA

2.1 Mitä on biomassa?

Biomassa on käsitteenä laaja ja biomassa voidaan käsittää koostuvan monenlaisesta erilaisesta lähteestä. Yksinkertaisimmillaan biomassan voidaan ajatella olevan biologista materiaalia, joka on peräisin joko elävistä tai kuolleista organismeista (Sharma et. al, 2018, s. 175). Biomassa on siis luonnollinen aine, joka on varastoinut energiaa. Biomassa voidaan kemiallisesti ajatella olevan hiilipohjainen, joka koostuu orgaanisten aineiden seoksesta, jolloin se sisältää muun muassa vetyä, typpeä ja happea. Täten biomassan energiasisältö vaihtelee 13,0–19,6 MJ/kg, riippuen tuhkapitoisuudesta (Sharma et. al, 2018, s. 176).

Vaikkakin biomassa on käsitteenä monipuolinen, biomassan eri lähteet, josta biomassaa saadaan, voidaan luokitella yleisesti kahteen eri ryhmään: kasviperäiseen biomassaan ja eläinperäiseen biomassaan. Eläinperäiseen biomassaan voidaan esimerkiksi luokitella teurastamosta saatavia erilaisia eläimistä peräisin olevia jätteitä tai merestä saatavaa biomassaa. Kasviperäinen biomassa koostuu taas metsätalouden sekä maatalouden erilaisista tuotteista, jäännöksistä tai jätteistä. Metsätaloudesta saatavaa biomassaa on esimerkiksi erilaiset puupolttoaineet ja puun käyttämisessä syntyvät sivutuotteet, kuten kuori tai siitä tehdyt erilaiset jalostusversiot, kuten hake. Lisäksi metsäteollisuudessa syntyvät erilaiset sivuvirrat, kuten soodakattilassa sellun tuotannossa syntyvä mustalipeä, voidaan luokitella biomassaksi. (Sharma et.al, 2018, ss.176–177)

Maataloudesta saatavat erilaiset jäännökset, kuten viljajätteet tai peltokasvit ovat myös biomassaa ja niistä saadaan energiaa. Lisäksi teollisuudessa syntyvät teolliset jätteet ja muut bioperäiset jätteet voidaan luokitella olevan biomassaa (Motiva, 2020). Kuitenkin metsätalous ja etenkin puu on biomassan lähteistä yleisin ja sitä on eniten saatavilla. Muiden biomassan lähteiden käyttö on kuitenkin kasvussa erityisesti siksi, että fossiilisille polttoaineille etsitään muita vaihtoehtoja ja biomassan tarjoama monipuolisuus on tähän erinomainen vaihtoehto.

Biomassaa ja erityisesti kasviperäistä biomassaa voidaan kutsua ”ympäristöystävälliseksi polttoaineeksi” (Sharma et. al, 2018, s. 177). Nimitys johtuu siitä, että vaikka biomassaa

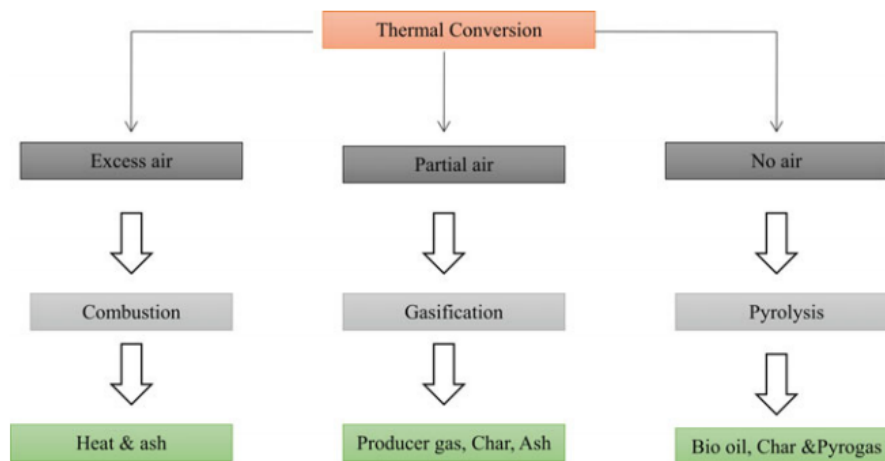
poltettaessa hiilidioksidia vapautuu ilmakehään, kasvit sitovat kyseisen hiilidioksidimäärän takaisin itseensä. Näin ollen biomassa voidaan luokitella energiantuotannossa hiilidioksidineutraaliksi, koska se ei lisää hiilidioksidipäästöjä (Motiva, 2020).

Biomassa on täten myös uusiutuva energialähde ja se on uusiutuvan energian lähteistä merkittävin (Vattenfall, 2021). Biomassan monipuolisuudesta johtuen, sitä käytetään laajalla syklillä, koska biomassaa on kaikkialla hajallaan ympäri luontoa. Biomassalla ja sen käytöllä on positiivinen vaikutus ilmastoon, koska biomassaa voidaan kutsua hiilidioksidineutraaliksi ja lisäksi sen käytöllä voidaan alentaa esimerkiksi energiantuotannossa syntyviä muita haitallisia vaikutuksia, kuten muunlaisia terveydelle haitallisia hiukkaspäästöjä (Motiva, 2020).

2.2 Biomassan muuntaminen energiaksi

Biomassalla on useita erilaisia käyttökohteita, joihin sitä voidaan käyttää. Biomassaa voidaan esimerkiksi käyttää ruuanlaitossa, energiana niin sähkön- kuin lämmöntuotannossa ja muissa sovelluksissa, kuten liikennepolttoaineina. Edelleen biomassan käytön lisääntymisestä erilaisiin käyttötarkoituksiin on tullut entistä enemmän kiinnostavampaa, johtuen fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisestä, luonnonvarojen nopeammasta ehtymisestä ja myös energian kysynnästä. Lisäksi biomassan käytöllä voidaan vähentää huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä, joten biomassa on ympäristön kannalta hyvä vaihtoehto. (Sharma et.al, 2018, s. 175)

Biomassan muuntamiselle energiaksi on useita erilaisia prosesseja, jotka enemmän tai vähemmän soveltuvat käyttötarkoitukseen. Lämpökemiallinen konversio on kuitenkin näistä muuntotekniikoista yleisin ja kehittynein tekniikka (Sharma et. al, 2018, s.179). Lämpökemialliseen konversioon kuuluu palaminen, kaasutus ja pyrolyysi. Muitakin tekniikoita on olemassa, mutta ne ovat kehitykseltään kauempana ja usein myös kalliimpia ja monimutkaisempia (Kuva 1).



Kuva 1. Biomassan lämpökemiallisen konversion muodot: palaminen, kaasutus ja pyrolyysi (Sharma et. al, 2018, s. 179).

Näistä kolmesta erilaisesta lämpöteknillisestä prosessista palaminen on yleisin tapa muuntaa biomassa energiaksi, erityisesti sähkön- ja lämmöntuotannossa. Palaminen tarvitsee happea, jotta biomassa hajoo täydellisesti ja palamisesta syntyy kuumia palamistuotteita, yleensä hiilidioksidia ja vettä. Biomassan palamiseen tarvittavat polttojärjestelmät ovat yleensä helposti integroitavissa jo olemassa oleviin polttojärjestelmiin ja esimerkiksi tällä hetkellä on muutamia polttotekniikoita kaupallisesti saatavina. Esimerkiksi leijukerrospolttojärjestelmä on yksi biomassan palamisen polttotekniikoista, jota käytetään biomassan palamiseen. Kuitenkin näissä ongelmana on sen tehokkuus ja soveltaminenkin on rajallista. (Sharma et.al, 2018, ss. 179–181)

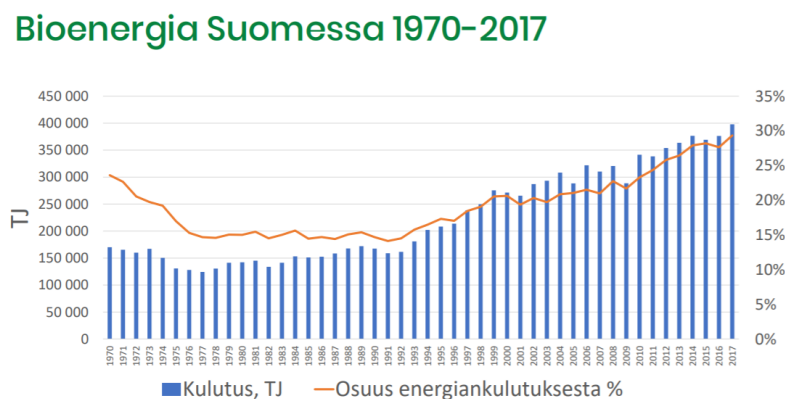
Kaasutuksessa on kyse biomassan termokemiallisesta muuntamisesta kaasumaiseksi polttoaineeksi. Kaasutus vaatii osittaisen hapetuksen ja lisäksi kaasutuksessa ilman vaatimus on noin kolmasosan pienempi kuin palamisessa. Kaasutuksella saadaan joko puukaasua tai synteetikaasua riippuen kaasutusaineesta. Jos kaasutusaineena on ilma lopputuloksena biomassasta, saadaan puukaasua, kun taas puhdas happi kaasutusaineena tuottaa synteetikaasua. Näitä molempia voidaan käyttää kuitenkin myös esimerkiksi erilaisissa lämpö- tai käyttövoimasovelluksissa kuin sähköntuotannossakin. Palamiseen verrattuna kaasutuksella saavutetaan biomassan muuntamisessa energiaksi suurempi hyötysuhde ja pienemmät päästöt. (Sharma et.al, 2018, ss.181–182)

Biomassan pyrolyysi on taas biomassan termistä hajoamista, joka tapahtuu ilman hapen vaikutusta. Se on kemiallinen perusreaktio, joka yleensä tapahtuu luonnollisesti ja ennen palamis- tai kaasutusprosesseja. Biomassan pyrolyysi tuottaa yleensä kolmea erilaista energiatuotetta. Biomassan pyrolyysiin voidaan käyttää useita erilaisia biomassoja, kuten yhdyskuntajätteitä ja muita maatalous- tai metsätalousjäämiä. (Sharma et.al, 2018, s.197)

Biomassalla on valtavasti potentiaalia käyttää energiana ja sen avulla voidaan kattaa hyvä määrä energiankulutuksesta. Biomassan lisääminen energiantuotannossa on mahdollista ja sitä kannattaa hyödyntää, sillä biomassan avulla päästään fossiilisista polttoaineista ja niiden aiheuttamista päästöistä eroon ja kasvatetaan samalla energiaomavaraisuutta. Biomassan muuntamisella hyödylliseksi energiaksi on suurin vaikutus niin ympäristölle kuin yhteiskunnallekin. Biomassaa voidaan käyttää niin sähkön- ja lämmöntuotannossa kuin jalostamalla biomassasta biopolttoaineita liikennesektorille.

