



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VARPU ORASUO
BIOENERGIAN MERKITYS JA KESTÄVYYS - SUOMELLE JA
GLOBAALISTI

Diplomityö

Tarkastajat: professori Jukka Kontti-
nen, professori Esa Vakkilainen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
3. tammikuuta 2018

TIIVISTELMÄ

VARPU ORASUO: Bioenergian merkitys ja kestävyys – Suomelle ja globaalisti
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 81 sivua, 3 liitesivua
Elokuu 2018
Ympäristö- ja energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka
Tarkastaja: professori Jukka Konttinen, professori Esa Vakkilainen

Avainsanat: bioenergia, kestävyys, metsäbiomassa

Bioenergian kestävyys on herättänyt viime aikoina runsaasti keskustelua ja bioenergian käyttöä sekä puolustetaan että vastustetaan voimakkaasti. Tässä diplomityössä käydään läpi kuusi bioenergiaa käsittelevää julkaisua ja kerätään yhteen julkaisuissa esiintyviä väitteitä bioenergiasta sekä argumentteja, joilla bioenergian käyttöä puolustetaan ja vastustetaan. Joitakin erimielisyyksiä aiheuttavia väitteitä sekä argumentteja analysoidaan tarkemmin ja niille tehdään faktantarkistus vertaamalla väitteitä eri lähteisiin. Samalla väitteistä ja argumenteista tunnistetaan reunaehtoja, rajauksia ja oletuksia, joilla väittämiä saadaan muokattua halutun laiseksi.

Väitteiden ja argumenttien keräämiseen käytetyt julkaisut ovat sekä kotimaisia että kansainvälisiä ja ne tuovat molempien osapuolien näkemyksiä esiin. Väitteet ja argumentit kategorisoidaan niissä esiintyvien teemojen mukaan. Kategoriat ovat maankäyttö, metsien määrä, kasvihuonekaasupäästöt, raaka-aineiden käyttö, vaikutukset paikalliseen ympäristöön, vaikutukset talouteen sekä muita argumentteja. Erimielisyydet osapuolien välillä liittyvät erityisesti metsien ja maapinta-alan riittävyyteen, bioenergian käytön aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin sekä bioenergian merkitykseen ilmastonmuutoksen torjunnassa.

Tutkimuksessa havaitaan, että useiden bioenergiaan liittyvien väittämien todenperäisyys riippuu käytetyistä lähtötiedoista ja rajauksista. Väittämät pitävät siis paikkaansa vain tietyissä tilanteissa. Väitteitä saadaan perusteltua muun muassa tarkastelemalla tilannetta eripituisilla ajanjaksoilla ja painottamalla lyhyen tai pitkän aikavälin ilmastohyötyjen maksimointia. Lähtötiedoista, kuten bioenergian tulevaisuuden käyttömääristä, voidaan valita erisuuruisia arvoja, jolloin omaa väitettä saadaan vahvistettua. Bioenergian käyttöön kriittisesti suhtautuvat saattavat ajatella bioenergian käytön irralliseksi muusta teollisuudesta tai tehdä yksinkertaistuksia esimerkiksi bioenergian raaka-aineista tai käyttökohteista. Bioenergian käytön puolustajien argumentit taas nojaavat usein siihen, että bioenergian käyttö korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä tulevaisuudessa.

ABSTRACT

VARPU ORASUO: The Importance and Sustainability of Bioenergy in Finland and Globally

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 81 pages, 3 Appendix pages

August 2018

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Engineering

Major: Power Plant and Combustion Technology

Examiner: Professor Jukka Konttinen, Professor Esa Vakkilainen

Keywords: bioenergy, sustainability, forest biomass

The sustainability of bioenergy has attracted recently a lot of debate and there has been critical arguments for and against the use of bioenergy. This thesis examines six publications on bioenergy and collects the allegations of bioenergy in the publications, as well as arguments for defending and resisting bioenergy use. Some controversial arguments are analyzed more accurately and they are subjected to fact checking by comparing arguments with different sources. At the same time, arguments are identified the preconditions, restrictions, and assumptions that can be used to modify the claims as desired.

The publications used for the collection of arguments are both domestic and international and they bring the views of both parties out. The arguments are categorized according to the themes that are present in them. Categories include land use, amount of forests, greenhouse gas emissions, use of raw materials, impacts on the local environment, economic impacts and other arguments. Disagreements between the parties relate in particular to the amount of available forest and land area for bioenergy production, the greenhouse gas emissions caused by the use of bioenergy and the role of bioenergy in mitigating climate change.

The study finds that the authenticity of several bioenergy arguments is dependent on the source data and the restrictions. The arguments therefore only take place in certain situations. Arguments can be justified, among others, by looking at the situation over different time periods or by emphasizing the maximization of short-term or long-term climate benefits. Different values can be selected from initial data, whereupon their own argument can be confirmed. The critical arguments against the use of bioenergy may state the bioenergy usage as separate from other industries or the arguments might simplify, for example, the bioenergy feedstocks or end usages. The arguments of bioenergy defenders often rely on the fact that the use of bioenergy will replace the use of fossil fuels in the future.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Kemian- ja biotekniikan laitokselle. Haluaisin kiittää ohjaajiani Jukka Konttista ja Esa Vakkilaista avusta diplomityöprosessissa ja mielenkiintoisista keskusteluista aiheen tiimoilta. Ison kiitoksen haluan osoittaa IFRF:n (International Flame Research Committee) Suomen kansalliselle osastolle taloudellisesta tuesta diplomityöprosessin aikana. Kiitän myös suuresti työtä kommentoineita Pami Aaltoa, Matti Rautasta sekä Ahti Fagerblomia.

Tämän diplomityön valmistuminen päättää myös tärkeän vaiheen elämästäni. Kiitos kaikille teille, jotka teitte opiskelujastani unohtumattoman sekä annoitte mahdollisuuksia ja tilaa kehittää itseäni. Erityiskiitoksen haluaisin osoittaa Yki-fuksit2011 –porukalle, joiden kanssa olemme jakaneet mieleenpainuvia hetkiä. Toivottavasti sellaisia hetkiä on edessämme vielä monia. Kiitos myös mahtavalle ammulaumalle, teidän kanssa olen voinut unohtaa huolet ja saanut korvaamatonta vertaistukea haastavina hetkinä. Kiitos myös perheelleni tuesta, jota olen saanut koko opintopolkuni aikana. Erityisesti haluan kuitenkin kiittää Mikkoa kaikesta avusta ja tuesta tämän diplomityöprosessin aikana. Kiitos, että olet uskonut minuun ja kannustanut minua niinä hetkinä, kun sitä olen tarvinnut.

Tampereella, 31.8.2018

Varpu Orasuo

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	1
1.2	Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne	2
2.	BIOENERGIAN TUOTANTO.....	4
2.1	Bioenergian raaka-aineet.....	5
2.2	Erilaisia biopolttoaineita	7
2.2.1	Kiinteät biopolttoaineet.....	8
2.2.2	Nestemäiset biopolttoaineet	9
2.2.3	Kaasumaiset biopolttoaineet	11
2.3	Biomassan käsittelyprosessit.....	11
2.3.1	Pyrolyysi	12
2.3.2	Kaasutus	14
2.3.3	Transesteröinti.....	15
2.3.4	Fermentointi	17
2.3.5	Anaerobinen mädätys.....	18
3.	BIOENERGIAN KÄYTTÖ	20
3.1	Bioenergian käyttö Suomessa	20
3.2	Bioenergian käyttöön vaikuttavia ilmastotavoitteita.....	25
3.2.1	Uusiutuvien energialähteiden lisäämistavoitteet.....	25
3.2.2	Kasvihuonekaasujen päästövähennykset	26
3.3	Bioenergian kasvihuonekaasulaskenta	26
3.4	Bioenergian käytön tulevaisuus Suomessa	27
4.	ERILAISIA VÄITTEITÄ JA ARGUMENTTEJA BIOENERGIASTA.....	31
4.1	Käytetty aineisto.....	31
4.2	Artikkelianalyysit	33
4.2.1	Julkaisu 1: ”Goodbye kuukkelimetsä: Hakkuukiistat palasivat Suomeen, kun biotalous jauhaa puuta rahaksi”	33
4.2.2	Julkaisu 2: ”Kaukopartiomiehiä ja maanpettureita – Miksi metsien käytöstä taistellaan nyt Euroopassa ja kotona?”	34
4.2.3	Julkaisu 3: “The Black Book of Bioenergy”	35
4.2.4	Julkaisu 4: Chatham Housen raportti	37
4.2.5	Julkaisut 5 ja 6: Vastineita Chatham Housen raporttiin.....	38
4.3	Yhteenveto väitteistä ja argumenteista.....	40
4.3.1	Maankäyttö.....	41
4.3.2	Metsien määrä	42
4.3.3	Kasvihuonekaasupäästöt	42
4.3.4	Raaka-aineiden käyttö.....	43
4.3.5	Vaikutukset paikalliseen ympäristöön	43
4.3.6	Vaikutukset talouteen.....	44
4.3.7	Muita argumentteja	45

4.4	Tärkeimmät näkemuserot.....	45
5.	VÄITTEIDEN JA ARGUMENTTIEN TARKASTELU	48
5.1	Metsien ja maapinta-alan riittävyys	48
5.1.1	Metsien riittävyys puuston kasvun näkökulmasta	49
5.1.2	Vaihtoehtoiset puun ja maapinta-alan käyttötavat	51
5.1.3	Biomassan alkuperä	53
5.2	Bioenergian aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt	54
5.2.1	Biomassan palamisesta aiheutuvat päästöt	55
5.2.2	Voimalaitosten hyötysuhde.....	57
5.3	Metsien rooli hiilivarastona ja ilmastonmuutoksen torjunnassa	58
5.3.1	Bioenergian käytön vaikutus metsien hiilivarastoon	58
5.3.2	Bioenergian käytön vaikutus metsien kasvuun.....	64
5.4	Yhteenveto väitteiden ja argumenttien tarkastelusta.....	64
6.	KESKUSTELU	67
6.1	Mitä tutkimuksessa ei käsitelty?	69
7.	YHTEENVETO	71
	LÄHTEET.....	73

LIITE A: VÄITTÄMIÄ JA ARGUMENTTEJA BIOENERGIASTA

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Erilaisten biomassojen kaupallisesti kannattavia käsittelyreittejä bioenergiaksi. (H. Chum et al. 2012, s. 218, s. 232)</i>	<i>4</i>
Kuva 2.	<i>Yleisimpien ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineet ja valmistusmenetelmät (Scragg 2009, s. 63)</i>	<i>8</i>
Kuva 3.	<i>Kaaviokuva pyrolyysiprosessista leijupetipyrolysaattorissa (Basu 2013, s.151)</i>	<i>13</i>
Kuva 4.	<i>Biomassan kaasutus kiertoleijukaasuttimessa.(Basu 2013, s. 262)</i>	<i>15</i>
Kuva 5.	<i>Öljykasvin transesterointi biodieseliksi. Prosessissa käytetään katalyyttiä ja käytettävä alkoholi on metanolia. Perustuu lähteisiin (Salvi & Panwar 2012; Brian He et al. 2017).....</i>	<i>16</i>
Kuva 6.	<i>Sokeri- ja tärkkelys- sekä selluloosapohjaisten kasvien fermentointi bioetanoliksi. Muunneltu lähteistä (Lampert et al. 2015; Mishra & Ghosh 2016)</i>	<i>18</i>
Kuva 7.	<i>Biomassan anaerobinen mädätysprosessi. Pohjautuu lähteisiin (Bochmann & Montgomery 2013; Lampinen & Rautio 2015).....</i>	<i>19 21</i>
Kuva 8.	<i>Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Euroopan Unionin alueella vuonna 2016 (Eurostat 2018).....</i>	<i>21</i>
Kuva 9.	<i>Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Suomessa vuonna 2016 (Tilastokeskus 2017a).....</i>	<i>21</i>
Kuva 10.	<i>Uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2016 (Tilastokeskus 2017c)</i>	<i>22</i>
Kuva 11.	<i>Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden biopolttoaineiden käyttö Suomessa vuonna 2016 (Luonnonvarakeskus 2018a).....</i>	<i>23 24</i>
Kuva 12.	<i>Suomen puuvirrat vuonna 2013. Puun energiakäyttö on merkitty punaisella. Puuvirtoja, jotka ovat pienempiä kuin 0,3 Mm³, ei ole merkitty kuvaan. Kuva lähteestä (Alakangas et al. 2015), joka perustuu lähteeseen (Sokka et al. 2015).....</i>	<i>24</i>
Kuva 13.	<i>Puun energiakäyttö vuonna 2030 Energia- ja ilmastostrategian mukaan (Huttunen 2017, s. 114)</i>	<i>29</i>
Kuva 14.	<i>Näkemyseroja puiden riittävydestä bioenergian tuotantoon.....</i>	<i>46</i>
Kuva 15.	<i>Näkemyseroja bioenergian käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä</i>	<i>46</i>
Kuva 16.	<i>Näkemyseroja bioenergian käytön vaikutuksista hiilivaraston kokoon.....</i>	<i>47</i>
Kuva 17.	<i>Puuston vuotuinen kasvu ja poistuma Suomessa vuosina 1920–2015 (Luonnonvarakeskus 2018b).</i>	<i>49</i>
Kuva 18.	<i>Eri polttoaineiden tuonti Euroopan Unionin alueella vuonna 2015. Yksikkönä on miljoonaa ekvivalenttitonnia. (AEBiom 2016, s. 9)</i>	<i>54</i>

Kuva 19.	<i>Yksittäisen puun hiilivaraston kehittyminen ja eripituiset tarkasteluajanjaksot. Pohjautuu lähteisiin (Koponen et al. 2015, s. 47; Ter-Mikaelian et al. 2015; Koponen et al. 2018).....</i>	<i>60</i>
Kuva 20.	<i>: Metsikön ja metsäalueen puuston ja maaperän hiilivaraston kehittyminen suomalaisessa metsässä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty tilanne metsikössä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on tilanne laajemmalla metsäalueella, joka sisältää 90 vasemmanpuoleisen kuvan metsikköä, joita perustetaan yhtä suuri ala vuosittain ja jota hakataan vasemmanpuoleisen kuvan esittämällä tavalla. (Seppälä et al. 2015, s. 17)</i>	<i>61</i>
Kuva 21.	<i>Metsän hiilinielun pieneneminen ja kasvun pieneneminen verrattuna referenssitilaan</i>	<i>62</i>
Kuva 22.	<i>Näkemyseroja liittyen bioenergian käytöstä aiheutuviin pitkän ja lyhyen aikavälin ilmastohyötyihin</i>	<i>63</i>
Kuva 23.	<i>Kestävyyden osa-alueet bioenergian käytön näkökulmasta (GBEP 2011).....</i>	<i>69</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BFB	engl. bubbling fluidized bed, kerrosleiju
CCS	engl. carbon capture and storage, hiilidioksidin talteenotto
CFB	engl. circulating fluidized bed, kiertoileiju
CHP	engl. combined heat and power, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto
EJ	Eksajoule, energian yksikkö
EU	Euroopan Unioni
IEA	engl. International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
IIASA	engl. International Institute for Applied Systems Analysis, kansainvälinen, monitieteellinen tutkimuslaitos
IPCC	engl. International Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli
Luke	Luonnonvarakeskus
LULUCF	engl. Land use, land change and forestry, maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous –sektori kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa ja raportoinnissa
MW	Megawatti, energian yksikkö
PJ	Petajoule, energian yksikkö
RES-Direktiivi	Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi
SCOPE	engl. Scientific Committee on Problems of the Environment, kansainvälinen tiedekomite
TWh	Terawattitunti, energian yksikkö
WBA	engl. World Bioenergy Association, maailman bioenergiajärjestö
WWF	engl. World Wide Fund for Nature, kansainvälinen luonnonsuojelujärjestö
YK	Yhdistyneet Kansakunnat

1. JOHDANTO

Biomassa on tärkeä energianlähde globaalisti ja tällä hetkellä se on myös tärkein uusiutuva energialähde maailmassa (WBA 2016). Biomassaa voidaan hyödyntää monipuolisesti energiantuotannossa – sitä voidaan käyttää niin maaseutualueiden ruuantuotannossa ja lämmityksessä kuin suuremman mittakaavan lämmön – ja sähköntuotannossakin. Bioenergian tuottamiseen voidaan käyttää paljon erilaisia biopohjaisia raaka-aineita ja raaka-aineet ovat uusiutuvia. Suomessa bioenergian merkitys energiantuotannossa on tärkeä, sillä Suomen primäärienergiasta noin neljännes tuotetaan puupohjaisista polttoaineista (Tilastokeskus 2017a). Puupohjaiset polttoaineet ovatkin käytetyin energianlähteemme. Suomessa metsät ovat tärkein bioenergian raaka-aine ja iso osa bioenergiasta saadaan metsäteollisuuden ja metsänhoidon sivuvirroista (Tilastokeskus 2017c). Bioenergian käyttöä tukevat kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet. Euroopan Unionissa kasvihuonekaasujen määrää pyritään vähentämään merkittävästi ja lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä energian tuotannossa seuraavien vuosikymmenten aikana.

Bioenergian hyödyntäminen energiaksi herättää kuitenkin paljon erilaisia mielipiteitä siitä, onko bioenergian käyttäminen lopulta kuitenkin hyväksi ilmastolle vai ei. Keskustelu bioenergian käytön vaikutuksista ilmastolle on ollut Euroopassa ja Suomessa vilkasta viime aikoina johtuen muun muassa Euroopan Unionin päätöksentekoprosesseihin liittyen metsäbiomassan energiakäytön kestävyyskriteereihin sekä metsänkäytön ilmastolainsäädäntöön. Erilaiset ryhmittymät ja yksityishenkilöt ovat esitelleet erilaisia näkökulmia, mielipiteitä ja tutkimustuloksia pyrkimyksenään vaikuttaa päätöksentekoon. Keskustelu on ollut laajaa sekä monipuolista ja sitä on voinut olla ajoittain hankala seurata. Tämän tutkimuksen tavoitteena onkin selkeyttää tätä bioenergiasta käytävää monipuolista keskustelua tunnistamalla erilaisia väittämiä ja argumentteja bioenergiasta. Samalla keskustelusta pyritään tunnistamaan väittämät, joista eri osapuolet ovat voimakkaimmin erimielisiä ja syyt erimielisyyksien taustalla.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kerätä yhteen erilaisia väittämiä ja argumentteja bioenergian käytöstä sekä analysoida yleisimpiä väittämiä, joilla bioenergian käyttöä puolustetaan ja vastustetaan. Tarkoituksena on tunnistaa voimakkaimmat näkemyserot osapuolten välillä, analysoida, mihin väittämät perustuvat ja tarkastella niitä asiasta tehdyn tutkimuksen valossa. Tämän tutkimuksen yhtenä tärkeänä tavoitteena on selkeyttää ja jäsentää bioenergiasta viime aikoina käytyä monipuolista keskustelua. Tällaista tutkimusta bioenergian käyttöön liittyvistä väittämistä ei ole aiemmin tehty.

Tutkimus on rajattu koskemaan lähinnä metsäbioenergiasta käytävään keskusteluun, koska puupohjaisesta biomassasta saatava bioenergia on Suomen näkökulmasta olennaisinta. Toki useat väittämät ja argumentit pätevät keskustellessa myös muista bioenergian tuotannossa käytettävistä raaka-aineista. Aihetta käsitellään kokonaisuudessaan myös enemmän Suomen näkökulmasta, vaikkakin väitteiden ja argumenttien keruussa on hyödynnetty myös kansainvälisiä ulostuloja aiheen globaaliuden takia.

Tämän diplomityön tutkimuskysymykset ovat:

- Millaisia erilaisia väitteitä bioenergiasta on esitetty? Miten väitteitä perustellaan?
- Mitkä näkemuserot ovat voimakkaimpia?
- Millaisia reunaehtoja, rajoituksia ja lähtötietoja väitteiden taustalla on käytetty?
- Mitä väittämistä ja argumenteista tällä hetkellä tiedetään tieteellisestä näkökulmasta tarkasteltuna?

1.2 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tutkimus toteutetaan analysoimalla kuusi julkaisua, joissa käsitellään erilaisia näkemyksiä bioenergian käytöstä. Analysoitavat julkaisut on valittu niin, että niissä tuodaan esille sekä bioenergian käyttöä puolustavien että vastustavien näkemyksiä. Julkaisujen valinnassa on kiinnitetty huomiota siihen, että aiheen käsittely olisi mahdollisimman laaja-alaista ja että mahdollisimman paljon erilaisia näkökulmia tulisi sisällytetyksi tutkimukseen. Tarkemmin analysoitavien artikkelien valintaa käsitellään luvussa 4.

Julkaisuissa esiintyvät väitteet ja argumentit bioenergian käytöstä jäsenellään selkeästi aihepiireittäin ja niistä tunnistetaan voimakkaimmat näkemuserot. Voimakkaimpia näkemuseroja aiheuttavia väittämiä tarkastellaan sen jälkeen tarkemmin ja kirjallisuuskatsauksen avulla kerätään tietoa siitä, mitä väittämistä tällä hetkellä tiedetään tieteellisten julkaisujen pohjalta. Samalla väitteille ja vastaväitteille tehdään faktantarkistus ja todetaan, missä kohdin väitteissä on mahdollisesti ongelmia ja minkä takia. Tutkimuksessa tunnistetaan myös väittämiä koskevia reunaehtoja ja oletuksia, joilla eri osapuolet saavat muotoiltua väittämiään haluamikseen.

Luvussa 2 käsitellään bioenergian tuotantoa teknisestä näkökulmasta. Luvussa käydään läpi yleisimmät biopolttoaineet, niiden tuottamiseen käytettävät raaka-aineet sekä konversioprosessit, joilla biopolttoaineita valmistetaan. Luvussa 3 bioenergian käyttöä käsitellään enemmän yhteiskunnallisemmasta näkökulmasta. Luvussa esitellään eri energialähteiden käyttöä sekä bioenergian osuutta energian tuotannossa Suomessa ja Euroopassa. Luvussa perehdytään myös siihen, mistä raaka-aineista bioenergiaa Suomessa tuotetaan. Luvussa käsitellään myös bioenergian käyttöön vaikuttavia kansallisia ja kansainvälisiä ilmastotavoitteita sekä Suomen valtion tavoitteita bioenergian käytön lisäämiseksi tulevaisuudessa.

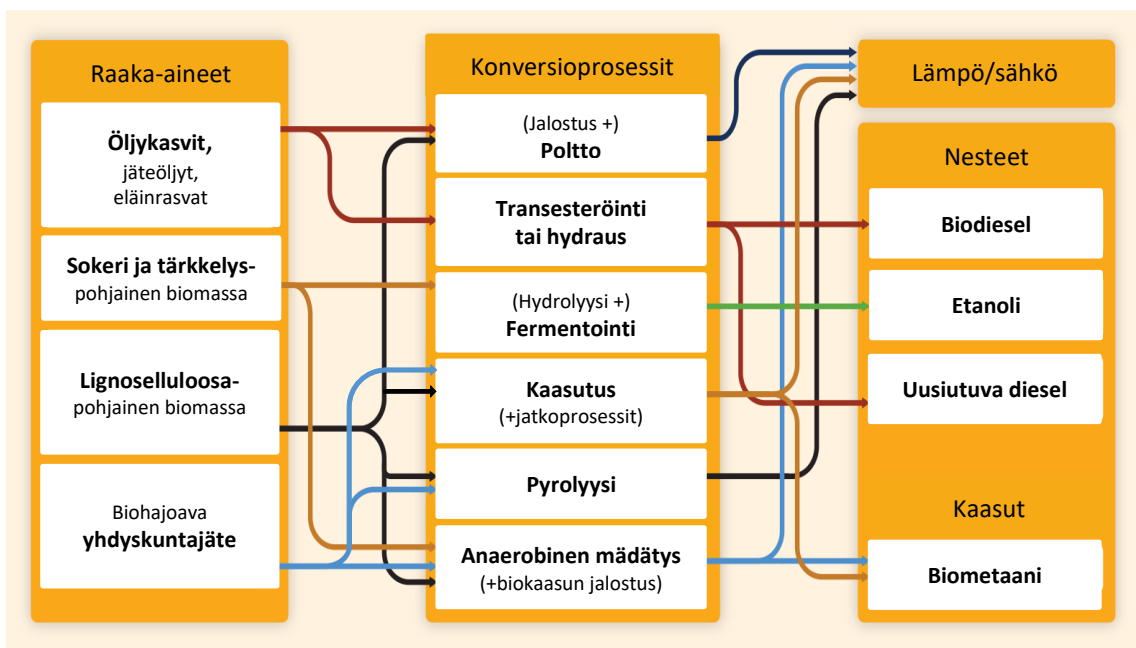
Luvussa 4 kerätään yhteen erilaisia väittämiä bioenergian käytöstä. Luvussa esitellään ensin analyysiin valitut julkaisut sekä perusteet valinnalle. Luvussa käydään jokainen artikkeli läpi omassa alaluvussaan ja niissä esiintyneet väittämät sekä argumentit bioenergian käytön puolesta ja käyttöä vastaan kirjataan ylös. Luvussa kootaan myös yhteen kaikki julkaisuista tunnistetut väittämät ja argumentit sekä luokitellaan ne teemoittain. Samalla väittämistä tunnistetaan ne, joista osapuolien välillä vallitsee voimakkaimmat näkemuserot.

Luvussa 5 analysoidaan tarkemmin voimakkaimpia näkemyseroja aiheuttavia väittämiä. Väittämille tehdään faktantarkistus, jossa tutustutaan tieteelliseen tutkimukseen aiheesta ja pyritään löytämään ongelmakohdat väittämässä tieteelliseen tutkimukseen nojaten. Samalla väittämiä ja argumentteja tarkastellaan tunnistuen niistä rajauksia ja oletuksia, jotka vaikuttavat väittämän tai argumentin paikkaansa pitävyyteen.

Luvussa 6 käydään keskustelua työn tuloksista ja pohditaan niiden merkitystä koko bioenergiakeskustelun kannalta. Samalla pohditaan, mitä asioita tämä diplomityön puitteissa ei käsitelty. Luvussa 7 kerätään yhteen työn tärkeimmät tulokset työn yhteenvedoksi.

2. BIOENERGIAN TUOTANTO

Bioenergialla tarkoitetaan erilaisista biopolttoaineista saatavaa energiaa, jota voidaan hyödyntää niin sähkön- ja lämmöntuotannossa kuin liikenteen polttoaineenakin. Kiinteitä, nestemäisiä ja kaasumaisia biopolttoaineita saadaan suoraan ja epäsuorasti biomassasta, jota on kaikki eloperäinen materia ja orgaaninen jäte. Biomassa voi siis olla peräisin kasveista, eläimistä, ihmisistä sekä vesistöistä ja energiaksi hyödynnettävää biomassaa saadaankin muun muassa puista, peltokasveista, lannasta sekä jätevedestä (Tester et al. 2012). Biomassasta saatava energia on alun perin peräisin auringosta, josta se on sitoutunut kasveihin yhteyttämisreaktion kautta (Hornung 2014, s. 1). Biomassa on ollut kautta aikojen tärkeä energialähde ihmiskunnalle ja biomassasta saatavat polttoaineet olivat tärkein polttoaine ihmisille ennen teollista vallankumousta. Biomassa on yhä edelleen tärkeä lämmityksen ja ruuanlaiton energialähde erityisesti kehitysmaissa. (Tester et al. 2012)



Kuva 1. Erilaisten biomassojen kaupallisesti kannattavia käsittelyreittejä bioenergiaksi. (H. Chum et al. 2012, s. 218, s. 232)

Tässä luvussa käsitellään bioenergian tuotantoa eli bioenergian raaka-aineita, erilaisia biopolttoaineita ja niiden valmistamista biomassasta. Kuvassa 1 on esitetty biomassan käsittely erilaisia tällä hetkellä kaupallisessa käytössä olevia konversioreittejä pitkin bioenergiaksi. Tutkimus- ja kehitysasteella on muitakin biomassan konversioreittejä sekä monipuolisempia biopolttoaineita (H. Chum et al. 2012, s. 218), mutta tässä luvussa keskitytään kaupallisesti kannattaviin biopolttoaineisiin ja käsittelyprosesseihin. Aluksi luvussa käsitellään raaka-aineita, joista biopolttoaineita valmistetaan ja esitellään erilaisia

tällä hetkellä käytössä olevia biopolttoaineita sekä niiden raaka-aineita ja käyttökohteita. Tämän jälkeen luvussa 2.3. käsitellään tarkemmin biopolttoaineiden valmistamista biomassasta erilaisten termokemiallisten, kemiallisten sekä biokemiallisten konversioprosessien kautta. Luvussa käsitellään erityisesti tällä hetkellä kaupallisessa käytössä olevia yleisimpien biopolttoaineiden valmistusprosesseja, joita ovat pyrolyysi, kaasutus, transesteröinti, fermentointi sekä anaerobinen mädätys.

2.1 Bioenergian raaka-aineet

Bioenergian tuottamiseen tarvittavia biopolttoaineita saadaan sekä suoraan että erilaisten käsittelyprosessien kautta biomassasta. Saatavia biopolttoaineita voidaan hyödyntää monipuolisesti niin sähkön- ja lämmöntuotannossa kuin polttoaineina liikenteessäkin. Biomassaa on kaikki eloperäinen materia sekä orgaaninen jäte ja se voi olla peräisin kasveista, ihmisistä, vesistöistä ja eläimistä (Tester et al. 2012).

Bioenergiaan hyödynnettävää biomassaa voidaan lajitella eri tavoin. Biomassaa voidaan lajitella sen alkuperän mukaan esimerkiksi metsistä saatavaksi biomassaksi, maataloussektorilta saatavaksi biomassaksi sekä erilaisista teollisuuden ja käytön jälkeisistä jätteistä saatavaksi biohajoavaksi osaksi (H. L. Chum & Overend 2001; H. Chum et al. 2012). Taulukossa 1 on havainnollistettu biomassan lajittelua biomassan alkuperälähteen perusteella.

Taulukko 1. *Bioenergian tuottamiseen käytettävän biomassan lajittelu biomassan alkuperän mukaan.*

Biomassa metsistä	Polttopuut, metsähakkuutähteet (esim. latvat), harvennuspuut. Käytetyimmät puut: mänty, kuusi, pihta, eukalyptus, poppeli, paju.
Biomassa maataloudesta	Energiakasvit (vehnä, maissi, sokerijuurikas), eläinten lanta, olki
Biomassa jätteistä	Biohajoava yhdyskunta- ja teollisuusjäte, puhdistamolietteet, teollisuuden ja maatalouden sivutuotteet sekä tähteet (esim. kuori, sahanpuru)

Metsistä saatavalla biomassalla tarkoitetaan muun muassa polttopuuta, metsänhakkuutähteitä kuten latvuksia ja metsien harvennuksessa saatavaa puuta (Demirbas 2008; Scragg 2009; H. Chum et al. 2012). Metsät ovat koko maailman mittakaavassa suurin biomassan lähde (WBA 2016). Maantieteellisestä sijainnista riippuen bioenergian tuotannossa pääasiallisesti käytettävät havupuut ovat mänty, kuusi sekä pihta ja lehtipuut ovat eukalyptus, poppeli ja paju (Mendes Souza et al. 2015, s. 32). Maataloussektorilta saatavalla biomassalla tarkoitetaan muun muassa eläinten lantaa sekä niin sanottuja energia- kasveja eli energiakäyttöä varten viljeltyjä kasveja. Yleisiä energiakäyttöön soveltuvia kasveja ovat muun muassa vehnä, maissi ja sokerijuurikas. Myös olki on tärkeä bioenergian raaka-aine ja sitä saadaan usein ruuantuotannon sivutuotteena. (World Energy Council 2016, s. 6) Bioenergiaksi hyödynnettävää jätettä taas ovat esimerkiksi teollisuudesta saatavat orgaaniset jätteet, biohajoava yhdyskuntajäte sekä puhdistamolietteet. Lisäksi jätteisiin sisällytetään usein myös teollisessa tuotannossa ja maataloudessa syntyvät sivutuotteet ja tähteet. (H. L. Chum & Overend 2001) Tällaisia ovat muun muassa metsäteollisuudessa tapahtuvassa puun käsittelyssä syntyvät tähteet kuten sahanpuru ja kuori (Demirbas 2009; International Energy Agency 2017).

Biomassaa voidaan jaotella erilaisiin ryhmiin myös niiden kemiallisen rakenteen perusteella, koska kemiallinen rakenne vaikuttaa siihen, millaisia biopolttoaineita biomassasta valmistetaan. Tällaisella jaottelulla biomassaa voidaan jakaa öljypohjaiseksi, sokeri- ja tärkkelyspohjaiseksi sekä lignoselluloosapohjaiseksi biomassaksi ja biohajoavaksi yhdyskuntajätteeksi (Bauen et al. 2009, s. 28). Taulukossa 2 on esitetty tällainen biomassan kemiallisen rakenteen mukaan tehty lajittelu.