2.3 Bioenergian käytön lisääntyminen Suomessa

Biomassan käyttö on kasvanut Suomessa vuosien varrella ja sen merkitys fossiilisten polttoaineiden korvaajana energiasektorilla on korostunut. Biomassalla on nykyään suuri rooli Suomen energiantuotannossa. Esimerkiksi vuonna 1970 bioenergian kulutus Suomessa on ollut noin 170 000 terajoulea, kun taas vuonna 2017 se on ollut noin 400 000 terajoulea (Bioenergia ry, 2019). Erityisesti 2000-luvulla biomassan merkitys on korostunut, jolloin sen käyttö on kasvanut tasaisesti aina näihin päiviin asti. (Kuva 2)

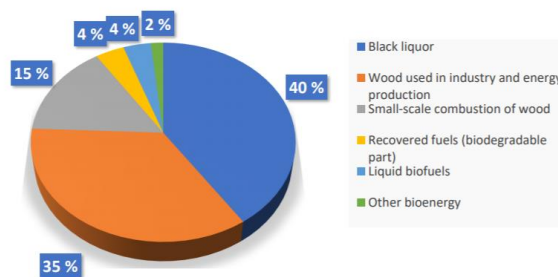


Kuva 2. Bioenergian käytön kehittyminen Suomessa 1970–2017 (Bioenergia ry, 2019).

Biomassalla on suurin rooli Suomessa yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Näiden lisäksi biomassaa käytetään liikenteeseen biopolttoaineina ja biomassan käyttö biopolttoaineina on valtavasti ollut kasvussa. Esimerkiksi vuonna 2016 EU:ssa bioenergiaa käytettiin 75 % lämmöntuotantoon, 13 % sähköntuotantoon ja 12 % liikenteeseen (Bioenergia ry, 2019).

Suomessa suurin osa bioenergiasta on peräisin metsäteollisuudesta ja sen sivuvirroista. Esimerkiksi vuonna 2018 bioenergiasta 40 % oli mustalipeää ja 35 % puupohjaista polttoainetta. Loppuosa oli puun pienpolttua ja nestemäisiä tai kaasumaisia biopolttoaineita. (Kuva 3) (Bioenergia ry, 2019)

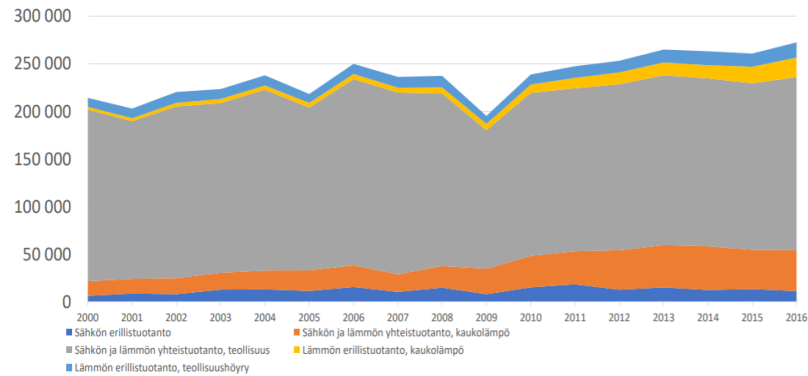
Bioenergia 2018



Kuva 3. Bioenergian lähteet 2018 (Bioenergia ry, 2019).

Puupolttoaineita ovat esimerkiksi metsäteollisuuden erilaiset jäteliemet, puutähdehake, puru, kuori ja pelletit sekä brikitit. Niitä käytetään suurimmaksi osaksi teollisuuden eri prosesseissa, kuten yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa tai kaukolämmöntuotannossa. Puupolttoaineita ei käytetä yleensä pelkkään sähköntuotantoon vaan siellä on käytössä muut uusiutuvat energialähteet, kuten tuulivoima tai ydinvoima. (Kuva 4)

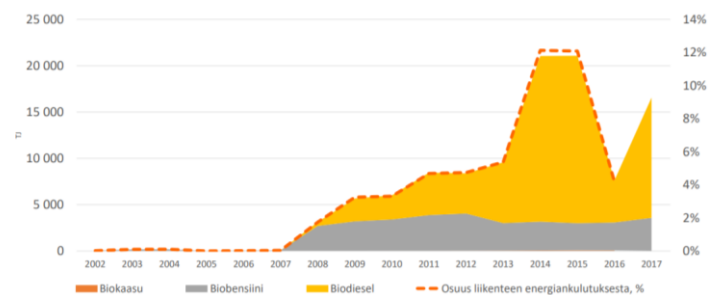
Puupolttoaineiden käyttö 2000–2016



Kuva 4. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa 2000–2016 (Bioenergia ry, 2019).

Liikenteeseen biomassalla tuotetut biopolttoaineet ovat tulleet vasta hieman ennen 2010-lukua, joten biomassan merkitys biopolttoaineena on myöhemmässä vaiheessa korostunut. Suurin osa liikenteessä olevista biopolttoaineista on biodieseliä. (Kuva 5)

Bioenergia liikenteessä 2002–2017



Kuva 5. Biopolttoaineiden kehittyminen liikenteessä (Bioenergia ry, 2019).

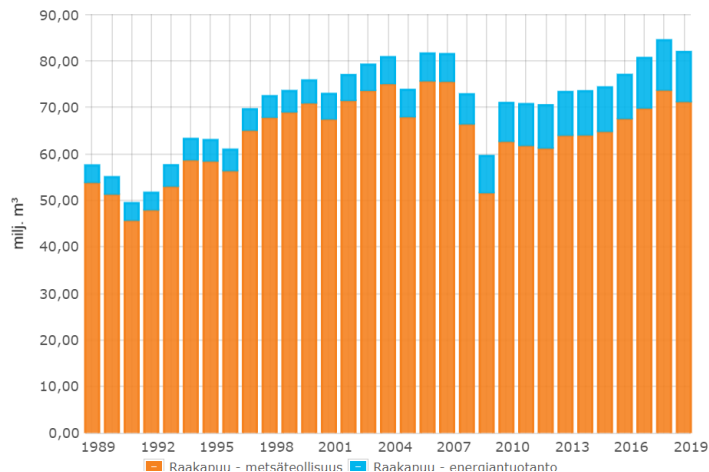
Biomassan kestävään käyttöön täytyy kiinnittää entistä enemmän huomiota, sillä biomassan potentiaalilla energiantuotannossa on omanlaisensa rajat. Tähän vaikuttaa biomassan käytön lisääntyminen entisestään tulevaisuudessa, sillä fossiilista energiaa on vielä runsaasti käytössä ja bioenergian voidaan ajatella olevan korvaajavaihtoehto numero yksi. Koska Suomessa suurin osa bioenergiasta on puuenergiaa, metsien kestävään käyttöön on kiinnitettävä huomiota, sillä hiilinielujen pientyminen biomassan käytön lisääntymisen takia ei ole toivottava suuntaus (Bioenergia ry, 2020, s. 5). Lisäksi Suomessa kaikkea kaadettua metsää ei käytetä polttoon teollisessa mittakaavassa, jolloin metsien hiilinielujen määrän säilyttäminen tai jopa kasvattaminen korostuu.

Tämän takia erityisesti maatalousperäisen biomassan lisääminen metsätalousperäisen biomassan sijasta on kannattavaa ja maatalousperäisellä biomassalla on merkittävä lisäyspotentiaali. Esimerkiksi viljeltävät monivuotiset viljelykasvit ja muut maatalouden sivuvirrat, kuten olki tai lanta ovat erinomainen vaihtoehto bioenergiaksi. Tämä auttaa hiilinielujen säilyttämisessä nykyisellä tasolla, vaikka bioenergian käyttö tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Maatalouden biomassoja voidaan käyttää niin lämmöntuotantoon kuin liikenteeseen biopolttoaineinakin. (Bioenergia ry, 2020, s. 17)

Biomassan käytön merkitys tulee siis kasvamaan tulevaisuudessa ja sitä kautta bioenergia-ala tulee työllistämään Suomessa enemmän. Lisäksi uudet innovaatiot ja teknologioiden kehitys bioenergia-alalle tulevat olemaan merkittävässä roolissa. Suomessa on jo nyt korkea osaaminen ja panostus bioenergiateknologioissa ja Suomi on yksi johtajamaista bioenergian käytössä.