Taulukko 2. *Bioenergian tuottamiseen käytettävän biomassan lajittelu biomassan kemiallisen rakenteen mukaan.*

Öljypohjainen biomassa	Rapsi, rypsi, soija, öljypalmu, öljyjatropa, auringonkukka, eläinrasvat, jäterasvat
Sokeri- ja tärkkelyspohjainen biomassa	Sokeripohjaiset: sokerijuurikas, sokeriruoko, makea durra Tärkkelyspohjaiset: vehnä, maissi, kassava
Lignoselluloosapohjainen biomassa	Puu (mänty, kuusi, pihta, eukalyptus, poppeli, paju), ruoho, olki
Biohajoava yhdyskuntajäte	Puhdistamolietteet, lanta, märkä biojäte (esim. ruokajätteet)

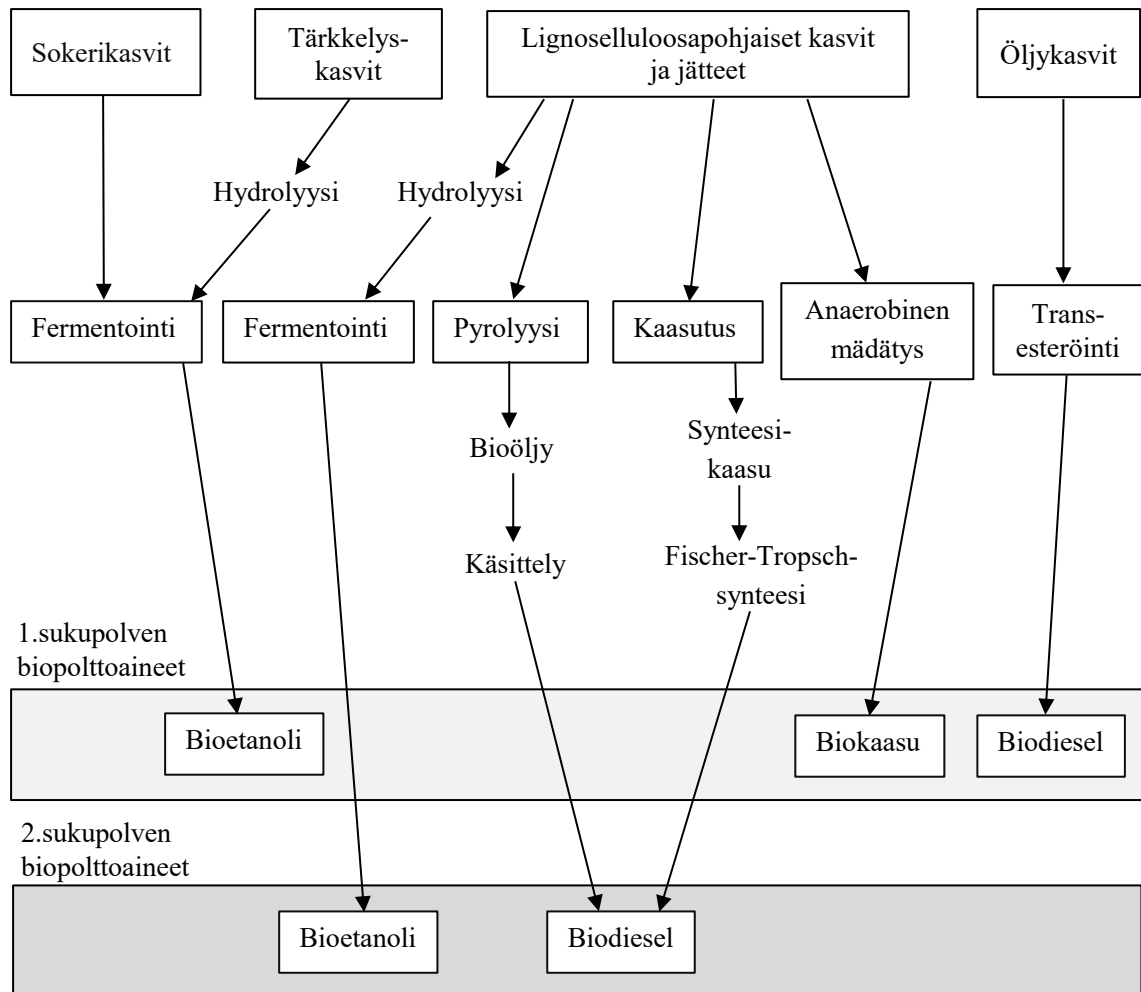
Yksi öljypohjaisen biomassan kategoria ovat öljykasvit, joilla tarkoitetaan öljypitoisia kasveja kuten rapsia ja auringonkukkaa. Öljykasveja käytetään bioöljyjen ja erityisesti biodieselin valmistukseen. Käytetyimmät öljykasvit ovat Euroopassa rapsi ja muualla maailmassa soija, öljypalmu ja öljyjatropat. Sen sijaan sokeri- ja tärkkelyspohjaista biomassaa käytetään alkoholien ja erityisesti etanolin valmistamiseen. Käytetyin tärkkelyskasvi Euroopassa on vehnä, Pohjois-Amerikassa maissi ja muualla maailmassa kassava. Sokerikasveista taas bioenergian tuotantoon käytetään Euroopassa pääasiassa sokerijuurikasta, kun taas muualla maailmassa käytetään sokeriruokoa tai makeaa durraa. (H. Chum et al. 2012, s. 234)

Lignoselluloosapohjaista biomassaa ovat muun muassa puu, ruoho ja olki. Lignoselluloosapohjaisia raaka-aineita käytetään erityisesti tuottamaan lämpö- ja sähköenergiaa polttoprosessissa, mutta niitä voidaan käyttää myös esimerkiksi biodieselin ja biokaasun tuottamiseen. Lignoselluloosapohjaiset raaka-aineet koostuvat hiilihydraateista eli selluloosasta (30-45 % biomassasta) ja hemiselluloosasta (10-35 %) sekä ligniinistä (7-30 %), joka toimii biomassassa tukiaineena (Badger 2002; Alén 2011; Sudhagar 2017). Puupohjaisissa raaka-aineissa ligniinin osuus on suurempi kuin muissa lignoselluloosapohjaisissa raaka-aineissa ja pehmeissä havupuissa suurempi kuin kovissa lehtipuissa (Alén 2011). Erilaiset kemialliset rakenteet vaikuttavat lignoselluloosapohjaisen biomassan hyödyntämiseen energiantuotannossa ja esimerkiksi bioetanolin valmistuksessa raaka-aineista hyödynnetään vain hiilihydraattiosat (Badger 2002).

2.2 Erilaisia biopolttoaineita

Biomassaa voidaan käyttää sellaisenaan biopolttoaineena tai sitä voidaan käsitellä erilaisiksi kiinteiksi, nestemäisiksi tai kaasumaisiksi biopolttoaineiksi. Kiinteitä biopolttoaineita käytetään yleensä tuottamaan lämpö- ja sähköenergiaa (Bauen et al. 2009, s. 17), kun taas nestemäisiä ja kaasupaisia biopolttoaineita voidaan käyttää monipuolisesti sekä lämmön ja sähkön tuotantoon että liikennepolttoaineena. Useilla biopolttoaineilla voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannon sovelluksissa.

Biopolttoaineita voidaan jaotella ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineiksi riippuen niiden tuotannon kehitystasosta ja käytetyistä raaka-aineista. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita käytetään ja valmistetaan laajasti kaupallisessa mitakaavassa. Toisen sukupolven biopolttoaineita valmistetaan, mutta teknologiset haasteet ja korkeat kustannukset ovat estäneet polttoaineen laajamittaisen kaupallisen valmistuksen ja käytön. Kolmannen sukupolven biopolttoaineiden valmistus taas on vasta tutkimus- ja kehitysvaiheessa, eikä valmistus ole vielä kaupallisesti kannattavaa. (Scragg 2009, s. 62; Bauen et al. 2009). Kuvassa 2 on esitettyinä yleisimpien ensimmäisen ja toisen sukupolven nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden raaka-aineet sekä valmistusmenetelmät.



Kuva 2. Yleisimpien ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineet ja valmistusmenetelmät (Scragg 2009, s. 63)

Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita ovat sokeri- ja tärkkelyskasveista valmistettu bioetanoli, anaerobisen mädätyksen avulla syntyvä biokaasu sekä öljykasveista saatava biodiesel. Toisen sukupolven bioetanoli ja biodiesel taas valmistetaan pääsääntöisesti lignoselluloosapohjaisesta biomassasta. Eri biopolttoaineista ja niiden konversioprosesseista kerrotaan yksityiskohtaisemmin seuraavissa luvuissa.

2.2.1 Kiinteät biopolttoaineet

Kiinteät biopolttoaineet tarkoittavat mitä tahansa kiinteää kasviperäistä materiaalia, jota voidaan käyttää sellaisenaan polttoaineena tai kiinteitä polttoaineita, joita voidaan valmistaa biomassan mekaanisella käsittelyllä tai konversioprosesseilla. Useimmiten kiinteät biopolttoaineet ovat peräisin puuperäisestä biomassasta, joka on saatu sellaisenaan metsänhoidosta, maataloudesta tai teollisista prosesseista. Kiinteitä biopolttoaineita ovat muun muassa polttopuu, hake, kuori, sahanpuru ja lastut. (Bacovsky et al. 2016) Kiinteän biomassan polttamista käytetään sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä erityisesti kehitys-

maissa myös ruuantuotannossa (Bauen et al. 2009, s. 41). Kiinteän biomassan polttaminen onkin yleisin ja vanhin tapa hyödyntää biomassaa energiantuotannossa (Bauen et al. 2009, s. 30).

Kiinteitä biopolttoaineita voidaan myös valmistaa biomassasta esimerkiksi mekaanisella käsittelyllä puristamalla pieneksi hienonnettua kiinteää biomassaa yhteen (Bauen et al. 2009, s. 28). Pelletit, joita käytetään sekä yksityistalouksissa että teollisuudessa erityisesti lämmöntuotannossa, valmistetaan perinteisesti sahojen ylijäämämateriaaleista, joista tärkein on sahanpuru (Bauen et al. 2009, s. 28; Mendes Souza et al. 2015, s. 32). Puupellettejä voidaan valmistaa myös sahateollisuuden hakkeesta, raakapuusta, puun kuoresta ja kierrätyspuusta (Mendes Souza et al. 2015, s. 32). Pellettien haasteena on se, että ne sitovat itseensä helposti kosteutta kuljetuksessa ja varastoinnissa, mikä heikentää niiden lämpöarvoa (Bauen et al. 2009, s. 28). Puuperäistä biomassaa voidaan myös kuivattaa, mikä parantaa biomassan energiatiheyttä. Kuivattu biomassaa voidaan kuljettaa pitkiäkin matkoja ilman että se sitoo merkittäviä määriä vettä itseensä. Kuivatusta biomassasta voidaan valmistaa myös pellettejä. (Bauen et al. 2009, s. 29)

Biomassasta saadaan kiinteää polttoainetta myös pyrolyysireaktion avulla. Yksi pyrolyysissä syntyvistä lopputuotteista on puuhiili, jota voidaan käyttää hiilen sijasta energiantuotannossa (Bauen et al. 2009, s. 29). Puuhiilen lämpöarvo voi olla jopa kaksinkertainen verrattuna alkuperäiseen biomassaan. Puuhiilen käyttö energialähteenä on erityisen suositua kehitysmaissa. (H. Chum et al. 2012, s. 237)

2.2.2 Nestemäiset biopolttoaineet

Nestemäiset biopolttoaineet koostuvat pääsääntöisesti biodieselistä ja biobensiineistä, joita ovat muun muassa bioetanoli ja biometanoli. Nestemäisiä biopolttoaineita voidaan käyttää korvaamaan fossiilisia polttoaineita sekä sähkön- ja lämmöntuotannossa että liikennekäytössä. Nestemäisten biopolttoaineiden valmistamiseen käytettävät raaka-aineet ovat monipuolisia ja niitä ovat muun muassa sekä sokeri- ja tärkkelyskasvit sekä öljykasveja (H. Chum et al. 2012, s. 232). Myös lignoselluloosapohjaisia raaka-aineita voidaan hyödyntää enenevässä määrin nestemäisten biopolttoaineiden tuotannossa (Scragg 2009, s.136; H. Chum et al. 2012, s. 218). Tällä hetkellä nestemäisistä biopolttoaineista valmistetaan kaupallisesti bioetanolia ja biodieseliä (Bauen et al. 2009, s. 33).

Bioetanoli on korkealaatuinen nestemäinen polttoaine, jota voidaan käyttää sekä autoliikenteessä että säätövoimaa tuottavissa kaasuturbiineissa (Tester et al. 2012). Bioetanolin raaka-aineena käytetään ennen kaikkea sokeri- ja tärkkelyskasveja, mutta myös lignoselluloosapohjaisen biomassan käyttö bioetanolin valmistamiseksi on mahdollista (H. Chum et al. 2012). Bioetanolia tuotetaan fermentointiprosessilla, jota edeltää tärkkelys- ja lignoselluloosapohjaisen biomassan kohdalla myös biomassan hydrolyysi (Badger 2002). Tärkeimmät raaka-aineet maailmanlaajuisesti bioetanolin tuottamiseen ovat sokerikasveja sokeriruoko, sokerijuurikas ja makeat durrat sekä tärkkelyskasveja maissi, vehnä

ja kassava (H. Chum et al. 2012). Yhdysvallat valmistaa puolet koko maailman bioetanolistista ja 95 % siitä on valmistettu maissista (Mendes Souza et al. 2015, s. 30). Euroopassa bioetanolin valmistukseen käytetään monipuolisemmin erilaisia raaka-aineita, kuten esimerkiksi vehnää, ohraa, ruista ja sokerijuurikasta (Mendes Souza et al. 2015, s. 32).

Lignoselluloosapohjaisista kasveista bioetanolin valmistamiseen on hyödynnettävissä kasvien hiilihydraattiosat (Badger 2002). Lignoselluloosapohjaiset raaka-aineet bioetanolin valmistamiseen ovat hyvä vaihtoehto esimerkiksi alueilla, joissa yleisempien bioetanolin raaka-aineiden kasvatusta on vaikeampaa (Scragg 2009, s. 118). Lignoselluloosapohjaista biomassaa ei myöskään käytetä ihmisravinnoksi kuten sokeri- ja tärkkelyspohjaista biomassaa, joten se on myös halvempi raaka-aine bioetanolin tuotantoon (Badger 2002). Lignoselluloosapohjaisesta biomassasta valmistettu bioetanol kuuluu toisen sukupolven biopolttoaineisiin (Scragg 2009, s. 62).

Biodiesel on nestemäinen biopolttoaine, jota voidaan käyttää sellaisenaan olemassa olevissa dieselmootoreissa (Brian He et al. 2017, s. 483) tai sitä voidaan sekoittaa fossiilisen öljypohjaisen dieselpolttoaineen joukkoon (H. Chum et al. 2012, s. 240). Biodieseliä valmistetaan öljykasveista ja biodieselin valmistukseen soveltuvia lajikkeita on noin 350 erilaista. Tärkeimpiä raaka-aineita biodieselin valmistukseen maailmanlaajuisesti ovat soijapavut, rapsi ja palmuöljy. (Mendes Souza et al. 2015, s. 32) Kasvien lisäksi biodieselin valmistamiseen voidaan käyttää muun muassa eläinrasvoja ja ruuanlaitossa käytettyjä rasvoja ja öljyjä. Eniten biodieseliä valmistetaan ja kulutetaan Euroopan Unionin alueella ja Brasiliassa. Euroopassa käytetyimmät raaka-aineet biodieselin valmistukseen ovat rapsi ja rypsi, Brasiliassa ja Yhdysvalloissa soijapapu kun taas palmuöljyä käytetään erityisesti Indonesiassa, Malesiassa ja Columbiassa. (Brian He et al. 2017, s. 483) Jotkin käytetyistä raaka-aineista kilpailevat ruuantuotannon kanssa, joten tulevaisuudessa biodieselin valmistuksessa pyritään käyttämään enemmän ruuantuotannosta riippumattomia öljyjä. Tällaisia raaka-aineita ovat muun muassa jäteöljyt, öljyjatropat ja levät (Santacesaria et al. 2012).

Biodieseliä valmistetaan suoraan öljykasvien transesteröintiprosessilla, ja tällä tavalla valmistettu biodiesel kuuluu ensimmäisen sukupolven biopolttoaineisiin (Bauen et al. 2009, s. 34). Biodieseliä voidaan jalostaa myös biomassan pyrolyysiprosessista syntyvästä bioöljystä tai hyödyntämällä Fischer-Tropsch synteesiä biomassan kaasutuksessa syntyvän synteetikaasun jatkojalostamiseen (Scragg 2009, s. 136). Sekä pyrolyysin että Fischer-Tropsch synteesin kautta valmistettu biodiesel kuuluu tällä hetkellä toisen sukupolven biopolttoaineisiin (Scragg 2009, s. 136). Biomassan kaasutuksessa syntyvää synteetikaasua voidaan jalostaa edelleen myös muiksi nestemäisiksi biopolttoaineiksi kuten metanoliksi (Scragg 2009, s. 106).

2.2.3 Kaasumaiset biopolttoaineet

Kaasumaiset biopolttoaineet syntyvät, kun biomassaa mädätetään anaerobisissa olosuhteissa tai kun kiinteää biomassaa kaasutetaan. Anaerobisessa mädätyksessä syntyvää kaasumaista biopolttoainetta kutsutaan biokaasuksi ja se sisältää pääasiassa metaania (CH₄) ja hiilidioksidia (CO₂) (Mendes Souza et al. 2015). Biokaasua voidaan hyödyntää niin liikennepolttoaineena kaasumootoriajoneuvoissa, sähköntuotannossa muun muassa matlapaineturbiineissa, lämmityksessä sekä ruuanlaitossa (Bauen et al. 2009; H. Chum et al. 2012). Biokaasua voidaan jalostaa edelleen metaanikaasuksi, jota voidaan käyttää polttoaineena maakaasun tavoin (Da Costa Gomez 2013).

Biokaasua voidaan valmistaa monipuolisista raaka-aineista, mutta paljon ligniiniä sisältävä biomassassa soveltuu huonosti biokaasun tuottamiseen (Lampinen 2015). Pääsääntöisesti biomassaa biokaasun tuottamiseen saadaan neljästä lähteestä: maataloudesta, yhdyskuntabiojätteestä, puhdistamolietteistä ja teollisuuden sivutuotteista (Kymäläinen & Luostarinen 2015). Maataloudesta biokaasun tuottamiseen hyödynnettäviä raaka-aineita ovat esimerkiksi korjuu- ja ruokintajätteet, lanta ja erilaiset energiakasvit (Da Costa Gomez 2013). Biokaasun tuotannossa voidaan hyödyntää myös teollisuuden sivutuotteita kuten glyserolia sekä ruuantuotannossa syntyviä sivutuotteita (Da Costa Gomez 2013). Paljon raaka-ainetta biokaasun tuottamiseen syntyy muiden biomassojen jalostustoiminnassa (Kymäläinen & Luostarinen 2015). Tällä hetkellä biokaasun tuotantoon käytetäänkin globaalisti, Saksaa lukuun ottamatta, pääsääntöisesti erilaisia jätteitä ja sivuvirtoja, ei niinkään biokaasun tuottamista varten kasvatettuja energiakasveja (Lampinen 2015).

Biomassan kaasutuksessa syntyvää kaasumaista polttoainetta sanotaan synteettiseksi kaasuksi ja se sisältää pääasiassa hiilimonoksidia ja vetyä (H. Chum et al. 2012). Synteettikaasua voidaan käyttää sellaisenaan esimerkiksi sähköntuotantoon kaasuturbiinissa tai sitä voidaan jatkojalostaa muiksi polttoaineiksi kuten vedyksi, dimetyylieetteriksi tai biodieseliksi (Scragg 2009, s. 101, s.136 ; H. Chum et al. 2012, s. 239). Nämä synteettikaasusta jatkojalostetut polttoaineet kuuluvat toisen sukupolven biopolttoaineisiin (Bauen et al. 2009, s. 35). Kaasutuksen raaka-aineena käytetään erityisesti lignoselluloosapohjaista biomassaa (Scragg 2009, s. 82).

2.3 Biomassan käsittelyprosessit

Biomassaa voidaan käyttää sellaisenaan energian tuotantoon, mutta biomassaa myös käsitellään eri tavoin, jotta siitä saadaan hyödynnettäväksi sopivia biopolttoaineita. Käytettävät käsittelyprosessit voidaan jakaa termokemiallisiin prosesseihin, kemiallisiin prosesseihin ja biokemiallisiin prosesseihin. Lisäksi biomassaa voidaan käsitellä mekaanisesti esimerkiksi puristamalla sitä pelleteiksi tai hakettamalla kiinteää biomassaa. Kaikissa biomassan konversioprosesseissa syntyy myös sivutuotteita pääasiallisen energiatuotteen lisäksi. Nämä sivutuotteet voivat nostaa koko konversioprosessin taloudellista arvoa. (Bauen et al. 2009)

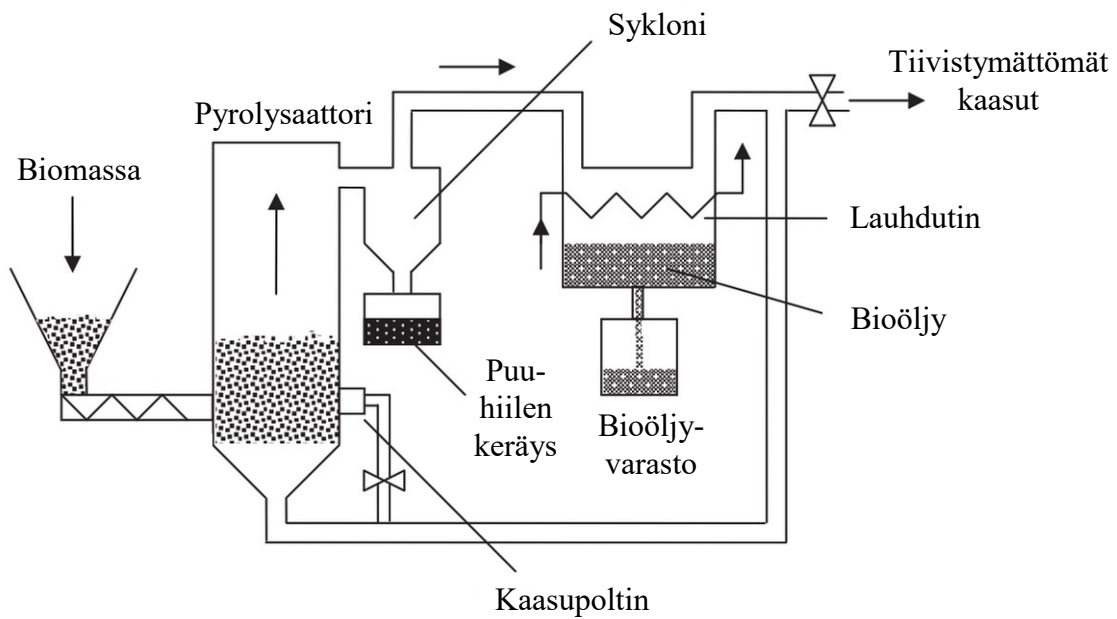
Termokemiallisissa prosesseissa biomassa hajoaa lämmön vaikutuksesta, jolloin syntyy lämpöarvoltaan alkuperäistä biomassaa parempia kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia biopolttoaineita. Termokemiallisia prosesseja ovat muun muassa kaasutus, pyrolyysi ja biomassan polttaminen. Kemiallisessa prosessissa biomassaa taas hajotetaan kemiallisen reaktion avulla. Yksi biomassan kemiallinen prosessointitapa on vaihtoesteröinti, jossa biomassa reagoi alkoholin kanssa muodostaen biodieseliä. Biokemiallisissa prosesseissa biomassan hajotuksessa käytetään apuna elävää ainesta, joka käyttää biomassaa ravintonaan. Aineenvaihdunnan seurauksena syntyy bioenergiana hyödynnettävää lopputuotetta. Biokemiallisia prosesseja ovat muun muassa fementointi ja anaerobinen mädätys. Alaluvuissa esitellään eräitä yleisimmistä ja kaupallisessa käytössä olevista biomassan konversioprosesseista, mutta biomassan käsittelyyn on olemassa paljon muitakin prosesseja kuin tässä esitetyt. Biopolttoaineiden valmistusprosesseista esitellään lähinnä ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden konversioprosesseja.

2.3.1 Pyrolyysi

Pyrolyysi tarkoittaa termokemiallista prosessia, jossa biomassaa käsitellään lämmöllä hapettomissa tai hyvin vähähappisissa olosuhteissa noin 300–650 celsiusasteessa (Venderbosch & Prins 2011, s. 124; Basu 2013, s. 147). Prosessissa biomassan isot hiilivetymolekyylit pilkkoutuvat lämmön vaikutuksesta pienemmiksi ja yksinkertaisemmiksi molekyyleiksi ja lopputuotteena syntyy kiinteitä, nestemäisiä polttoaineita sekä kaasumaisia lopputuotteita (Basu 2013). Raaka-aineena pyrolyysissä käytetään pääasiassa lignoselluloosapohjaista biomassaa (Scragg 2009, s. 63).

Pyrolyysiprosessista saadut lopputuotteet riippuvat muun muassa pyrolyysilämpötilasta, biomassan kuumentamisnopeudesta ja viipymääjasta (Bauen et al. 2009, s. 29; Basu 2013, s. 149). Pyrolyysireaktioita voidaan jakaa hitaisiin ja nopeisiin niiden keston ja lämpötilan mukaan. Hidasta pyrolyysiä käytetään ensisijaisesti pyrolyysin kiinteän lopputuotteen eli puuhiilen valmistamiseen ja siinä biomassaa (yleensä puuta) lämmitetään hitaasti melko matalaan lämpötilaan eli noin 300–400 Celsiusasteeseen (Venderbosch & Prins 2011, s. 124). Viipymäaika syntyville kaasulle hitaassa pyrolyysissä on minuuteista ylöspäin, kun nopean pyrolyysin viipymääjat ovat sekunteja tai millisekunteja (Basu 2013, s. 154). Pyrolyysilämpötila on nopeassa pyrolyysissä 500 Celsiusasteesta ylöspäin (Venderbosch & Prins 2011, s.124) ja syntyvät lopputuotteet ovat suurimmaksi osin nestemäisiä ja kaasumaisia (Basu 2013, s. 154).

Pyrolyysiprosessista saatavat kiinteät lopputuotteet ovat pääasiassa puuhiiltä ja hiiltä. Nestemäiset lopputuotteet muodostuvat pyrolyysissa syntyvistä tiivistyvistä kaasuista ja ne sisältävät erilaisia painavia hiilivetyjä, tervaa sekä vettä (Basu 2013). Lopputuotetta kutsutaan bioöljyksi tai pyrolyysiöljyksi ja sen on tervamaista nestettä, joka sisältää jopa 20 % vettä (Basu 2013). Bioöljyä voidaan myös jalostaa edelleen toisen sukupolven bio-dieseliksi (Scragg 2009, s. 63). Kaasumaiset lopputuotteet sisältävät molekyylipainoltaan kevyitä tiivistymättömiä kaasuja kuten hiilimonoksidia (CO), hiilidioksidia (CO₂), metaania (CH₄), etaania (C₂H₆) ja eteeniä (C₂H₄) (Basu 2013).



Kuva 3. Kaaviokuva pyrolyysiprosessista leijupetipyrolysaattorissa (Basu 2013, s.151)

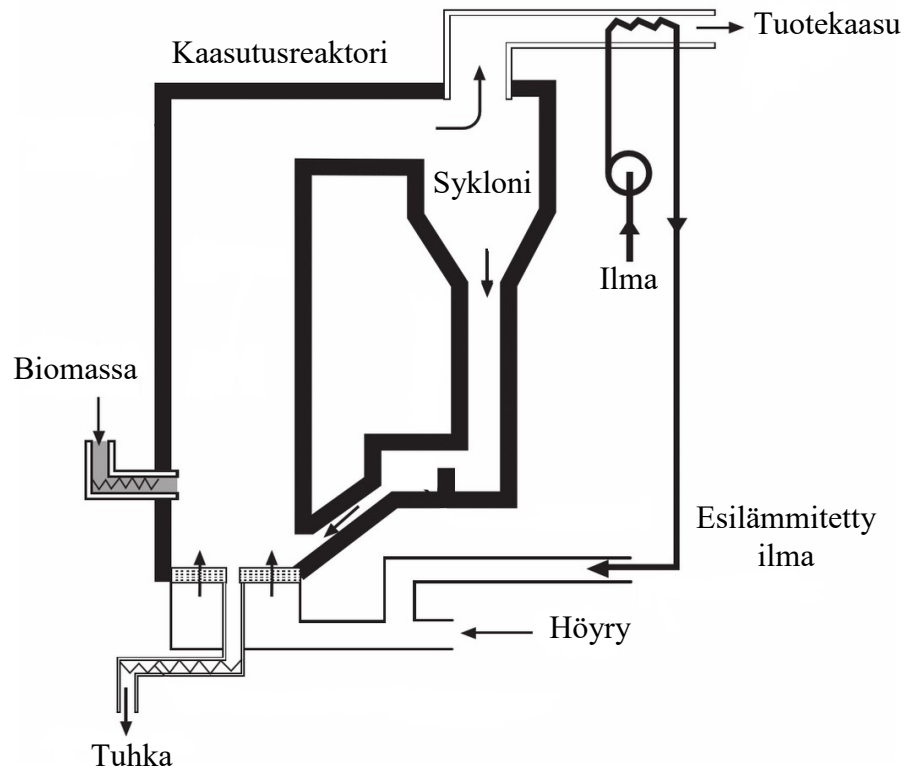
Kuvassa 3 on esitetty pyrolyysiprosessi leijupetipyrolysaattorissa. Aluksi biomassa syötetään pyrolyysikammioon, jossa on kuumaa kiinteää materiaalia, jota kutsutaan leijupediksi. Leijupeti lämmittää biomassan pyrolyysilämpötilaan, jolloin biomassan hajoaminen pienemmiksi molekyyleiksi alkaa. Reaktiossa syntyvät kaasut poistuvat kammiosta yläkautta, mutta puuhiili jää osittain kammioon ja osittain poistuu kaasujen mukana. Puuhiili erotetaan syklonilla kaasuista ja kaasu johdetaan lauhduttimelle. Tiivistyvät kaasut kondensoituvat bioöljyksi. Tiivistymättömät kaasut eli lopulliset tuotekaasut johdetaan pois ja kerätään talteen. Myös reaktiossa syntynyt puuhiili voidaan hyödyntää kaupallisena tuotteen tai se voidaan kierrättää takaisin pyrolyysikammioon lämmönsiirtoaineeksi tai leijupetiin. (Basu 2013, s. 151)

2.3.2 Kaasutus

Biomassan kaasutus on termokemiallinen prosessi, jossa biomassa hapettuu osittain sitä lämmitettäessä (Bauen et al. 2009; H. Chum et al. 2012). Kaasutuksessa saadaan muutettua kiinteitä ja nestemäisiä raaka-aineita hyödyllisiksi kaasumaisiksi polttoaineiksi, joita voidaan polttaa energian tuottamiseksi (Basu 2013, s. 199). Syntyvä lopputuote on kaasuseos, joka sisältää runsaasti hiilimonoksidia sekä vetyä ja sen energiasisältö vastaa maa-kaasun energiasisältöä noin 10–45 prosenttisesti (H. Chum et al. 2012). Tätä niin sanottua synteesikaasua voidaan käyttää suoraan sähkön ja lämmöntuotannon sovelluksissa (Bauen et al. 2009) tai sitä voidaan jatkojalostaa nestemäisiksi ja kaasumaisiksi biopolttoaineiksi kemiallisella käsittelyllä sopivia katalyyttejä käyttäen (Tester et al. 2012). Kaasutus tapahtuu 800–1000 Celsiusasteessa ja se vaatii aina jonkun kaasutusväliaineen kuten ilman tai hapen käyttöä (Basu 2013, s. 147, s. 199).

Kaasutukseen voidaan käyttää erilaisia kaasuttimia. Leijupetipetikaasuttimissa kaasuttimen sisällä on palamattomasta kiinteästä aineksestä muodostuva hiekkamainen leijukerros, joka toimii reaktiossa lämmönsiirtoaineena ja sekoittajana (Basu 2013, s. 214). Leijupetikaasuttimia voidaan jakaa kerrosleijukaasuttimiin (BFB) ja kiertoleijukaasuttimiin (CFB) sen mukaan, kiertääkö leijukerros vai pysyykö se kaasuttimessa. Kiinteäpetikaasuttimissa ei ole leijukerrosta, vaan polttoaine ja paloilma syötetään kaasuttimeen sellaisenaan. Kiinteäpetikaasuttimet voidaan jakaa vastavirta- ja myötävirtakaasuttimiin sen mukaan kulkeeko syötetty biomassa ja syntynyt tuotekaasu samaan vai eri suuntaan. (Ptasinski et al. 2009, s. 110) Kolmas kaasutintyyppi on pölykaasutin, jossa biomassa syötetään kaasuttimeen hienorakeisena jauhona (Basu 2013, s. 217). Kiinteäpeti- ja kerrosleijukaasuttimet soveltuvat pieniin tai keskisuuriin sovelluksiin (10 kW-25 MW) kun taas kiertoleijukaasuttimia käytetään keskisuurissa tai suurissa sovelluksissa (25 MW-60 MW) (Adhikari & Abdoulmoumine 2017).

Kuvassa 4 on esitetty biomassan kaasutus kiertoleijukaasuttimessa, jossa reaktion väliaineena käytetään ilman ja höyryn sekoitusta. Biomassa ja ilma syötetään kaasuttimeen sen alaosasta. Kaasuttimessa oleva leijupeti kiertää kaasuttimessa ja tuotekaasu erotetaan leijupedin kiinteästä materiaalista syklonissa.



Kuva 4. Biomassan kaasutus kiertoelijukaasuttimessa. (Basu 2013, s. 262)

Biomassan kaasutusreaktio tapahtuu kaasuttimessa neljässä vaiheessa. Ensimmäinen vaihe on biomassan kuivaus, missä nopean kuumennuksen seurauksena vesi höyrystyy biomassasta. Kuivatuksen jälkeen tapahtuu pyrolyysi, missä biomassan molekyylit hajoavat pienemmiksi molekyyleiksi. Kolmannessa vaiheessa pyrolyysireaktiossa syntynyt puuhiili reagoi kaasutusväliaineen ja aiemmissa vaiheissa syntyneiden kaasujen kanssa muodostaen erilaisia kaasuja kuten vetyä, hiilimonoksidia ja metaania. Kaasutuksen viimeisessä vaiheessa syntyneet kaasut reagoivat vielä keskenään ja kaasutusväliaineen kanssa. Syntyvän tuotekaasun koostumus riippuu muun muassa käytetystä kaasutusväliaineesta ja sen määrästä, reaktiolämpötilasta, kaasutinreaktorista ja käytetystä raaka-aineesta. (Basu 2013, s. 199-209; Adhikari & Abdoulmoumine 2017)

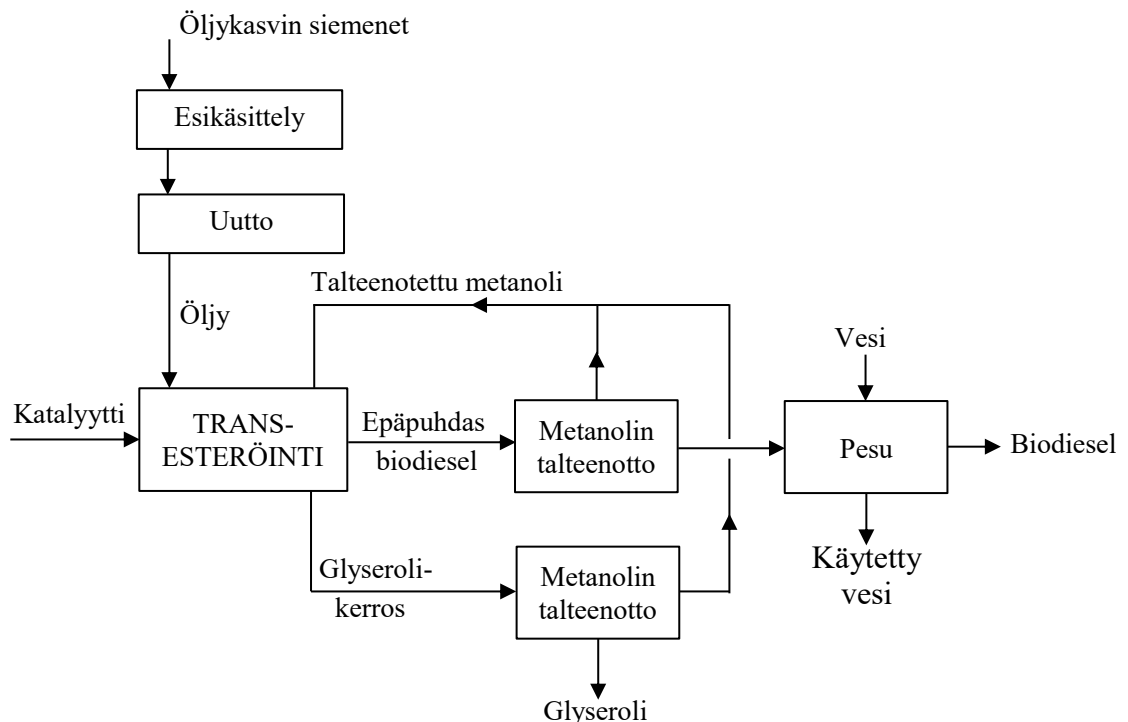
2.3.3 Transesteröinti

Transesteröinti eli vaihtoesteröinti on kemiallinen konversioprosessi, jossa kasviöljyjen triglyseridit reagoivat alkoholin kanssa muodostaen rasvahappojen alkyyliesteriä ja sivutuotteena glyserolia (H. Chum et al. 2012, s. 240). Rasvahappojen alkyyliestereitä kutsutaan myös biodieseliksi ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan dieselkoneissa tai sekoittaa fossiiliseen öljypohjaiseen dieselpolttoaineeseen (H. Chum et al. 2012, s. 240). Transesteröinti on yleisin tapa valmistaa biodieseliä ja biodieselin valmistaminen transesteröinnin avulla onkin kaupallisessa käytössä (Scragg 2009, s. 151; Issariyakul & Dalai 2014). Si-

vuotteena syntyvä glyseroli voidaan käyttää esimerkiksi kemianteollisuudessa, biokaasun raaka-aineena anaerobisessa mädätyksessä tai polttaa sellaisenaan (Scragg 2009, s. 165). Transesteröinnin raaka-aineena voidaan öljykasvien lisäksi käyttää esimerkiksi eläinrasvoja tai ruuanvalmistuksessa syntyviä jäterasvoja (Brian He et al. 2017).

Transesteröinti voi tapahtua sekä katalyytin läsnä ollessa että ilman katalyyttiä, mutta katalyytin käyttö lisää reaktionopeutta ja parantaa alkoholin liukoisuutta reaktiossa (Borugadda & Goud 2012). Katalyytteinä käytetään muun muassa alkaleita, happoja, lipaasientsyymejä ja epäorgaanisia heterogeenisiä aineita (Scragg 2009, s. 152). Yleisimmät katalyytit ovat natriummetoksidi (NaOCH_3) ja kaliummetoksidi (KOCH_3) (Brian He et al. 2017, s. 492). Transesteröintireaktiossa käytettävä alkoholi on yleensä metanolia tai etanolia (Ma & Hanna 1999). Metanolia käytetään eniten, koska sen hinta on alhaista ja sen fysikaaliset sekä kemialliset ominaisuudet, kuten lyhyt alkoholiketju ja poolisuus, sopivat hyvin transesteröintiin (Ma & Hanna 1999)

Kuvassa 5 on esitettynä öljykasvien transesteröintiprosessi. Transesteröintiin tarvittavaa kasviöljyä saadaan öljykasvien siemenistä, jotka ensin esikäsitellään, jotta muun muassa mahdolliset epäpuhtaudet saadaan poistettua siemenistä (H. Chum et al. 2012; Brian He et al. 2017, s. 488). Öljyt otetaan talteen siemenistä joko mekaanisesti puristamalla tai uuttamalla liuottimien avulla (Brian He et al. 2017).



Kuva 5. Öljykasvin transesteröinti biodieseliksi. Prosessissa käytetään katalyyttiä ja käytettävä alkoholi on metanolia. Perustuu lähteisiin (Salvi & Panwar 2012; Brian He et al. 2017).

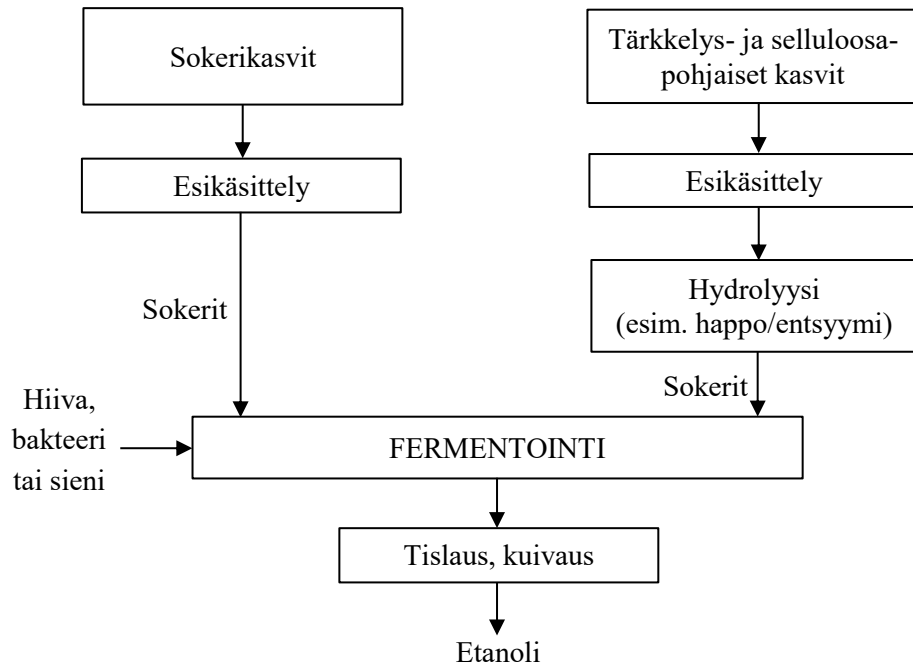
Biomassasta saatu öljy ohjataan reaktoriin, jonne syötetään öljyn lisäksi alkoholia (esimerkiksi metanolia) ja sopivaa katalyyttiä jatkuvana virtana (Brian He et al. 2017). Transesterointireaktio koostuu useista peräkkäisistä palautuvista reaktioista, joissa öljyjen triglyseridit reagoivat vaiheittain ensin diglyseridiksi, sitten monoglyseridiksi ja lopulta glyseroliksi. Samalla syntyy rasvahappojen alkyyliestereitä eli biodieseliä. (Ma & Hanna 1999) Glyseroli painuu reaktorin pohjalle, josta se siirtyy dekantterin tai sentrifugin sisältämälle erottimelle (Ma & Hanna 1999; Brian He et al. 2017). Glyseroli kerätään talteen ja siitä erotettu metanoli palautetaan takaisin reaktoriin. Biodiesel siirtyy eteenpäin metanolin talteenottoon, missä metanoli höyrytetään ja johdetaan takaisin reaktoriin uudelleen käytettäväksi. Tämän jälkeen biodiesel joko pestään vedellä tai kuivapestään käyttäen kosteutta imeviä aineita kuten magnesiumsilikaattia. Näin biodieselistä saadaan poistettua jäännösmetanoli, –glyseroli ja –katalyytti. (Brian He et al. 2017, s. 493)

2.3.4 Fermentointi

Fermentointi eli käyminen on biokemiallinen prosessi, jossa biomassan hiilihydraatit (sokerit) muutetaan alkoholeiksi, useimmiten etanoliksi, sokereita ravinnokseen käyttävien mikro-organismien muodostamien entsyymien avulla (Badger 2002; Tester et al. 2012, s. 528; Nitayavardhana & Khanal 2017b). Mikro-organismit käyttävät yleensä ravinnokseen glukoosia, minkä takia parhaita raaka-aineita fermentointiin ovat sokerikasvit (Badger 2002). Myös tärkkelys- ja selluloosapohjaisia raaka-aineita voidaan fermentoida, kunhan niiden muodostamat pitkät glukoosiketjut ensin pilkotaan (Badger 2002). Fermentoinnin lopputuotteena saadaan yleensä etanolia, jota voidaan käyttää sekä liikenteen polttoaineena että kaasuturbiineissa, mutta tutkimus- ja kehitystyötä tehdään myös esimerkiksi butanolin saamiseksi fermentointiprosessista (Viikari & Alén 2011; Tester et al. 2012).

Kuvassa 6 on esitetty selluloosapohjaisen biomassan fermentointiprosessi, joka koostuu yleensä yksinkertaistetusti neljästä vaiheesta: raaka-aineen esikäsittelystä, hydrolyysistä, varsinaisesta fermentointiprosessista ja erotuksesta (Melikoglu et al. 2016). Selluloosa- ja tärkkelyspohjaisten raaka-aineiden käsittely etanoliksi on hieman monimutkaisempi prosessi kuin sokerikasvien johtuen niiden pitkistä glukoosiketjuista. Glukoosiketjut täytyy ensin pilkkoa käymiskykyisiksi sokereiksi hydrolyysin avulla, missä hiilihydraatit hydrolysoidaan esimerkiksi erilaisten entsyymien tai happokatalyyttien avulla (Viikari & Alén 2011). Käymiskykyiset sokerit voidaan tämän jälkeen fermentoida mikro-organismien eli esimerkiksi hiivan, bakteerien tai sienien avulla (Melikoglu et al. 2016).

Lopuksi fermentointituote tislataan ja puhdistetaan, jolloin saadaan etanolia (Melikoglu et al. 2016). Fermentointireaktiossa syntyy sivutuotteena lisäksi hiilidioksidia, mikä voidaan kerätä ja käyttää juomien hiilihappottamiseen tai esimerkiksi kuivajään valmistamiseen (Scragg 2009; Nitayavardhana & Khanal 2017b). Prosessissa syntyy myös jätevettä ja -liemiä, joita voidaan hyödyntää muun muassa biokaasun valmistuksessa tai eläinten ravintona (Lampert et al. 2015; Nitayavardhana & Khanal 2017b).



Kuva 6. Sokeri- ja tärkkelys- sekä selluloosapohjaisten kasvien fermentointi bioetanoliksi. Muunneltu lähteistä (Lampert et al. 2015; Mishra & Ghosh 2016)

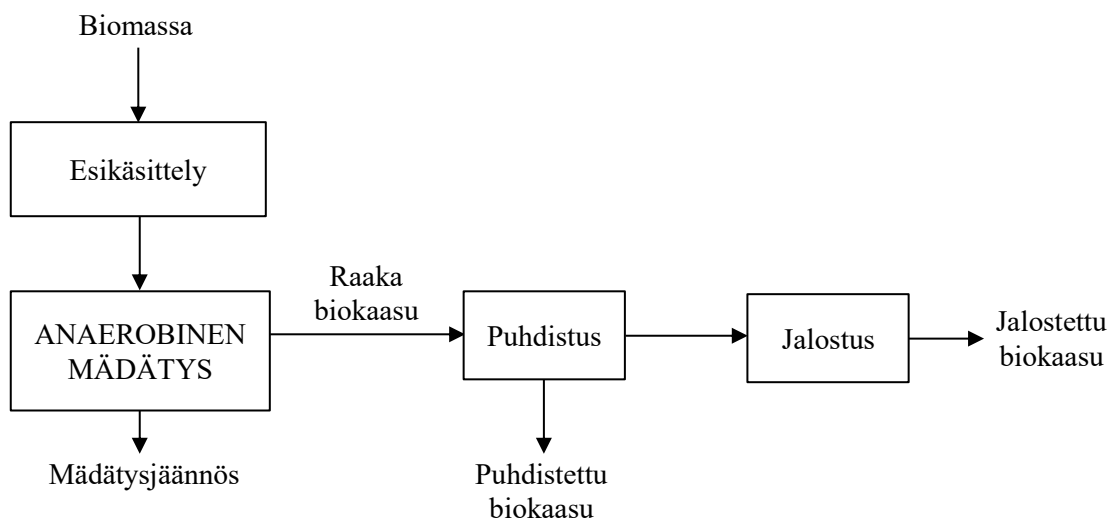
Sekä sokerikasvien että tärkkelyspohjaisten kasvinen fermentointi on tällä hetkellä laajasti kaupallisessa käytössä (Nitayavardhana & Khanal 2017b,c). Sokerikasvien biojalostus on erityisen suosittua Brasiliassa, missä fermentoinnin raaka-aineena käytetään sokeriruokoa (Nitayavardhana & Khanal 2017c), ja tärkkelyspohjaisen kasvien biojalostus Yhdysvalloissa, missä raaka-aineena käytetään yleisesti maissia (Nitayavardhana & Khanal 2017b). Selluloosapohjaisten kasvien kaupallinen biojalostus ei ole vielä yhtä laajaa kuin sokerikasvien tai tärkkelyspohjaisten kasvien (Geleynse et al. 2017). Lignoselluloosapohjaisista kasveista valmistetun bioetanolin haaste on tällä hetkellä valmistamisen kalleus (Geleynse et al. 2017).

2.3.5 Anaerobinen mädätys

Anaerobinen mädätys on biokemiallinen konversioprosessi, jossa mikro-organismit hajottavat hapettomissa olosuhteissa orgaanista ainesta muodostaen biokaasua (H. Chum et al. 2012). Biokaasu on pääosin metaanista ja hiilidioksidista muodostuva kaasuseos, joka sisältää metaania noin 50–70 % (H. Chum et al. 2012). Biokaasua voidaan myös jatkojalostaa biometaaniksi poistamalla siitä hiilidioksidi ja epäpuhtauksia, jolloin sitä voidaan käyttää samoin kuin maakaasua (Da Costa Gomez 2013). Anaerobiseen mädätykseen soveltuvia raaka-aineita ovat muun muassa kiinteät ja nestemäiset biohajoavat jätteet, ruuantuotannosta syntyvät jätevirrat, puhdistamolietteet, lanta sekä runsaslehtiset kasvit ja kasvien jäänteet (Tester et al. 2012; H. Chum et al. 2012). Ligniini ei kuitenkaan hajoa anaerobisessa mädätyksessä, joten paljon ligniiniä sisältävät raaka-aineet eivät sovellu biokaasun tuottamiseen (Tester et al. 2012; Lampinen 2015). Mädätysprosessissa syntyy

sivutuotteena mädätysjäännöstä, jota voidaan hyödyntää lannoitteena (Paavola & Kapuinen 2015). Anaerobinen mädätykseen perustuvia biokaasulaitoksia on kaupallisessa käytössä tuhansia ja myös niin kutsutut kotitalousmädättämöt ovat suosittuja erityisesti kehitysmaissa (Li & Khanal 2017).

Kuvassa 7 on esitettyä biomassan anaerobinen mädättäminen biokaasuksi. Aluksi biomassa esikäsitellään ja biopohjainen osuus raaka-aineista, esimerkiksi jätteistä, erotetaan ja syötetään suljettuihin säiliöihin, joita kutsutaan mädätys säiliöksi tai biokaasurektoireiksi (Tester et al. 2012; H. Chum et al. 2012). Säiliöiden sisällä lämpötila on noin 35-55 Celsiusta ja säiliöissä metanogeeninen bakteeri hajottaa biomassaa hapettomissa olosuhteissa muodostaen metaanipitoista kaasua (Tester et al. 2012; H. Chum et al. 2012).. Bakteeri hajottaa biomassan biokaasuksi neljässä eri vaiheessa, jotka ovat suurien orgaanisten molekyylien hajoaminen eli hydrolyysi, erilaisten happojen muodostuminen mikrobien fermentoinnin kautta, anaerobinen hapettuminen ja metaanin muodostuminen (Kymäläinen 2015).



Kuva 7. Biomassan anaerobinen mädätysprosessi. Pohjautuu lähteisiin (Bochmann & Montgomery 2013; Lampinen & Rautio 2015).

Raaka biokaasu sisältää metaanin ja hiilidioksidin lisäksi noin 2-8 % muita kaasuja, kuten rikkivetyä, ammoniakkia ja vetyä, jotka voivat biokaasun käytössä aiheuttaa haitallisia päästöjä ympäristöön (Da Costa Gomez 2013; Lampinen & Rautio 2015). Tämän takia biokaasu tulee puhdistaa ennen sen käyttöä. Puhdistettua biokaasua käytetään sellaisenaan yleensä lämmön ja sähkön tuotantoon tai sitä voidaan vaihtoehtoisesti jatkojalostaa. Jalostuksessa biokaasun energiasisältöä pyritään kasvattamaan lisäämällä metaanin osuutta kaasussa. Jalostettua biokaasua käytetään yleisimmin liikenteen polttoaineena, vaikka sitä voi käyttää myös sähkön- ja lämmöntuotantoon. (Lampinen & Rautio 2015)

3. BIOENERGIAN KÄYTTÖ

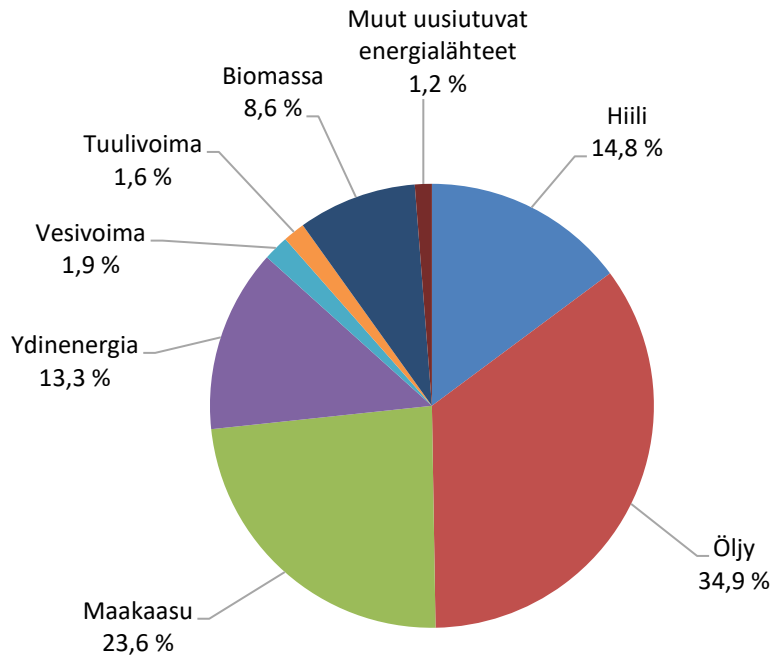
Bioenergiaa on käytetty kauan energianlähteenä. Aina 1800 – luvulle asti bioenergia oli tärkein energiamuoto, kunnes hiili syrjäytti sen. (Tester et al. 2012) Bioenergiaan käytetään korvaamaan fossiilisten energianlähteiden käyttöä ja vähentämään fossiilisista polttoaineista aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Bioenergian käyttöön kannustavat kansalliset ja kansainväliset ilmastotavoitteet kuten tavoitteet uusiutuvan energian käytön lisäämisestä ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. Tässä luvussa kerrotaan, miten bioenergiaa tällä hetkellä käytetään erityisesti Suomessa, millaisia tulevaisuuden tavoitteita bioenergian käytön suhteen on sekä millaiset ilmastotavoitteet ja – sopimukset vaikuttavat bioenergian käyttöön.

3.1 Bioenergian käyttö Suomessa

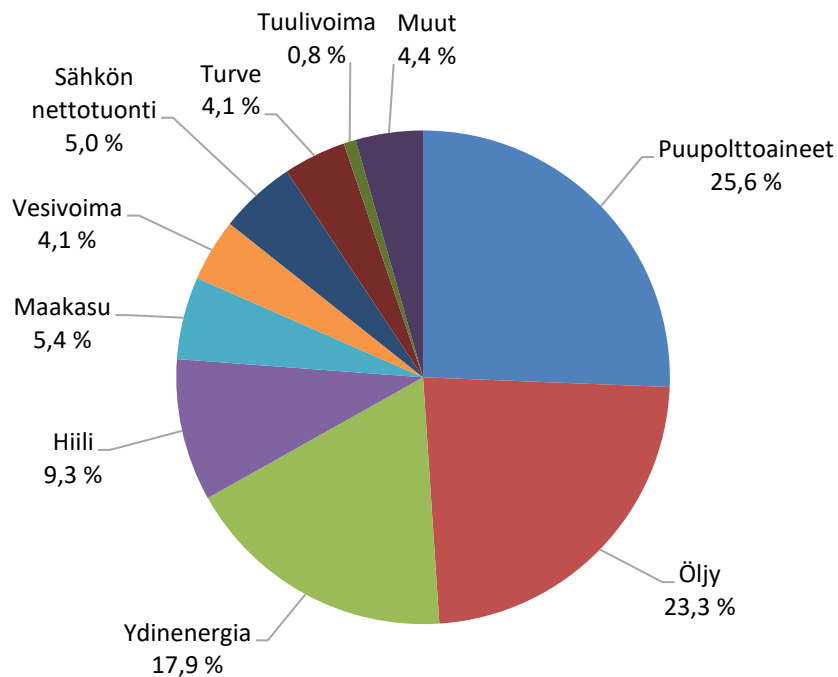
Suomessa on pitkät perinteet biomassan ja erityisesti metsäbiomassan hyödyntämisessä. Puuta on hyödynnetty Suomessa paljon ennen teollistumisen aikaa muun muassa lämmityksessä, ruuanlaitossa, rakentamisessa ja maaperän kaskeamisessa (Seppälä et al. 2015, s. 8). Suomen ensimmäiset teolliset tuotteetkin olivat puulaivoja, jotka suojattiin tervalla (Suomen biotalousstrategia 2014). Metsien käyttö lisääntyi 1900-luvulle tultaessa, kun saha- ja massateollisuus alkoivat kehittyä ja puuta alettiin käyttää paperin ja sellun valmistamiseen (Suomen biotalousstrategia 2014; Seppälä et al. 2015, s. 8). Biomassalla ja erityisesti puulla on ollut tärkeä merkitys Suomelle ja puuta on hyödynnetty Suomessa myös energiatuotannossa jo pitkään. Bioenergian osuus energiatuotannosta onkin ollut Suomessa korkea verrattuna muihin valtioihin (Suomen biotalousstrategia 2014).

Globaalisti bioenergia on tärkein uusiutuva energialähde. Vuonna 2013 bioenergia kattoi 14 % energian kokonaisloppukulutuksesta maailmalla, mikä oli noin 78 % kaikesta maailmalla kulutetusta uusiutuvasta energiasta. (WBA 2016) Bioenergiaa enemmän maailmalla käytetään energiantuottamiseen hiiltä, öljyä ja maakaasua. Yli puolet bioenergian käytöstä on niin sanottua perinteistä käyttöä, mikä tarkoittaa yleensä paikallisen kiinteän biomassan tehotonta käyttöä esimerkiksi ruuan laittoon ja lämmitykseen (International Energy Agency 2017).

Myös Euroopan Unionin alueella bioenergialla on tärkeä rooli. Kuvassa 8 on esitettyä energian kokonaiskulutus Euroopan Unionissa energialähteittäin vuonna 2016. Kyseisenä vuonna noin 9 % energiankulutuksesta katettiin biopohjaisilla polttoaineilla. Samalla biomassalla tuotettu energia oli Euroopan Unionin tärkein uusiutuvan energian lähde. Vuonna 2014 biopohjaisilla polttoaineilla tuotettu energia oli Euroopan Unionin alueella 73 % lämmöntuotantoa, 14 % sähköntuotantoa ja 13 % liikenteen biopolttoaineita (AE-Biom 2016).



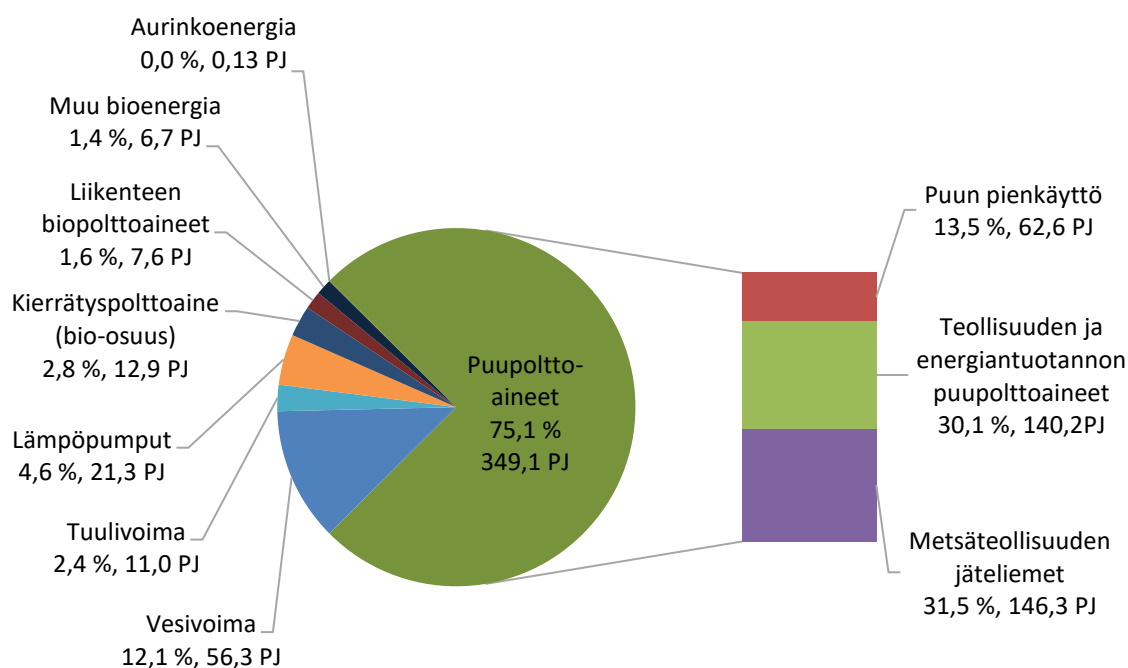
Kuva 8. *Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Euroopan Unionin alueella vuonna 2016 (Eurostat 2018)*



Kuva 9. *Energian kokonaiskulutus energialähteittäin Suomessa vuonna 2016 (Tilastokeskus 2017a)*

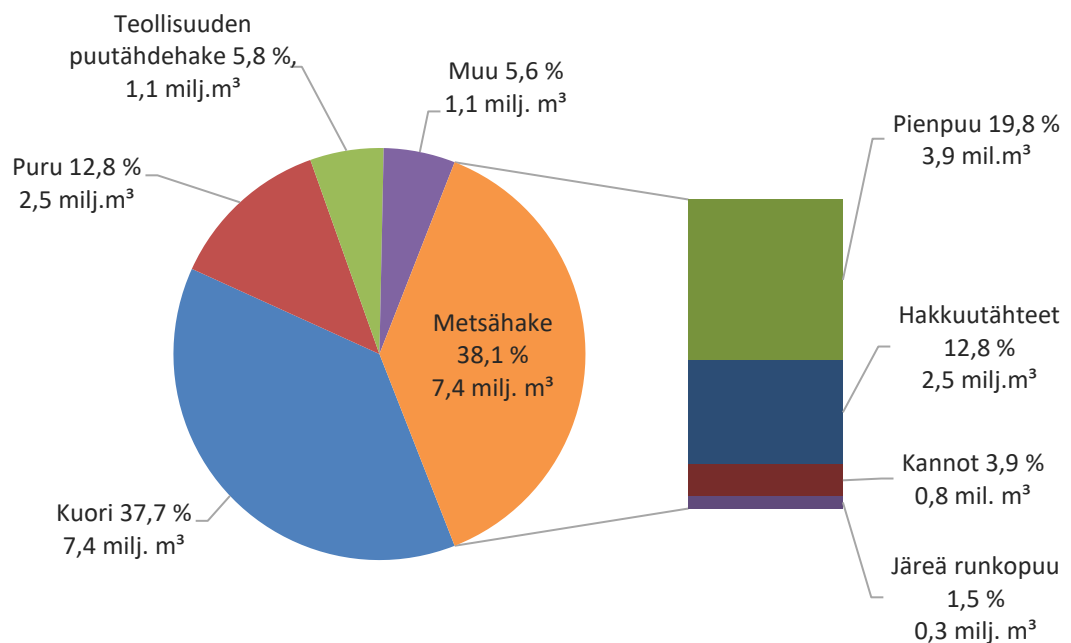
Suomessa käytettiin vuonna 2016 energiaa yhteensä 1 362 petajoulea (PJ) (Tilastokeskus 2017a). Kuvassa 9 on kuvattuna energian kokonaiskulutus Suomessa samana vuonna energialähteittäin. Kuvasta nähdään, että käytetyin energialähde Suomessa on puupolttoaineet, jotka muodostivat neljänneksen energian kokonaisloppukulutuksesta vuonna 2016.

Vuonna 2016 Suomessa energian kokonaiskulutuksesta 465,1 PJ eli 34,1 % muodostui uusiutuvien energialähteiden käytöstä (Tilastokeskus 2017c). Kuten kuvasta 10 havaitaan, puupolttoaineet ovat myös Suomen tärkein uusiutuva energialähde. Puupolttoaineista tärkeimmät ovat metsäteollisuuden jäteliemet kuten mustalipeä sekä teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet kuten hake, sahapuru ja kuori (Koponen et al. 2015, s. 7). Puun pienkäyttö tarkoittaa lähinnä asuntojen, maatalous- ja palvelurakennusten lämmittämistä polttopuilla tai pelleillä (Koponen et al. 2015, liite 1). Liikenteen biopolttoaineet muodostivat vain 1,4 % uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutuksesta vuonna 2016.



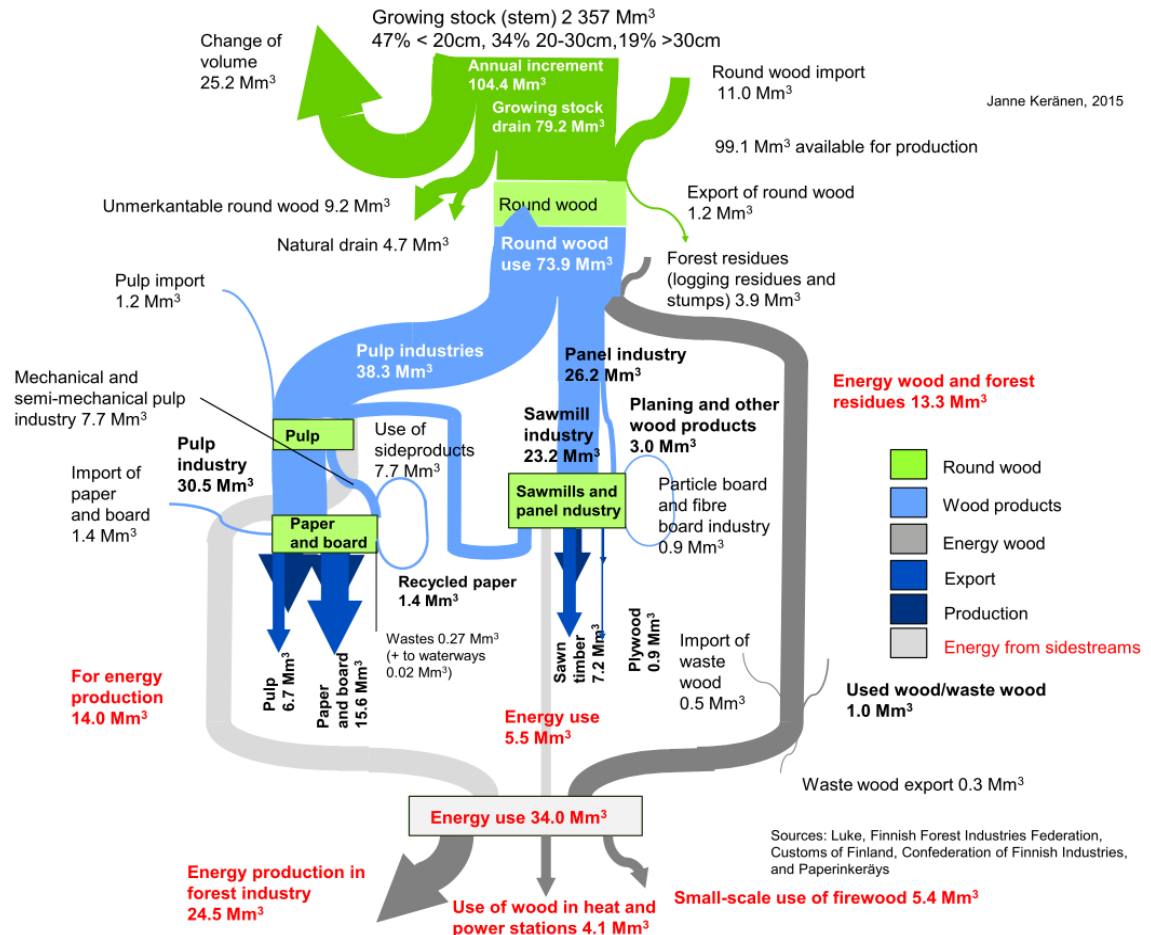
Kuva 10. Uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2016 (Tilastokeskus 2017c)

Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet jakautuvat pääsääntöisesti kahteen osaan riippuen siitä, onko raaka-aine teollisuuden sivutuotepuuta vai metsähaketta, joka saadaan metsänhoidosta. Kuvassa 11 teollisuuden sivutuotepuuta ovat kuori, puru ja teollisuuden puutähdehake, jotka muodostavat noin 56 % lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä biopohjaisesta raaka-aineesta. Metsähakkeesta tärkeimmät raaka-aineet ovat pienpuu sekä hakkuutähteet. Kuvasta 11 havaitaan myös, että vain 1,5 % lämpö- ja voimalaitosten käyttämistä kiinteistä biopolttoaineista on järeää runkopuuta. (Luonnonvarakeskus 2018)



Kuva 11. Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden biopolttoaineiden käyttö Suomessa vuonna 2016 (Luonnonvarakeskus 2018a)

Puu on siis tärkein bioenergian raaka-aine Suomessa. Kuvassa 12 on esitetty puun käyttö kokonaisuudessaan Suomessa vuonna 2013. Energiakäyttöön menevä puu on merkitty kuvaan punaisella värillä ja kuvassa ei ole huomioitu puuvirtoja, joiden suuruus on pienempi kuin 0,3 miljoonaa kuutiometriä.



Kuva 12. Suomen puuvirrat vuonna 2013. Puun energiakäyttö on merkitty punaisella. Puuvirtoja, jotka ovat pienempiä kuin 0,3 Mm³, ei ole merkitty kuvaan. Kuva lähteestä (Alakangas et al. 2015), joka perustuu lähteeseen (Sokka et al. 2015).

Kuvasta 12 havaitaan, että vaikka puu on tärkeä energialähde Suomessa, energiakäyttö on kuitenkin vain noin kolmasosa koko puunkäytöstä vuosittain. Kuvasta nähdään myös, että suurin osa energiakäyttöön menevästä puusta on peräisin teollisuuden sivuvirroista tai hakkuutähteistä ja pienempi osa on puun suoraa energiakäyttöä. Metsää käytetään Suomessa siis ensisijaisesti muihin tarkoituksiin kuin energiantuotantoon. Suomen puun käyttö eroaa merkittävästi puun käytöstä Euroopassa keskimäärin, koska Suomessa puuta käytetään vähemmän suoraan energianlähteenä ja enemmän selluteollisuudessa (Koponen et al. 2015).

3.2 Bioenergian käyttöön vaikuttavia ilmastotavoitteita

Valtioiden bioenergiatoimille asettaa raamit niin kansainväliset kuin kansalliset ilmastopöytäkirjat ja -tavoitteet. Suomen valtion bioenergian käyttöön kansainvälisistä sopimuksista vaikuttavat Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi eli RES-direktiivi sekä kansainväliset ilmastopöytäkirjat, kuten Kioton pöytäkirja ja Pariisin ilmastopöytäkirja. Näiden lisäksi Suomella on myös oma Ilmastolaki, jossa asetetaan pitkän aikavälin ilmastotavoitteita. Kansainvälisissä sopimuksissa asetetaan tavoitteita valtioille sekä uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi että kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

3.2.1 Uusiutuvien energialähteiden lisäämistavoitteet

Bioenergian käyttöön vaikuttaa Euroopan Unionin (EU) tasolla ”Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi” eli RES-direktiivi (RES-Direktiivi 2009). RES-direktiivissä on määritelty Euroopan Unionin jäsenvaltioiden uusiutuvien energialähteiden käytön tavoitteeksi 20 % energian kokonaisloppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi vuoteen 2020 mennessä jokaisessa jäsenvaltiossa liikennesektorilla käytettävästä energiasta vähintään 10 % tulisi olla uusiutuvista energialähteistä. RES-direktiivi sisältää koko Euroopan Unionin yhteisten tavoitteiden lisäksi kansalliset uusiutuvan energian käyttötavoitteet jokaiselle jäsenvaltiolle. Suomelle tavoite on 38 % energian kokonaisloppukulutuksesta vuonna 2020 (RES-Direktiivi 2009, liite 1a). Suomi saavutti tämän tavoitteensa jo vuonna 2014, kun uusiutuvien energialähteiden osuus energian kokonaisloppukulutuksesta oli Suomessa 38,7 % (Ympäristöministeriö 2016). Euroopan Unioni on sitoutunut myös Eurooppa-neuvoston päätöksellä lisäämään uusiutuvan energian osuutta energian kokonaisloppukulutuksesta 27 % koko EU:n tasolla vuoteen 2030 mennessä (Eurooppa-neuvosto 2014; Ympäristöministeriö 2016).

RES-direktiivissä on bioenergian käytön kannalta huomionarvoista myös biopolttoaineita ja bionesteitä koskevat kestävyyskriteerit, joissa määritellään, millaisissa tilanteissa biopolttoaineiden ja bionesteiden tuotanto on kestävä. Jotta biopolttoaineista ja bionesteistä peräisin oleva energia voidaan huomioida uusiutuvan energian käytön kansallisissa tavoitteissa, uusiutuvan energian velvoitteiden täyttymisessä ja tukielpöytäkirjoissa, tulee biopolttoaineiden ja – nesteiden täyttää kestävyyskriteerit (RES-Direktiivi 2009, 17 artikla).