2.4 Biomassan käytön lisäpotentiaali

Suomessa on viime vuosina käytetty raakapuuta noin 80 miljoonan kiintokuutiometrin verran. Suurin osa raakapuusta on käytetty metsäteollisuuden tuotteiden valmistamiseen noin 70 miljoonan kiintokuutiometrin verran ja tästä kotimaisella raakapuulla on suurin osuus noin 60 miljoonaa kuutiometriä ja loppuosa noin 10 miljoonaa kuutiometriä oli tuontipuuta. Energiantuotantoon raakapuuta on käytetty noin 10 miljoonan kiintokuutiometrin verran. (Kuva 6) (Luonnonvarakeskus, 2020a)



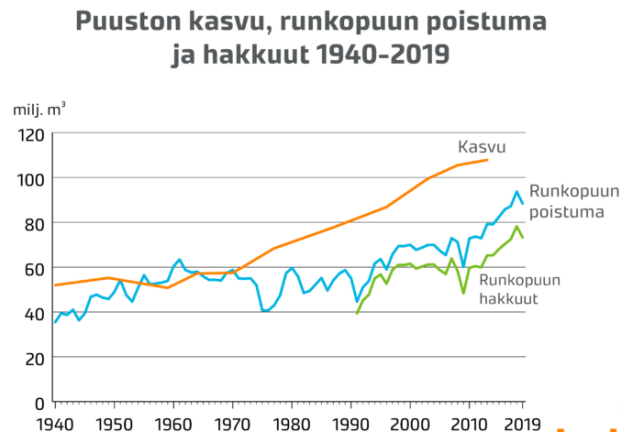
Kuva 6. Raakapuun käyttökohteet (Luonnonvarakeskus, 2020a).

Energiapuusta hieman reilut puolet käytettiin polttopuuna pientaloissa ja loppuosa noin 4 miljoonaa kiintokuutiometriä runkopuusta valmistettuna metsähakkeena lämpövoimalaitoksissa. (Luonnonvarakeskus, 2020a)

Metsäteollisuuden sivutuotteita ja erilaista jättepua on käytetty viime vuosina noin 26 miljoonan kiintokuutiometrin verran, josta noin 10 miljoonan kiintokuutiometrin verran metsäteollisuuden tuotannon tarpeisiin sahakkeena ja puruna. Loppuosa noin 16 miljoonaa kiintokuutiometriä käytettiin energian tuottamiseen (Luonnonvarakeskus, 2020a). Energiantuotannossa suurin osa oli metsäteollisuuden sivutuotepuuta, kuten puutähdehaketta, purua ja kuorta. Lisäksi pieni osa energiantuotantoon lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin metsäjättepua, kuten hakkuutähteitä ja kantoja.

Kuitenkin edellä mainituista määristä on mahdollisuus yhä enemmän käyttää esimerkiksi energiantuotantoon puuta tai sen erilaisia sivutuotteita ja sivuvirtoja biopolttoaineiden tuotantoon. Vuonna 2019 Suomen metsistä hakattiin noin 73 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta, josta metsäteollisuuden käyttöön 87 % ja energiantuotantoon energiapuuksi 13 %. Tuoreimpien hakkuumahdollisuuskalkelmien perusteella kuitenkin Suomen metsien suurin ylläpidettävissä oleva aines- ja energiapuun hakkuukertymä olisi noin 81 miljoonaa kuutiometriä runkopuuta vuodessa ajanjaksolla 2016–2025 (Luonnonvarakeskus, 2021). Lisäksi aines- ja energiapuun hakkuukertymän ennakoitaan ylittävän 89 miljoonan kuutiometrin tason vuosina 2036–2045. Näin ollen esimerkiksi vuosina 2016–2019 on kaikesta hakkuumahdollisuudesta käytetty noin 90 %.

Lisäksi on arvioitu, että Suomessa metsät kasvavat vuosittain uutta runkokuuta noin 108 miljoonaa kuutiometriä. Esimerkiksi vuonna 2019 Suomessa hakkuiden, siinä syntyvän metsähukkapuun ja käyttämättä jääneen luonnonpoistuman vähentävä vaikutus metsiin oli noin 88 miljoonaa kuutiometriä. Näin ollen Suomen metsät kasvoivat silti noin 20 miljoonalla kuutiometrillä (Kuva 7). (Luonnonvarakeskus, 2020b)



Kuva 7. Suomessa puuston kasvu, runkokuun poistuma ja hakkuut vuosina 1940–2019 (Luonnonvarakeskus, 2020b).

Tämän takia tulevaisuudessa on mahdollisuus hieman enemmän käyttää puuta ja siitä saatavia sivutuotteita energiantuotantoon ja biopolttoaineiden raaka-aineeksi.

Hakkuiden lisäämisellä voidaan saada lisää puupohjaista biomassaa käytettäväksi energiantuotantoon ja biopolttoaineiden tuotantoon, mutta maatalouden biomassalla on myös lisäyspotentiaalia. Tämä lisäisi biomassan saatavuutta edelleen ja mahdollisuutta käyttää energiantuotannossa ja biopolttoaineiden raaka-aineena. Yhteensä maatalouden sivuvirroilla ja viljelykierroissa saatavilla viljeltävillä energiakasveilla on tehtyjen selvitysten perusteella noin 14 terawattitunnin eli noin 50 400 TJ energialisäyspotentiaali vuodessa (Bioenergia ry, 2020, s. 17). Tämä lisäyspotentiaali lisäksi perustuisi sellaisiin virtoihin, jotka eivät aiheuttaisi haittaa elintarviketuotannolle.

Maatalouden sivuvirroista oljella on suurin lisäyspotentiaali. Tutkimusten perusteella käyttämättömän viljan olkien potentiaaliksi on arvioitu noin 5 terawattituntia vuodessa. Olkea voidaan esimerkiksi käyttää nestemäisten biopolttoaineiden tuotannon raaka-aineena.

Myös lannan käytöllä on nähty olevan lisäyspotentiaalia. Arvioiden mukaan lannalla olisi teknistaloudellisesta näkökulmasta noin 1,8 terawattitunnin energiapotentiaali. (Bioenergia, 2020, s. 18).

Viljeltävien energiakasvien lisäyspotentiaaliksi on arvioitu noin 6,1 terawattituntia vuodessa. Tästä ruokohelven käytöllä ja sen lisäämisellä on suurin merkitys. Ruokohelpeä voidaan käyttää lämpölaitosten seospolttoaineena tai biokaasun raaka-aineena. Lisäksi poistuvalla turvetuotantoalan käyttöönotolla ruokohelven viljelyyn voitaisiin saavuttaa tulevaisuudessa pieni noin 0,3 terawattitunnin lisäyspotentiaali biometaanin tuotantoon. (Bioenergia ry, 2020, s. 18).

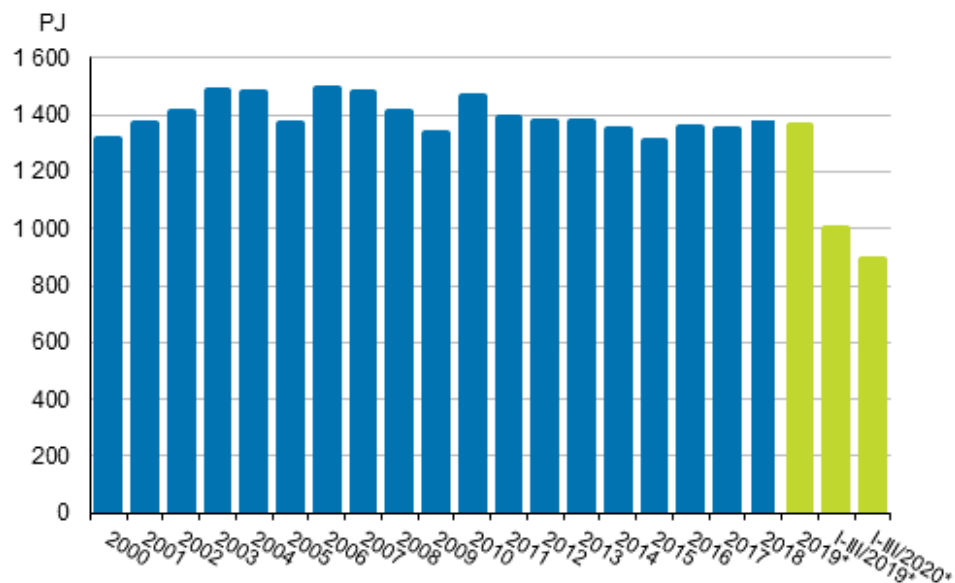
Lisäksi biomassan käytön lisäyspotentiaalia voidaan parantaa metsityksellä. Esimerkiksi hylätyt pellot, laitumet tai avoimet ruohikkoalueet soveltuvat metsittämiseen. Lisäksi turvetuotannon vähentymisen takia poistuvaa turvealaa voidaan käyttää esimerkiksi viljelykasvien viljelyyn tai metsittämiseen ja sitä kautta bioenergian tuottamiseen. Myös biomassan kasvavan kysynnän vaikutuksesta biomassan tuonti on yksi keino lisätä bioenergian käyttöä Suomessa. Erityisesti Baltian maista ja Venäjältä biomassan tuonnin lisääminen on mahdollista. Tällä hetkellä biomassan tuonnin osuus käytetystä bioenergiasta on noin 5–10 % luokkaa. Kuitenkin pääsääntöisesti kannattaa keskittyä kotimaisen tuotannon lisäyspotentiaaliin tuonnin sijasta. (Bioenergia ry, 2020, s. 25)

Biomassan käyttöä energiantuotannossa ja biopolttoaineiden tuotannossa on mahdollista siis selvitysten perusteella lisätä vuositasolla. Hakkuiden määrää voidaan lisätä edelleen vahingoittamatta metsiä ja luonnon monimuotoisuutta. Lisäksi metsätalouden rinnalla voitaisiin yhä enemmän käyttää maatalouden erilaisista sivuvirroista ja viljeltävistä energiakasveista saatavaa biomassaa lämpö- ja voimalaitoksissa sekä biopolttoaineiden raaka-aineena liikennesektorille. Lisäksi metsittäminen ja poistuvan turvetuotannon maan uudelleenkäyttö ovat vaihtoehtoja tuotannon lisäyspotentiaaliksi. Näin voitaisiin lisätä biomassan käyttöä energiasektorin piirissä energiantuotantoon ja liikennesektorille, jolloin päästäisiin yhä enemmän fossiilista polttoaineista eroon ja pystyttäisiin vähentämään entisestään energia- ja liikennesektorin aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä.

3 BIOMASSAN ROOLI ENERGIAJÄRJESTELMÄSSÄ

3.1 Suomen energiankulutus

Suomen kokonaisenergiankulutus on 2010-luvulla pysynyt likimain tasaisena, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Tuona aikana Suomen kokonaisenergiankulutus on ollut likimain luokkaa 1300–1400 PJ (Tilastokeskus, 2020). Esimerkiksi vuonna 2019 Suomen kokonaisenergiankulutus oli 1360 PJ. Verrattuna vuoteen 2018 kokonaisenergiankulutuksessa tapahtui noin yhden prosentin verran laskua. (Kuva 8)



Kuva 8. Suomen kokonaisenergiankulutus vuosina 2000–2020 (Tilastokeskus, 2020).

Uusiutuvan energian käyttö on ollut Suomessa pitkään nousussa ja vuonna 2019 uusiutuvien energialähteiden osuus oli noin 38 % (Tilastokeskus, 2020). Kasvua on tapahtunut reilusti, sillä vuonna 1990 uusiutuvan energian osuus oli noin 18 % energian kokonaiskulutuksesta. Jos verrataan muihin EU-maihin, Suomessa uusiutuvien energialähteiden käyttö kokonaisenergiakulutuksesta on yksi suurimmista (Eurostat, 2021).

Puupolttoaineilla on Suomessa suuri rooli energiankulutuksessa ja niiden osuus kokonaiskulutuksesta on noussut viime vuosien aikana ennätysellisille tasoille. Vuonna 2019 puupolttoaineiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta oli hieman alle 30 %. Teollisuudessa ja energiantuotannossa puupolttoaineiden käyttö on niin ikään noussut viime vuosina. (Tilastokeskus, 2020)

Ydinenergia on toinen energialähde, jonka osuus on suuri Suomen kokonaisenergiankulutuksessa. Sen osuus vuonna 2019 oli noin 18 %. Vaikka uusiutuvien energialähteiden käyttö on ollut kasvussa, vastaavasti vesivoiman käyttö on pienentynyt viime vuosina, johtuen esimerkiksi vesitilanteesta. Kuitenkin tätä on kompensoinut tuulivoiman ja aurinkovoiman runsas vuosittaisen käytön lisääntyminen. Näiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta on kuitenkin edelleen hyvin pieni. (Tilastokeskus, 2020)

Fossiilisten polttoaineiden kulutus on vähentynyt viime vuosina reilusti, mikä on ollut myös tavoitteena. Fossiilisilla polttoaineilla on kuitenkin vielä suuri osuus energiankulutuksessa. Esimerkiksi vuonna 2019 fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttö väheni edelliseen vuoteen verrattuna noin 7 %. Fossiilisista polttoaineista etenkin hiilen käyttö on vähentynyt viime vuosina reilusti. Edelliseen vuoteen verrattuna hiilen käyttö väheni 20 %. Myös fossiilisen öljyn ja maakaasun käyttö ovat vähentyneet, mutta verrattuna hiileen niiden vähentyminen on ollut maltillisempaa viime vuosina. Eniten fossiilisten polttoaineiden sekä turpeen käyttö on vähentynyt sähkön ja lämmön tuotannossa. (Tilastokeskus, 2020)

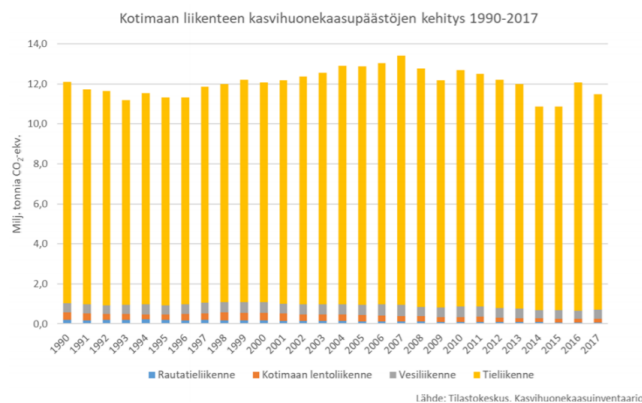
Suomen kokonaisenergiankulutuksen päästöt ovat laskeneet reilusti viime vuosina, johtuen uusiutuvien energialähteiden lisääntymisestä ja vastaavasti fossiilisten polttoaineiden käytön pienentämisestä. Suomessa vuonna 2019 kasvihuonekaasupäästöt olivat 52,8 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Kaiken kaikkiaan Suomessa kasvihuonekaasupäästöt ovat laskeneet vertailuvuodesta 1990 noin 26 %. Näistä suurin osa on peräisin energiasektorilta, joka sisältää polttoaineiden käytöstä johtuvat päästöt ja haihtumapäästöt. Vuonna 2019 energiasektorin päästöt muodostivat 74 % kokonaispäästöistä ja hiilidioksidi on tämän sektorin merkittävin kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja. Näistä energiasektorin päästöistä pelkästään kotimaan liikenteestä aiheutuu noin kolmannes päästöistä, jonka takia erityisesti tälle sektorille on keskitettävä resursseja päästöjen vähentämiseksi. Tähän biopolttoaineet tarjoavat hyvän vaihtoehdon. (Tilastokeskus, 2019)

3.2 Liikennesektori Suomessa

Suomessa kotimaan liikenteen osuus energian loppukulutuksesta on ollut noin 15–20 prosentin luokkaa (Tilastokeskus, 2020). Esimerkiksi vuonna 2018 kotimaan liikenteen energiankulutus oli noin 181 PJ. Suurin osa kotimaan liikenteen energiankulutuksesta on peräisin tieliikenteestä. Tieliikenteen osuus on viime vuosina ollut noin 90 prosentin luokkaa ja esimerkiksi vuonna 2018 tieliikenteen energiankulutus oli noin 165 PJ (Traficom, 2020).

Kuten edellä mainittiin, Suomessa kotimaan liikenne muodostaa noin viidenneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöistä ja noin 30 prosenttia energiasektorin päästöistä (Traficom, 2020). Vuonna 2018 kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 11,7 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Vuoteen 1990 nähden kotimaan liikenteen päästöt ovat vähentyneet vain noin 4 prosenttia.

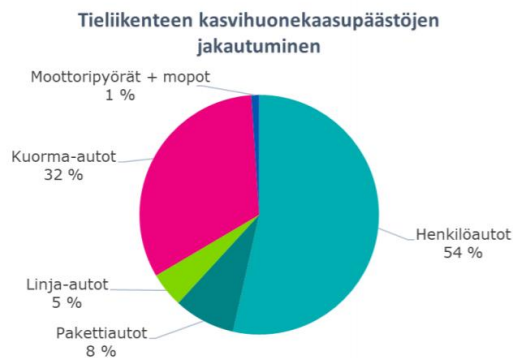
Liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä suurin osa aiheutuu tieliikenteestä. Vuonna 2018 tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 10,9 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Näin ollen tieliikenteen päästöt ovat aiheuttaneet kotimaan liikenteen päästöistä noin 94 prosenttia (Traficom, 2020) (Kuva 9). Tieliikenteen päästöt ovat pudonneet vuodesta 2005 vuoteen 2019 noin 11 prosenttia. Tuona aikana eniten on pudonnut henkilöautojen ja linja-autojen päästöt. Kuitenkin kuorma-autojen päästöt ovat jopa hieman nousseet tuona kyseisenä aikavälillä (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).



Kuva 9. Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2017 (Traficom, 2020).

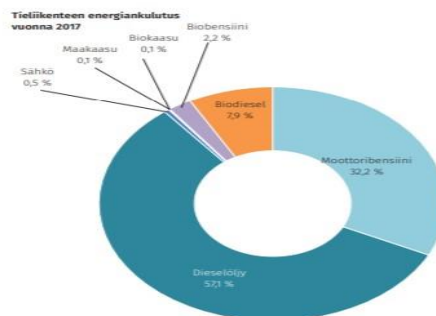
Tämän takia biopolttoaineet ovat lisääntyneet tieliikenteessä fossiilisten polttoaineiden korvaajana. Lisäksi tieliikenteessä on suurin vähennyspotentiaali. Esimerkiksi raideliikenteessä vastaavasti sähkö on ollut suurin tekijä sen sektorin päästöjen alentumiseen ja sähkö on hallitsevassa asemassa junien käyttövoimana. Täten biopolttoaineiden siirtämistä kyseiselle sektorille ei kannata tehdä, vaan kohdentaa niitä sinne, missä biopolttoaineilla saavutetaan suurin hyöty päästöjen vähentämisessä. (Traficom, 2020, s. 18)

Tieliikenteen päästöistä suurin osa on peräisin henkilöautoista. Henkilöautot aiheuttavat hieman yli puolet tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöistä (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Toiseksi suurin osuus on kuorma-autoilla, joka on noin 32 prosenttia luokkaa tieliikenteen päästöistä. Pakettiautojen ja linja-autojen osuudet eivät ole niin suuria, sillä yhteensä niiden osuus on noin 13 prosenttia. (Kuva 10)



Kuva 10. Tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Tieliikenteen käyttövoimien energiankulutuksessa dieselöljyllä on suurin osuus Suomessa. Moottoribensiinin osuus on toiseksi suurin. (Kuva 11) (Autoalan tiedotuskeskus, 2019)



Kuva 11. Käyttövoimien käyttö tieliikenteessä vuonna 2017 (Autoalan tiedotuskeskus, 2019).