3.2.2 Kasvihuonekaasujen päästövähennykset

Myös kansainväliset ja Euroopan Unionin sopimukset kasvihuonepäästöjen vähentämisestä vaikuttavat bioenergian käyttöön. Yhdistyneiden Kansakuntien (YK) ilmastonmuutosta koskevan puitesopimuksen Kioton pöytäkirja laadittiin vuonna 1997 ja siinä teollisuusmaat sitoutuivat vähentämään kuuden kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi fluorihilivety, perfluorihilivety ja rikkiheksafluoridi) päästöjen määrää. Vuonna 2012 vähennettäviin kasvihuonekaasuihin lisättiin typpitrifluoridi. Tällä hetkellä meneillään olevalla kaudella sopimuksen osapuolet ovat sitoutuneet vähentämään kasvihuonepäästöjä vähintään 18 % suhteessa vuoden 1990 tasoihin. Meneillään oleva kausi kattaa vuodet 2013–2020. (EUR-Lex 2018) Euroopan Unionin jäsenvaltiot yhdessä Islannin kanssa ovat kuitenkin ottaneet tavoitteeksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä enemmän kuin ilmastopöytäkirjassa vaaditaan eli 20 % verrattuna vuoteen 1990. Vähennykset pyritään tekemään pääsääntöisesti Euroopan Unionin päästökauppajärjestelmän kautta, mutta sen ulkopuolelle jäävät päästövähennysvelvoitteet on jyvitetty jäsenvaltioille. Suomelle on asetettu velvoitteeksi vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä ei-päästökauppasektorilta 16 % vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoteen 2005. (Huttunen 2017)

YK:n Pariisin ilmastopöytäkirja hyväksyttiin vuonna 2015 ja se astui voimaan vuoden 2016 lopussa. Pariisin sopimus koskee vuoden 2020 jälkeistä aikaa ja sen tavoitteena on pysäyttää ilmaston lämpeneminen alle 2 °C verrattuna esiteolliseen aikaan. Pariisin sopimus ei kuitenkaan velvoita sopimuksessa mukana olevia valtioita tiettyihin kasvihuonepäästövähennyksiin, mutta se velvoittaa valtioita valmistelevaan, tiedottamaan ylläpitämään sekä saavuttamaan kansallisia päästövähennystavoitteita. (Huttunen 2017) EU:n ja sen jäsenvaltioiden tavoitteena on vähentää Eurooppa-neuvoston päätöksellä kasvihuonekaasupäästöjä EU:n sisäisesti vuoteen 2030 mennessä 40 % verrattuna vuoteen 1990 (Eurooppa-neuvosto 2014; Huttunen 2017). Päästökauppajärjestelmään kuuluvilta sektoreilta odotetaan 43 % kasvihuonekaasupäästövähennyksiä ja päästökauppajärjestelmään kuulumattomilta sektoreilta 30 % vähennyksiä vuoden 2005 päästötasoon verrattuna (Eurooppa-neuvosto 2014).

Kansainvälisten ja Euroopan Unionin kasvihuonekaasujen päästövähennysten lisäksi valtiolla on omia lakeja, joissa määritellään kansallisia päästövähennystavoitteita. Suomessa tuli kesäkuussa 2015 voimaan ilmastolaki, jossa Suomelle on asetettu tavoite, että kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt vähentyvät 80 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 päästömääriin (Ilmastolaki 2015).

3.3 Bioenergian kasvihuonekaasulaskenta

Yhdistyneiden Kansakuntien vuonna 1992 solmitussa ilmastopöytäkirjassa on velvoitettu sopimuksen allekirjoittaneita maita seuraamaan ja raportoimaan maan kasvihuone-

kaasupäästöjä (Tilastokeskus 2017b). Vuosittain sopimuksen puitteissa raportoitavia kasvihuonekaasupäästöjä ovat hiilidioksidi (CO₂), dityppioksidi (N₂O), metaani (CH₄) ja eräät fluoratut kasvihuonekaasut (perfluorihilivety, rikkiheksafluoridi, fluorihilivety ja typpitrifluoridi) (Tilastokeskus 2017b; Statistics Finland 2018, s. 16). Raportit kasvihuonekaasupäästöistä toimitetaan YK:n ilmastopimuksen sihteeristölle ja Euroopan Unionin valtioissa myös Euroopan Unionin komissiolle (Tilastokeskus 2017). Kasvihuonekaasupäästöt ja – poistumat raportoidaan viidessä sektorissa, joita ovat energia, teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö, maatalous, maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous sekä jäte (Statistics Finland 2018, s. 10).

Bioenergian kasvihuonekaasupäästöjen kannalta olennainen sektori on maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous eli niin kutsuttu LULUCF – sektori. Biomassan poltossa vapautuvia CO₂ – päästöjä ei siis lasketa mukaan energiasektorin päästöihin, vaan ne lasketaan LULUCF – sektorilla. Biomassan energiakäytössä syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt sen sijaan sisällytetään energiasektorin päästöihin. Puun poltossa aiheutuvat hiilidioksidipäästöt raportoidaan siis syntyväksi silloin kun puu hakataan eikä polttohetkellä. Näin vältetään tilanne, jossa biomassan energiakäytöstä aiheutuva hiilidioksidipäästö laskettaisiin kahdesti. (Gómez et al. 2006)

LULUCF – sektorilla voidaan raportoida sekä kasvihuonekaasupäästöjä että – poistumia. Kasvihuonekaasupäästöpoistumat tarkoittavat LULUCF – sektorilla hiilidioksidin sitoutumista ilmakehästä erilaisiin hiilivarastoihin, kuten maaperään tai puihin. Jos hiilidioksidia sitoutuu hiilivarastoihin enemmän kuin niitä vapautuu, muodostuu hiilivarastosta hiilinielu. Jos taas hiilidioksidia vapautuu enemmän kuin sitoutuu, on hiilivarasto hiilen lähde. Suomessa metsät ovat suurin hiilinielu eli puuston kasvu sitoo itseensä enemmän hiilidioksidia ilmakehästä kuin maankäytön muutoksista eli tässä yhteydessä metsien hakkuusta tai puuston luonnollisen poistuman kautta vapautuu ilmakehään. (Tilastokeskus 2017b)

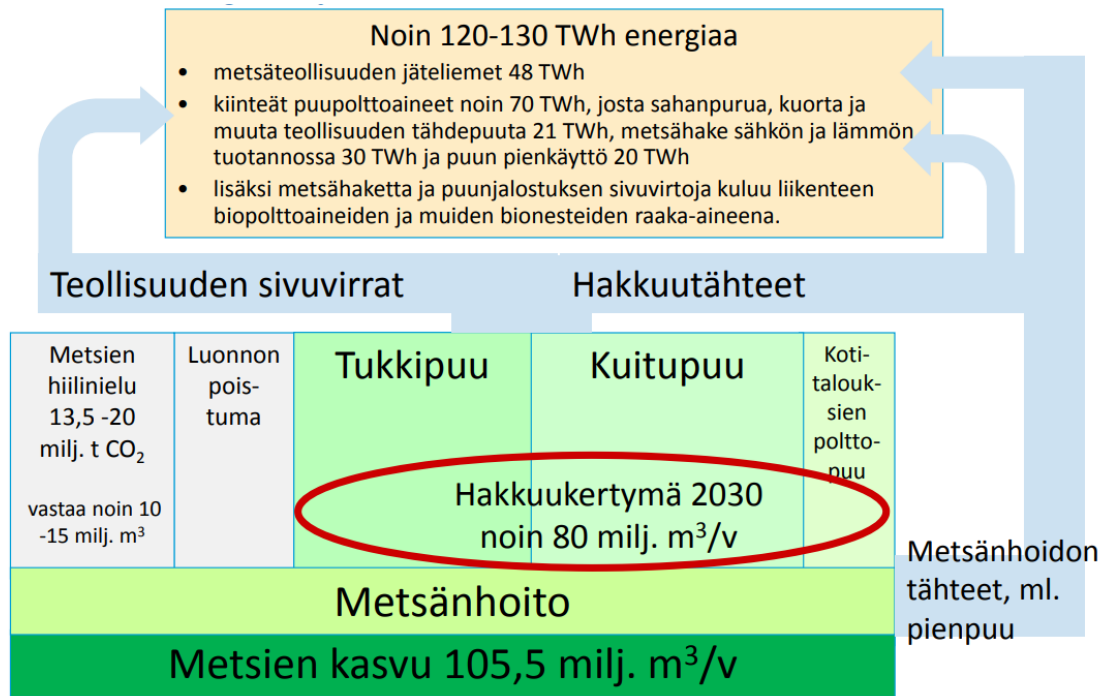
3.4 Bioenergian käytön tulevaisuus Suomessa

Bioenergian käytöstä tulevaisuudessa on linjattu valtion tasolta erityisesti valtioneuvoston selonteossa kansallisesta energia- ja ilmastostrategista vuoteen 2030 (Huttunen 2017), energia- ja ilmastokomitean mietinnössä ”Energia- ja ilmastotiekartta 2050” (Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014) sekä työ- ja elinkeinoministeriön toimittamassa bioenergiastrategiassa (Suomen biotalousstrategia 2014). Energia- ja ilmastotiekartassa esitellään ja arvioidaan mahdollisia keinoja saavuttaa vähähiilinen yhteiskunta vuoteen 2050 mennessä. Energia- ja ilmastostrategiassa taas linjataan konkreettisia toimia, joilla kansalliset sekä kansainväliset ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Biotalousstrategiassa linjataan Suomen tavoitteita liittyen biotalousliiketoiminnan kehittämiseen.

Energia- ja ilmastotiekartassa (Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014) pohditaan erilaisia vaihtoehtoja saavuttaa vuoteen 2050 mennessä vähähiilinen Suomi, jonka

kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet 80–95 % verrattuna vuoteen 1990. Tiekartassa nähdään välttämättömäksi kotimaisen bioenergian maksimaalinen käyttö ja biopolttoaineiden lisääntyvä käyttö liikennepolttoaineena, jotta päästövähennystavoitteet voidaan saavuttaa. Tiekartassa metsäbiomassan roolina nähdään tulevaisuudessa korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä erityisesti sähkön ja lämmöntuotannossa. Biopohjaisten liikennepolttoaineiden raaka-aineina käytetään tulevaisuudessa metsäbiomassan lisäksi pelto- ja metsäbiomassaa, jätteitä sekä erilaisia sivuvirtoja ja raaka-aineiden tulee mahdollisuuksien mukaan olla kotimaisia. Tiekartassa epäillään myös, että jos biomassan käyttö ei enää tulevaisuudessa ole nollapäästöistä kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa tai jos hiilidioksidin talteenottomenetelmät (CCS) eivät kaupallistu, ei Suomi käytännössä pysty saavuttamaan 80–95 % päästövähennystavoitteita.

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa selonteossa kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 (Huttunen 2017) on useita bioenergian käyttöön vaikuttavia poliittisia linjauksia tulevaisuutta ajatellen. Tärkeimmät tavoitteet bioenergian kannalta strategiassa ovat uusiutuvan energian käytön lisääminen yli 50 % energian loppukulutuksesta, kivihiilen energiakäytöstä luopuminen, liikenteen biopolttoaineiden osuuden nostaminen 30 prosenttiin sekä biokaasun tuotannon ja käytön kasvaminen. Strategiassa suunnataan katseita myös pidemmälle tulevaisuuteen, jolloin tavoitteena on 100 prosenttisesti uusiutuviin energialähteisiin pohjautuva energiajärjestelmä. Tällaisessa energiajärjestelmässä bioenergialla on strategian mukaan tärkeä rooli erityisesti energiantuotannossa kulutushuippujen aikaan. Tavoitteena strategian mukaan on, että biomassan käyttö korvaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja biomassaa on kestävästi tuotettua. Tavoitteena on myös, että biomassan energiakäyttö pohjautuu pääasiassa teollisuuden sivutuotteisiin, jätteisiin ja tähteisiin, joita ei voida hyödyntää esimerkiksi puunjalostuksessa. Tämä on nähtävissä myös kuvassa 13, josta havaitaan, että bioenergian tuottamiseksi käytettävä biomassaa on vuonna 2030 peräisin pääasiassa teollisuuden sivuvirroista, hakkuutähteistä sekä metsänhoidon tähteistä.



Kuva 13. Puun energiakäyttö vuonna 2030 Energia- ja ilmastostrategian mukaan (Huttunen 2017, s. 114)

Kuvasta 13 havaitaan myös, että bioenergian käyttöä on tarkoitus lisätä tulevaisuudessa. Vuonna 2030 bioenergiaa käytetään arviolta 120–130 terawattituntia (TWh), kun vuonna 2016 puupohjaisten polttoaineiden käyttö oli yhteensä 97 TWh. Myös taulukosta 3 havaitaan bioenergian käytön lisääntyminen tulevaisuudessa puupolttoaineiden kohdalla. Taulukon arvot on saatu energia- ja ilmastostrategian valmistelussa tehdyistä skenaariolaskennoista. Bioenergian käytöllä saadaan taulukon mukaan lisättyä energiantuotannon omavaraisuusastetta, vähennettyä öljyn ja kivihiilen käyttöä sekä vastattua energian kokonaiskysynnän kasvuun yhdessä ydinenergian kanssa. Taulukon 3 perusskenaarion laskennassa on huomioitu vain jo päätetyt toimenpiteet energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi ja politiikkaskenaariossa laskentaan on otettu mukaan myös energia- ja ilmastostrategiassa linjattavat uudet toimet.

Taulukko 3. *Energian kokonaiskulutus ja loppukulutus vuosina 2010, 2015, 2020 ja 2030 energia- ja ilmastostrategian mukaan perusskenaariossa ja politiikkaskenaariossa (Huttunen 2017, s. 116)*

2015e = tilastoennakko

TWh	Tilasto		Perusskenaario		Politiikkaskenaario	
	2010	2015e	2020	2030	2020	2030
Öljy, sis. biokomponentin	97	87	81	77	79	73
Kivihiili	40	17	15	7	15	3
Koksi, masuuni- ja koksikaasu	12	12	16	18	16	18
Maakaasu	41	22	27	22	27	23
Ydinenergia	66	68	106	123	106	123
Sähkön nettotuonti	11	16	3	2	3	1
Vesivoima	13	17	14	15	14	15
Tuuli- ja aurinkoenergia	0	2	5	7	5	9
Turve	27	15	20	15	20	15
Puupolttoaineet	90	93	104	118	104	121
Muut	10	14	16	18	16	18
Energian kokonaiskulutus yhteensä	407	361	408	420	406	418
Energian loppukulutus	318	297	313	316	311	314

(2014)

Suomen kansallisessa biotalousstrategiassa (Suomen biotalousstrategia 2014) pyrkimyksenä on luoda uutta talouskasvua ja työpaikkoja biotalouteen liittyvällä liiketoiminnalla turvaten samalla luonnon ekosysteemien säilyminen. Tavoitteena on, että suomalaisella biotalousliiketoiminnalla pystytään tarjoamaan ratkaisuja globaaleihin ongelmiin ja synnyttämään sekä kansallisesti että kansainvälisesti uutta yritystoimintaa, joka tuo hyvinvointia Suomelle. Suomen metsät ovat biotalousstrategian mukaan tärkeä biotalouden mahdollistaja tulevaisuudessa. Bioenergian käyttö linkittyy vahvasti tähän biotalousajatteluun ja biotalousstrategiainkin perusteella bioenergialla nähdään tärkeä rooli Suomessa tulevaisuuden energiantuotannossa.

4. ERILAISIA VÄITTEITÄ JA ARGUMENTTEJA BIOENERGIASTA

Bioenergian käyttö on aiheuttanut viime aikoina paljon keskustelua ja aiheesta on julkaistu useita artikkeleita ja kannanottoja. Tässä luvussa kerätään yhteen erilaisia väittämiä ja argumentteja, joita bioenergian käytöstä esitetään. Väittämien ja argumenttien keuussa käytetään hyväksi artikkelianalyysiä, jossa valituista julkaisuista poimitaan väittämät ja perustelut, joilla bioenergian käyttöä puolustetaan ja vastustetaan. Tarkemmin analyysiin valittuja julkaisuja ja niiden valintaperusteita käsitellään luvussa 4.1. Jokainen artikkeli ja siitä löytyvät väittämät käydään läpi omassa alaluvussaan luvusta 4.2. eteenpäin. Luvussa 4.3 kaikki julkaisuissa esille tulleet väittämät ja argumentit kerätään yhteen, jäsennellään ja luokitellaan aihepiireittäin. Väittämien ja argumenttien joukosta tunnistetaan ne, jotka aiheuttavat voimakkaimpia näkemyseroja keskustelun eri osapuolien välille. Voimakkaimmat näkemyserot esitellään luvussa 4.4. ja niitä käsitellään tarkemmin luvussa 5.

4.1 Käytetty aineisto

Väittämiä bioenergian käytöstä ja perusteluja näkemyksille kerätään tässä diplomityössä kuudesta eri julkaisuista. Käytettyjen julkaisujen valinnassa on kiinnitetty erityisesti huomiota siihen, että ne käsittelevät aihetta laaja-alaisesti ja monipuolisesti. Näin erilaisia näkemyksiä bioenergian käytöstä saadaan kerättyä mahdollisimman paljon ja erilaisista näkökulmista. Artikkelianalyysiin haluttiin mukaan julkaisu, joka kokoaa yhteen molempia näkökulmia, julkaisu, jossa keskitytään bioenergian käytön puolustamiseen sekä julkaisu, jossa bioenergian käyttöön suhtaudutaan kriittisemmin. Samalla haluttiin saada mukaan näkemyksiä sekä kotimaisesta että kansainvälisestä keskustelusta, joten osa valituista julkaisuista on Suomesta ja osa kansainvälisistä lähteistä. Julkaisujen valinnassa kiinnitettiin huomiota myös siihen, että ne käsittelevät erityisesti metsistä saatavan biomassan käyttöä energiantuotannossa. Analyysiin valittavien julkaisujen yksi valintakriteeri oli niiden julkaisuajankohta, koska analyysiin haluttiin mukaan mahdollisimman tuoreita julkaisuja.

Ensimmäiset kaksi julkaisua ovat valtamedian artikkeleita, joissa kerätään yhteen sekä bioenergian käyttöä puolustavien että kriittisemmin suhtautuvien näkökulmia. Ensimmäinen artikkeli on Ylen verkkosivuilla marraskuussa 2017 julkaistu artikkeli ”Goodbye kuukkelimetsä: Hakkuukiistat palasivat Suomeen, kun biotalous jauhaa puuta rahaksi” (Toivonen 2017). Toinen artikkeli on MustRead – verkkolehdestä lokakuussa 2017 julkaistu artikkeli ”’Kaukopartiomiehiä ja maanpettureita’ – Miksi metsien käytöstä taistellaan nyt Euroopassa ja kotona” (Säntti 2017). MustRead – verkkolehti on suunnattu erityisesti Suomen keskeisimmille päättäjille ja vaikuttajille sekä yhteiskunnallisista asioista

kiinnostuneille lukijoille. Sekä Toivosen (2017) että Sántin (2017) artikkelit on valittu analyysiin mukaan, koska ne käsittelevät molempia näkökulmia sekä väittämiä ja vasta-väittämiä niille. Samalla saadaan kerättyä väittämiä ja perusteluja, joita valtamedia aiheesta esittelee ja jotka ovat esillä julkisessa keskustelussa.

Kolmas julkaisu on Euroopan ja Keski-Aasian BirdLife -järjestön sekä Transport & Environment – järjestön julkaisema pamfletti ”The Black Book of Bioenergy – Good Intentions Gone Bad” (Aalto et al. 2016), jossa keskitytään erityisesti bioenergian käytön negatiivisiin puoliin. BirdLife -järjestön tavoitteena on suojella luonnonvaraisia lintuja, niiden elinympäristöjä ja biodiversiteettiä maailmanlaajuisesti (BirdLife Europe and Central Asia 2018). Transport & Environment – järjestö taas ajaa ympäristöystävällisemmän liik-kumisen asiaa Euroopan Unionissa. Järjestön tavoitteena on muun muassa vähentää lii-kenteen kasvihuonekaasupäästöjä, ilmansaasteita ja meluhaittoja. (Transport & Environ-ment 2018) Tämä pamfletti on valittu analyysiin mukaan, koska siinä tuodaan ilmi lähes ainoastaan bioenergian käyttöä kritisoivia väitteitä ja argumentteja luonnonsuojelujärjes-töjen näkökulmasta.

Kolme viimeistä analysoitavaa julkaisua liittyvät kaikki toisiinsa. Ensimmäinen julkaisu on bioenergian käyttöä kritisoiva raportti ”Woody Biomass for Power and Heat – Impacts on the Global Climate” (Brack 2017), jonka on julkaissut Chatham House – niminen eng-lantilainen ajatushautomo. Kaksi seuraavaa julkaisua ovat vastineita tähän raporttiin. Chatham House – ajatushautomon tavoitteena on tuottaa riippumattomia kriittisiä analyy-seja erilaisista globaaleista sekä alueellisista haasteista ja mahdollisuuksista. Analyysien kohderyhmänä ovat johtajat ja poliitikot valtionhallinnosta, yksityiseltä sektorilta ja kan-salaisjärjestöistä. (Chatham House 2018) Raportin kirjoittajalla Duncan Brackilla on pitkä työhistoria kestävän kehityksen, energiantuotannon ja ympäristön saralla (Brack 2018).

Ensimmäinen vastine Chatham Housen raporttiin on International Energy Agency Bio-energyn (IEA Bioenergy) julkaisema (Cowie et al. 2017) ja toinen World Bioenergy As-sociationin (WBA) (2017) julkaisema. IEA eli kansainvälinen energiajärjestö on asian-tuntijajärjestö, jonka tarjoaa tietoa ja tutkimusta valtiohallinnoille ja yrityksille liittyen energia-asioihin. IEA Bioenergy on kansainvälisen energiajärjestön alajärjestö, joka on erikoistunut jakamaan tietoa bioenergiasta ja parantamaan tutkijoiden, valtiohallintojen ja teollisuuden yhteistyötä liittyen bioenergian hyödyntämiseen. (IEA Bioenergy 2018) WBA taas on globaali järjestö, jonka missiona on edistää bioenergian käyttöä kansainvä-lisesti kestäväällä ja tehokkaalla tavalla sekä tukea bioenergiayhtiöiden liiketoimintaym-päristöä. WBA:n jäsenet koostuvat bioenergiajärjestöistä, instituutioista, yrityksistä sekä yksityishenkilöistä. (World Bioenergy Association 2018)

Chatham Housen raportti ja kaksi vastinetta siihen on valittu analysoitavaksi sen takia, että niistä saadaan kerättyä hyvin argumentteja ja vasta-argumentteja bioenergian käyttöä kohtaan. Vastineista saadaan myös kerättyä erityisesti väittämiä ja argumentteja, joita

bioenergian puolustajat käyttävät. Kyseiset julkaisut tuovat esille myös tiedeyhteisön debattia aiheesta, kun aiemmat julkaisut ovat tuoneet esille enemmän mediassa käytävää keskustelua bioenergian käytöstä.

4.2 Artikkelianalyysit

Tässä alaluvussa käydään läpi kuusi julkaisua liittyen bioenergian käyttöön. Valittuja artikkeleita analysoidaan ja niistä poimitaan väitteitä bioenergiasta ja argumentteja, joilla näitä väitteitä perustellaan. Jokainen analysoidusta artikkeleista käsitellään omassa alaluvussa.

4.2.1 Julkaisu 1: ”Goodbye kuukkelimetsä: Hakkuukiistat pala-sivat Suomeen, kun biotalous jauhaa puuta rahaksi”

Ylen verkkosivuilla julkaistussa artikkelissa ”Goodbye kuukkelimetsä: Hakkuukiistat pala-sivat Suomeen, kun biotalous jauhaa puuta rahaksi” (Toivonen 2017) Janne Toivonen käsittelee bioenergiakysymystä monesta näkökulmasta. Artikkelissa käsitellään sekä bioenergian puolustajien että vastustajien näkemyksiä. Heti artikkelin alussa esitellään paikallisen luontomatkailuyrittäjän huoli siitä, että luonnonpuiston läheisyydessä olevat hakkuut uhkaavat paikallista turismia ja hänen elinkeinoaan. Ilmoille nostetaan siis heti kysymys siitä, kenelle metsät kuuluvat ja mihin niitä saa käyttää.

Artikkelissa käsitellään bioenergian käyttöä myös puiden riittävyyden kannalta. Artikkelissa esitetään kaksi erilaista näkemystä siitä, riittääkö Suomessa metsää bioenergian tarpeisiin vai ei. Luonnonvarakeskuksen (Luke) tutkimusprofessori Antti Asikaisen mukaan metsät kasvavat enemmän kuin niitä hakataan, joten puiden riittävyyden kannalta metsien lisähakkuut eivät ole ongelma. Toisenlaisen näkökulman asiaan antaa Jyväskylän yliopiston ekologian professori Janne Kotiaho, jonka mielestä taas vanhaa metsää ei ole riittävästi, vaikka puumassan määrä metsissä kasvaisikin. Eri osapuolien välillä onkin nähtävissä näkemusero, joka liittyy siihen, millainen metsä ylipäänsä on metsää. Asikaiselle on yhdentekevää, millaista metsää kasvaa, kunhan metsän kasvu on suurempi kuin hakkuut, mutta Kotiahon mielestä vanhan metsän hakkaaminen ja korvaaminen nuorella metsällä on ongelmallista, vaikka metsien absoluuttinen määrä kasvaisikin.

Artikkelissa tuodaan esille myös bioenergiaan kriittisesti suhtautuvien huoli siitä, kuinka vanhojen metsien hakkaaminen ja lahopuiden puute uhkaavat monia eläinlajeja. Noin 4000–5000 lajia on artikkelin mukaan suoraan riippuvaisia lahopuusta. Metsien lisähakkuuta puolustava Asikainen on taas sitä mieltä, että ekologinen näkökulma on tärkeä, mutta jos Suomessa metsien hakkuille asetetaan rajoituksia, siirtyvät hakkuut jonnekin muualle maailmaan, missä asiat voidaan hoitaa vielä huonommin. Jotkut bioenergiaan negatiivisemmin suhtautuvat ovat huolissaan myös siitä, että bioenergian käytön seurauk-

sena puu ei välttämättä ohjaudu korkeimman jalostusarvon tuotteisiin. Artikkelissa tuodaan ilmi myös näkökulma siitä, että metsät tuovat Suomelle rahaa, metsänomistajille lisätuloja ja luovat työtä Suomen maakuntiin. Myös tässä yhteydessä nostetaan esille syvempi kysymys siitä, mihin metsiä saa käyttää ja mikä on metsien tehtävä.

Artikkelissa esiintyi siis seuraavia näkemyksiä ja argumentteja bioenergian käytöstä:

- Bioenergian käyttö uhkaa paikallista turismia ja samalla elinkeinoa
- Puita riittää bioenergian tuotantoon, koska puustoa kasvaa enemmän kuin sitä hakataan
- Puita ei riitä bioenergian tuotantoon, koska hakkuut tulevat kohdistumaan vanhoihin metsiin
- Bioenergian käyttö uhkaa erityisesti vanhoja metsiä ja niistä riippuvia eliölajeja
- Bioenergian käyttö tuo tuloja metsänomistajille
- Bioenergian käyttö työllistää erityisesti maakunnissa
- Bioenergian käytön takia puu ei raaka-aineena ohjaudu korkeimman jalostusarvon tuotteisiin

4.2.2 Julkaisu 2: ”Kaukopartiomiehiä ja maanpettureita – Miksi metsien käytöstä taistellaan nyt Euroopassa ja kotona?”

MustRead – verkkolehdeissä julkaistussa artikkelissa ”Kaukopartiomiehiä ja maanpettureita – Miksi metsien käytöstä taistellaan nyt Euroopassa ja kotona?” (Säntti 2017) käsitellään sekä bioenergian kannattajien että vastustajien näkökulmia bioenergian käyttöön. Artikkelin mukaan erimielisyyksiä metsien hakkuun kohdalla syntyy siitä, kuinka kiireellisenä kukin osapuoli pitää kasvihuonepäästövähennyksiä. Artikkelissa muun muassa Suomen itsenäisyyden juhlarahaston Sitran asiantuntija Matti Kahra sanoo, että Suomen pitäisi vähentää hiilidioksidipäästöjään nopeammin ja enemmän kuin mitä nyt on tavoitteena, jos Pariisin ilmastopöytäkirjan tavoitteet halutaan saavuttaa. Kriitikoiden mielestä Suomen hallituksen tavoitteet 2030 ja 2050 sekä tavoitemäärät eivät ole tarpeeksi kunnianhimoisia. Myös europarlamentaarikko Sirpa Pietikäisen mielestä tiedot ilmaston lämpenemisestä ovat niin hälyttäviä, että kasvihuonepäästöjä pitäisi vähentää mahdollisimman nopeasti.

Toinen bioenergiaan ja metsän lisähakkuisiin kriittisesti suhtautuvien näkemys on, että hakkuiden lisääminen pienentäisi Suomen metsien hiilinielua ja lisäisi lähivuosisikymmeninä Suomen hiilidioksidipäästöjä selvästi. Vasta-argumenttina bioenergian puolustajat sanovat artikkelissa, että hiilinielukykyyn vaikuttaa se, millaisella aikavälillä asiaa tarkastellaan ja millaisia lähtöoletuksia esimerkiksi puuston kasvunopeudesta sekä metsää tuhoavista metsäpaloista ja tuholaisista on tehty. Bioenergian puolustajat tuovat artikkelissa esille myös näkemyksen siitä, että kasvava metsä sitoo enemmän hiiltä kuin

hakkuukypsä metsä, jossa lahoavat puut alkavat vapauttaa hiilidioksidia. Ympäristöministeri Kimmo Tiilikainen myös sanoo, että Suomen metsät toimivat jatkossakin hiilinieluna, koska metsien kasvu on suurempaa kuin käyttö. Hiilinielua tulisi puolustajien mukaan tarkastella myös Suomen rajojen ulkopuolelta, jotta myös hiilivuotoa voitaisiin tarkastella. Metsäteollisuuden tuotannosta kun valtaosa päätyy vientiin. Hiilinielu -keskustelu kytkeytyy suurempaan kysymykseen siitä, mikä on metsän tehtävä ja kuka sen määrittelee.

Bioenergian puolustajat perustelevat näkemystään artikkelissa myös taloudellisilla näkökulmilla. Metsän lisähakkuista syntyviä tuloja siirtyy metsänomistajille, metsäyhtiöille sekä valtiolle. Kriitikoiden mielestä taas metsien lisääntyvä hakkaaminen biotuotteiden ja bioenergian raaka-aineiksi ei tuota ilmastohyötyjä ja on haitallista luonnon monimuotoisuudelle. Bioenergiaan kriittisesti suhtautuvien huolena on myös se, että puu ei ohjaudu optimaalisiin käyttötarkoituksiin eikä syrjäytä fossiilisia polttoaineita.

Artikkelissa esiintyvät seuraavat bioenergian käyttöä puolustavat ja vastustavat argumentit ja väitteet:

- Bioenergian käyttö lisää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä ja samanaikaisesti kasvihuonekaasupäästöjä pitäisi vähentää nopeasti
- Bioenergian lisääntyvä käyttö pienentää Suomen metsien hiilinielua
- Bioenergian käyttö ei pienennä Suomen hiilinielua:
 - Kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi pitkällä aika ja alue-akselilla
 - Koska metsistä tapahtuu luonnollista hiilen vapautumista myös muun muassa metsäpalojen ja tuholaisien takia
 - Koska puuston kasvu on suurempaa kuin niiden hakkuu
- Bioenergian käyttö tuo tuloja metsänomistajille, metsäyhtiöille ja valtiolle
- Bioenergian käyttö uhkaa metsien monimuotoisuutta
- Bioenergian käytön takia puu ei ohjaudu optimaalisiin käyttötarkoituksiin
- Bioenergian tuottaminen on hyödyllistä silloin, kun sillä korvataan fossiilisia polttoaineita

4.2.3 Julkaisu 3: “The Black Book of Bioenergy”

Euroopan ja Aasian BirdLifen sekä Transport & Environment – järjestön toimittamassa pamfletissa ”The Black Book of Bioenergy – Good Intentions Gone Bad” (Aalto et al. 2016) kritisoidaan nimensäkin mukaisesti bioenergian käyttöä. Kirjoittajien mielestä bioenergian käyttö on huono asia sen takia, että se lisää hiilidioksidipäästöjä monissa tapauksissa enemmän kuin fossiilisten polttoaineiden käyttö ja aiheuttaa paikallisesti hiukkaspäästöjä, kuten Gran Canarian Case – esimerkissä kerrotaan. Julkaisu kritisoi bioenergian käyttöä myös siksi, että se vie viljelysmaapinta-alaa ruuantuotannolta. Tämä taas johtaa

maapinta-alan muuttamisen viljelysmaaksi, metsien tuhoutumiseen, elinympäristöjen katoamiseen ja hiilipäästöjen lisääntymiseen. Artikkelissa siis pidetään maankäyttöä ruuantuotantoon tärkeämpänä kuin energiatuotantoon. Bioenergian käyttö herättää myös huolia siitä, hakataanko metsää suojelluilta alueilta, kuten julkaisun mukaan Slovakiassa on käynyt. Kolumbiassa taas bioenergian käyttö on aiheuttanut palmuöljyviljelmien laajenemisen, mikä on vienyt julkaisun mukaan paikallisilta asukkailta oikeuden käyttää maataan.

Julkaisussa käsitellään myös bioenergian käyttöä Suomessa. Julkaisussa sanotaan, että kasvavan bioenergian tarpeen takia, Suomessa käytetään entistä enemmän ongelmallisia ja haitallisia raaka-aineita bioenergian tuottamiseen. Tällaisia raaka-aineita ovat julkaisun mukaan kannot, kelot ja kokonaiset puut. Kantojen käyttö vähentää maaperän ravinteita ja vaikuttaa veden kulkeutumiseen maaperässä, mikä vaikuttaa maaperässä olevaan eläimistöön negatiivisesti. Kokonaisten puiden käyttö taas lisää kilpailua raaka-aineesta, mikä lisää julkaisun mukaan osaltaan hakkuita ja harvennushakkuita.

Lisääntynyt metsien hakkuu johtaa julkaisun mukaan puun epätehokkaaseen käyttöön ja hiilivarastojen pientymiseen. Julkaisun mukaan luonnollisten hiilivarastojen määrä tulisi maksimoida hävittämisen sijaan, jotta ilmastonmuutosta vastaan voidaan taistella. Kirjoittajat kritisoivat myös sitä, että bioenergian raaka-aineita tuodaan ulkomailta.

Julkaisussa esiintyivät seuraavat argumentit bioenergian käyttöä vastaan:

- Bioenergian käyttö aiheuttaa monissa tapauksissa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden käyttö
- Bioenergian käyttö lisää myös paikallisia hiukkaspäästöjä
- Bioenergiaan käytettävän biomassan käyttö vie viljelysmaapinta-alaa ruuantuotannolta
- Bioenergian käyttö uhkaa luonnon monimuotoisuutta ja edesauttaa elinympäristöjen katoamista
- Raaka-aineita bioenergian tuotantoon hankitaan suojelluilta alueilta
- Lisääntyvä bioenergian käyttö johtaa siihen, että raaka-aineina käytetään haitallisia raaka-aineita kuten kantoja ja raakapuuta
- Bioenergian käyttö pienentää hiilivarastoja
 - Luonnollisten hiilivarastojen määrä tulisi maksimoida
- Raaka-aineita bioenergian tuotantoon tuodaan ulkomailta

4.2.4 Julkaisu 4: Chatham Housen raportti

Duncan Brackin kirjoittama ja Chatham Housen julkaisema raportti ”Woody Biomass for Power and Heat – Impacts on the Global Climate” (Brack 2017) käsittelee metsäbiomassasta tuotetun bioenergian hiilineutraaliutta, biomassan käytöstä syntyvien hiilipäästöjen laskemista ja bioenergian kestävyyskriteereitä. Kirjoittaja suhtautuu pääosin kriittisesti bioenergian käyttöön. Raportin mukaan puun käyttö sähkön ja lämmöntuotantoon on kasvanut viime vuosina nopeasti ja puu sekä erityisesti puupelletit ovat vallitseva kiinteä biomassa markkinoilla. Bioenergian eduksi verrattuna tuuli- ja aurinkovoimaan raportissa luetaan se, että bioenergiaa voidaan toimittaa silloin kun sitä tarvitaan.