Esimerkiksi vuonna 2017 tieliikenteen energiankulutuksesta fossiilisella dieselöljyllä oli noin 57 prosentin ja moottoribensiinillä oli noin 32 prosentin osuus. Biodieselillä oli noin 8 prosentin osuus tieliikenteen energiankulutuksesta ja muilla käyttövoimilla, kuten sähköllä tai kaasulla oli hyvin pieni osuus noin 3 prosenttia. Näin ollen fossiilittomia käyttövoimia täytyy huomattavasti lisätä tieliikenteeseen, sillä lisäyspotentiaalia löytyy. (Autoalan tiedotuskeskus, 2019)

Vaikka dieselöljyllä on suurin osuus koko tieliikenteen polttoaineista, henkilöautojen yleisin käyttövoima on bensiini. Noin 70 prosenttia henkilöautoista on bensiinikäyttöisiä. Bensiinikäyttöisillä autoilla on suuremmat hiilidioksidipäästöt kuin dieselkäyttöisillä autoilla. Bensiiniautojen ottomoottoria ja taloudellisuutta on yritetty koko ajan parantaa, jotta bensiinikäyttöisten autojen hiilidioksidipäästöt saataisiin pienemmäksi. Bensiinikäyttöisiin autoihin on yleistynyt hybriditeknologia, jolloin autossa on ottomoottorin lisäksi usein sähkömoottori. Näin bensiinikäyttöisten autojen hiilidioksidipäästöjä on saatu pienennettyä. Vuonna 2016 käyttöönotettujen bensiinikäyttöisten autojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt olivat noin 130 grammaa kilometriä kohden (Autoalan tiedotuskeskus, 2019).

Dieselmoottori on energiatehokas ja taloudellinen moottori, jonka hyötysuhde on tavallisesti ottomoottoria parempi. Täten se kuluttaa bensiinikäyttöisiin autoihin verrattuna vähemmän energiaa ja polttoainetta. Henkilöautoista noin kolmannes on dieselkäyttöisiä, mutta raskaassa liikenteessä diesel on edullisin ja yleisin käyttövoima. Esimerkiksi vuonna 2019 pakettiautoista, linja-autoista ja kuorma-autoista lähes kaikki noin 97–98 prosenttia olivat dieselkäyttöisiä (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Tämä johtuu dieselmoottoreiden pienemmästä kulutuksesta, jolloin dieselmoottori takaa pidemmät ajomatkat kuin bensiinimoottori. Täten tulevaisuudessakin dieselmoottorit tulevat enemmän painottumaan raskaaseen kalustoon. Dieselautojen hiilidioksidipäästöt ovat pienemmät kuin bensiiniautojen, mutta dieselautojen ongelmana ovat hiukkaspäästöt ja typen oksidipäästöt. Vuonna 2016 käyttöönotettujen dieselautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt olivat noin 119 grammaa kilometriä kohti (Autoalan tiedotuskeskus, 2019).

Suomessa autokanta on hyvin iäkästä. Suomessa niin henkilöautojen kuin raskaamman kaluston ikä on Euroopan maista iäkkäämpien joukossa. Esimerkiksi vuonna 2018 Euroopan autojärjestön ACEA:n julkaisemien tilastojen mukaan henkilöautojen keski-ikä oli Suomessa keskimäärin 11,8 vuotta vanhaa ja raskaamman kaluston keski-ikä oli keskimäärin 13 vuotta vanhaa (ACEA, 2018). Tämä on ilmastopolitiikan näkökulmasta ongelmallista, sillä vanhemmat autot kuluttavat uudempiin autoihin nähden enemmän, jolloin päästöt ovat myös vanhemmilla autoilla suuremmat. Yleensä auton kulutuksella on suurin vaikutus hiilijalanjälkeen, kun ajetaan fossiilisella polttoaineella, sillä auton käyttövaihe kattaa polttomoottoriautojen koko elinkaaren vaikutuksista noin 70–80 prosenttia (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Lisäksi Suomeen tulee myös ulkomailta paljon käytettyjä autoja, jotka omalta osaltaan tuovat haasteita liikenteen ilmastotavoitteiden saavuttamiseen ja siirtymistä kohti fossiilittomia käyttövoimia, kuten biopolttoaineita. Suomeen tuodut käytetyt autot saattavat olla vielä suurempipäästöisempiä kuin Suomen iäkkäämmät autot (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Nämä sekä uusien autojen myyntimäärien pieneneminen hidastaa uusien vähäpäästöisempien autojen teknologioiden tuloa, autokannan nuorentumista sekä autokannan kehittymistä energiatehokkaammaksi, jolloin kulutus ja sitä kautta päästöt saataisiin entistä alhaisemmaksi.

3.3 Liikenteen biopolttoaineet Suomessa

Biopolttoaineet ovat lisääntyneet liikenteessä fossiilisista polttoaineista eroon pääsemiseksi ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Nykyisin kaikki Suomessa liikenteeseen jakeluun tuleva polttoneste sisältää jotakin biokomponenttia (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Liikenteen biopolttoaineita voidaan valmistaa monenlaisista erilaisista raaka-aineista, kuten erilaisista biojätteistä, biomassapohjaisista öljyistä, tähteistä ja puupohjaisista biomassoista (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Biopolttoaineiksi käytettävät raaka-aineet ovat laajentuneet, joten biopolttoaineille voidaan löytää kolme sukupolvea (Puricelli et. al, 2020).

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet ovat valmistettu elintarvikkeista ja rehuista, kuten maissista tai palmuöljystä. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden valmistukseen liittyy maankäytön muutoksia, jotka vaikuttavat negatiivisesti esimerkiksi luontoon ja ympäristöön. Lisäksi ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet nähdään kilpailevan ruuantuotannon kanssa, jonka vaikutuksesta ruuan hinnan pelätään nousevan.

Toisen sukupolven biopolttoaineita kutsutaan kehittyneemmiksi biopolttoaineiksi (Puricelli et.al, 2020). Nämä polttoaineet on valmistettu muunlaisista raaka-aineista kuin elintarvikkeista ja rehuina olevista energiakasveista. Täten nämä eivät kilpaile ruuantuotannon kanssa ja maankäyttöön liittyvät ongelmat ovat pienempiä. Toisen sukupolven biopolttoaineiksi käytettäviä raaka-aineita ovat esimerkiksi erilaiset monivuotiset viljelykasvit, kuten olki. Lisäksi erilaiset biojätteet ja tähteet kuuluvat tämän sukupolven tyypillisiin raaka-aineisiin. Näitä raaka-aineita käyttävät valmistusmenetelmät biopolttoaineiksi ovat koko ajan parantuneet ja lisääntyneet.

Kolmannen sukupolven biopolttoaineet eivät ole tulleet vielä kaupalliseen käyttöön, mutta tutkimustyö näiden parissa on ollut laajamittaista. Kolmannen sukupolven biopolttoaineiden merkittävin mahdollinen raaka-aine voisi olla erilaiset levät (Puricelli et.al, 2020). Kolmannen sukupolven biopolttoaineet tulevat tulevaisuudessa kaupalliseen käyttöön ja monipuolistavat entisestään mahdollisia biopolttoaineiden lähteitä.

Suomessa myydyimmät biopolttoaineet ovat ensimmäisen sukupolven biodiesel sekä etanoli ja toisen sukupolven uusiutuva diesel (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Erilaisia uusiutuvan bensiinin muotoja ja synteettisiä polttoaineita kehitellään koko ajan, mutta ne eivät ole vielä kaupallisessa tuotannossa. Myös kaasumainen biokaasu on lisääntynyt käyttövoimana autoissa ja liikennesektorilla Suomessa.

Biodiesel eroaa kemialliselta koostumukseltaan uusiutuvasta dieselistä ja fossiilisesta dieselistä. Biodieseliä ei voi missään tankata sellaisenaan vaan yleensä biodieseliä sekoitetaan fossiiliseen dieseliin (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Biodieseliä voidaan sekoittaa enimmillään 7 tilavuusprosenttia fossiilisen dieselin tilavuudesta.

Dieselmoottoriin ei tarvitse tehdä muutoksia, vaan biodiesel voidaan sekoittaa sellaisenaan fossiilisen dieselin kanssa (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Sekoitusprosenttien nostamiseksi ajoneuvojen moottoreita olisi muutettava, jotta eri toimintaparametrejä voitaisiin optimoida sopiviksi (Puricelli et. al, 2020).

Uusiutuva diesel on kemialliselta koostumukseltaan samanlainen kuin fossiilinen diesel. Se on hapeton, biologista alkuperää oleva parafiininen dieselpolttoneste, jota ei ole jalostettu raakaöljystä (Puricelli et.al, 2020). Uusiutuvaa dieseliä voidaan valmistaa myös maakaasusta, mutta tällöin diesel ei kuitenkaan ole uusiutuvaa. Uusiutuvaan dieseliin kuuluu useita erilaisia nimikkeitä, joiden valmistusprosessit ja raaka-aineet ovat erilaisia (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Yksi uusiutuvan dieselin nimike on vetykäsitelty uusiutuva diesel HVO (Neste, 2021). Suomessa tämä vetykäsitelty uusiutuva diesel on uusiutuvista dieseleistä yleisin. Tätä voidaan esimerkiksi valmistaa kasviöljyistä, eläinrasvoista ja muista eloperäisistä rasvoista (Neste, 2021). Täten HVO:ta voidaan myös kutsua ”vihreäksi dieseliksi”, sillä se on peräisin biomassasta (Puricelli et.al, 2020). Vetykäsiteltyä uusiutuvaa dieseliä voidaan käyttää autoissa sellaisenaan eikä sitä tarvitse sekoittaa fossiilisen dieselin kanssa. Sekoitettuna dieselin kanssa sekoitusasteella ei ole väliä toisin kuin biodieselin kanssa. Lisäksi HVO ei sisällä happea ja rikkiä, jolloin sillä on paremmat ominaisuudet biodieseliin tai fossiiliseen dieseliin verrattuna (Puricelli et.al, 2020).