Kirjoittaja perustelee bioenergian vastustamista muun muassa biomassan poltossa aiheutuvien kasvihuonepäästöjen avulla. Biomassan poltossa syntyy raportin mukaan yleensä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden poltossa, koska biomassalla on huonompi energiatiheys ja biomassassa sisältää enemmän kosteutta sekä vähemmän vetyä kuin fossiiliset polttoaineet. Lisäksi raportin mukaan biomassaa polttoaineenaan käyttävillä voimalaitoksilla on usein huonompi hyötysuhde kuin voimalaitoksilla, jotka käyttävät fossiilisia polttoaineita. Raportissa bioenergian käytön vastustamista perustellaan myös paikallisilla ympäristövaikutuksilla. Puiden hakkuu vähentää maaperän hiilipitoisuutta ja uhkaa luonnonmetsiä sekä niistä riippuvaisia biodiversiteettejä.

Raportissa tuodaan ilmi bioenergian puolustajien näkökulma siitä, että biomassa on hiilineutraali polttoaine. Puolustajien mukaan biomassan käytössä syntyvät hiilipäästöt ovat osa hiilen luonnollista kiertoa, jolloin ajan kuluessa metsän kasvu tasapainottaa puunpoltossa syntyneet hiilipäästöt. Bioenergian käytön hiilineutraaliutta perustellaan raportin mukaan myös sillä, että puuraaka-aine on kerätty kestävästi hoidetuista metsistä ja että metsäalueiden määrä kasvaa kokonaisuudessaan. Raportin mukaan myös IPPC:n päästöjen raportointisääntö, jossa puulla tuotetun energian aiheuttamat päästöt lasketaan energiasektorin sijaan maankäyttösektorilla, vahvistaa ajatusta, että bioenergia on hiilineutraalia. Kirjoittaja on kuitenkin bioenergian hiilineutraaliudesta eri mieltä. Bioenergian käyttöä kannattavien perustelut bioenergian hiilineutraaliudesta eivät huomioi sitä, mitä puulle tapahtuu hakkaamisen jälkeen, vaikka käytöstä syntyvät hiilipäästöt ovat erilaisia, kun puu poltetaan tai kun siitä tehdään pitkäkestoisia tuotteita. Perustelut eivät myöskään huomioi puun muodostaman hiilivaraston menetystä.

Bioenergian käyttöä vastustetaan raportissa myös, koska biomassan käytöstä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen laskenta on kirjoittajan mukaan tällä hetkellä ongelmallista. Bioenergian käytöstä syntyvät päästöt ajatellaan muodostuvan puun hakkaushetkellä ja ne lasketaan ja raportoidaan Kioton protokollan mukaan maankäytön sektorilla eikä energiankäytön sektorilla. Ongelmia raportin mukaan aiheuttaa se, että puuraaka-ainetta tuodaan maista, joissa kasvihuonekaasupäästöjä ei ole rajoitettu Kioton protokollan mukaan. Tämä aiheuttaa sen, että osa syntyneistä päästöistä jää huomioimatta, jos mahdollinen päästöjen kasvu on sallittu biomassan tuottajamaassa tai kyseinen maa ei ole lainkaan

sitoutunut Kioton sopimuksen mukaisiin päästövähennyksiin. Lisäksi biomassan päästöjen laskennassa käytetään historiallisia referenssitaseja, jotka sisältävät paljon suurempia päästötaseja kuin nykyisin.

Raportin mukaan bioenergian käytön puolustajat väittävät usein, että metsäbiomassan käytön kasvu voi johtaa suurempiin metsäinvestointeihin. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että metsänomistajat huolehtisivat metsistään paremmin ja sitä kautta myös istuttaisivat enemmän puita. Chatham Housen raportissa kuitenkin kerrotaan, ettei ilmiölle ole saatu kunnollisia tutkimustuloksia. Lisäksi argumenttia kumotaan sanomalla, että täysikasvuiset puut sitovat enemmän hiiltä kuin nuoremmat puut.

Chatham Housen raportissa esille nousivat seuraavat väitteet ja argumentit, joilla omaa näkökantaa perustellaan:

- Bioenergian etu verrattuna muihin uusiutuviin energialähteisiin on se, että sitä voidaan toimittaa silloin kun sitä tarvitaan
- Biomassan poltossa syntyy yleensä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden polttamisesta
- Biomassaa käyttävillä voimalaitoksilla on huonompi hyötysuhde kuin fossiilisia polttoaineita käyttävillä voimalaitoksilla
- Kaikkia bioenergiasta syntyviä päästöjä ei tällä hetkellä raportoida
- Metsien hakkuu bioenergian raaka-aineeksi vähentää maaperän hiilipitoisuutta
- Bioenergian käyttö uhkaa luonnonmetsiä ja niistä riippuvaisia biodiversiteettejä
- Täysikasvuiset puut sitovat enemmän hiiltä kuin nuoremmat puut
- Bioenergian puolustajien argumentteja:
 - Bioenergian poltossa syntyvät hiilipäästöt ovat osa hiilen luonnollista kiertoa
 - Biomassa on kerätty kestävästi hoidetuista metsistä
 - Metsien kasvu on kokonaisuudessaan suurempaa kuin hakkuu
 - Metsäbiomassan käyttö johtaa suurempiin metsäinvestointeihin

4.2.5 Julkaisut 5 ja 6: Vastineita Chatham Housen raporttiin

Luvussa 4.1.4. esitelty Chatham Housen raportti (Brack 2017) on saanut lukuisia vastineita, joissa vasta-argumentoidaan Brackin esittämiä. Yksi vastineista on International Energy Agency Bioenergian (IEA Bioenergy) julkaisema (Cowie et al. 2017). IEA:n vastineessa tartutaan erityisesti Brackin väitteeseen, ettei bioenergiaa voi pitää hiilineutraalina. Vastineessa argumentoidaan, että on aivan eri asia polttaa fossiilisia polttoaineita, joiden sisältämä hiili on ollut sidoksissa maan alla miljoonia vuosia kuin biomassaa, jonka sisältämä hiili palautuu ilmakehään, mistä se on puuhun sen kasvaessa sitoutunut. Jos puiden kasvun ja hakkuun tasapaino säilyy jatkossa samanlaisena, ei biomassan poltto

lisää ylimääräistä hiilidioksidia ilmakehään. Lisäksi bioenergian käyttö vähentää investointeja fossiilista polttoainetta käyttäviin teknologioihin ja infrastruktuuriin, mikä osaltaan vähentää fossiilisista lähteistä tulevia hiilipäästöjä.

IEA Bioenergin vastineessa bioenergian käyttöä perustellaan myös sillä, että metsien hakkaamatta jättäminen ei yksiselitteisesti ylläpidä metsän hiilivarastoa ja vaikuta ilmastomuutokseen lieventävästi. Vastineen mukaan hiilen sitoutuminen puihin vähenee sitä mukaa kuin metsä vanhenee ja lisäksi metsä alkaa jossain vaiheessa itse vapauttaa hiiltä metsäpalojen, myrskyjen, tuholaiten ja kuivuuden takia. Vastineessa sanotaan myös, että ilmastomuutoksen kannalta tärkeintä on kumulatiiviset hiilidioksidipäästöt eivätkä päästöjen syntymisajankohta. Tärkeää on tarkastella myös sitä, lisääkö vai vähentääkö bioenergian käytön lisääntyminen systemaattisesti metsien tarjoamien hiilivarastojen kokoa. Vastineessa myös väitetään, toisin kuin Chatham Housen raportissa, että bioenergiamarkkinoiden olemassaolo vaikuttaa metsänomistajien päätöksiin niin, että he investoivat suurempia määriä metsänhoitoon parantaakseen metsiensä tuottavuutta ja hyvinvointia. Vastineessa bioenergian hyödyiksi mainitaan se, että sillä voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, koska bioenergiaa voi varastoida ja muuttaa erilaisiksi energiamuodoiksi eli niin sähköksi, lämmöksi kuin liikennepolttoaineeksikin toisin kuin muita uusiutuvia energialähteitä.

Tärkeimmiksi kysymyksiksi Chatham Housen raportissa ja IEA Bioenergin vastineessa nousivat ajanjakson pituus, jolla biomassan polton aiheuttamia hiilipäästöjä ja muutoksia hiilivaraston koossa tarkastellaan sekä tarkasteltavan alueen koko.

IEA Bioenergin vastineessa oli siis seuraavia argumentteja bioenergian käytön puolesta:

- Bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä, kun puuston kasvu ja hakkuu ovat tasapainossa
- Biomassan poltossa syntyvät hiilipäästöt sitoutuvat takaisin puihin niiden kasvaessa
- Bioenergian käyttö vähentää investointeja fossiilista polttoainetta käyttäviin teknologioihin ja infrastruktuuriin
- Hiilen sitoutuminen puihin vähenee joka tapauksessa metsän vanhetessa
- Metsistä tapahtuu hiilen vapautumista muun muassa metsäpalojen, tuholaiten, myrskyjen ja kuivuuden takia
- Päästöjä tarkasteltaessa tärkeintä ovat kumulatiiviset hiilidioksidipäästöt eivätkä niiden syntymisajankohta
- Bioenergiamarkkinat lisäävät metsänomistajien investointeja metsiin, jolloin metsien kasvu paranee
- Bioenergialla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita
- Bioenergiaa voidaan varastoida ja muuttaa erilaisiksi energiamuodoiksi
- Bioenergian vaikutus hiilivaraston kokoon ja kasvihuonekaasupäästöihin riippuu tarkastelujakson pituudesta ja tarkastelun alueen koosta

Myös World Bioenergy Association (WBA) on julkaissut Chatham Housen raporttiin vastineen (World Bioenergy Association 2017), missä se esittää argumentteja bioenergian käytön puolesta. WBA:n vastineessa bioenergian käyttöä puolustetaan sanomalla, että nykyisen ilmastokriisin ovat aiheuttaneet fossiilisten polttoaineiden poltossa vapautuneet hiilipäästöt eivätkä biomassan käytöstä aiheutuneet päästöt. Biomassan sisältämä hiili on sitoutunut puuhun ilmakehästä, jonne se poltossa taas vapautuu. Näin ollen biomassan käyttö ei lisää kasvihuonepäästöjä ilmakehässä. Vastineen mukaan on väärin ajatella, että puu ensin poltetaan ja vasta sitten kasvatetaan.

WBA:n vastineen mukaan Chatham Housen raportissa oli tehty virheellisiä päätelmiä bioenergian käytön vaikutuksista hiilivaraston kokoon ja bioenergian hiilineutraaliudesta. Tämä johtuu vastineen mukaan liian kapeasta tarkasteluajanjaksosta ja – alueesta. Vastineessa bioenergian käyttöä perustellaan myös sillä, että se työllistää miljoonia ihmisiä, kehittää paikallista taloutta tarjoamalla hyötyjä maanviljelijöille sekä metsänomistajille, varmistaa maiden energiaturvallisuutta sekä on välttämätön energialähde, kun energiasysteemi muuttuu kohti kestävämpää järjestelmää.

World Bioenergy Associationin vastineessa bioenergian käyttöä perustellaan seuraavilla argumenteilla:

- Ilmastokriisin aiheuttaneet hiilipäästöt ovat peräisin fossiilisten polttoaineiden poltosta eivätkä bioenergian käytöstä
- Biomassan poltossa vapautuneet hiilipäästöt ovat osa luonnollista hiilikiertoa
- Bioenergian käyttö ei pienennä hiilivarastoa, kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla
- Bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä, kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla
- Bioenergian käyttö työllistää
- Bioenergian käyttö kehittää paikallista taloutta tarjoamalla hyötyjä maanviljelijöille ja metsänomistajille
- Bioenergian käyttäminen parantaa valtioiden energiaturvallisuutta

4.3 Yhteenveto väitteistä ja argumenteista

Luvussa 4.2. analysoiduista artikkeleista löytyi monia erilaisia väitteitä ja argumentteja bioenergian puolesta ja sitä vastaan. Tässä luvussa nämä eri lähteistä löydetyt väitteet ja näkemykset kerätään yhteen. Väitteet kategorisoidaan aihepiireittäin, jotta argumentit ja vasta-argumentit on helpompi hahmottaa. Näitä aihepiirejä ovat bioenergian suhde maankäyttöön, bioenergian vaikutukset metsien määrään, paikalliseen ympäristöön ja talouteen, bioenergian aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt, bioenergiaan käytettävät raaka-aineet sekä muut argumentit, joita on vaikea kategorisoida yllä oleviin aihepiireihin. Eri

aihepiireihin liittyvät väitteet ja argumentit ovat omissa alaluvuissa. Argumentit ja väitteet on kerätty myös liitteeseen A, josta löytyy taulukko väitteistä lähdeviitteineen aihepiireittäin kategorisoituina.

4.3.1 Maankäyttö

Artikkeleissa argumentoidaan paljon maankäytöstä ja siitä, miten bioenergian käyttö vie tilaa muilta maankäyttötavoilta. Esimerkiksi Toivosen artikkelissa (2017) bioenergian tuotannon pelättiin vievän metsää turismilta ja samalla paikallisten ihmisten elinkeinolta. The black book of bioenergy – julkaisussa (Aalto et al. 2016) kritisoitiin bioenergian käyttöä, koska se vie maapinta-alaa ruuantuotannolta. Muun muassa Sántin (2017) artikkelissa ja Chatham Housen raportissa (Brack 2017) bioenergian käyttöä taas kritisoidaan sen takia, että se tuhoaa metsien hiilivarastoa. Toisaalta World Bioenergy Associationin vastineen (2017) mukaan biomassan käyttö ei pienennä metsien muodostamaa hiilivarastoa, kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi pitkällä ajanjaksolla. Maankäyttöön liittyvät kysymykset keskusteltaessa bioenergiasta voidaan ajatella liittyvän suurempaan kysymykseen, mitä varten metsät ovat olemassa ja mihin tarkoitukseen maapinta-alaa tulee käyttää? Erilaisten näkökulmia asiaan ovat muun muassa se, että maata tulisi käyttää ensisijaisesti ruuantuotantoon, metsien tehtävä on toimia hiilivarastona, metsiä tulee hyödyntää raaka-aineena ja että metsät ovat virkistyskäyttöä tai turismia varten. Yhden näkökulman mukaan metsiä ei pitäisi käyttää lainkaan ja ne pitäisi säilyttää täysin koskemattomina luonnonmetsinä.

Julkaisuissa esiintyviä maankäyttöön liittyviä argumentteja:

- bioenergian käyttö vie maata ruuantuotannolta
- bioenergia uhkaa paikallista turismia (ja elinkeinoa)
- bioenergian käyttö pienentää hiilivarastoa ja hiilinielua
 - luonnollisten hiilivarastojen määrä tulisi maksimoida, jotta ilmastonmuutosta vastaan voidaan taistella
 - täysikasvuiset puut sitovat enemmän hiiltä kuin nuoremmat puut
- bioenergian käyttö ei pienennä hiilinielua
 - kun metsien kasvu on suurempaa kuin hakkuu
 - kun tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika-akselilla
 - kasvava bioenergian käyttö johtaa suurempii metsäinvestointeihin
 - hiilen sitoutuminen vähenee metsän vanhetessa
 - Metsistä tapahtuu luonnollista hiilen vapautumista mm. lahoamisen, metsäpalojen, myrskyjen ja tuholaiten takia

4.3.2 Metsien määrä

Toinen analysoiduissa artikkeleissa ja julkaisuissa erottuva erimielisyys bioenergian suhteen liittyy metsien riittävyyteen. Erityisesti Toivosen (2017) ja Sántin (2017) artikkeleissa nousi esiin näkökulma, että metsien hakkuut bioenergiaksi eivät ole ongelma, niin kauan kuin metsien kasvu on suurempaa kuin niiden hakkuut. Toivosen artikkelissa (2017) esitettiin asiaan myös toinen näkökulma, jonka mukaan metsien hakkuut vähentävät vanhan metsän määrää, vaikka puiden määrä metsissä ei pienenisikään. Eri näkökulmien välillä on siis näkemysero ennen kaikkea sen kohdalla, millaista metsän kuuluu olla. Toisen näkökulman mukaan puuston absoluuttinen määrä metsissä on tärkeintä riippumatta siitä, millaisia puita metsässä on, kun toisen osapuolen mukaan tärkeintä on vanhojen puiden määrä metsissä sekä metsien luonnonmukaisuus.

Julkaisuissa esiintyviä metsien määrään liittyviä argumentteja:

- puita riittää bioenergian tuotantoon, koska puustoa hakataan vähemmän kuin sitä kasvaa
- puita ei riitä bioenergian tuotantoon, koska vanhaa metsää ei ole riittävästi

4.3.3 Kasvihuonekaasupäästöt

Näkemysero bioenergiaan kriittisesti suhtautuvien ja bioenergiaa puolustavien välillä valitsee myös bioenergian käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Toisen näkökulman mukaan bioenergian käyttö lisää kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään, kun toisen näkökulman mukaan taas ei. Lisääntyviä kasvihuonepäästöjä perustellaan biopolttoaineiden polton aikana syntyvien kasvihuonepäästöjen määrällä, joita Chatham Housen julkaisun (Brack 2017) mukaan syntyy yleensä enemmän kuin fossiilisten polttoaineiden poltossa. Tämä johtuu raportin mukaan biomassan huonommasta energiatiheydestä, suuremmasta kosteusprosentista ja biomassaa polttavien voimalaitosten huonommasta hyötysuhteesta verrattuna fossiilista polttoainetta käyttäviin voimalaitoksiin. Vastapuolen mielestä taas bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä, koska kasvava biomassa sitoo itseensä sen poltossa syntyneet päästöt eli se on hiilineutraalia (Cowie et al. 2017; World Bioenergy Association 2017). Kasvihuonekaasupäästöt eivät lisääny, kun metsien kasvu on suurempaa kuin hakkuu (Cowie et al. 2017) ja kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla (Sántti 2017; Cowie et al. 2017; World Bioenergy Association 2017).

Julkaisuissa esiintyviä kasvihuonepäästöihin liittyviä argumentteja:

- bioenergian käyttö lisää kasvihuonekaasupäästöjä
 - biomassan poltto aiheuttaa enemmän kasvihuonepäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden
 - kasvihuonepäästöjä pitäisi vähentää nopeasti

- bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonepäästöjä
 - kun tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla
 - bioenergian käytössä syntyvät hiilipäästöt ovat osa hiilen luonnollista kiertoa
 - kun tarkastellaan kumulatiivisia hiilidioksidipäästöjä
 - Kun puuston kasvu on suurempaa kuin hakkuu
 - kasvava metsä sitoo enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin hakkuukypsä metsä
 - bioenergia korvaa fossiilisia polttoaineita
- kaikkia bioenergiasta syntyviä päästöjä ei tällä hetkellä raportoida

4.3.4 Raaka-aineiden käyttö

Bioenergiaan negatiivisemmin suhtautuvat perustelevat näkemyksiään myös bioenergian raaka-aineiden kautta. Esimerkiksi ”The Black Book of Bioenergy” – julkaisussa (Aalto et al. 2016) esitetään pelko siitä, että bioenergian käytön lisääntyminen johtaa siihen, että kokonaisia puita ja hitaasti lahoavia kantoja aletaan käyttää bioenergian raaka-aineena. Samaisessa julkaisussa epäiltiin myös, että bioenergian käyttö johtaa enenevässä määrin myös biomassan tuontiin. Julkaisussa esitellään myös tapaus Itä-Slovakiasta, jossa bioenergian käyttöön hakattu puu on ollut peräisin suojelluista metsistä. Toisaalta Chatham Housen raportissa Brack (2017) sanoo, että bioenergian puolustajat kertovat bioenergian raaka-aineiden olevan peräisin kestävästi hoidetuista metsistä. Toivosen (2017) ja Säntin (2017) artikkeleissa taas esiteltiin näkemys siitä, että bioenergian käytön takia puupohjaiset raaka-aineet eivät ohjaudu optimaalisiin käyttötarkoituksiin sekä korkeamman jalostusarvon tuotteisiin.

Julkaisuissa esiintyviä raaka-aineiden käyttöön liittyviä argumentteja:

- bioenergian lisääntyvä käyttö johtaa siihen, että kokonaisia puita ja esim. kantoja käytetään bioenergian raaka-aineina
- bioenergian käytön takia puu ei ohjaudu optimaalisiin käyttötarkoituksiin/korkeamman jalostusarvon tuotteisiin
- bioenergian käyttö johtaa puun tuontiin
- biomassaa hankitaan suojelluilta alueilta
- biomassa kerätään kestävästi hoidetuista metsistä

4.3.5 Vaikutukset paikalliseen ympäristöön

Bioenergian vaikutukset paikalliseen ympäristöön ovat yksi iso argumenttikokonaisuus, jolla bioenergian käyttöä vastustetaan monissa analysoiduissa julkaisuissa. Ylen artikkelissa (Toivonen 2017), ”The Black Book of Bioenergy” –julkaisussa (Aalto et al. 2016) ja Chatham Housen raportissa (Brack 2017) bioenergian käyttöä kritisoidaan, koska sen

käyttö uhkaa luonnonmetsiä ja niistä riippuvaisia eliölajeja ja biodiversiteettejä. Metsien hakkaaminen uhkaa julkaisujen mukaan luonnon monimuotoisuutta (Aalto et al. 2016; Säntti 2017), lisää paikallisia päästöjä (Aalto et al. 2016) ja vähentää maaperän hiilipitoisuutta. Missään analysoiduista artikkeleista ei näille paikallista ympäristöä koskeville argumenteille esiintynyt vasta-argumentteja. Näiden artikkelien osalta voidaan todeta, että osapuolet ovat asiasta jossain määrin samaa mieltä tai eivät ainakaan voimakkaasti eri mieltä.

Julkaisuissa esiintyviä paikalliseen ympäristöön liittyviä argumentteja:

- bioenergian käyttö uhkaa luonnonmetsiä ja niistä riippuvia eliölajeja
- metsien hakkuu on uhka luonnon monimuotoisuudelle
- bioenergian käyttö lisää paikallisia päästöjä
- metsien hakkaaminen vähentää maaperän hiilipitoisuutta

4.3.6 Vaikutukset talouteen

Bioenergiaan positiivisemmin suhtautuvista argumenteista on tunnistettavissa laajempi kokonaisuus, joka käsittelee bioenergian käytön positiivisia vaikutuksia talouteen. Kaikissa analysoiduissa artikkeleissa, joissa esiteltiin bioenergian puolustajien näkökulmia, talousseikat nousivat esille. Bioenergian käyttöä puolustetaan sillä, että se kehittää taloutta ja tuo tuloja sekä valtiollisella (Säntti 2017) että paikallisella tasolla (Toivonen 2017; World Bioenergy Association 2017; Säntti 2017). Toivosen (2017) artikkelin ja World Bioenergy Associationin (2017) vastineen mukaan bioenergian käyttö luo myös työpaikkoja. Bioenergian käyttö parantaa valtioiden energiaturvallisuutta (World Bioenergy Association 2017) ja vähentää fossiilista polttoainetta käyttäviin teknologioihin ja infrastruktuuriin tehtäviä investointeja. Talousargumentteihin ei esiintynyt analysoiduissa materiaaleissa vasta-argumentteja, joten eri osapuolet ovat näiden materiaalien mukaan yhtä mieltä siitä, että bioenergian käytöllä on positiivisia vaikutuksia valtioiden ja paikallisten alueiden talouteen.

Julkaisuissa esiintyviä talouteen liittyviä argumentteja:

- bioenergian käyttö kehittää valtioiden taloutta ja tuo rahaa
- bioenergian käyttö kehittää paikallista taloutta tuomalla metsänomistajille ja maanviljelijöille tuloja
- bioenergian käyttö työllistää
- bioenergian käyttö parantaa maiden energiaturvallisuutta
- bioenergian käyttö vähentää investointeja fossiilista polttoainetta käyttäviin teknologioihin ja infrastruktuuriin

4.3.7 Muita argumentteja

Bioenergia käyttöä perustellaan muutamalla muullakin argumentilla, jotka eivät sovi aiempiin kategorioihin. Erityisesti IEA Bioenergyn (Cowie et al. 2017) vastineessa Chatham Housen raporttiin tuodaan esille argumentteja siitä, miten bioenergia tukee muuttuvaa energiajärjestelmää. Vastineessa bioenergian eduksi mainitaan bioenergian joustavuus eli se, että bioenergiaa voidaan toimittaa silloin, kun sitä tarvitaan. Lisäksi vastineessa bioenergian eduksi luetaan myös se, että sitä voidaan varastoida ja muuttaa eri energialähteiksi, toisin kuin muita uusiutuvia energialähteitä. Myös bioenergian käyttöä kritisoivassa Chatham Housen raportissa (Brack 2017) bioenergian hyvänä puolena mainitaan bioenergian joustava toimitus tarpeen mukaan. Eri osapuolet ovat siis näiden julkaisujen perusteella yhtä mieltä siitä, että bioenergia on etunsa verrattuna muihin uusiutuviin energialähteisiin.

- bioenergiaa voidaan toimittaa silloin, kun energiaa tarvitaan
- bioenergiaa voidaan varastoida ja muuttaa eri energiamuotoihin

4.4 Tärkeimmät näkemyserot

Kuten aiemmin jo todettiin, voidaan tässä tutkimuksessa analysoitujen artikkelien pohjalta todeta, että sekä bioenergian käyttöön positiivisemmin että negatiivisemmin suhtautuvat ovat yksimielisiä liittyen bioenergian käytön vaikutuksista paikalliseen ympäristöön ja valtiolliseen sekä paikalliseen talouteen. Erilaisia näkemyksiä ja vastakkainasettelua osapuolten välillä aiheuttaa enemmän bioenergian käytön vaikutukset metsiin, metsien rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa sekä bioenergian käytöstä aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt. Näitä näkemyseroja voidaan pitää ratkaisevina kysymyksinä, kun yhteisymmärrystä bioenergian käytöstä yritetään muodostaa. Kuviin 14, 15 ja 16 on kerätty suurimmat näkemyserot eri osapuolien välillä liittyen puiden riittävyyteen bioenergiatuotantoon, bioenergian käytön vaikutuksista metsien tarjoaman hiilivaraston kokoon sekä bioenergian käytön aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin.

Puuta ja maapinta-alaa on riittävästi bioenergian tuotantoon

- Metsää ja maapinta-alaa saa hyödyntää eri toimintoihin, kun puuston kasvu on suurempaa kuin poistuma
- Esim. raaka-aineet teollisuuteen ja energiantuotantoon, turismi, virkistyskäyttö, elinkeino
- Metsän omistaja päättää tuotannosta
- Metsien hoito lisää metsien kasvua

VS.

Puuta ja maapinta-alaa ei ole riittävästi bioenergian tuotantoon

- Tavoitteena on mahdollisimman vanha ja luonnonmukainen metsä. Metsää saa käyttää sen puitteissa/ei saa käyttää lainkaan.
- Maapinta-alaa tulee käyttää ennen kaikkea maanviljelyyn
- Metsänviljely ei vertaannu maanviljelyyn
- Johtaa puun maahantuontiin
- Johtaa haitallisten raaka-aineiden käyttöön ja puiden hakkuuseen luonnonsuojelualueilta

Kuva 14. Näkemyseroja puiden riittävydestä bioenergian tuotantoon

Bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä

- Kun puuston kasvu on suurempaa kuin hakkuu
- Tarkasteltaessa pitkän aikavälin päästöjä
- Biomassan sisältämä hiili on osa hiilen luonnollista kiertokulkua ilmakehän ja kasvien välillä

VS.

Bioenergian käyttö lisää kasvihuonekaasupäästöjä

- Poltossa vapautuvat päästöt ovat suurempia kuin fossiilisilla polttoaineilla
- Päästöjä pitäisi vähentää lyhyellä aikavälillä nopeasti
- Kaikkia päästöjä ei tällä hetkellä lasketa/raportoida

Kuva 15. Näkemyseroja bioenergian käytön aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä

Metsien käyttö bioenergian tuotantoon ei pienennä hiilivarastoa

- Kun tarkastellaan pitkän aikavälin muutoksia
- Kun tarkastellaan laajoja alueita, kansallinen/alueellinen tarkastelu
- Aktiivinen metsänhoito vaikuttaa positiivisesti puuston kasvuun
- Pyritään kestävään lopputulokseen pitkällä aikavälillä

VS.

Metsien käyttö bioenergian tuotantoon pienentää hiilivarastoa

- Kun tarkastellaan lyhyen aikavälin muutoksia
- Kun tarkastellaan pohjoista havumetsävyöhykettä
- Kun tarkastellaan yksittäistä puuta/pientä aluetta
- Pyritään maksimoimaan hiilivarastojen määrä nopeasti

Kuva 16. Näkemuseroja bioenergian käytön vaikutuksista hiilivaraston kokoon

Yhteisymmärryksen kannalta olisi siis tärkeää saavuttaa yhteisymmärrys erityisesti kuvien 14, 15 ja 16 asioista. Näitä kuvissa esiintyviä väitteitä ja argumentteja käsitellään tarkemmin luvussa 5 tutkitun tiedon pohjalta. Väitteitä tarkastellaan erityisesti teknisestä sekä luonnontieteellisestä näkökulmista ja pyritään ymmärtämään, mitä lähtötietoja, rajoituksia tai tavoitteita on väitteiden taustalla.

5. VÄITTEIDEN JA ARGUMENTTIEN TARKASTELU

Luvussa 4 analysoitiin muutama artikkeli ja julkaisu liittyen bioenergian kestävyteen ja merkitykseen kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Luvussa kerättiin julkaisuissa esiintyvät väittämät ja argumentit yhteen ja teemoiteltiin ne seitsemään eri kokonaisuuteen. Nämä kokonaisuudet ovat maankäyttö, metsien riittävyys, bioenergiasta aiheutuvat kasvihuonepäästöt, vaikutukset paikalliseen ympäristöön, bioenergian raaka-aineiden käyttö, vaikutukset talouteen ja muut muihin kokonaisuuksiin kuulumattomat väitteet. Osa bioenergian käyttöön liittyvistä väittämistä herätti osapuolten välillä vähän tai ei lainkaan vasta-väitteitä, kun taas osasta väittämistä osapuolilla oli hyvin erilaisia näkemyksiä. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin näitä erimielisyyksiä aiheuttavia väittämiä.

Suurimmat erimielisyydet bioenergian käytössä liittyvät metsien ja yleisemmin maapinta-alan riittävyyteen bioenergian tuotantoon, bioenergian käytön aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin ja bioenergian käytön vaikutuksista metsien hiilivaraston kokoon. Näihin kategorioihin liittyviä väittämiä ja argumentteja esiteltiin tarkemmin luvussa 4.3 ja tässä luvussa joitakin näistä väittämistä tarkastellaan tarkemmin tieteen näkökulmasta. Diplomityön luonteen vuoksi argumenttien tarkastelussa pitäydytään erityisesti tekniikan ja luonnontieteiden näkökulmassa. Väitteiden tarkasteluun käytetään hyväksi faktantarkistusmenetelmää eli julkaisuissa esitettyjen väitteitä verrataan laajasti eri lähdemateriaaliin (Faktabaari 2017). Samalla tarkoituksena on löytää materiaaleissa mahdollisesti käytettyjä rajoituksia, reunaehtoja, lähtötietoja ja retorisia keinoja, joilla väitteitä saadaan tarvittaessa muokattua halutun laiseksi. Luvussa esitetään väitteiden ongelmat verrattuna muihin lähdemateriaaleihin.

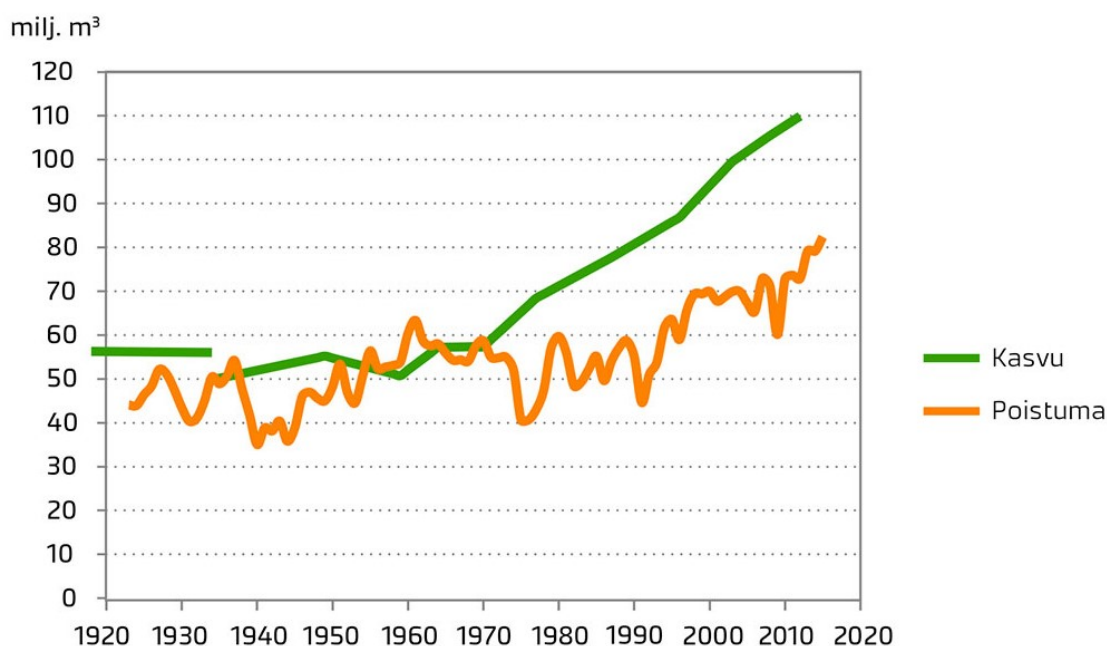
5.1 Metsien ja maapinta-alan riittävyys

Luvussa 4 havaittiin, että yksi erimielisyys bioenergian käyttöä kohtaan liittyy siihen, riittääkö metsiä ja maapinta-alaa lisääntyvään metsien teolliseen käyttöön ja sitä kautta myös bioenergian tuotantoon. Bioenergiaan positiivisemmin suhtautuvien mielestä metsiä riittää bioenergian tuotantoon, kunhan puuston kasvu on suurempaa kuin poistuma. Joidenkin bioenergiaan epäilevämmien suhtautuvien mielestä metsää ja puuta taas ei riitä, koska hakkuut tulevat kohdistumaan vanhaan metsään ja vanhaa metsää halutaan suojella. Yksi argumentti bioenergian käyttöä vastaan on myös se, että sen käyttö vie maata muilta mahdollisilta toiminnoilta kuten ruuantuotannolta, turismita tai muilta elinkeinoilta, virkistytymiseltä ja niin edelleen. Eräs väite on myös se, että bioenergiaan käytettävää puuta hakataan suojelluilta alueilta, kun taas bioenergian puolustajat sanovat, että puuta hakataan kestävästi hoidetuista metsistä. Näitä väittämiä ja argumentteja tarkastellaan tarkemmin tässä alaluvussa eri lähteiden pohjalta.

Metsien ja maapinta-alan riittävyys bioenergian tuotantoon liittyy myös suurempaan kysymykseen siitä, mihin metsiä saa ja voi käyttää? Onko metsien tarkoitus olla erilaisten tuotteiden tai bioenergian raaka-aineen tarjoaja, hiilivarasto, virkistyspaikka vai esimerkiksi suojelukohde? Suomen ilmastopaneelin tekemän kyselyn (Seppälä et al. 2017) mukaan suomalaiset metsä-alan asiantuntijat ovat yhtä mieltä siitä, että metsien eri käyttömuodoille kuten puuntuotannolle, hiilensidonnalle ja virkistyskäytölle asetetut tavoitteet kilpailevat keskenään, eikä tavoitteita voida todennäköisesti saavuttaa samanaikaisesti. Asiantuntijat sanovat, että metsän eri käyttömuotojen välillä joudutaan tekemään kompromisseja. Osa asiantuntijoista tosin oli sitä mieltä, että eri käyttömuotojen kilpailuun vaikuttaa myös valittu aikaperspektiivi, jolla asiaa tarkastellaan.