Toinen uusiutuvan dieselin ryhmä on synteettinen diesel, jota voidaan valmistaa kaasuttamalla puubiomassasta, maakaasusta tai muusta kasvipohjaisesta biomassasta (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Tätäkin voidaan käyttää autossa sellaisenaan.

Bensiinin biokomponenteista yleisin käytettäviin bensiiniautoihin on etanoli (Liikenne – ja viestintäministeriö, 2020). Lisäksi metanoli on yksi vaihtoehto, muttei ole kovin yleinen Suomessa. Yleensä bensiinin soveltuvuus autoon määräytyy oktaaniluvun ja etanolipitoisuuden mukaan (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Etanoli on nestemäinen alkoholi, jota voidaan valmistaa erilaisista viljelyjätteistä, kuten maissista tai vehnän oljesta. Etanolin muodostuminen on anaerobinen prosessi, jossa sokerit muuttuvat alkoholiksi

(Puricelli et. al, 2020). Alkoholin tislattua muotoa voidaan käyttää moottoreissa. Etanoli sekoitetaan bensiinin joukkoon. Sekoitussuhde on Suomessa joko 5 tai 10 tilavuusprosenttia. Suomessa nykyisin yleensä autoihin tankataan E10, jossa on sekoitettuna etanolia 10 tilavuusprosenttia (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Näillä sekoitussuhteilla polttoainejärjestelmään ei tarvitse tehdä muutoksia. Etanolia voidaan kuitenkin sekoittaa myös 85 tilavuusprosentin verran bensiiniin. Nämä niin kutsutut ”flex-fuel autot” eivät ole kovin yleisiä Suomessa eikä Euroopassakaan, koska tällöin auton polttoainejärjestelmää täytyy muuttaa yhteensopivaksi (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Etanolia voidaan valmistaa myös erilaisista selluloosapohjaisista raaka-aineista. Tämä on perinteisten etanolin valmistukseen käytettävien raaka-aineiden korvaaja. Tällöin etanolia voidaan kutsua bioetanoliksi (Puricelli et. al, 2020).

Lisäksi nykypäivinä on tullut markkinoille biokaasulla toimivia autoja. Biokaasu on kaasumainen polttoaine, jonka raaka-aineita on esimerkiksi biohajoavat jätteet, erilaiset lietteet ja lannat. Biokaasua tuotetaan edellä mainituista raaka-aineista mikrobiologisesti mädättämällä (Gasum, 2021). Yleensä biokaasu koostuu metaanista. Biokaasua tankataan ajoneuvoon joko paineistettuna (CNG) tai nesteytettynä (LNG) riippuen käyttötarkoituksesta. Yleensä pitkien matkojen liikenteeseen biokaasu tankataan nesteytettynä, sillä energiatiheys on suurempi nesteytetyllä biokaasulla, joka takaa pidemmän toimintamatkan. Kaasu soveltuu samanlaiseen ottomoottoriin kuin bensiini ja yleensä Suomessa kaasuautoja ovat ”bifuel-autoja”, joissa on kaksi erillistä polttoainetankkia (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Pääpolttoaineena toimii biokaasu ja vaihtoehtona on yleensä bensiini (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Tämä on yleisempää henkilöautoissa kuin raskaassa liikenteessä.

Biokaasulla toimivien autojen etuna on vähäpäästöisyys verrattuna fossiiliseen dieseliin tai bensiiniin. Kaasuautoilla saavutetaan pienemmät hiilidioksidipäästöt kuin dieselillä ja bensiinillä. Vuonna 2016 käyttöön otettujen kaasuautojen keskimääräiset hiilidioksidipäästöt olivat noin 61 grammaa kilometriä kohden (Autoalan tiedotuskeskus, 2019). Kaasuautojen lisääntyminen on ollut kuitenkin hidasta, sillä kaasumaisten polttoaineiden käyttö vaatii ajoneuvokannan ja kaasun jakeluinfrastruktuurin kehittymistä ja kasvua. Jakeluasemia on

hyvin vähän verrattuna perinteisten nestemäisten polttoaineiden jakeluinfraan, ja jakeluasemat ovat keskittyneet Etelä-Suomeen ja isoimpiin kaupunkeihin pelkästään (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020).

Biopolttoaineiden täytyy täyttää EU:n kestävyyskriteerit, jotta ne hyväksytysti lasketaan biopolttoaineiksi. Ensinnäkin biopolttoaineita ei saa valmistaa sellaisista raaka-aineista, jotka on saatu monimuotoisilta luontoalueilta tai sellaisesta maasta, johon on sitoutunut paljon hiiltä. Tällaisia alueita on esimerkiksi erilaiset suojelualueet ja suot sekä kosteikot. Toiseksi biopolttoaineilla täytyy saavuttaa tietty päästövähennys verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Tämän päästövähennys suuruus on 50 prosenttia eli toisin sanoen biopolttoaineiden pitää vähentää päästöjä vähintään 50 prosenttia, jotta ne täyttäisivät EU:n kestävyyskriteerit. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2020)

Näiden kestävyyskriteereiden avulla yritetään rajoittaa ensimmäisen sukupolven perinteisten biopolttoaineiden tuotantoa ja pyritään lisäämään erilaisten jätteiden ja tähteiden käyttöä biopolttoainetuotantoon. Esimerkiksi kotimaisista jäte- ja tähderaaka-aineista valmistetulla etanolilla voidaan saavuttaa noin 80–90 prosentin päästövähennys koko elinkaaren aikana syntyvistä päästöistä. Tämän takia myös kotimaista tuotantoa kannattaa suosia biopolttoaineiden tuotantoon. Tällä hetkellä Suomessa UPM valmistaa Lappeenrannassa omaa biopolttoainetta mäntyöljystä (UPM, 2021) ja Neste tuottaa uusiutuvaa dieseliä ja biodieseliä biojalostamoissa Porvoossa sekä Naantalissa (Neste, 2021). UPM:n Lappeenrannan biojalostamolla biopolttoaineiden tuotantopotentiaali on 130,000 tonnia per vuosi (UPM, 2021). Lisäksi Gasum valmistaa Suomessa biokaasua käytettäväksi ajoneuvoihin ja esimerkiksi vuonna 2017 Gasumin tuottama biokaasu liikennekäyttöön vastasi noin 30 gigawattitunnin energiamäärää (Gasum, 2021). Kotimaisella tuotannolla voidaan saavuttaa parempi energiaomavaraisuus, huoltovarmuus sekä vähennetään riippuvuutta fossiilisista polttoaineista.

Suomessa autokannan vanhenemisen ja sitä kautta uusien teknologioiden hitauden lisäksi biopolttoaineiden yhä lisääntyvän kasvun esteenä on ollut sosiaaliseen näkökulmaan liittyvät asiat, jotka yleensä saatetaan unohtaa. Ihmisillä tiedon puute vaikuttaa ostokäyttäytymisen muutokseen negatiivisesti, jolloin ihmisten kulutustottumuksia on vaikeampi muuttaa.

Ihmisten kulutustottumuksia yhä enemmän kohti biopolttoaineita ja muita uusiutuvia käyttövoimia voidaan lisätä kuluttajien tietoisuuden lisäämisellä biopolttoaineiden hyödyistä. Esimerkiksi Suomessa vuonna 2017 tehdyssä biopolttoaineiden hyväksyntään liittyvässä tutkimuksessa biopolttoaineihin liittyvä tiedon puute koettiin ongelmallisena siirtyä niiden käyttäjäksi (Bartel et.al, 2017). Tutkimuksen mukaan puolet osallistujista ajatteli biopolttoaineiden tuotannolla olevan suora vaikutus elintarvikkeiden hintoihin, jolloin eivät halunneet ostaa biopolttoaineita. Täten kuluttajien tiedon lisäämisellä on tärkeä rooli biopolttoaineiden levittämisessä ja niiden käytön kasvattamisessa. Samaisen tutkimuksen mukaan voidaan todeta, että mitä enemmän kuluttajat ovat seuranneet biopolttoaineiden hyötyihin liittyviä uutisia, sitä helpompi heidän on siirtyä fossiilisista polttoaineista kohti ympäristön kannalta parempia biopolttoaineita (Bartel et.al, 2017).

Lisäksi biopolttoaineiden hinta koetaan yhtenä ongelmana siirtyä kohti biopolttoaineita. Samassa tutkimuksessa huomattiin, että enemmistö tutkimukseen vastanneista olisi valmis siirtymään biopolttoaineisiin, jos niiden hintoja laskettaisiin. Kuluttajat olisivat valmiita enimmillään 5 prosenttia enemmän maksamaan biopolttoaineista kuin fossiilisista polttoaineista. Myös saatavuuden parantaminen koettiin parantavan asennetta käyttää biopolttoaineita. Tutkimukseen osallistujat kaikki olivat tietoisia ja huolissaan ilmastonmuutoksesta ja ovat valmiita siirtymään kohti uusiutuvia ympäristöystävällisempiä polttoaineita ja teknologioita, mikäli edellä mainittuihin asioihin kiinnitetään enemmän huomiota, jolloin kuluttajien tietoisuus lisääntyy ja asenne biopolttoaineita kohtaan paranee. (Bartel et.al, 2017) Tämä näkökulma huomioiden biopolttoaineiden kysyntää on mahdollista kasvattaa entisestään.