5.1.1 Metsien riittävyys puuston kasvun näkökulmasta

Metsien riittävydestä bioenergian tuotantoon on esitetty erilaisia näkemyksiä bioenergiasta käytävissä keskustelussa ja tutkimuksissa. Yhden näkökulman mukaan, jos metsien kasvu on kokonaisuudessaan suurempaa kuin poistuma, ei bioenergian käyttö uhkaa metsien kasvua (Säntti 2017; Toivonen 2017; Donnison et al. 2017).



Kuva 17. Puuston vuotuinen kasvu ja poistuma Suomessa vuosina 1920–2015 (Luonnonvarakeskus 2018b).

Kuvassa 17 on esitettyä Luonnonvarakeskuksen metsäinventointeihin perustuva Suomen puuston vuotuinen kasvu ja poistuma 1920 – luvulta alkaen. Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan puuston kasvu on lisääntynyt voimakkaasti 1970 – luvulta alkaen ja siitä lähtien puuston kasvu on Suomessa ollut suurempaa kuin poistuma. Puuston kasvun

voimakasta lisääntymistä voidaan selittää muun muassa soiden ojituksella, metsien tihentymisellä sekä puuston ikärakenteen muuttumisella nuoremmaksi (Mielikäinen et al. 2012). Puuston kasvu on viimeisimmässä metsäinventaariossa (VMI12, vuodet 2014–2016) ollut metsä- ja kitumaalla noin 110 miljoonaa kuutiometriä (Luonnonvarakeskus) 2018. Puuston poistuma on ollut noin 86 miljoonaa kuutiometriä, joten metsien kokonaiskasvu on noin 24 miljoonaa kuutiometriä. Kaiken kaikkiaan puuston kokonaistilavuus on Luonnonvarakeskuksen mukaan Suomessa metsä- ja kitumaalla 2 464 miljoonaa kuutiometriä metsämaalla eli 113 kuutiometriä hehtaarilla (Luonnonvarakeskus 2017).

Myös Euroopan tasolla puuston kasvu on keskimäärin suurempaa kuin poistuma ja metsät pääsevät kasvamaan. Lähdemateriaalista riippuen Euroopan Unionin alueella puuston vuosittaisesta kasvusta jää keskimäärin 36–38 % metsiin (AEBiom 2016, s. 29; Kraxner et al. 2017, s. 54). Käytettävissä olevan puun määrä toki vaihtelee paljon Euroopan sisällä. Suurin biomassapotentiaali maapinta-alaa kohden on Euroopan metsäinstituutin mukaan Keski- ja Pohjois-Euroopassa johtuen metsien paremmasta tuottavuudesta ja kateprosentista (Kraxner et al. 2017, s. 56). Eniten metsää suhteessa maan pinta-alaan Euroopan Unionin alueella oli vuonna 2015 Suomessa (noin 76 %), Ruotsissa (noin 75 %) ja Sloveniassa (63 %). Eniten metsäalaa Euroopan Unionissa oli samana vuonna Ruotsissa (30,5 miljoonaa hehtaaria), Espanjassa (27,6 miljoonaa hehtaaria), Suomessa (23 miljoonaa hehtaaria) ja Ranskassa (17,6 miljoonaa hehtaaria) (Eurostat 2017b). Toisaalta esimerkiksi Saksassa ja Iso-Britanniassa biomassaa joudutaan tuomaan maahan, jotta bioenergian kysyntä saadaan katettua (Kraxner et al. 2017, s. 61).

Vaikka puuston määrä jollain suuremmalla tarkastelualueella kasvaisikin enemmän kuin sitä hakataan, voi pienemmällä tarkastelualueella tilanne samanaikaisesti olla päinvastainen. Esimerkiksi Agostini et al. (Agostini et al. 2017) kertoo vastineessaan IEA Bioenergin julkaisuun esimerkin, jossa Yhdysvaltojen North Carolinassa sijaitsevan Ahoskien kaupungin ympäristössä puiden määrä on vähentynyt 2000 – luvun alkupuoliskolta vuoteen 2016. Puuston vähentymisen syyksi epäillään vastineessa alueella sijaitsevaa isoa pellettitehdasta ja Yhdysvaltojen eteläosien pellettitehtaiden lisääntynyttä puun kysyntää. Paikallisesti bioenergian käyttö voi siis pienentää metsäalaa.

Jos siis ajatellaan bioenergian kestävyyttä ainoastaan siitä näkökulmasta, että bioenergian käyttö on kestävää niin kauan, kun puuston kasvu on suurempaa kuin poistuma, niin bioenergian käyttö on tällä hetkellä esimerkiksi Suomen ja Euroopan tasolla kestäväällä pohjalla. Tämä näkökulma ei kuitenkaan ota kantaa siihen, millaista metsää kasvava metsä on eli onko se esimerkiksi vanhaa vai uutta tai luonnonmukaista vai talousmetsää eikä siihen, millä tarkoilla alueilla metsää kasvaa. Metsistä saatavan biomassan käyttö on tämän näkökulman mukaan myös kestävää vain siihen asti, kun puuston hakkuumäärät ovat pienempiä kuin puuston kasvu. Suomessa tilanne tarkoittaa siis 12. metsäinventaarion mukaan karkeasti sanottuna maksimissaan 24 miljoonan kuutiometrin lisähakkuita. Toki puuston kasvussa ja poistumassa on myös alueellisia eroja, mikä voi johtaa biomassan maahantuontiin ja alueellisiin metsien vähentymisiin.

5.1.2 Vaihtoehtoiset puun ja maapinta-alan käyttötavat

Metsien kasvattaminen ei ole ainoa tapa käyttää maapinta-alaa, vaan sitä voidaan käyttää myös esimerkiksi ruuantuotantoon ja rakentamiseen. Myös metsistä saatavaa puuta voidaan käyttää eri tavoin energiantuotannon lisäksi eli esimerkiksi rakennusmateriaaleiksi tai erilaisten puupohjaisten tuotteiden raaka-aineiksi. Luvussa 4 analysoiduissa artikkeleissa bioenergian käytön vastustamista tai puolustamista perusteltiin erilaisilla näkemyksillä liittyen sekä pelkän puun erilaisiin käyttötapoihin että vaihtoehtoisiin maankäyttötapoihin. Yksi analysoiduissa artikkeleissa esitetty huoli liittyen maankäyttöön on se, että bioenergian käyttö veisi maata ruuantuotannolta (Aalto et al. 2016). The Black Book of Bioenergy – julkaisussa (Aalto et al. 2016) sanottiin myös, että bioenergian käytön seurauksena viljelykseen sopivaa maata käytetään biomassan kasvattamiseen, mikä taas johtaa siihen, että metsää kaadetaan ruuanviljelyä varten. Artikkeleissa (Säntti 2017; Toivonen 2017) esitettiin näkemyksiä myös siitä, että bioenergian käytön takia puu ei ohjaudu korkeimman jalostusarvon tuotteisiin ja optimaalisimpiin käyttötarkoituksiin.

Erilaiset näkemykset siitä, viekö bioenergian käyttö maapinta-alaa ruuantuotannolta, riippuu ainakin osittain oletuksista, joita on tehty tulevaisuuden bioenergian käyttömääristä. Joissain lähteissä esimerkiksi sanotaan, että bioenergian käyttö lisää biomassan maankäyttöä kaksin- tai jopa kolminkertaiseksi ja samanaikaisesti myös ruuantuotannon tarve maapinta-alalle kasvaa (Searchinger et al. 2017). Samaisessa lähteessä arvioidaan, että tulevaisuudessa bioenergian käyttö voisi olla jopa 500 eksajoulen (EJ) luokkaa. Toisaalta eräässä toisessa artikkelissa (Souza et al. 2017) esitetään paljon maltillisempia arvioita bioenergian käytöstä tulevaisuudessa. Artikkelissa arvioidaan, että vuonna 2050 bioenergian käyttö olisi 80–200 EJ. Joissakin tutkimuksissa on kerännyt yhteen erilaisia arvioita siitä, millaista bioenergian tekninen potentiaali on vuonna 2050 globaalisti. Eräässä tällaisessa tutkimuksessa (Creutzig et al. 2015) saatiin selville, että useat tutkimukset ovat sitä mieltä, että bioenergian käyttö on vuonna 2050 vähintään 100 EJ vuodessa, mutta harvempi tutkimus arvioi käytön määräksi 500 EJ vuodessa. Myös SCOPE:n (Scientific Committee on Problems of the Environment) julkaisussa (Woods et al. 2015) on kerätty yhteen viiden eri instituution tai järjestön (IPCC, IIASA, IEA, WWF ja Greenpeace) skenaarioarvot bioenergian käytön määrästä vuonna 2050. Arviot vaihtelevat välillä 80–180 EJ keskiarvon ollessa 138 EJ. Valitsemalla siis bioenergian käytön määrän tulevaisuudessa sopivalla tavalla, voi omaa kantaansa bioenergian käytön puolesta tai vastaan perustella helpommin.

Myös maatalouden kehittymisestä tulevaisuudessa on erilaisia näkemyksiä bioenergiaan positiivisemmin ja negatiivisemmin suhtautuvien välillä. Searchinger et al. (2017) sanoo artikkelissaan, että ruuan tarve tulee kasvamaan paljon tulevaisuudessa, jolloin myös maapinta-alan tarve kasvaa. Souza et al. (2017) taas arvioi artikkelissaan, että tulevaisuudessa maatalous kehittyy tehokkaammaksi, minkä myötä myös maankäyttö tehostuu. Artikkelissa arvioidaan, että maata riittää sekä lisääntyvään bioenergian käyttöön että ruuan

tuotantoon. Energia on perusedellytys kestäväälle ruuan tuotannolle, joten artikkelin mukaan bioenergian käyttö erityisesti kehittyvissä maissa parantaa ruoan saatavuutta muun muassa varasto- ja pakkausmahdollisuuksien avulla. Eli myös arviot siitä, millainen on ruuan kysyntä tulevaisuudessa, kuinka ruuantuotannon tekniikat kehittyvät ja millaista ruokaa tulevaisuudessa tuotetaan, vaikuttavat siihen, millaisia tuloksia erilaisista tulevaisuusskenaarioista saadaan.

Esimerkiksi Sántin (2017) ja Toivosen (2017) artikkeleissa nostettiin esiin huoli siitä, ettei bioenergian käytön seurauksena puu ohjautu optimaalisimpiin käyttötarkoituksiin ja korkeimman jalostusasteen tuotteisiin. Luvun 3.1. kuvassa 12 esiteltiin Suomen puuvirtoja, mistä kävi ilmi että suurin osa energiakäyttöön menevästä puusta tulee teollisen tuotannon ja metsänhoidon sivuvirroista, eikä energiakäyttöön kasvatetusta puusta. Bioenergia tulee siis Suomessa metsäteollisuuden sivutuotteena. Myös esimerkiksi Valtioneuvoston selonteossa kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta sanotaan (Huttunen 2017), ettei tuotantotukijärjestelmää tule laatia niin, että se ohjaisi jalostavan teollisuuden käyttöön soveltuvaa raaka-ainetta energiakäyttöön. Myös Suomen biotalousstrategiassa (2014) korostetaan sivuvirtoja bioenergian raaka-aineena ja esimerkiksi tulevaisuudessa nähdään entistä enemmän maatalouden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtojen hyödyntämistä. Nämä tavoitteet eivät tietenkään suoraan tarkoita sitä, ettei puuta voitaisi tulevaisuudessa kasvattaa ja myydä energiakäyttöön. Metsänomistajilla on valta päättää, mihin he haluavat metsää käyttää ja myydä puuta. Metsä voi olla omistajalleen esimerkiksi tulonlähde, virkistyspaikka tai harrastus (Rämö et al. 2009) ja nämä tavoitteet vaikuttavat metsänomistajien haluun myydä metsää. Myydessään puuta metsänomistajat ovat kiinnostuneita ennen kaikkea saamistaan voitoista (Weiss et al. 2017), joten puusta saatava korvaus vaikuttaa siihen, mihin tarkoitukseen he puuta myyvät. Siihen, päätyykö puu bioenergian raaka-aineeksi vai metsäteollisuuteen riippuu siis siitä, mitä puusta ollaan valmiita maksamaan. Eräissä tutkimuksissa saatiin kuitenkin sen suuntainen tulos, että osa metsänomistajista Ruotsissa, Saksassa ja Portugalissa myisi puunsa tulevaisuudessa edelleen mieluummin puunjalostukseen kuin bioenergian raaka-aineeksi, vaikka saadut voitot olisivat tällöin alhaisempia (Blennow et al. 2014). Poliittisilla toimilla tulee siis pyrkiä vaikuttamaan siihen, että puun myyminen korkeimman jalostusarvon tuotteisiin on tulevaisuudessa edelleen kannattavinta, vaikka myynnistä saatava voitto ei välttämättä ole ainoa kriteeri, jolla metsänomistajat tekevät myyntipäätöksiään.

Pohjimmiltaan maankäytön kysymykset ovat osa erittäin laajaa yhteiskunnallista kokonaisuutta, joissa eri maankäytön tavat kilpailevat keskenään. Tapojen välille tulee löytää kompromissi, joka tyydyttää kaikkia osapuolia. Se, mihin maata lopulta käytetään, on pitkälti myös arvokysymys kun tasapainoa eri toimintojen kanssa yritetään löytää.

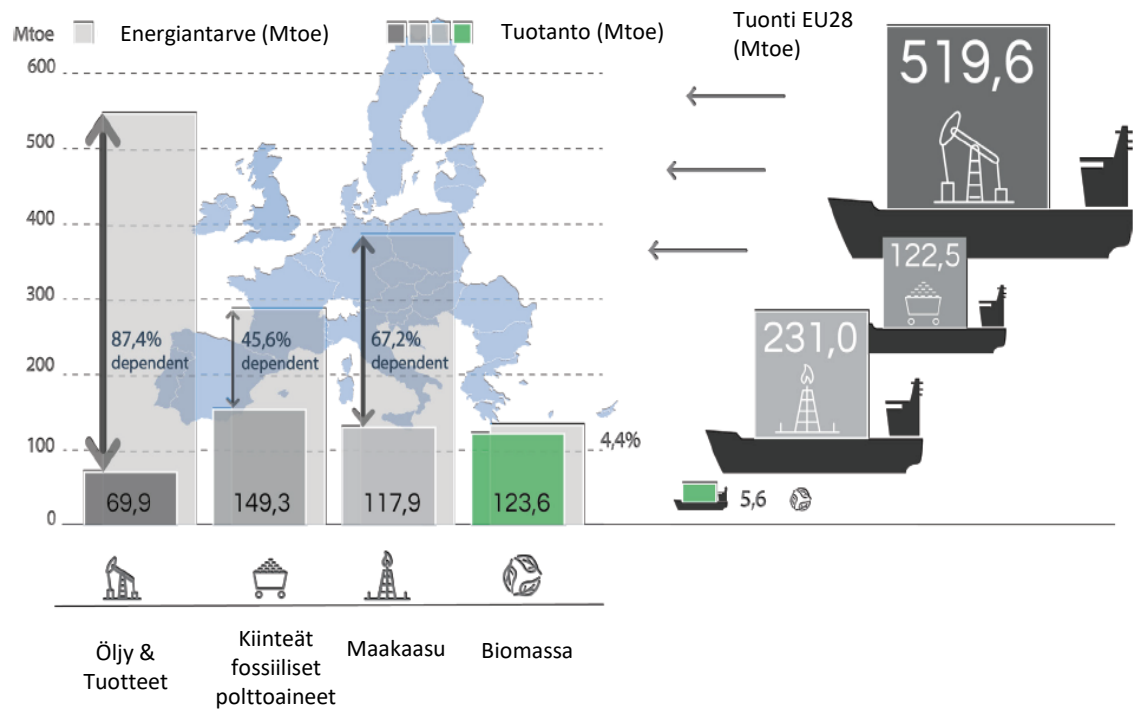
5.1.3 Biomassan alkuperä

Bioenergian hiilidioksidipäästöjä ajatellen eri osapuolet ovat melko yhtä mieltä siitä, että parhaita raaka-aineita bioenergian tuottamiseen on sellainen biomassa, joka voidaan käyttää energiaksi suoraan tuotantopaikallaan ja joka tulee jonkin prosessin ylijäämänä tai jätteenä (Brack 2017). Myös nopeasti luonnossa hajoavien hakkuutähteiden ja pienempien harvennuspuiden käyttö energiantuotannossa lisää ilmastohyötyjä (Seppälä et al. 2015, s.4), koska ne lahoaisivat metsässä vapauttaen hiilen ilmakehään joka tapauksessa (Rautiainen et al. 2018). Enemmän erimielisyyksiä aiheuttaa muun muassa millaisista metsistä puuta bioenergian raaka-aineeksi kerätään ja voiko puuta tai muuta biomassaa tuoda muista maista.

Biomassan keräyksestä suojelluilta alueilta puhutaan muun muassa *The Black Book of Bioenergy* – julkaisussa (Aalto et al. 2016). Julkaisussa kerrotaan tapauksesta itäisessä Slovakiassa, jossa puuta olisi hakattu bioenergian käyttöön suojelluista metsistä. Bioenergian käytön puolustajat taas sanovat, että biomassa kerätään energiakäyttöön kestävästi hoidetuista metsistä (World Bioenergy Association 2012) ja että vanhat metsät ovat suojeltuja esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Euroopassa (Parviainen 2007; Cowie et al. 2017). Metsien suojelun tiukkuus ja suojelualueiden ominaisuudet vaihtelevat Euroopassa erittäin paljon ja keskimäärin 8 % Euroopan metsistä on suojeltuja. Kuitenkin suurin osa (80 %) näistä metsistä on sellaisia, joissa joko vähäiset hoitotoimenpiteet tai aktiivinen monimuotoisuuden hoito metsissä on sallittua. Vain 15 % Euroopan metsistä kuuluu tiukan suojelun metsiin, jotka on jätettävä koskemattomaksi. Puolet näistä tiukan suojelun metsistä sijaitsee Suomessa. (Parviainen 2007) Metsien suojelu vaihtelee siis voimakkaasti alueittain, kuten suojelun noudattaminenkin ainakin Aalto et al. (2016) mukaan. Joillain alueilla metsiä suojellaan enemmän ja suojelua noudatetaan paremmin kuin toisilla alueilla. Bioenergian käytön yhteydessä joudutaan pohtimaan sitä, onko se, että joillain alueilla biomassaa saatetaan kerätä suojelluilta alueilta, riittävä argumentti kieltämään bioenergian käyttö niillä alueilla, joissa vastaavaa ongelmaa ei ole.

Toinen biomassan alkuperään liittyvä asia, joka herättää mielipiteitä, on biomassan tuonti muista maista biomassan kulutusmaahan. Esimerkiksi *The Black Book of Bioenergy* – julkaisussa (Aalto et al. 2016) kritisoidaan sitä, että biomassaa kuljetetaan joissakin tapauksissa maasta toiseen, mikä aiheuttaa pitkiä kuljetusmatkoja. Myös Chatham Housen raportissa (Brack 2017) puhutaan paljon biomassan tuonnista Yhdysvalloista Eurooppaan ja nostetaan esille kuljetuksessa syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. IEA Bioenergy (Cowie et al. 2017) kritisoi vastineessaan Chatham Housen raportin painotusta Yhdysvaltojen pellettimarkkinoihin ja sanoo vastineessa, että Yhdysvalloista kuljetetut pelletit muodostavat alle 2 % Euroopan Unionin puun energiakäytöstä. Euroopan biomassayhdistyksen (AEBiom 2016) raportin mukaan vuonna 2016 kaikki tuontibiomassa Eurooppaan muodosti vain 4,4 % Euroopan koko bioenergian kulutuksesta. Saman raportin mukaan tuontipelletit muodostivat 1,8 % kaikesta Euroopassa vuonna 2015 käytetystä kiinteästä biomassasta. Myös luvussa 3.1 esitellyssä kuvassa 12 nähdään, että puun tuonti Suomeen on

alle 15 % koko raaka-puun käytöstä Suomessa. Lisäksi on huomionarvoista, että Eurostatin tilastojen mukaan Euroopan vuonna 2015 käyttämästä raaka-öljystä 88,8 % ja maakaasusta 69,1 % oli Eurooppaan tuotua (Eurostat 2017). Kuvassa 18 on esitettyä samat luvut vuodelta 2015 Euroopan biomassayhdistyksen esittämänä (AEBiom 2016). Kuva havainnollistaa myös biomassan tuontia Eurooppaan suhteessa fossiilisten polttoaineiden tuontiin.



Kuva 18. Eri polttoaineiden tuonti Euroopan Unionin alueella vuonna 2015. Yksikönä on miljoonaa ekvivalenttitonnia. (AEBiom 2016, s. 9)

Biomassan tuonti Eurooppaan on siis maltillista varsinkin, kun tuontia verrataan fossiilisten polttoaineiden tuontiin. Biomassan tuonnin korostaminen Chatham Housen (Brack 2017) raportissa on näiden tietojen perusteella ylimitoitettua.

5.2 Bioenergian aiheuttamat kasviuonekaasupäästöt

Toinen erilaisia näkemyksiä aiheuttava asia bioenergian kohdalla on sen käytöstä aiheutuvat kasviuonekaasupäästöt, niiden määrä ja laskentatapa. Useat toimijat sanovat biomassan synnyttävän tai saattavan synnyttää palaessaan enemmän hiilidioksidipäästöjä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin (Aalto et al. 2016; Brack 2017; Searchinger et al. 2017). Toisen näkökulman mukaan bioenergian käyttö ei lisää kasviuonekaasupäästöjä,

kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi laajalla aikavälillä ja laajalla alueelta. Lisäksi osassa julkaisuista painotetaan sitä, etteivät bioenergian käytöstä aiheutuneet kasvihuonepäästöt lisää ilmaston kasvihuonekaasupitoisuutta, koska biomassan poltosta syntyvät hiilipäästöt ovat osa maapallon luonnollista hiilikiertoa (World Bioenergy Association 2012; Cowie et al. 2017; Renewable Energy Association 2017).

Joissakin julkaisuissa (World Bioenergy Association 2012; Cowie et al. 2017) näkökulma on se, että vaikka muutokset maankäytössä ja bioenergian käyttö aiheuttaisivatkin kasvihuonepäästöjä ilmakehään, on ilmastolämpenemisen ensisijainen aiheuttaneet fossiiliset polttoaineet. Vuonna 1950 kasvihuonepäästöt fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja maankäytön muutoksista olivat likimain samat, kun 2010 – luvulle tultaessa fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyneet kasvihuonekaasupäästöt ovat kymmenenkertaiset verrattuna maankäytön muutoksista aiheutuviin päästöihin. (World Bioenergy Association 2012)

5.2.1 Biomassan palamisesta aiheutuvat päästöt

Useissa julkaisuissa sanotaan, että biomassan polttaminen synnyttää yleensä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä tuotettua energiayksikköä kohti kuin fossiilisten polttoaineiden polttaminen (Agostini et al. 2014; Brack 2017; Searchinger et al. 2017). Vaikka joidenkin puutyypin polttaminen saattaa synnyttää vähemmän hiilipäästöjä kuin joidenkin toisten puutyypin polttaminen, niin yleisesti puu on hiili-intensiivisempää kuin fossiilinen hiili ja erityisesti maakaasu (Brack 2017). Tämä johtuu biomassan matalammasta energiatiheydestä ja siitä, että se sisältää enemmän kosteutta ja vähemmän vetyä kuin fossiiliset polttoaineet (Brack 2017). Myös muun muassa Euroopan komission tutkimuskeskuksen raportin mukaan (Agostini et al. 2014) puupohjaisen biomassan poltossa syntyy useimmissa tapauksissa enemmän hiilidioksidipäästöjä ilmakehään kuin sen korvaamien fossiilisten polttoaineiden. Raportin mukaan tämä johtuu siitä, että biomassa sisältää vähemmän energiaa hiilikiloa kohti, biomassalla on matalampi konversiohyötysuhde ja siitä aiheutuu suuremmat energiahäviöt ja päästöt keräyksessä, kuljetuksessa, prosessoinnissa, varastoinnissa ja jakelussa verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin.

Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) on esitellyt suuntaviivat eri polttoaineiden aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä (Gómez et al. 2006), mitä käytetään hyväksi esimerkiksi päästölaskelmissa Euroopan Unionin päästökauppajärjestelmässä (Brack 2017). Taulukkoon 4 on kerätty muutamia eri hiilipolttoaineen, maakaasun sekä puun ja biokaasun poltosta aiheutuvien hiilidioksi-, metaani- ja dityppioksidipäästöjen laskentasuositukset. Lihavoituna on Suomen käyttämät päästöarvot.

Taulukko 4. *Palamisessa syntyvien eri kasvihuonekaasupäästöjen määrä (kg CO₂) tuotettua terajoulea kohden eri polttoaineilla IPCC:n raportointisuosituksen mukaan. Lihavoinnilla on merkitty Suomen käyttämät päästökertoimet. (Gómez et al. 2006; Statistics Finland 2018)*

Päästöt (kg CO₂ / TJ)			
	Hiilidioksidi (CO₂)	Metaani (CH₄)	Dityppioksidi (N₂O)
Antrasiitti	98 300 (94 600-101 000)	1 (0,3-3)	1,5 (0,5-5)
Bitumipitoinen kivihiili	93 100-94 000 (73 000-89 900)	3 (1-10)	0,6 (0,2-2)
Maakaasu	55 340 (54 300-58 300)	1 (0,3-3)	0,1 (0,03-0,3)
Puu	109 000 (95 000 -132 000)	30 (10-100)	4 (1,5-15)
Biokaasu	56 100 (46 200-66 000)	1 (0,3-3)	0,1 (0,03-0,3)

Kuten taulukosta 4 havaitaan, polttoaineiden päästöissä on jonkin verran hajontaa pienimmän ja suurimman päästömäärän välillä. Kaasumaisten ja kiinteiden polttoaineiden välillä on huomattavin ero syntyvien päästöjen määrissä. Maakaasun ja biokaasun poltosta syntyikin IPCC:n mukaan vähiten hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjä ja myös metaanipäästöt ovat samalla tasolla bitumipitoisesta kivihiilestä syntyvien päästöjen kanssa. Puun poltosta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen oletusarvo, kuten myös metaani- ja dityppioksidipäästöjenkin, on hieman suurempi kuin muiden taulukossa esitettyjen polttoaineiden oletusarvot. Puun poltossa syntyvät päästöt voivat joissain tilanteissa olla myös pienemmät kuin hiilen poltosta aiheutuvat johtuen päästöjen vaihteluvälistä. Ei siis voida suoraan sanoa, että biomassan poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt olisivat aina suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvät päästöt. Oletusarvoltaan puun poltosta syntyvät palamisen päästöt ovat kuitenkin IPCC:n materiaalin ja Suomen päästökertoimien pohjalta suuremmat kuin hiilen ja maakaasun poltosta syntyvät.

Euroopan komission tutkimuskeskuksen raportissa (Agostini et al. 2014) tuodaan esiin se seikka, että kun fossiilisten polttoaineiden ja biomassan poltosta aiheutuvia kasvihuonepäästöjä verrataan, on hyvä huomioda, että pitkän aikavälin tarkasteluissa ei voida olla varmoja referenssisysteemin aiheuttamista kasvihuonepäästöistä. Pitkällä aikavälillä esimerkiksi energiantuotantoon käytettävien laitteiden tehokkuus on voinut parantua niin paljon, ettei biomassan käytöstä saada enää niin merkittäviä päästösäästöjä. Toisaalta tilanne taas on voinut muuttua toiseen suuntaan, jolloin referenssisysteemissä käytetäänkin entistä päästöintensiivisempiä energialähteitä, jolloin biomassan käytöstä energialähteenä saadaankin merkittäviä päästöhyötyjä.

5.2.2 Voimalaitosten hyötysuhde

Kun bioenergian aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellaan, verrataan päästöjä usein fossiilisiin polttoaineisiin, joita bioenergialla korvattaisiin. Yksi asia, joka vaikuttaa eri polttoaineiden aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen määrään, on polttoainetta käyttävien voimalaitosten hyötysuhde. Esimerkiksi Chatham Housen (Brack 2017) raportissa tuodaan esille huoli siitä, että biomassaa polttoaineenaan käyttävien voimalaitosten hyötysuhde on huonompi kuin fossiilisia polttoaineita käyttävien. Tällöin siis saman energiamäärän tuottamiseksi täytyisi polttaa enemmän biomassaa, jolloin syntyvät kasvihuonekaasupäästötkin ovat suuremmat.

Euroopan komission tutkimuskeskuksen mukaan (Lecomte et al. 2017, s. 461) käytettäessä biomassaa ainoastaan sähköä tuottavissa voimalaitoksissa, on voimalaitosten hyötysuhteen vuosittainen keskiarvo 11–36 %. Kun biomassaa on tällaisissa voimalaitoksissa poltettu pölypoltolla (pulverised combustion) on hyötysuhteeksi saatu esimerkiksi Suomessa jopa 38–39 %. Pelkän sähköntuotannon sijasta biomassaa on kuitenkin yleisempää käyttää yhdistettyyn lämmön – ja sähköntuotantoon (CHP). Yleistä biomassaa hyödyntävien CHP – laitosten hyötysuhdetta on hankala määrittää, koska hyötysuhde on voimalaitoskohtainen ja riippuu paljon muun muassa lämpökuormasta, sähkön tarpeesta markkinoilla, hintatasosta. Hyötysuhde CHP-laitoksissa vaihtelee yleensä välillä 75–90 % (European Commission Joint Research Centre 2006).

Pelkästään sähköä tuottavien hiilikäyttöisten voimalaitosten hyötysuhde on noin 40–47 %. Pienemmissä voimalaitoksissa (0-350 MW) laitoksissa hyötysuhde voi olla alle 30 % (European Commission Joint Research Centre 2006, s. 232). Euroopassa on myös paljon vanhoja hiilikäyttöisiä voimalaitoksia, joiden hyötysuhde jää alle 30 prosenttiin (Lecomte et al. 2017, s. 382). Hiiltä polttoaineenaan käyttävissä CHP – laitoksissa hyötysuhde on 75–90 % (European Commission Joint Research Centre 2006, s. 4).

Huomionarvoista eri polttoainetta käyttäviä voimalaitoksia vertailtaessa on, että biomassaa polttoaineenaan käyttävät voimalaitokset ovat yleensä pienempikokoisia kuin hiiltä polttoaineenaan käyttävät voimalaitokset. Tämän takia myös biomassakäyttöisessä voimalaitoksessa höyryn paine ja lämpötila ovat matalampia kuin hiilikäyttöisessä voimalaitoksessa. (Lecomte et al. 2017, s. 461) Tällöin hyötysuhteessa ei päästä samanlaisiin lukemiin kuin hiilikäyttöisillä suurilla voimalaitoksilla. Pienempikokoisissa hiilivoimalaitoksissakin hyötysuhde tippuu matalammalle tasolle, joka on myös lähempänä biomassaa hyödyntävien voimalaitosten hyötysuhdetta. Kun eri julkaisuissa vertaillaan eri polttoainetta käyttävien voimalaitosten hyötysuhteita, tulisi huomioida myös voimalaitosten koko, jotta hyötysuhteet ovat vertailukelpoisia.

5.3 Metsien rooli hiilivarastona ja ilmastonmuutoksen torjunnassa

Bioenergian käyttö on ilmastonmuutoksen näkökulmasta olennaista erityisesti siksi, koska se vaikuttaa metsiin ja maaperään varastoituneen hiilen määrään sekä näiden hiilivarastojen kehittymiseen. Metsät voivat toimia hiilinieluna tai hiililähteinä riippuen siitä, sitovatko ne vai luovuttavatko ne hiilipäästöjä eli hiilidioksidia ja metaania. Yhdistyneiden kansakuntien määritelmän mukaan (United Nations 1992) hiilinielut tarkoittavat prosesseja aktiiviteettejä ja mekanismeja, jotka poistavat kasvihuonekaasuja ilmakehästä. Hiililähteet toimivat päinvastoin. Kun metsä toimii hiilinieluna, myös sen hiilivarasto kasvaa. Jos metsän sitomat ja luovuttamat hiilipäästöt ovat yhtä suuria, toimii metsä ainoastaan hiilivarastona. (World Bioenergy Association 2012; Seppälä et al. 2015, s. 8).

Vallalla on kaksi erilaista näkökulmaa bioenergian käytön roolista ilmastonmuutoksen torjunnassa ja metsäbioenergian käytön vaikutuksista hiilivarastojen kokoon. Toisen näkökulman mukaan bioenergian käyttö ei ole hyvä asia ilmaston kannalta, koska se uhkaa biomassan muodostamaa hiilivarastoa. Toisen näkökulman mukaan taas bioenergian käyttö on ilmaston kannalta hyvä asia muun muassa siksi, että biomassan poltossa vapautunut hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan ja että metsien aktiivisempi hoitaminen lisää metsien hiilivaraston kokoa. Näkemys ero kulminoituu pitkälti siihen, kuinka kiireellisinä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamista pitää ja sitä kautta siihen, millaisella ajanjaksolla asiaa tarkastelee. Pitkällä aikavälillä eli noin 50–100 vuodessa metsien energiakäytön ilmastohyödyt verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin on helpommin nähtävissä, kun taas lyhyellä aikavälillä eli 10–30 vuodessa ilmastohyödyt ovat kyseenalaisempia (Seppälä et al. 2015).

5.3.1 Bioenergian käytön vaikutus metsien hiilivarastoon

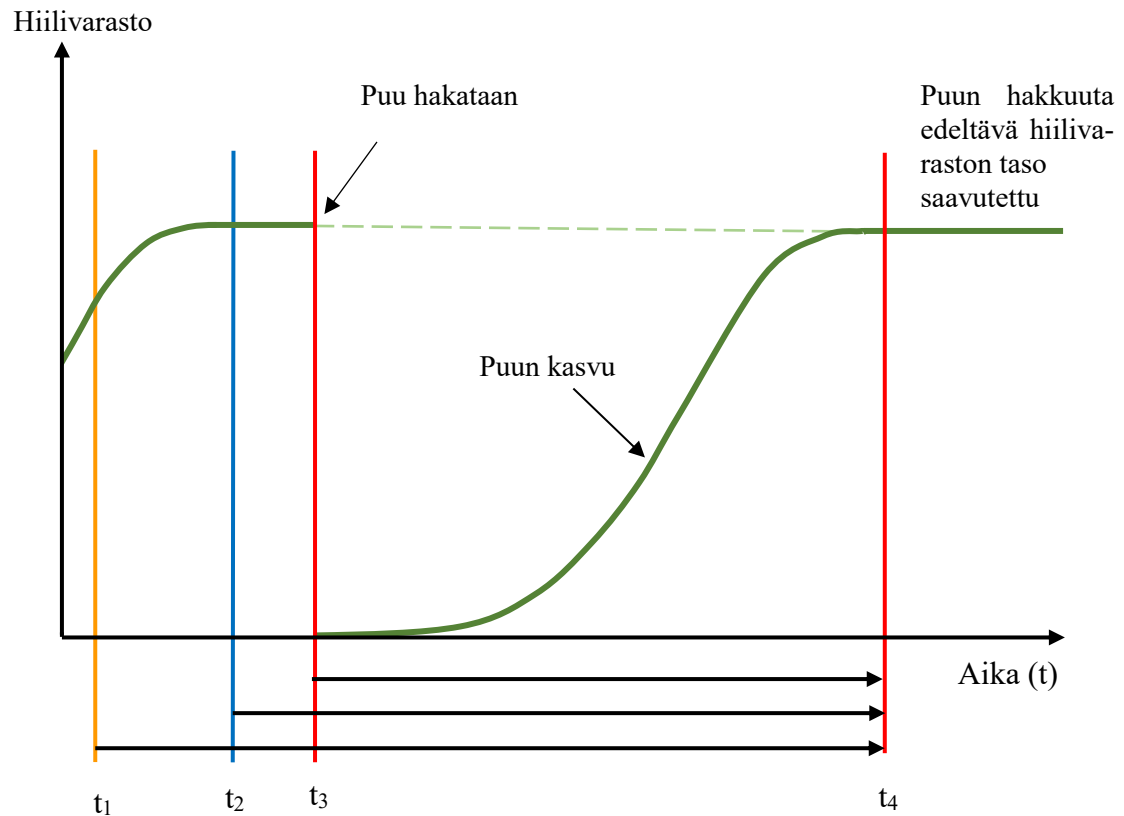
Yksi tärkeimmistä metsäbioenergian käyttöön liittyvistä erimielisyyksistä on bioenergian käytön vaikutukset metsien muodostamien hiilivarastojen kokoon ja kehitykseen. Osissa luvussa 4 analysoiduissa julkaisuista sanottiin, että bioenergian käyttö pienentää hiilinielua ainakin lähivuosikymmeninä (Aalto et al. 2016; Säntti 2017; Brack 2017). Toisissa julkaisuissa taas sanottiin, ettei bioenergian käyttö pienennä hiilivarastoja ja hiilinieluja, kunhan metsien kasvu pysyy suurempana kuin hakkuu ja kun asiaa tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla (Säntti 2017; World Bioenergy Association 2017; Cowie et al. 2017). Lisäksi bioenergian puolustajat sanovat, että hiilen vapautumista metsistä tapahtuu joka tapauksessa muun muassa puun lahoamisen, metsäpalojen ja erilaisten myrskyjen ja tuholaisien seurauksena (Aalto et al. 2016; Säntti 2017; Cowie et al. 2017).

Kun bioenergian käytön vaikutusta hiilivaraston kokoon ja hiilinieluna toimimiseen arvioidaan erilaisilla malleilla, on metsän alkutilan ja tarkastelujakson pituudella vaikutusta saatuihin tuloksiin (Berndes et al. 2016). Alkutilaksi voidaan valita täysikasvuinen metsä

tai vielä kasvuvaiheessa oleva metsä. Alkutilan valinnalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suurelta hiilivaraston koon muutos alkutilan ja lopputilan välillä vaikuttaa (Ter-Mikaelian et al. 2015). Myös tarkastelujakson pituudella voidaan vaikuttaa siihen, ehtiikö puuston hiilivarasto kasvaa takaisin tarkastelujakson aikana vai ei (Berndes et al. 2016; Koponen et al. 2018). Puulaji, maantieteellisen sijainti ja kasvuolosuhteet nimittäin vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti puun energiakäytöstä syntyneet hiilipäästöt ovat sitoutuneet takaisin metsiin eli kuinka nopeasti niin kutsuttu hiilivelka on maksettu. Esimerkiksi Eucalyptus – puun uudelleenkasvu kestää 10–11 vuotta, kun Etelä-Lapissa kasvavalla männällä se kestää yli 100 vuotta. (Seppälä et al. 2015, s. 21) Jos mallin tarkastelujaksoksi valitaan esimerkiksi 70 vuotta, ovat nopeammat puut ehtineet kasvaa uudestaan ja varastoida hakkaamisestaan syntyneet hiilipäästö monta kertaa, kun taas hitaammin kasvavat puut eivät ole saavuttaneet hakkuun jälkeen täysikasvuisuutta.

Yksinkertaisimmassa ajattelutavassa puuston kasvu ja hiilitaseen muutosten arviointi tapahtuu yksittäisen puun tai useamman puun muodostaman metsikön kautta. Usein ajatellaan, että puu tai metsikkö hakataan, se kasvaa ja tietyn ajan kuluttua se taas hakataan. Tällaisen mallin käyttö on perusteltua lähinnä tapauksissa, joissa halutaan mallintaa bioenergian käyttöönottoa täysin uudella metsäalueella (Berndes et al. 2016). Todellisuudessa esimerkiksi Suomessa metsikköä harvennetaan, eikä metsikön kiertoaika ole niin suoraviivainen (Seppälä et al. 2015, s. 21). Usein materiaaleissa esitetään hiilivaraston tarkastelu niin, että alkutilanteessa metsä on juuri hakattu kokonaan ja lopputilanteessa metsä on saavuttanut täysi-ikäisyyden. Tällä tavalla tarkasteltuna bioenergian käytön vaikutus hiilivaraston kehittymiseen ja hiilinieluun negatiivisesti näyttää ilmeiseltä.

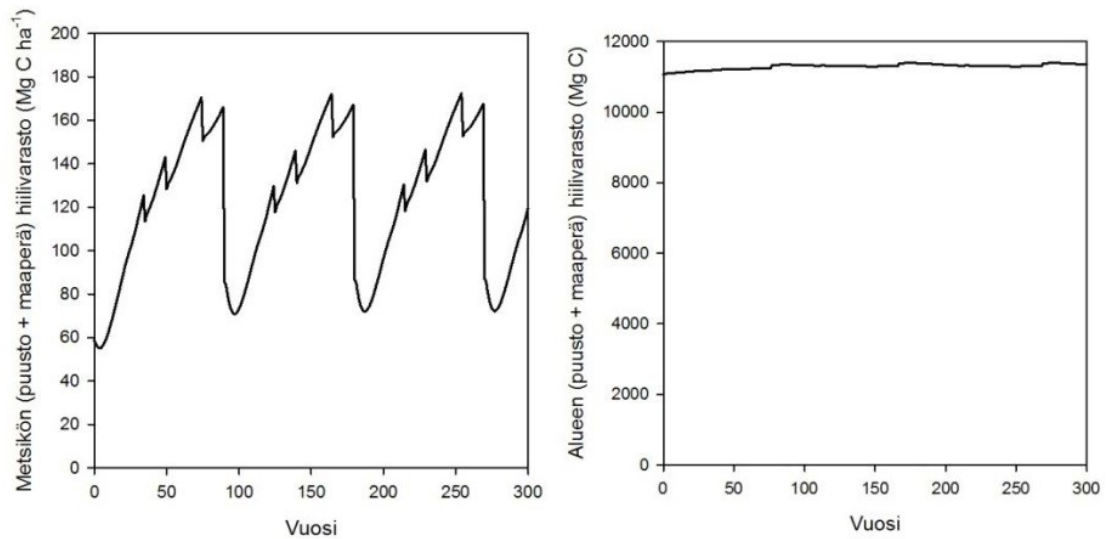
Kuvassa 19 on havainnollistettu tarkasteluajanjakson ja alkutilanteen vaikutusta saatuihin tuloksiin. Kun yksittäisen puun aiheuttaman hiilivaraston koon tarkastelu aloitetaan täysikasvuisesta puusta ja päätetään hakkuun jälkeen kasvaneeseen puuhun (aikaväli t_2 - t_4), havaitaan, että hiilivaraston koko on alku- ja lopputilanteessa likimain yhtä suuri. Kun taas tarkastelu aloitetaan kasvavasta puusta ja päätetään hakkuun jälkeen täysikasvuiseksi kasvaneeseen puuhun (aikaväli t_1 - t_4), on hiilivaraston koko lopputilanteessa suurempi kuin alkutilanteessa. Tarkastelujakson pituuden valinnan ja puun tai metsän kasvuvaiheen yhteensovittamisella on siis olennainen vaikutus hiilivaraston kehittymisen mallintamisessa.



Kuva 19. Yksittäisen puun hiilivaraston kehittyminen ja eripituiset tarkasteluajanjaksot. Pohjautuu lähteisiin (Koponen et al. 2015, s. 47; Ter-Mikaelian et al. 2015; Koponen et al. 2018)

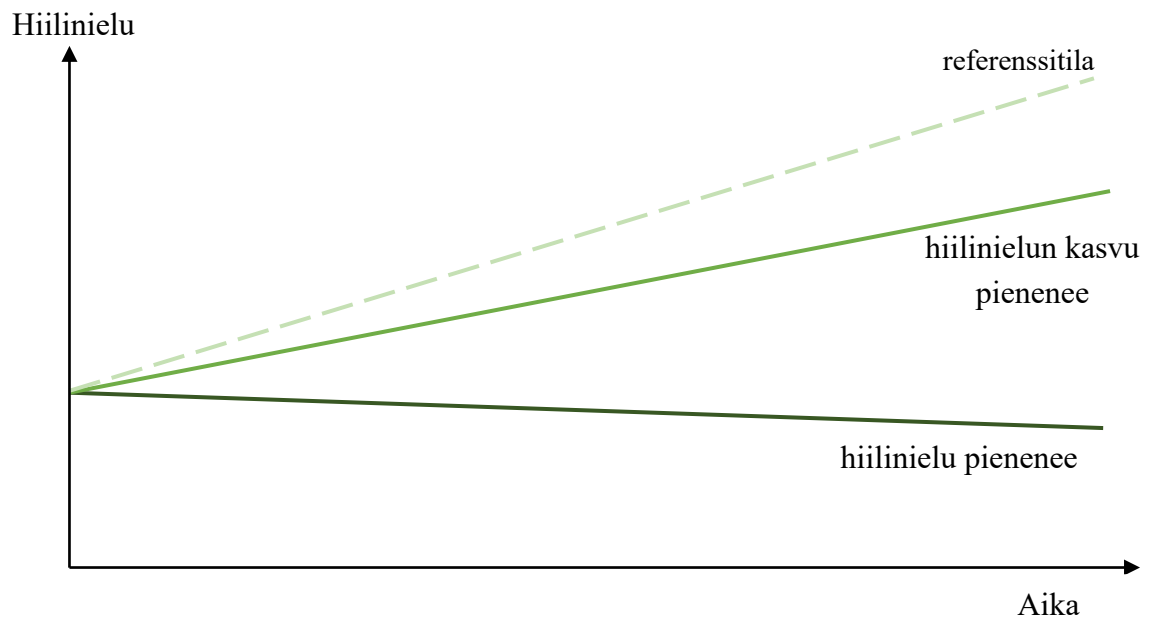
Kun tarkastellaan bioenergian käytön vaikutuksia metsien hiilivarastoihin ja hiilinieluna toimimiseen, vaikuttaa joidenkin lähteiden mukaan myös valittu tarkastelujakson laajuus saatuihin tuloksiin. Esimerkiksi Ilmastopaneelin raportissa (Seppälä et al. 2015) Suomen metsät jaetaan metsiköihin, metsänomistajien metsälöihin sekä laajempaan metsäalueeseen tai kokonaisuudessaan Suomen metsiin. Raportin mukaan metsien muodostaman hiilivaraston muutoksista bioenergian käytön tai yleisemminkin metsänkäytön seurauksena saadaan erilainen kuva riippuen siitä, millaista tarkastelualueen laajuutta käytetään. Tarkastelualueen koon merkitystä hiilivaraston kokoon on havainnollistettu kuvassa 20. Kun tarkastelualueena käytetään pienempää yksikköä kuten metsikköä, ovat hiilivaraston muutokset suuria ja säännöllisiä, koska ne kohdistuvat lähes koko tarkastelualueeseen. Jos tarkastelualueena on laajempi alue, eivät vuosittain tapahtuvat metsiköiden hakkuut näy koko laajan alueen hiilivaraston määrässä, koska ne kohdistuvat vain pieneen osaan koko alueesta. (Seppälä et al. 2015) Myös Cowie et al. (2017) painottaa vastineessaan Chatham Housen raporttiin tarkastelualueen laajuuden merkitystä arvioitaessa bioenergian käytön vaikutuksia metsien muodostamiin hiilivarastoihin samoilla perusteilla kuin Ilmastopaneelin raportissakin on esitetty. Euroopan metsäinstituutin kokoamassa raportissa (Berndes et al. 2016) asiaa kommentoidaan niin, ettei yksittäisten metsiköiden tasolla tehtyjä hiilivarastomalleja pitäisi hyödyntää poliittisessa päätöksenteossa vaan siinä

tulisi huomioida laajempia alueita ja bioenergian hyödyntämistä osana koko energiasysteemiä.



Kuva 20. : Metsikön ja metsäalueen puuston ja maaperän hiilivaraston kehittyminen suomalaisessa metsässä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on esitetty tilanne metsikössä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on tilanne laajemmalla metsäalueella, joka sisältää 90 vasemmanpuoleisen kuvan metsikköä, joita perustetaan yhtä suuri ala vuosittain ja jota hakataan vasemmanpuoleisen kuvan esittämällä tavalla. (Seppälä et al. 2015, s. 17)

Tarkasteltaessa bioenergian käytön vaikutuksia metsien muodostamien hiilivarastojen kehitykseen tai hiilinielujen kokoon on tärkeä havaita myös ero ilmaisissa ”hiilinielu pienenee” ja ”hiilinielun kasvu pienenee”. Aiemmin on todettu, että metsä toimii hiilinieluna silloin, kun sen sitoman hiilen määrä on suurempi kuin sen vapauttaman. Kun metsän sitoman ja vapauttaman hiilen määrä on tasapainossa, toimii metsä ainoastaan hiilivarastona, hiilinielun ollessa nolla. Niin kauan kun puuston kasvu on suurempaa kuin poistuma, toimii puusto hiilinieluna. Luvussa 5.1.1. todettiin, että Suomen ja Euroopan Unionin tasolla puuston kasvu on tällä hetkellä suurempaa kuin poistuma, joten myös hiilinielu pysyy positiivisena. Se, kasvaako hiilinielu vai pieneneekö hiilinielu, riippuu siitä kasvaako vai pieneneekö puuston kasvun ja poistuman välinen erotus. Kuvassa 21 on havainnollistettu hiilinielun kasvun pienenemisen ja hiilinielun pienemisen eroa. Kun metsästä hakataan puuta, hiilinielu on pienempi kuin tilanteessa, jossa puuta ei hakata sillä oletuksella, ettei referenssitilassa tapahdu muita muutoksia (Koponen et al. 2018). Tällöin hiilinielu siis pienenee suhteessa referenssitilaan, vaikka sen koko kasvaakin. Tämä pieneminen ei siis automaattisesti tarkoita sitä, että hiilinielu pienenee.



Kuva 21. Metsän hiilinielun pieneneminen ja kasvun pieneneminen verrattuna referenssitilaan

Toisaalta esimerkiksi Chatham Housen raportissa (Brack 2017) olennaisena ei kuitenkaan pidetä sitä, kasvaako tai pieneneekö hiilivarasto ja hiilinielu bioenergian käytön seurauksena, vaan tärkeämpänä pidetään sitä, mitä metsälle ja sen muodostamalle hiilivarastolle olisi tapahtunut, jos sitä ei olisi käytetty bioenergian raaka-aineeksi. Tässä ajatuksessa keskitytään siihen, että jos bioenergian käyttöä ei olisi, metsä olisi koskematon ja hiilinielu voisi kasvaa. Todellisuudessa suurin osa bioenergian raaka-aineista ainakin Suomessa saadaan metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten luvussa 3.1 havaittiin. Vaikka metsäbiomassan hyödyntämisestä bioenergian tuotantoon luovuttaisiin, metsää hakattaisiin hyvin todennäköisesti edelleen. On siis virheellistä väittää, että pelkästään bioenergian käytöstä luopumalla metsät säilyisivät luonnontilassa. Ylipäätänsä olisi tärkeä siis pohtia sitä, mikä on referenssitila, johon hiilivaraston tai hiilinielun kokoa verrataan. Käytetäänkö referenssitilassa metsää lainkaan, paljonko ja millaisiin toimintoihin metsää käytetään sekä miten metsää referenssitilassa hoidetaan (Koponen et al. 2018)? Vertailutilan tarkka määrittely on tärkeää, jotta vertailua voidaan ylipäätänsä suorittaa.

Eri näkemykset siitä, millaisella aikavälillä bioenergian käytön vaikutuksia pitäisi tarkkailla, riippuvat pitkälti siitä, pitääkö kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä tärkeämpänä lyhyellä vai pitkällä aikavälillä. Chatham Housen raportissa (Brack 2017) tuodaan esille kaksi seikkaa, miksi bioenergian vaikutuksia hiilitasapainoon ja metsien hiilivarastoihin tulisi tarkastella lyhyellä aikavälillä. Ensimmäinen syy on pelko ilmastonmuutoksen käännekohdasta eli ilmaston lämpenemisen aiheuttamasta ilmaston muuttumisesta peruuttamattomasti stabiilista tilasta toiseen korkeamman lämpötilan stabiiliin tilaan. Tämän uhan takia hiilipäästöjen lisääntyminen lyhyellä tai keskipitkällä välillä olisi entistä

huonompi asia. Toinen Chatham Housen raportissa esitetty syy lyhyen aikavälin tarkasteluille on Pariisin ilmastopöytäkirja. Arvioiden mukaan Pariisin ilmastopöytäkirjan tavoitteiden saavuttaminen vaatii päästöjen vähenemistä nopealla aikataululla, jolloin myös bioenergian käytön vaikutuksia hiilivarastoon tulee tarkastella lyhyellä aikavälillä. Myös Sántin (2017) artikkelissa bioenergia käyttöön kriittisemmin suhtautuvat painottivat, että nopeita ilmastotoimia on tehtävä, jotta Pariisin ilmastopöytäkirjan tavoitteet voidaan saavuttaa.

Toisaalta esimerkiksi Ilmastopaneelin (Seppälä et al. 2015) julkaisun mukaan metsien hiilivarastojen keskipitkän ja pitkän aikavälin tarkastelua puoltaa esimerkiksi IPCC:n näkemys kumulatiivisen päästökehityksen ja maapallon lämpötilan yhteydestä. Näin ajateltuna bioenergian käytöstä lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä menetetyt ilmastohyödyt eivät ole niin kriittisiä kuin pitkällä aikavälillä saadut hyödyt. Käytännössä nämä pitkän aikavälin hyödyt tarkoittavat siis muun muassa sitä, että uusi biomassan kasvu sitoo ilmakehään bioenergian käytössä syntyneet hiilidioksidipäästöt. Euroopan metsäinstituutin raportissa (Berndes et al. 2016) taas nähdään, että keskittyminen voimakkaasti lyhyen aikavälin kasvihuonekaasupäästöihin voi vaikeuttaa pidemmän aikavälin ilmastotavoitteiden saavuttamista. Tämänkin raportin mukaan hiilipäästöjen tarkkaa syntymisajankohdtaa tärkeämpää on niiden kokonaismäärä pitkällä aikavälillä. Kuvaan 22 on kerätty perusteluita siihen, miksi eri osapuolet näkevät pitkän tai lyhyen aikavälin ilmastohyödyt toisia tärkeämmiksi.

Pitkällä aikavälillä saatavat ilmastohyödyt ovat tärkeimpiä

- Päästöjen syntymisaikaa tärkeämpää on niiden kokonaismäärä pitkällä aikavälillä
- Biomassan kasvu sitoo sen käytöstä aiheutuneet hiilipäästöt pitkällä aikavälillä
- Korvaavat fossiilisten polttoainesten käyttöä pitkällä aikavälillä

VS.

Lyhyellä aikavälillä saatavat ilmastohyödyt ovat tärkeimpiä

- Kasvihuonepäästöjä on vähennettävä nopeasti
- Bioenergian käyttöä vähennettävä ja hiilinielun kasvu maksimoitava
- Pelkona ilmaston muuttuminen peruuttamattomasti
- Pariisin ilmastopöytäkirjan takia tehtävä nopeita toimia

***Kuva 22.** Näkemyseroja liittyen bioenergian käytöstä aiheutuviin pitkän ja lyhyen aikavälin ilmastohyötyihin*

5.3.2 Bioenergian käytön vaikutus metsien kasvuun

Kun bioenergian käytön yhteydessä puhutaan sen vaikutuksista metsien muodostamien hiilivarastojen ja hiilinielujen kokoon, esiintyy erilaisia näkemyksiä siitä, miten bioenergian käytön ajatellaan vaikuttavan siihen. Esimerkiksi IEA Bioenergy:n vastineessa Chatham Housen raporttiin (Cowie et al. 2017) tuodaan esille näkökulma, että bioenergian käyttö lisäisi investointeja metsien parantamiseen, jolloin metsien terveys ja tuottavuus paranevat, mikä osaltaan parantaa metsien muodostamaa hiilivarastoa. Myös Koponen et al. (2018) artikkelissa esitetään skenaario, jossa bioenergian käytön seurauksena, metsien hoito paranee ja sitä kautta hiilivarasto metsässä kasvaa alkuperäistä suuremmaksi. Jos bioenergiaa ei käytettäisi, pienenesi hiilivaraston koko johtuen puuston luonnollisesta poistumasta esimerkiksi tautien, tuholaiten ja metsäpalojen takia.

Esimerkiksi Chatham Housen raportissa Brack (2017) esittää viiden Yhdysvaltojen osavaltion metsämaan määrän vuosina 2011 ja 2014, eikä metsämaan määrässä ole havaittavissa merkittäviä muutoksia, vaikka kyseisenä ajankohtana puupellettimarkkinat ja biomassateollisuus laajenivat alueella. IEA Bioenergy (Cowie et al. 2017) on tarttunut tähän argumenttiin ja kritisoi sitä, ettei metsämaan muutoksesta pysty vielä päättelemään, onko bioenergian käytöllä ollut vaikutusta metsänhoitoon kyseisissä osavaltioissa. Metsämaan määrä olisi samassa ajassa voinut myös pienentyä ilman puun energiakäyttöä esimerkiksi kaupunkien leviämisen, metsäpalojen tai puutuotteiden markkinoiden heikkenemisen takia. Kyseinen argumentti ei siis sellaisenaan todista, ettei bioenergian käyttö lisäisi metsien kasvua lisääntyneen metsänhoidon takia. Se, ettei jossain tutkimuksessa ole saatu todistettua sitä, että puun hakkaaminen energiaksi lisäisi puiden kasvua kestävänsä metsänhoidon seurauksena, ei automaattisesti tarkoita sitä, ettei näin voisi olla.

Keskustelussa on esitetty myös näkökulmia siitä, että vaikka puun käytön vähentäminen lisäisi ilmastohyötyjä hiilinielun kasvaessa lyhyellä aikavälillä, pitkällä aikavälillä suurempaa hyötyä saataisiin metsien intensiivisellä hyödyntämisellä ja hoidolla (Seppälä et al. 2015, s. 6). Esimerkiksi Sántin (2017) artikkelissa sanotaan, että jo muutamassa vuosikymmenessä kasvava metsä sitoisi itseensä enemmän hiiltä kuin hakkuukypsä metsä, josta alkaa myös vapautua hiilidioksidia luonnollisesti puun lahoamisen takia. Pitkän ajan kuluessa luonnonmukainen metsä on luovuttanut suurin piirtein saman määrän hiiltä lahotessaan ja soluhengityksen kautta kuin mitä se on sitonut itseensä kasvun aikana (World Bioenergy Association 2012). Metsien harvennuksissa myös poistetaan osa puista, jolloin metsään jäävät puut pystyvät kasvamaan suuremmiksi (Cowie et al. 2017).

5.4 Yhteenveto väitteiden ja argumenttien tarkastelusta

Tässä luvussa on tarkasteltu tarkemmin joitakin bioenergiaan liittyviä väitteitä ja argumentteja, joilla väitteitä perustellaan. Samalla väitteistä on tunnistettu erilaisia rajauksia, reunaehdoja ja lähtötietoja, joilla asiaa on saatu muokattua halutun laiseksi. Materiaalista

löytyi väittämiä, jotka pitävätkin paikkaansa tietyillä reunaehdoilla, kuten tarpeeksi pitkällä tarkastelujaksolla tai tarpeeksi suurella arviolla bioenergian käyttömääristä tulevaisuudessa. Alla olevaan taulukkoon 5 on kerätty tässä analyysissä löydettyjä reunaehtoja, lähtöoletuksia ja rajauksia, jotka vaikuttavat argumenttien paikkaansa pitävyyyteen ja ymmärrettävyyteen.

Taulukko 5. *Tapoja vaikuttaa bioenergiasta esitetyn väitteen paikkaansa pitävyyyteen*

BIOENERGIAN PUOLUSTAMINEN	BIOENERGIAN KRITISOIMINEN
<ul style="list-style-type: none"> • Käytetään pitkää havainnointijaksoa • Valitaan laaja tarkastelualue (metsälö, laajempi alue) • Painotetaan pitkän aikavälin ilmastohyötyjä • Valitaan matalia arvoja bioenergian tulevaisuuden käyttömääristä • Korostetaan merkitystä fossiilisten polttoaineiden korvaajana 	<ul style="list-style-type: none"> • Käytetään lyhyttä havainnointijaksoa <ul style="list-style-type: none"> ○ yhdistetään hitaasti kasvaviin puulajeihin • Valitaan kapea tarkastelualue (yksittäinen puu, metsikkö) • Painotetaan nopeita ilmastotoimia ja ilmastohyötyjen maksimointia lyhyellä aikavälillä • Valitaan korkeita arvoja bioenergian tulevaisuuden käyttömääristä • Ajatellaan, että bioenergian tuotanto on erillinen muusta teollisuudesta • Yksinkertaistukset

Bioenergian käyttöä puolustettaessa käytetään pitkää havainnointijaksoa, jotta puusto ehtii kasvaa tarkastelujakson aikana täysikasvuiseksi. Bioenergian puolustajat pitävät usein lisäksi pitkän ajan ilmastohyötyjä tärkeämpänä kuin lyhyen ajan, mikä tukee pitkän havainnointijakson käyttöä. Bioenergian kriittisemmin suhtautuvat taas valitsevat usein tarkastelujaksoksi lyhyen aikavälin ja yhdistävät sen vielä hitaasti kasvaviin pohjoisen havumetsävyöhykkeen puulajeihin. Tällöin tarkasteltava alue ei ehdi saavuttaa täysikasvuista tarkastelujaksossa ja metsän hiilivarasto on lopputilanteessa pienempi kuin alkutilanteessa. Lyhyen aikavälin tarkastelua perustellaan tarpeella tehdä nopeita ilmastotoimia ja ilmastohyötyjen maksimointia lyhyellä aikavälillä.

Bioenergiaan kriittisesti suhtautuvat myös valitsevat usein tarkasteltavaksi alueeksi kaupan alueen kuten yksittäisen puun tai metsikön. Tarkastelu yhdistetään usein yksinkertaistukseen metsän hoidosta, jolloin malleissa ensin puut käytetään ja vasta sen jälkeen kasvatetaan uudestaan. Bioenergian puolustajat taas esittävät materiaalissaan bioenergian vaikutuksen hiilivaraston kehittymiseen laajalla tarkastelualueella. Tällainen tarkastelu mahdollistaa jatkuvan metsänhoidon mallintamisen tarkastelualueella.

Bioenergian puolustajien eräs reunaehto joidenkin argumenttien paikkaansa pitävyydelle on se, että bioenergian käyttö korvaa fossiilisia polttoaineita. Tällöin esimerkiksi bioenergian käytöstä saatavat ilmastohyödyt ovat selkeämmin havaittavissa. Bioenergian käyttöön kriittisemmin suhtautuvat taas ajattelevat bioenergian tuotannon irralliseksi osaksi teollisuutta ja energiajärjestelmää. Kriittisissä julkaisuissa usein ajatellaan, että jos bioenergiaa ei käytetä, metsät säilyvät koskemattomina ja hiilivarastot metsissä kasvavat.

6. KESKUSTELU

Edellisissä luvuissa analysoitiin bioenergian käyttöä koskevia julkaisuja, joista poimittiin väitteitä ja argumentteja bioenergian käytön puolesta ja käyttöä vastaan. Luvussa 5 tarkasteltiin tarkemmin väittämiä, joista eri osapuolet ovat voimakkaimmin eri mieltä ja samalla kerättiin yhteen oletuksia, rajauksia ja muita tapoja, joilla osapuolet saavat painotettua väittämiään. Tässä luvussa pohditaan tarkemmin tutkimuksen tuloksia ja niiden merkitystä. Luvussa keskitytään erityisesti pohtimaan, mitkä ovat todella ne merkitsevät kysymykset bioenergiakeskustelun taustalla, joiden tiedostaminen helpottaisi yhteisymmärryksen löytymistä eri osapuolten välissä sekä mikä merkitys on osapuolten käyttämillä rajauksilla ja oletuksilla.

Aiemmissä luvuissa on todettu, että tämän tutkimuksen perusteella suurimmat erimielisyydet bioenergian käytöstä liittyvät bioenergian hiilineutraaliuteen, bioenergian käytön vaikutuksesta ilmastonmuutokseen sekä maan- ja metsienkäytön kysymyksiin. Yksi suuri näkemysero bioenergiakeskustelussa liittyy siihen, kenellä on oikeus käyttää metsää ja miten metsää ylipäänsä saa käyttää. Toisten mielestä metsiä saa käyttää esimerkiksi elinkeinon harjoittamiseen tai virkistäytymiseen puuston kasvun rajoissa, kun toisten mielestä metsien tulee pysyä koskemattomina ja luonnontilassa sekä toimia hiilivarastona ja mahdollisuuksien mukaan myös hiilinieluna. Keskustelussa esiintyy myös argumentti maanomistajien oikeudesta käyttää omaisuuttaan hyödyksi, kun osa keskustelijoista painottaa globaalia vastuuta hiilivarastojen kehittämisessä. Tämä kysymys metsien käytöstä on sellainen, johon ei voida tämän tutkimuksen puitteissa ottaa kantaa, mutta joka on erittäin tärkeä yhteisymmärryksen saavuttamiseksi bioenergiaan liittyvässä keskustelussa ja päätöksenteossa.

Toinen suuri näkemysero eri osapuolien välillä liittyy siihen, pitääkö bioenergian käyttöä hiilineutraalina vai ei. Toisten osapuolien mielestä metsäbioenergian käyttöä ei voi pitää hiilineutraalina, koska se pienentää metsien muodostamia hiilivarastoja ja hiilinieluja erityisesti lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Toiset taas pitävät metsäbioenergian käyttöä hiilineutraalina pitkällä aikavälillä ja tarpeeksi laajalla alueakselilla tarkasteltuna. Erilaisiin tuloksiin bioenergian hiilineutraaliudesta päädytään siis sen perusteella, käytetäänkö tarkasteluissa lyhyttä vai pitkää aikaväliä ja tehdäänkö tarkastelu pienelle alueelle kuten metsikölle vai laajalle alueelle. Valinnat tarkasteluajan pituudesta ja alueen laajuudesta kulminoituu kuitenkin oikeastaan siihen, miten tärkeänä kasvihuonekaasupäästöjen pienentämistä pitää lyhyellä aikavälillä ja kuinka paljon painottaa pitkällä aikavälillä saatavia ilmastohyötyjä. Siihen, pitäisikö bioenergian käytön kohdalla keskittyä lyhyen aikavälin vai pidemmän aikavälin tarkasteluun ei tässä tutkimuksessa voida tarjota vastausta. Kysymys vaatii lisäkeskustelua eri osapuolten välillä ja pyrkimystä yhteisymmärrykseen.

Sekä bioenergian käyttöön kriittisemmin ja positiivisemmin suhtautuvat voivat sopivilla lähtötiedoilla ja rajauksilla päätyä hyvin erilaisiin näkemyksiin siitä, onko bioenergian käyttö kestävä vai ja missä tilanteissa bioenergian käyttö mahdollisesti on järkevää ja hyväksyttävää. Tästä yksi esimerkki on edellä esitelty tarkasteluajan ja – alueen valinta. Toinen tutkimuksessa esille nousut tapa liittyy siihen, kuinka paljon bioenergian käyttö lisääntyy tulevaisuudessa. Bioenergian käytöstä esimerkiksi vuonna 2050 on tehty melko paljon erilaisia skenaariotarkasteluja, joiden arviot myös eroavat toisistaan. Tällöin skenaariotarkasteluista voidaan poimia omia näkemyksiä tukevia arvioita, joiden avulla saadaan esimerkiksi todistettua helpommin maapinta-alan riittävyys bioenergian tuotantoon tai päinvastoin.

Erilaisten rajoitusten ja lähtötietojen käyttö mahdollistaa sen, että hyvinkin erilaiset väittämät voivat pitää paikkansa joskin eri tilanteissa. Väittämistä ei siis yksiselitteisesti voida sanoa, että jotkut niistä olisivat tosia ja toiset epätosia vaan useat väittämistä pitävät paikkansa tietyillä reunaehdoilla ja lähtötiedoilla. Keskustelussa onkin tärkeä tunnistaa osapuolien käyttämät oletukset, lähtötiedot ja rajaukset, jotta osapuolien keskustelu voi ylipäänsä johtaa yhteiseen lopputulokseen. Tässä työssä on tunnistettu joitakin tällaisia reunaehdoja liittyen joihinkin bioenergiasta esitettyihin väittämiin liittyen, mutta keskustelussa esiintyy varmasti muitakin reunaehdoja.

Yksi ongelma eri osapuolien esittämässä väittämässä on erilaiset yleistyksiset ja yksinkertaistukset. Pahimmillaan osapuolet voivat perustella näkemyksiään perustuen pelkästään yhteen tapaukseen tai esimerkkiin. Yksi osa-alue, joissa yleistyksiä käytetään, on bioenergian raaka-aineet ja niiden kasvuolosuhteet. Esimerkiksi trooppisilla alueilla kasvavat puut saavuttavat täysi-ikäisyyden paljon nopeammin kuin Suomessa kasvavat puut. Samalla oikeanlaisen aikaikkunan valinnan merkitys korostuu. Myös metsien suojeluun ja metsien liikahakkuuseen liittyvät asiat riippuvat paljon alueesta, jolla asiaa tarkastellaan. Jos jollain alueella asiat ovat hyvin tai huonosti esimerkiksi ajatellen luonnonsuojelua, ei se tarkoita automaattisesti, että kaikkialla asiat olisivat niin.

Toinen tapa, jolla bioenergiakeskustelua yksinkertaistetaan, on keskittyminen vain yhteen kestävyiden osa-alueeseen kerrallaan. Bioenergian kestävydestä keskusteltaessa on hyvä kiinnittää huomiota siihen, että kestävyys tarkoittaa kokonaisuudessaan ekologista, taloudellista sekä sosiaalista kestävyttä. Kuvassa 23 on havainnollistettu kestävyiden kolmen osa-alueen suhdetta toisiinsa bioenergian näkökulmasta.



Kuva 23. Kestävyyden osa-alueet bioenergian käytön näkökulmasta (GBEP 2011)

Bioenergian käytön kestävydessä tulee siis ottaa huomioon sen vaikutukset muun muassa kasvihuonekaasupäästöihin, maankäytön muutoksiin, muodostuviin työpaikkoihin, modernien energiajärjestelmien saatavuuteen ympäri maailmaa sekä bruttokansantuotteen. Kestävyys ei siis muodostu pelkästään yhdestä kestävyiden osa-alueesta, vaan jotta bioenergia on kestävä, tulee sen olla riittävän kestävä ekologisesta, taloudellisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Samoin bioenergiasta käytävässä keskustelussa tulisi pyrkiä huomiomaan nämä kaikki näkökulmat, eikä perustaa lopullista mielipidettä vain yhden kestävyiden kategorian mukaan. Tässä työssä analysoiduissa artikkeleissakin tuli ilmi se, että näkemyksissä saatettiin painottaa vain jotain kestävyiden osa-aluetta ylitse muiden, vaikka kestävyys on näiden kaikkien kompromissi. On tärkeä huomata, että myös tieteellinen tutkimus aiheesta tehdään yleensä vain jostain näkökulmasta tarkasteltuna. Keskustelua tulee lopulta käydä myös siitä, kuinka kestävä bioenergian tulee olla eri näkökulmista katsottuna ja kuinka se vertautuu muihin energiantuotantotapoihin.