4 FOSSIILISTEN POLTTOAINEIDEN KORVAAMINEN BIOPOLTTOAINEILLA LIIKENTEESSÄ

4.1 Laskennan kuvaus

Suomessa on viime vuosina käytetty biomassaa lämpö- ja CHP-voimalaitosten polttoaineena noin 16 miljoonaa kiintokuutiometriä (Luonnonvarakeskus, 2020a). Tästä suurin osa on metsäteollisuuden erilaisista lähteistä saatua haketta. Tulevaisuudessa voi ennakoida hyötysuhteiden parantuvan energiantuotannossa, jolloin se esimerkiksi vähentäisi polttoaineen tarvetta sähkö- ja lämpövoimaloissa, joka vapauttaisi täten biomassaa muihin käyttötarkoituksiin, kuten biopolttoaineiden tuottamiseen energiasektorille.

Tässä tarkastellaan tätä skenaariota olettaen, että biomassaa vapautuisi tietty osa energiantuotannosta ja tämä osa käytettäisiin biopolttoaineiden tuotantoon liikennesektorilla. Näin ollen voidaan saada vertailukelpoinen tulos siitä, kuinka paljon täten voitaisiin vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja vastaavasti lisätä biopolttoaineiden käyttöä Suomessa tieliikennesektorilla. Tässä tarkastelussa biopolttoaineen raaka-aine ajatellaan olevan haketta ja prosessin hyötysuhteita ei huomioida.

4.2 Kuinka paljon vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta?

Laskennassa käytettävän hakkeen oletetaan olevan kokopuuhaketta, jonka ominaisuudet on saatu VTT:n tekemästä yhteenvedosta Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksista (VTT, 2016). Hake on valmistettu ensiharvennumänniköistä, sillä sen ominaisuuksia on tutkittu eniten. Lisäksi hakkeen kosteus vaikuttaa laskentaan, mutta tässä hakkeen kosteuden on oletettu olevan 40 %, sillä yleensä kokopuuhakkeen kosteus on noin 40–50 %.

Tässä tarkastelussa oletetaan, että haketta voidaan käyttää biopolttoaineisiin 4 miljoonaa kiintokuutiometriä. Lisäksi hakkeen energiatiheytensä koko puusta valmistetulle hakkeelle käytetään $1,89 \text{ MWh/m}^3$, kosteuden ollessa 40 % (VTT, 2016, s. 78). Tämä saatu energiamäärä voidaan muuntaa megajouleiksi kertomalla se 3600, sillä 1 MWh vastaa 3600 MJ. Nyt tätä saatua energiamäärää voidaan verrata tieliikenteen energiankulutukseen, jolloin

saadaan määrä, kuinka paljon fossiilista polttoainetta voidaan kyseisellä määrällä vähentää tieliikenteessä. Tässä biopolttoaineen ajatellaan olevan biodieseliä.

Vuonna 2019 tieliikenteen energiankulutus Suomessa oli 162 115 TJ. Siitä dieselöljyn yhteenlaskettu osuus oli 106 613 TJ. Dieselöljystä biodieseliä oli 14 193 TJ ja fossiilista dieseliä 92 420 TJ. (Autoalan tiedotuskeskus, 2020)

Edellä esiteltyjen oletusten pohjalta, kyseisellä määrällä haketta voitaisiin lisätä biodieselin määrää 27 216 TJ. Näin ollen biodieselin kulutus olisi lisäyksen jälkeen 41 409 TJ, jolloin fossiilista dieseliä voitaisiin vähentää saadun 27 216 TJ verran, jonka jälkeen fossiilisen dieselin kulutus olisi 65 204 TJ. Alla olevassa taulukossa on esitetty yhteenvetona kokopuuhakkeella saadun biodieselin energiamäärä ja sen vaikutus fossiilisen dieselin kulutukseen (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Tieliikenteessä olevan dieselöljyn kokonaiskulutus jaoteltuna biodieselin ja fossiilisen dieselin kulutukseen sekä kokopuuhakkeella tuotetun biodieselin lisämäärä vuonna 2019.

Dieselöljy yht. [TJ]	Biodiesel [TJ]	Fossiilinen diesel [TJ]	Lisäys [TJ]	Biodiesel lisäyksen jälkeen [TJ]	Fossiilinen diesel vähennyksen jälkeen [TJ]
106613	14 193	92 420	27 216	41 409	65 204

Taulukosta 1 voidaan huomata, että käyttämällä noin 4 miljoonaa kiintokuutiometriä kokopuuhaketta lämpö- ja voimalaitosten sijasta biopolttoaineisiin, voidaan melkein kolminkertaistaa biodieselin kokonaismäärä tieliikenteessä, verrattuna sen todelliseen määrään tieliikenteessä vuonna 2019. Näin ollen fossiilisen dieselin kulutusta voidaan vähentää 27 216 TJ vuosittain ja vuoden 2019 tieliikenteen fossiilisen dieselin energiankulutukseen verrattuna määrä pienenesi 29,4 %. Tämän seurauksena biodieselin kulutuksen suhde dieselöljyn kokonaiskulutuksesta nousisi 13,3 %:sta noin 38,8 %:iin.

4.3 Tieliikenteen päästövähennämisen saavuttaminen

Lisäksi saatua tulosta voidaan verrata VTT:n tekemään tutkimukseen, jossa on arvioita biopolttoaineiden käytön tarpeen kehittymiselle tulevaisuudessa tieliikennesektorilla, jotta tieliikenteen hiilidioksidipäästöjä voitaisiin vähentää 40 % vuoteen 2030 mennessä (VTT,

2015). Jotta tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä voitaisiin saavuttaa 40 % päästövähennys vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna täytyisi nykyisestä biopolttoaineiden käytön kehityksestä, joka perustuu biopolttoaineiden jakeluvelvoitteeseen, biopolttoaineiden käytön lisääntyä jakeluvelvoitteen lisäksi noin 565,5 kiloöljykvivalenttitonnia eli noin 23 674 TJ (VTT, 2015, s. 98). Tämä arvio perustuu siihen, että tavoiteltu päästövähennys saavutetaan ainoastaan biopolttoaineita lisäämällä, joten kyseisessä arviossa ei ole otettu huomioon sähköautojen lisääntymisen vaikutusta tavoiteltuun päästövähennys ja biopolttoaineiden lisäämistarpeeseen.

Näin ollen käyttämällä noin 4 miljoonaa kiintokuutiometriä haketta, voitaisiin lisätä biodieselin kulutusta 27 216 TJ. Tällä määrällä pystyttäisiin täten täyttämään VTT:n tutkimuksessa esitetty lisäystavoite biopolttoaineille nykyiseen kehitykseen verrattuna, jotta Suomessa tieliikennesektorilla pystyttäisiin saavuttamaan 40 % päästövähennys vuoteen 2030 mennessä.

5 YHTEENVETO JA BIOMASSAN TULEVAISUUS

Kandidaatintyössä tarkasteltiin kirjallisuuden avulla biomassan käytön kehittymistä ja nykytilaa Suomessa energia- ja liikennesektorilla ja biopolttoaineiden tuotannon mahdollisia lisäyspotentiaali vaihtoehtoja. Sen pohjalta tehtiin laskelma, kuinka paljon fossiilista polttoainetta voitaisiin teoreettisesti vähentää biopolttoaineilla, joka on tuotettu raaka-aineesta, jota käytetään sähkön- ja lämmöntuottamisen sijasta biopolttoaineen tuotantoon.

Suomessa biomassalla on suuri rooli energiantuotannossa, erityisesti yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä liikennesektorilla biopolttoaineena. Biomassaa on paljon saatavissa, sillä Suomessa on paljon metsiä. Tämän takia metsäteollisuus on Suomessa suurin biomassan käyttäjä ja puupohjaiset polttoaineet sekä metsäteollisuuden sivuvirroista syntyvät polttoaineet ovat yleisimpiä bioenergian polttoaineita. Lisäksi biomassaa käytetään liikennesektorille tuottamalla biomassasta biopolttoaineita kotimaan liikenteen erityisesti tieliikenteen tarpeisiin. Biomassa on merkittävin uusiutuvan energianlähde Suomessa, johtuen sen monipuolisista raaka-aineista ja sen saatavuudesta.

Suomessa kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteiden onnistumiseksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä on lisättävä, erityisesti energiasektorille ja kotimaan liikenteeseen. Suomessa energiasektori aiheuttaa noin 70–75 % Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä. Energiasektorin päästöistä kotimaan liikenne aiheuttaa noin kolmanneksen energiasektorin päästöistä ja näin ollen viidenneksen Suomen kokonaiskasvihuonepäästöistä. Näiden sektoreiden päästöjen vähentämiseen on siis erityisesti keskityttävä, sillä näiltä sektoreilta löytyy suurin vähennyspotentiaali.

Suomessa biomassan käyttö tulee entisestään kasvamaan tulevaisuudessa, jolloin sen kestävä käyttö tulee korostumaan. Kuitenkin Suomessa käytetään yhä monipuolisemmista lähteistä saatua biomassaa energiantuotannossa lämpölaitosten polttoaineena ja biopolttoaineiden tuotannossa. Tällaisia on erityisesti metsätalouden biomassojen rinnoille tulleet maatalouden sivuvirroista saatavat raaka-aineet sekä viljeltävät energiakasvit, joilla on suurin lisäyspotentiaali. Lisäksi Suomessa on myös mahdollista lisätä hakkuiden määrää metsissä ja lisätä puupohjaisten polttoaineiden käyttöä, jolloin edelleen metsien hakkuumäärät olisivat kestäväällä tasolla eivätkä vahingoittaisi luontoa ja sen

monimuotoisuutta. Myös metsittäminen ja turvetuotannosta poistuvan maa-alan käyttäminen esimerkiksi viljeltävien energiakasvien viljelyyn lisäävät biomassan ja biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalia tulevaisuutta ajatellen.

Liikennesektorilla biopolttoaineiden käyttöä lisätään biopolttoaineiden jakeluvelvoitteen mukaisesti, jolloin vuonna 2030 kaikesta Suomesta myytävästä tieliikennepolttoaineista on oltava biopolttoaineita vähintään 30 %. Biopolttoaineiden lisääminen kannattaa kohdentaa tieliikenteeseen, sillä tieliikenne aiheuttaa Suomessa kotimaan liikenteen päästöistä noin 95 %. Suomessa yleisimmät biopolttoaineet ovat etanoli sekoitettuna bensiinin joukkoon sekä uusiutuva diesel ja biodiesel. Tulevaisuudessa biopolttoaineiden tuotanto tulee lisääntymään kiristyvistä päästötoimista johtuen. Suomessakin on suunnitteilla uusia biojalostamoita, jolloin biopolttoaineiden tuotanto tulee kasvamaan. Suomi pystyy vastaamaan tähän, sillä biopolttoaineiden tuotannon lisäämiselle on lisäyspotentiaalia saatavilla. Tässä työssä tehdyn laskelman perusteella voidaan huomata, että käyttämällä kokopuuhaketta noin 4 miljoonaa kiintokuutiometriä lämmön- ja yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon sijasta biopolttoaineiden tuotantoon voitaisiin nykyiseen biodieselin kulutukseen verrattaessa melkein kolminkertaistaa biodieselin käyttö tieliikennesektorilla. Lisäksi tällä lisäysmäärällä nykyisen kehityksen rinnalle, voitaisiin Suomessa saavuttaa 40 % päästövähennys tavoite tieliikennesektorilla vuoteen 2030 mennessä.

Kuitenkin biopolttoaineiden lisääntymistä on Suomessa osittain rajoittanut tuotannollis- ja teknillisyiden lisäksi rajallinen tieto biopolttoaineiden hyödyistä ja biopolttoaineiden saatavuuden alueellinen epätasaisuus sekä korkeampi hinta. Näitä parantamalla biopolttoaineiden käytön lisääntyminen on entistä mahdollisempaa. Lisäksi Suomen iäkkään autokannan nuorentaminen ja autojen energiatehokkuuden parantaminen ovat keskeisiä keinoja tieliikennesektorin päästöjen vähentämisessä.

Myös sähköistyminen vaikuttaa liikennesektorin biopolttoaineiden käytön lisääntymiseen. Suomessa yhä enemmän panostetaan sähköautojen latausinfraan, sillä autonvalmistajat ovat yhä enemmän panostaneet sähköautojen valmistamiseen. Nyt jo voidaan ennustaa sähköautojen tuleminen hallitsevaksi erityisesti kevyen liikenteen ajoneuvoissa, henkilöautoissa sekä kaupungissa käytettävissä joukkoliikenteen ajoneuvoissa. Kuitenkin

sähköautojen toimintamatkan kehittämisessä ja sähköautojen latausinfra kehittämisessä menee aikaa, jolloin biopolttoaineille on edelleen kysyntää, jotta päästöjä saataisiin alennettua ja tavoitteisiin päästäisiin. Lisäksi raskaan liikenteen ja pitkien toimintamatkojen vaativien ajoneuvojen sähköistäminen on ongelmallista, sillä ajoneuvoihin vaadittavat akut täytyisi olla suuria ja tehokkaita, jotta ajoneuvon toimintamatra olisi riittävän suuri yhdellä ajokerralla, jolloin ne tarvitsivat ylimääräistä tilaa ja on tällä hetkellä hyvin haasteellinen toteuttaa.

Tämän takia erityisesti tulevaisuudessa voi ennakoida biopolttoaineiden kysynnän suuntautuvan raskaaseen liikenteeseen. Raskaassa liikenteessä on suurimmaksi osaksi käytössä dieselmoottori sen paremman hyötysuhteen ja tehokkuuden johdosta. Näin ollen biodieselin ja uusiutuvan dieselin kulutuksen lisääminen raskaaseen liikenteeseen tulee olemaan kannattavaa ja järkevää.

Tulevaisuus on aina epävarma, joten biomassan käytön lisääntymisestä ei voi olla täysin varma, mutta sen hiilidioksidineutraaliudesta ja fossiilisen polttoaineen kulutuksen vähentämisen johdosta, biomassalla ja sen käytön lisääntymisellä voi olettaa olevan vahva pohja, sillä biomassalla on jo nyt tärkeä rooli Suomessa energiasektorilla ja biopolttoaineena liikennesektorilla. Lisäksi biomassan monipuolisuus tarjoaa hyvät vaihtoehdot laajemmalle tuotantopotentiaalille ja yhä uusia raaka-aineita tullaan käyttämään lämpölaitosten ja biopolttoaineiden raaka-aineina, jolloin kestävä käyttö on hyvällä mallilla.

LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus. 2019. Katsaus liikenteen käyttövoimiin ja polttoainevaihtoehtoihin. Saatavissa:

https://www.aut.fi/files/2044/Kayttovoimaopas_2019.pdf

Autoalan tiedotuskeskus. 2020. Tieliikenteen energiankulutus [verkkosivu]. [viitattu 18.3.2021]. Saatavissa:

https://www.aut.fi/tilastot/liikenteen_energiankulutus/tieliikenteen_energiankulutus

Bartel, A. Moula, M. E. Nyari, J. 2017. Public acceptance of biofuels in the transport sector in Finland. International Journal of Sustainable Built Environment. ss 434–441.

Bioenergia ry. 2019. Perustietoa bioenergiasta. Saatavissa: https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/03/Bioenergia_perustietopaketti.pdf

Bioenergia ry. 2020. Bioenergia-alan panos hiilinegatiiviseen tulevaisuuteen Suomessa [verkkojulkaisu]. Helsinki. [viitattu: 24.1.2021]. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/05/Bioenergia-alan-panos-hiilinegatiiviseen-tulevaisuuteen-Suomessa-.pdf>

European Automobile Manufacturers Association. 2018. Vehicles in use Europe 2018. Saatavissa:

https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2018.pdf

Eurostat. 2021. Renewable energy statistics [verkkosivu]. [viitattu: 11.4.2021]. Saatavissa:

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

Gasum. 2021. Biokaasu - uusiutuvaa kotimaista energiaa [verkkosivu]. [viitattu: 4.2.2020].

Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 2020. Liikennejärjestelmän nykytila ja toimintaympäristön muutokset [verkkajulkaisu]. Helsinki. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 162 s. Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 4/2020. ISBN 978-952-311-473-9. [viitattu: 10.2.2021]. Saatavissa:

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Liikennej%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20nykytila%20ja%20toimintaymp%C3%A4rist%C3%B6n%20muutokset.pdf>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. Fossiilittoman liikenteen tiekartta -työryhmän loppuraportti [verkkajulkaisu]. Helsinki. 246 s. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:18. ISBN 978-952-243-602-3. [viitattu: 4.2.2021]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162516/LVM_2020_18.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luonnonvarakeskus LUKE. 2020a. Puun kokonaiskäyttö [verkkosivu]. [viitattu: 15.3.2021]. Saatavissa: <https://stat.luke.fi/puun-kokonaiskaytto>

Luonnonvarakeskus LUKE. 2020b. Hakkuut säilyivät suurina, vaikka vähenivät viisi miljoonaa kuutiometriä [verkkosivu]. [viitattu: 16.3.2021]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutinen/hakkuut-sailyivat-suurina-vaikka-vahenivat-viisi-miljoonaa-kuutiometriä/>

Luonnonvarakeskus LUKE. 2021. Hakkuumahdollisuudet [verkkosivu]. [viitattu: 16.3.2021]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/hakkuumahdollisuusarviot/>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2020. Biomassan kestävyyskriteerit [verkkosivu]. [viitattu: 12.2.2021]. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/biomassojen-kestavyys>

Motiva. 2020. Bioenergian käyttö [verkkosivu]. [viitattu: 20.1.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto

Neste. 2021. Uusiutuvat polttoaineet [verkkosivu]. [viitattu: 25.1.2021]. Saatavissa: <https://www.neste.fi/vastuulliset-ratkaisut/tuotteet/uusiutuvat-polttoaineet>

Puricelli, S. Cardellini, G. Casadei, S. Faedo, D. Grosso, M. van den Oever, A.E.M. 2020. A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 137. 110398. ss. 1-16

Sharma, A. Shukla, A. Aye, L. 2018. Low Carbon Energy Supply Trends, Technology, Management. Singapore. Springer. 441 s. ISBN 978-981-10-7325-0.

Tilastokeskus. 2019. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasviuonekaasut [verkkajulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2019, Suomen kasviuonekaasupäästöt 2019. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 13.2.2021]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2019/khki_2019_2020-05-28_kat_001_fi.html

Tilastokeskus. 2020. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-795X. 3. Vuosineljännes 2020. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 10.2.2021]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2020/03/ehk_2020_03_2020-12-16_tie_001_fi.html

UPM. 2021. Uusiutuvat liikennepolttoaineet [verkkosivu]. [viitattu: 10.2.2021]. Saatavissa: <https://www.upmbiofuels.com/fi/liikennepolttoaineet/>

Vattenfall. 2021. Biomassa [verkkosivu]. [viitattu: 20.1.2021]. Saatavissa: <https://group.vattenfall.com/fi/mita-teemme/energiatyyppimme/biomassa>

VTT, 2015. Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset [verkkajulkaisu]. Espoo. s. 98 [viitattu: 2.4.2021]. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/162111/Tieliikenteen%2040%20hiilidioksidi%20p%C3%A4st%C3%B6jen%20v%C3%A4hent%C3%A4minen%20vuoteen%202030>

[20K%c3%a4ytt%c3%b6voimavaihtoehdot%20ja%20niiden%20kansantaloudelliset%20vai
kutukset%20\(VTT%20Oy\).pdf](#)

VTT. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkajulkaisu].
Jyväskylä. s. 229. ISBN 978-951-38-8419-2. [viitattu: 1.4.2021]. Saatavissa:
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Ympäristöministeriö. 2021. Euroopan unionin ilmastopolitiikka [verkkosivu]. [viitattu:
27.1.2021]. Saatavissa: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>