Bioenergia on vain yksi mahdollinen tapa pyrkiä vähentämään ilmastonmuutoksen seurauksia maapallollamme. Bioenergiasta käytävä keskustelu irrotetaan helposti muusta energiantuotannosta ja teollisesta tuotannosta vaikka kaikki nämä vaikuttavat toisiinsa. Bioenergian vaikutuksia tulisikin tarkastella yhdessä muiden energiajärjestelmän osien kanssa sekä verrata siitä aiheutuvia hyötyjä ja haittoja muiden energiamuotojen hyötyihin ja haittoihin.

6.1 Mitä tutkimuksessa ei käsitelty?

Tämän diplomityön puitteissa ei ole mahdollista käsitellä kaikkia bioenergian käyttöön liittyviä väittämiä ja argumentteja, vaan niissä on keskitytty vain suurimpia näkemyseroja aiheuttaviin väittämiin ja myös teknisestä näkökulmasta mielenkiintoisiin väittämiin.

Tässä alaluvussa käydään läpi, mitä näkökulmia työssä ei ole huomioitu ja mitä on jätetty tässä diplomityössä käsittelemättä.

Bioenergian käyttö maankäytön näkökulmasta on yksi aihekokonaisuus, jossa paljon näkökulmia jäi uupumaan tässä diplomityössä. Työssä ei käsitelty esimerkiksi sitä, miten eri toiminnot kuten biotalous, maatalous ja rakentaminen osaltaan vaikuttavat metsien määrään ja monipuolisuuteen. Metsiä hakataan maailmassa myös muista syistä kuin bioenergian tuottamiseksi ja YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestön mukaan (FAO 2016) maatalous on edelleen suurin syy metsien pienenemiseen globaalisti. Sitä, miten paljon metsäalaa muuttuu maatalousmaaksi epäsuorasti bioenergian käytön takia, ei tässä diplomityössä käsitelty. Tässä työssä ei käsitelty myöskään sitä näkökulmaa, vertautuuko biomassan kasvatusta energiakäyttöön maatalouteen vai ei.

Tässä diplomityössä bioenergian käytön kasvihuonekaasupäästöjä käsiteltiin vain biomassan polton kannalta eikä käsitteilyyn otettu sen enempää koko elinkaaren päästöjä. Työssä ei käsitelty sitä, miten metsäbiomassan energiakäytön elinkaaren kasvihuonepäästöt vertautuvat fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen ja öljyn, koko elinkaaren kasvihuonepäästöihin. Työssä saatiin selville, että biomassan poltossa syntyvät absoluuttiset kasvihuonepäästöt ovat mahdollisesti hieman suuremmat kuin hiilen tai maakaasun poltossa syntyvät päästöt. Koko elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelu sekä bioenergian että fossiilisten polttoaineiden osalta olisi perusteltua, koska esimerkiksi Chatham Housen raportissa (Brack 2017) ehdotetaan, että bioenergian kestävyyskriteereissä tulisi huomioida bioenergian raaka-aineiden koko elinkaaren päästöt.

Keskusteltaessa bioenergian käytöstä erityisesti globaalissa mittakaavassa korostuvat myös kansainväliset ja kansalliset ympäristönsuojelulait ja – sitoumukset. Tässä diplomityössä vain sivuttiin metsien suojelua, eikä sitä otettu tarkempaan käsitteilyyn. Metsien suojelusta käytävä keskustelu tulee kysymykseen enemmän keskusteltaessa esimerkiksi kehitysmaiden bioenergian käytöstä. Tässä työssä keskityttiin metsäbiomassan energiankäyttöön erityisesti Suomessa ja Euroopan Unionissa, joten kansainväliset ympäristösopimukset rajattiin tästä työstä pois.

Bioenergiakeskustelussa yksi vaikuttamistapa on argumentoinnissa käytetyt retoriset keinot. Retorisia keinoja väittämistä ei ole tämän työn puitteissa kerätty. Myöskään loogisia argumentaatiovirheitä ei ole järjestelmällisesti tässä työssä käyty lävitse. Joitain argumentaatiovirheitä on keskustelusta tunnistettu väittämiä lähemmin tarkasteltaessa, mutta systemaattista bioenergiaväittämien yhteydessä esiintyviä argumentaatiovirheitä ei ole tunnistettu. Työssä on esimerkiksi tunnistettu yksinkertaistukset bioenergian raaka-aineista puhuttaessa. Diplomityön luonteen vuoksi työssä on keskitytty käsittelemään väittämiä erityisesti teknisestä ja luonnontieteellisestä näkökulmasta.

7. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä kerättiin yhteen sekä bioenergian käytön puolustajien että bioenergian käyttöön kriittisemmin suhtautuvien väitteitä bioenergiasta ja perusteluita näille väittämille. Bioenergiasta käytävää keskustelua jäsenneltiin ryhmittelemällä eri osapuolien esittämiä väittämiä niissä esiintyvien teemojen mukaan kategorioihin. Samalla tunnistettiin voimakkaimpia näkemuseroja aiheuttavat väitteet ja niitä tutkittiin tarkemmin tieteellisten julkaisujen avulla. Lisäksi bioenergiakeskustelusta tunnistettiin erilaisia rajauksia, lähtötietoja ja oletuksia, joita keskustelun eri osapuolet käyttävät.

Tutkimus toteutettiin analysoimalla aluksi kuusi erilaista bioenergiaan liittyvää julkaisua. Julkaisuista kerättiin niissä esiintyvät väittämät ja perustelut sille, miksi bioenergiaa tulisi käyttää ja miksi ei. Väittämistä ja argumenteista erottui kuusi erilaista teemaa, joita väittämässä käsiteltiin. Nämä teemat ovat:

- Maankäyttö
- Metsien määrä
- Kasvihuonekaasupäästöt
- Raaka-aineiden käyttö
- Vaikutukset paikalliseen ympäristöön
- Vaikutukset talouteen
- Muut

Artikkeleista poimitut väittämät löytyvät kategorisoituna liitteestä A. Tässä tutkimuksessa analysoitujen artikkelien perusteella havaittiin, että suurimmat erimielisyydet bioenergian käytöstä liittyvät bioenergian hiilineutraaliuteen, bioenergian käytön merkitykseen ilmastonmuutoksen kannalta sekä maan- ja metsänkäytön kysymyksiin. Näihin näkemuseroihin liittyviä väittämiä tarkasteltiin vielä tarkemmin tieteen näkökulmasta. Tällöin havaittiin, että useat bioenergian käytöstä esitetyt väittämät pitivät paikkaansa tietyin reunaehdoin eikä yksiselitteisesti voida sanoa, ovatko väittämät tosia vai epätosia.

Voimakkaimpia näkemuseroja tarkasteltaessa erottui joitakin tyypillisiä rajauksia, oletuksia ja lähtötilanteen valintoja, jotka vaikuttivat väittämien paikkaansa pitävyyteen. Tässä tutkimuksessa esille nousseet tärkeimmät bioenergiakeskustelussa käytetyt reunaehdot ja rajaukset ovat:

- Tarkastelualueen koko
- Tarkasteluajanjakson pituus
- Arviot bioenergian käyttömääristä tulevaisuudessa
- Oletukset energijärjestelmän kehittämisestä tulevaisuudessa
- Pitkän aikavälin vs. lyhyen aikavälin ilmastohyötyjen painottaminen
- Bioenergian tuotannon suhde muuhun teolliseen tuotantoon

Tässä työssä käytettiin melko suppeaa aineistoa väittämien keräämiseen. Kiinnostavaa olisi kerätä väittämiä laajemmasta julkaisujen joukosta ja tutkia erilaisten väittämiä esiintyvyyttä määrällisesti. Näin saataisiin kerättyä tietoa siitä, mitkä väittämistä ovat eri osapuolten mielestä tärkeimpiä. Tällaiset väittämät eivät tietenkään automaattisesti ole niitä, joista keskusteleminen ja yhteisymmärryksen löytyminen on tärkeintä, mutta ne antavat tärkeää informaatiota siitä, mitkä asiat ovat eri osapuolille tärkeimpiä. Lisäksi faktantarkistus väittämille on tämän kokoluokan tutkimuksessa lopulta melko haastavaa toteuttaa, koska materiaalia on niin paljon ja asiat riippuvat paljon valitusta näkökulmasta. Faktantarkistusta voisi viedä jatkotutkimuksissa siis pidemmälle ja laajentaa koskemaan myös niitä väittämiä, jotka tässä työssä jäivät lähemmän tarkastelun ulkopuolelle. Aihetta voisi tutkia myös enemmän kielellisestä näkökulmasta ja tutkia tarkemmin, millaisia retorisia keinoja bioenergiakeskustelussa käytetään ja millaisia loogisia argumentaatiovirheitä keskustelussa tyypillisesti esiintyy.

Tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää ennen kaikkea ymmärtääksemme paremmin bioenergiakeskustelua ja sitä, mihin eri osapuolten näkemykset perustuvat. Työssä saatiin selville myös bioenergiakeskustelussa esiintyvät voimakkaimmat näkemuserot. Voimakkaimpien näkemuserojen tunnistaminen on tärkeää, jotta jatkossa keskustelussa voitaisiin keskittyä niihin väittämiin ja pyrkiä löytämään yhteisymmärrys sekä ratkaisut. Tärkeä tulos työstä on myös se, että väittämät bioenergian käytöstä riippuvat paljon näkökulmavalinnoista ja käytetyistä painotuksista. Keskustelussa olisi tärkeä muistaa, että bioenergian kestävyys koostuu lopulta ekologisesta, sosiaalisesta ja taloudellisesta kestävyydestä.

LÄHTEET

Aalto, M., Bell, N., Bonaccorsi, L., De Pascale, A., Du Bus, D.W., Esteban, A., Guillen, J.J., Holtta, H., Gonzalez Melian, M., Nemcova, T., Muzi, N., Rossi, P., Baumert, U., Vysoky, J. & Sabo, P. (2016). The Black Book of Bioenergy - Good Intentions Gone Bad, BirdLife Europe & Central Asia; Transport & Environment, 28 s. Saatavissa: https://www.birdlife.org/sites/default/files/bbb_3.2_web_lowres.pdf.

Adhikari, S. & Abdoulmoumine, N. (2017). Gasification, in: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), Bioenergy: Principles and Applications, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 407-422.

AEBiom (2016). AEBIOM Statistical Report: Key Findings, European Biomass Association (AEBiom), Brussels, 39 s.

Agostini, A., Giuntoli, J. & Boulamanti, A. (2014). Carbon accounting of forest bioenergy, EUR 25354, European Commission Joint Research Centre, 88 s. Saatavissa: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC70663/eur25354en_online.pdf.

Agostini, A., Moomaw, W.R. & Searchinger, T. (2017). Why the IEA Bioenergy Group got it wrong concerning the Chatham House report, 4 s. Saatavissa: http://www.eubioenergy.com/wp-content/uploads/2015/03/Response-to-IEA-critique-of-CH-report_final.pdf.

Alakangas, E., Koponen, K., Sokka, L. & Keränen, J. (2015). Classification of used wood to biomass fuel or solid recycled fuel and cascading use in Finland, For Boost for Entire Bioenergy Business - Book of Proceedings, Benet Ltd, s. 79-86.

Alén, R. (2011). Structure and chemical composition of biomass feedstocks, in: Alén, R. (ed.), Biorefining of Forest Resources, Paper Engineers' Association, Paperi ja Puu Oy, Porvoo, s. 18-54.

Bacovsky, D., Ludwiczek, N., Pointner, C. & Kumar Verma, V. (2016). IEA Bioenergy Countries' Report: Bioenergy policies and status of implementation, IEA Bioenergy, 120 s. Saatavissa: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2016/09/iea-bioenergy-countries-report-13-01-2017.pdf>.

Badger, P.C. (2002). Ethanol From Cellulose: A General Review, julkaisussa: Janick, J. & Whipkey, A. (ed.), Trends in new crops and new uses, s. 17-21.

Basu, P. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction : Practical Design and Theory, Elsevier Science, San Diego.

Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M. & Vuille, F. (2009). Bioenergy - a sustainable and reliable energy source, IEA Bioenergy, 108 s. Saatavissa: <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/MAIN-REPORT-Bioenergy-a-sustainable-and-reliable-energy-source.-A-review-of-status-and-prospects.pdf>.

Berndes, G., Abt, B., Asikainen, A., Cowie, A., Dale, V., Egnell, G., Lindner, M., Marelli, L., Paré, D., Pingoud, K. & Yeh, S. (2016). Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation, From Science to Policy 3 European Forest Institute, 28 s. Saatavissa: https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_3_2016.pdf.

BirdLife Europe and Central Asia (2018). About BirdLife Europe and Central Asia, BirdLife, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <https://www.birdlife.org/europe-and-central-asia/partnership/about-birdlife-europe-and-central-asia>.

Blennow, K., Persson, E., Lindner, M., Faias, S.P. & Hanewinkel, M. (2014). Forest owner motivations and attitudes towards supplying biomass for energy in Europe, Biomass and Bioenergy, Vol. 67 s. 223-230.

Bochmann, G. & Montgomery, L.F.R. (2013). Storage and pre-treatment of substrates for biogas production, Woodhead Publishing, Cambridge, s. 85-103.

Borugadda, V.B. & Goud, V.V. (2012). Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16(7), s. 4763-4784.

Brack, D. (2018). Duncan Brack, Chatham House, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <https://www.chathamhouse.org/expert/duncan-brack>.

Brack, D. (2017). Woody Biomass for Power and Heat: Impacts on the Global Climate, Chatham House, Environment, Energy and Resources Department, London, 71 s. Saatavissa: <https://search.proquest.com/docview/1873244537>.

Brian He, B., Van Gerben, J.H., Morra, M.J. & McDonald, A.G. (2017). Lipid-Based Biorefinery, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), Bioenergy: Principles and Applications, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 481-503.

Chatham House (2018). Our Mission, Chatham House, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <https://www.chathamhouse.org/about/mission>.

Chum, H., Faaij, A., Moreira, J., Berndes, G., Dhamija, P., Dong, H., Gabrielle, B., Goss Eng, A., Lucht, W., Mapako, M., Masera Cerutti, O., McIntyre, T., Minowa, T. & Pingoud, K. (2012). Bioenergy, julkaisussa: Edenhofen, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S. & von Stechow, C. (ed.), Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation - Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, United Kingdom, New York, s. 209-332.

Chum, H.L. & Overend, R.P. (2001). Biomass and renewable fuels, Fuel Processing Technology, Vol. 71(1), s. 187-195.

Cowie, A., Berndes, G., Junginger, M. & Ximenes, F. (2017). Response to Chatham House report "Woody Biomass for Power and Heat: Impacts on the Global Climate", IEA Bioenergy, 14 s. Available: <http://publications.lib.chalmers.se/publication/249062-response-to-chatham-house-report-woody-biomass-for-power-and-heat-impacts-on-the-global-climate>.

Creutzig, F., Ravindranath, N.H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., Chum, H., Corbera, E., Delucchi, M., Faaij, A., Fargione, J., Haberl, H., Heath, G., Lucon, O., Plevin, R., Popp, A., Robledo-Abad, C., Rose, S., Smith, P., Stromman, A., Suh, S. & Masera, O. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: An assessment, *GCB Bioenergy*, Vol. 7(5), s. 916-944.

Da Costa Gomez, C. (2013). Biogas as an energy option: an overview, kirjassa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (ed.), *The biogas handbook - Science, production and applications*, Woodhead Publishing Limited, s. 1-18.

Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global bio-fuel projections, *Energy Conversion and Management*, Vol. 49(8), s. 2106-2116.

Demirbas, A. (2009). *Biohydrogen: For Future Engine Fuel Demands*, Springer Verlag London Limited, London, 276 s.

Donnison, I., Gustavsson, L., Junginger, M., Scurlock, J., Shah, N., Templer, R. & Woods, J. (2017). Substantial bioenergy resources are available to tackle climate change, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.2.2018): <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/opinion/substantial-bioenergy-resources-are-available-to-tackle-climate-change/>.

EUR-Lex (2018). Kioton pöytäkirja, EUR-Lex, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.1.2018): http://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/kyoto_protocol.html?locale=fi.

Eurooppa-neuvosto (2014). Päätelmät - 23. ja 24. lokakuuta 2014, EUCO 169/14, 16 s. Saatavissa: http://www.consilium.europa.eu/ue-docs/cms_data/docs/pressdata/fi/ec/145409.pdf.

European Commission Joint Research Centre (2006). Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, European Commission Joint Research Centre, 618 s. Saatavissa: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf.

Eurostat (2017a). Energian tuotanto ja tuonti, Eurostat - Statistics Explained, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.12.2017): http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/fi.

Eurostat (2018). Energy statistics - supply, transformation and consumption, Saatavissa: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>.

Eurostat (2017b). Forests, forestry and logging, Eurostat, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.2.2018): http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Forests,_forestry_and_logging.

Faktabaari (2017). Käsikirja: 3. Luku - mikä on fakta ja mikä väite, Faktantarkistamisen käsikirja -artikkelisarja Available: <https://faktabaari.fi/kasikirja-3-luku-mika-fakta-ja-mika-vaite/>.

FAO (2016). State of the world's forests 2016. Forests and agriculture: Land-use challenges and opportunities, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 126 s.

GBEP (2011). The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy, Global Bioenergy Partnership, Italy, 228 s. Saatavissa: http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/Indicators/The_GBEP_Sustainability_Indicators_for_Bioenergy_FINAL.pdf.

Geleynse, S.C., Paice, M. & Zhang, X. (2017). Lignocellulose-Based Biorefinery, in: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), Bioenergy: Principles and Applications, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 467-480.

Gómez, D.R., Watterson, J.D., Americano, B.B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga, L.N., Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, J.D. & Treanton, K. (2006). Chapter 2 - Stationary Combustion, julkaisussa: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 Energy ed., Intergovernmental Panel on Climate Change.

Hornung, A. (2014). Transformation of Biomass : Theory to Practice, John Wiley & Sons, Incorporated, New York, 351 s.

Huttunen, R. (2017). Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, 4/2017, Työ- ja elinkeinoministeriö, Helsinki, Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf.

IEA Bioenergy (2018). What is IEA Bioenergy?, IEA Bioenergy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <http://www.ieabioenergy.com/about/>.

Ilmastolaki (2015). 609/2015. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>.

International Energy Agency (2017). Technology Roadmap: Delivering Sustainable Bioenergy, International Energy Agency, 1-94 s. Saatavissa: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf.

Issariyakul, T. & Dalai, A.K. (2014). Biodiesel from vegetable oils, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 31 s. 446-471.

Koponen, K., Soimakallio, S., Kline, K.L., Cowie, A. & Brandão, M. (2018). Quantifying the climate effects of bioenergy - Choice of reference system, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 81(Part 2), s. 2271-2280. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.292>.

Koponen, K., Sokka, L., Salminen, O., Sievänen, R., Pingoud, K., Ilvesniemi, H., Routa, J., Ikonen, T., Koljonen, T., Alakangas, E., Asikainen, A. & Sipilä, K. (2015). Sustainability of forest energy in Northern Europe, VTT Technology 237, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo, 100 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T237.pdf>.

Kraxner, F., Fuss, S. & Verkerk, P.J. (2017). Is there enough forest biomass available to meet the demands of the forest-based bioeconomy? Julkaisu: Winkel, G. (ed.), *What Science Can Tell Us: Towards a sustainable European forest-based bioeconomy - assessment and the way forward*, European Forest Institute, s. 53-66.

Kymäläinen, M. (2015). Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktorissa, julkaisussa: Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (ed.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen*, Hämeen ammattikorkeakoulu, s. 59-81.

Kymäläinen, M. & Luostarinen, S. (2015). Biokaasutuotannon raaka-aineet, julkaisussa: Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (ed.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen*, Hämeen ammattikorkeakoulu, s. 21-47.

Lampert, D., Cai, H., Wang, Z., Wu, M., Han, J., Dunn, J., Sullivan, J., Elgowainy, A. & Wang, M. (2015). Development of a Life Cycle Inventory of Water consumption Associated with the Production of Transportation Fuels, Argonne National Laboratory, 81 s. Saatavissa: <http://www.ipd.anl.gov/anlpubs/2015/10/121551.pdf>.

Lampinen, A. (2015). Biokaasualan historia ja tulevaisuus, julkaisussa: Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (ed.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen*, Hämeen ammattikorkeakoulu, s. 190–198.

Lampinen, A. & Rautio, E. (2015). Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen, julkaisussa: Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (ed.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen*, Hämeen ammattikorkeakoulu, s. 124–172.

Lecomte, T., Ferreria de la, J.F., Neuwahl, F.F., Canova, M., Pinasseau, A., Jankov, I., Brinkmann, T., Roudier, S. & Sancho, L.D. (2017). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants, JRC Science for Policy Report EU 28836 EN, Joint Research Centre - European Commission, 986 s. Saatavissa: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/LCP/JRC107769_LCP_bref2017.pdf.

Li, Y. & Khanal, S.K. (2017). Biogas Production and Applications, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), *Bioenergy: Principles and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 338-362.

Luonnonvarakeskus (2018a). Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö metsäkeskusalueittain, Luonnonvarakeskus, Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__04%20Metsa__04%20Talous__10%20Puun%20energiakaytto/01_Laitos_ekaytto.px/?rxid=0d8a3539-fd65-45f1-8ab8-5376f54dbee1.

Luonnonvarakeskus (2018b). Metsävarat, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.2.2018): <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/metsavarat/>.

Luonnonvarakeskus (2017). Metsävarat - Metsävarat maakunnittain, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.2.2018): <http://stat.luke.fi/tilasto/6219>.

Ma, F. & Hanna, M.A. (1999). Biodiesel production: A review, *Bioresource technology*, Vol. 70(1), s. 1-15.

Melikoglu, M., Singh, V., Leu, S.-., Webb, C. & Lin, C.S.K. (2016). Biochemical production of bioalcohols, in: Luque, R., Lin, C.S.K., Wilson, K. & Clark, J. (ed.), *Handbook of Biofuel Production - Processes and Technologies*, 2nd ed., Elsevier, s. 237-258.

Mendes Souza, G., Victoria, R.L., Joly, C.A. & Verdade, L.M. (2015). Bioenergy & Sustainability: Bridging the gaps, *Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE)*, São Paulo, 779 s.

Mielikäinen, K., Timonen, M. & Helama, S. (2012). Ilmastomuutokset ja niiden syyt puulustojen ja muiden proksitietojen pohjalta, *Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät*, Metlan työraportteja 240, Finnish Forest Research Institute, Vantaa, 211 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.pdf>.

Mishra, A. & Ghosh, S. (2016). Key Pretreatment Technologies for An Efficient Bioethanol Production from Lignocellulosics, in: Singh, L.K. & Chaudhary, G. (ed.), *Advances in Biofeedstocks and Biofuels, Volume 1 - Biofeedstocks and Their Processing*, Wiley, s. 55-83.

Nitayavardhana, S. & Khanal, S.K. (2017a). Ethanol Fermentation, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), *Bioenergy: Principles and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 250-276.

Nitayavardhana, S. & Khanal, S.K. (2017b). Starch-Based Biorefinery, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), *Bioenergy: Principles and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 453-466.

Nitayavardhana, S. & Khanal, S.K. (2017c). Sugar-Based Biorefinery, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), *Bioenergy: Principles and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 441-452.

Paavola, T. & Kapuinen, P. (2015). Mädätysjäännöksen käsittely ja hyödyntäminen, julkaisussa: Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (ed.), *Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen*, Hämeen ammattikorkeakoulu, s. 94-123.

Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea (2014). Energia- ja ilmastotiekartta 2050 - Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja ilmasto 31/2014, Työ- ja elinkeinoministeriö, 75 s. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052>.

Parviainen, J. (2007). Suomi suojelee hyvin metsiään, *Tieto & Trendit* 7, Tilastokeskus, Saatavissa: http://www.stat.fi/artikkelit/2007/art_2007-11-07_001.html?s=0.

Ptasinski, K.J., Sues, A. & Jurascik, M. (2009). Biowastes-to-biofuels routes via gasification, kirjassa: Badeau, J. & Levi, A. (ed.), *Biomass Gasification : Chemistry, Processes and Applications*, Nova Science Publishers, Inc., New York, s. 87-197.

Rautiainen, A., Lintunen, J. & Uusivuori, J. (2018). How harmful is burning logging residues? Adding economics to the emission factors for Nordic tree species, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 108 s. 167-177.

Renewable Energy Association (2017). Misleading statements in Chatham House report on biomass, answered, Renewable Energy Association, 3 s. Saatavissa: <https://www.r-e-a.net/blog/misleading-statements-in-chatham-house-report-on-biomass-answered-23-02-2017>.

RES-Direktiivi (2009). L 140/16. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>.

Rämö, A.K., Mäkijärvi, L., Toivonen, R. & Horne, P. (2009). Suomalaisen metsänomistajan profiili vuonna 2030 - Asenteiden ja näkemysten muutokset yhden sukupolven aikana, Pellervon taloudellisen tutkimuskeskuksen raportteja 221, Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos PTT, Helsinki, 55 s. Saatavissa: <http://www.ptt.fi/julkaisut-ja-hankkeet/kaikki-julkaisut/suomalaisen-metsanomistajan-profiili-vuonna-2030.html>.

Salvi, B.L. & Panwar, N.L. (2012). Biodiesel resources and production technologies - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16(6), s. 3680-3689.

Santacesaria, E., Vicente, G.M., Di Serio, M. & Tesser, R. (2012). Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges, *Catalysis Today*, Vol. 195(1), s. 2-13.

Scragg, A.H. (2009). *Biofuels: Production, application and development*, CABI Publishing, 237 s.

Searchinger, T.D., Beringer, T. & Strong, A. (2017). Does the world have low-carbon bioenergy potential from the dedicated use of land? *Energy Policy*, Vol. 110 s. 434-446.

Seppälä, J., Asikainen, A., Kalliokoski, T., Kanninen, M., Koskela, S., Ratinen, I. & Routa, J. (2017). Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksista, 1/2017, Suomen ilmastopaneeli, 18 s. Saatavissa: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Ilmastopaneeli_mets%C3%A4v%C3%A4itt%C3%A4m%C3%A4t_fi_nal_%202017.pdf.

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. (2015). Metsien hyödyntämisen ilmastovaikutukset ja hiilinielujen kehittyminen, 3/2015, Ilmastopaneeli, 43 s. Saatavissa: http://www.ilmastopaneeli.fi/uploads/selvitykset_lausunnot/Metsien%20hy%C3%B6dynt%C3%A4misen%20ilmastovaikutukset%20ja%20hiilinielujen%20kehittyminen.pdf.

Sokka, L., Koponen, K. & Keränen, J.T. (2015). Cascading use of wood in Finland - with comparison to selected EU countries, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, 25 s. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-R-03979-15.pdf>.

Souza, G.M., Ballester, M.V.R., de Brito Cruz, C.H., Chum, H., Dale, B., Dale, V.H., Fernandes, E.C.M., Foust, T., Karp, A., Lynd, L., Maciel Filho, R., Milanez, A., Nigro, F., Osseweijer, P., Verdade, L.M., Victoria, R.L. & Van, d.W. (2017). The role of bioenergy in a climate-changing world, *Environmental Development*, Vol. 23 s. 57-64.

Statistics Finland (2018). Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990 to 2016 - National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol, Statistics Finland, 551 s. Saatavissa: https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_nir_un_2016_20180415.pdf.

Sudhagar, M. (2017). Lignocellulose-Based Feedstocks, kirjassa: Li, Y. & Khanal, S.K. (ed.), *Bioenergy: Principles and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc, s. 143-169.

Suomen biotalousstrategia (2014). Kestävää kasvua biotaloudesta - Suomen biotalousstrategia, Työ- ja elinkeinoministeriö, 32 s. Saatavissa: http://www.biotalous.fi/wp-content/uploads/2015/01/Suomen_biotalousstrategia_2014.pdf.

Säntti, H. (2017). ”Kaukopartiomiehiä ja maanpettureita” – Miksi metsien käytöstä taistellaan nyt Euroopassa ja kotona? MustRead, Saatavissa (viitattu 30.11.2017): <https://www.mustread.fi/artikkelit/kaukopartiomiehia-ja-maanpettureita-miksi-metsien-kaytosta-taistellaan-nyt-euroopassa-ja-kotona>.

Ter-Mikaelian, M., Colombo, S. & Chen, J. (2015). The Burning Question: Does Forest Bioenergy Reduce Carbon Emissions? A Review of Common Misconceptions about Forest Carbon Accounting, *Journal of Forestry*, Vol. 113(1), s. 57-68.

Tester, J.W., Drake, E.M. & Driscoll, M.J. (2012). Biomass Energy, in: *Sustainable Energy : Choosing among Options*, MIT Press, Cambridge, Mass., s. 503-544.

Tilastokeskus (2017a). Energian hankinta ja kulutus: Energian kokonaiskulutus energialähteittäin ja CO₂-päästöt, Tilastokeskus, Helsinki, Saatavissa: <http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/sq/06ec932d-2eef-4ea9-bd9c-ae2448ba2aef>.

Tilastokeskus (2017b). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2016, Ympäristö ja luonnonvarat 2017 Tilastokeskus, Helsinki, 73 s. Saatavissa: http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/suomen_kasvihuonekaasupaastot_1990-2016_final.pdf.

Tilastokeskus (2017c). Uusiutuvien energialähteiden käyttö, Tilastokeskus, Helsinki, Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ene__ehk/statfin_ehk_pxt_009.px/?rxid=93458c96-2b57-47a7-be84-422725a85042.

Toivonen, J. (2017). Goodbye kuukkelimetsä: Hakkuukiistat palasivat Suomeen, kun biotalous jauhaa puuta rahaksi, Yle, Saatavissa (viitattu 8.12.2017): <https://yle.fi/uutiset/3-9934579>.

Transport & Environment (2018). What we do, Transport & Environment, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <https://www.transportenvironment.org/what-we-do>.

United Nations (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change, ge.05-62220, 24 s. Saatavissa: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.

Venderbosch, R.H. & Prins, W. (2011). Fast Pyrolysis, in: Brown, R.C. (ed.), Thermochemical Processing of Biomass : Conversion into Fuels, Chemicals and Power, John Wiley & Sons, Incorporated, Hoboken, s. 124-156.

Viikari, L. & Alén, R. (2011). Biochemical and chemical conversion of forest biomass, in: Alén, R. (ed.), Biorefining of Forest Resources, Paper Engineers' Association, Paperi ja Puu Oy, Porvoo, s. 226-261.

WBA (2016). Global Bioenergy Statistics 2016, World Bioenergy Association, 80 s. Saatavissa: <https://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20Global%20Bioenergy%20Statistics%202016.pdf>.

Weiss, G., Lawrence, A. & Nichiforel, L. (2017). How does forest ownership in Europe affect the forest-based bioeconomy, julkaisussa: Winkel, G. (ed.), What Science Can Tell Us: Towards a sustainable European forest-based bioeconomy - assessment and the way forward, European Forest Institute, s. 118-125.

Woods, J., Lynd, L., Laser, M., Batistella, M., De Castro Victoria, D., Kline, K. & Faaij, A. (2015). Chapter 9 - Land and Bioenergy, julkaisussa: Bioenergy & Sustainability: Bridging the gaps, Vol. 72 ed., Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São Paulo, s. 259-300.

World Bioenergy Association (2018). About us, World Bioenergy Association, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.07.2018): <https://worldbioenergy.org/about-us>.

World Bioenergy Association (2012). The carbon neutrality of biomass from forests, World Bioenergy Association, Stockholm, 5 s. Saatavissa: <http://www.worldbioenergy.org/uploads/Factsheet%20-%20Carbon%20neutrality.pdf>.

World Bioenergy Association (2017). Misleading report on wood based bioenergy misinterprets facts, World Bioenergy Association, Stockholm, Saatavissa: http://www.worldbioenergy.org/uploads/170612_WBAPR_GBS2017.pdf.

World Energy Council (2016). World Energy Resources: Bioenergy 2016, World Energy Council, 62 s. Saatavissa: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Bioenergy_2016.pdf.

Ympäristöministeriö (2016). Euroopan Unionin ilmastopolitiikka, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.05.2018): http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka.

LIITE A: VÄITTÄMIÄ JA ARGUMENTTEJA BIOENERGIASTA

MAANKÄYTTÖ	LÄHTEET
Bioenergian käyttö vie maata ruuantuotannolta	(Aalto et al. 2016)
Bioenergia uhkaa paikallista turismia (ja elinkeinoa)	(Toivonen 2017)
Bioenergian käyttö pienentää hiilivarastoa ja hiilinielua	(Säntti 2017), (Aalto et al. 2016), (Brack 2017)
Luonnollisten hiilivarastojen määrä tulisi maksimoida, jotta ilmastonmuutosta vastaan voidaan taistella	(Aalto et al. 2016)
Täysikasvuiset puut sitovat enemmän hiiltä kuin nuoremmat puut	(Brack 2017)
Bioenergian käyttö ei pienennä hiilivarastoa ja hiilinielua	(Säntti 2017)
Kun metsien kasvu on suurempaa kuin hakkuu	(Säntti 2017)
Kun tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika-akselilla	(Säntti 2017), (World Energy Association 2017), (Cowie et al. 2017)
Hiilen sitoutuminen vähenee metsän vanhetessa	(Cowie et al. 2017)
Metsistä tapahtuu luonnollista hiilen vapautumista mm. lahoamisen, metsäpalojen, myrskyjen ja tuholaiten seurauksena	(Säntti 2017), (Cowie et al. 2017)
Kasvava bioenergian käyttö johtaa suurempiin metsäinvestointeihin	(Säntti 2017), (Cowie et al. 2017)
METSIIEN MÄÄRÄ	
Puita riittää bioenergian tuotantoon, koska puustoa hakataan vähemmän kuin sitä kasvaa	(Toivonen 2017)
Puita ei riitä bioenergian tuotantoon, koska vanhaa metsää ei ole riittävästi	(Toivonen 2017)

KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Bioenergian käyttö lisää kasvihuonekaasupäästöjä	(Säntti 2017), (Aalto et al. 2016), (Brack 2017)
Biomassan poltto aiheuttaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin fossiilisten polttoaineiden	(Aalto et al. 2016), (Brack 2017)
Kasvihuonekaasupäästöjä pitäisi vähentää nopeasti	(Säntti 2017), (Brack 2017)
Bioenergian käyttö ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä	
Kun tarkastellaan tarpeeksi laajalla aika- ja alueakselilla	(Säntti 2017), (World Bioenergy Association 2017), (Cowie et al. 2017)
Kun tarkastellaan kumulatiivisia hiilidioksidipäästöjä	(Cowie et al. 2017)
Kun puuston kasvu on suurempaa kuin hakkuu	(Cowie et al. 2017)
Bioenergian käytöstä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat osa hiilen luonnollista kiertoa	(Säntti 2017), (World Bioenergy Association 2017), (Cowie et al. 2017)
Kasvava metsä sitoo enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin hakkuukypsä metsä	(Säntti 2017)
Bioenergia korvaa fossiilisia polttoaineita	(Cowie et al. 2017)
Kaikkia bioenergiasta syntyviä päästöjä ei tällä hetkellä raportoida	(Brack 2017)

RAAKA-AINEDEN KÄYTTÖ

Bioenergian lisääntyvä käyttö johtaa siihen, että kokonaisia puita ja esim. kantoja käytetään bioenergian raaka-aineina	(Aalto et al. 2016)
Bioenergian käytön takia puu ei ohjautu optimaalisiin käyttötarkoituksiin/korkeamman jalostusarvon tuotteisiin	(Toivonen 2017), (Säntti 2017)
Bioenergian käyttö johtaa puun tuontiin	(Aalto et al. 2016)

Biomassaa hankitaan suojelluilta alueilta	(Aalto et al. 2016)
Biomassa kerätään kestävästi hoidetuista metsistä	(Brack 2017)
VAIKUTUKSET PAIKALLISEEN YMPÄRISTÖÖN	
Bioenergian käyttö uhkaa luonnonmetsiä ja niistä riippuvia eliölajeja	(Toivonen 2017), (Aalto et al. 2016), (Brack 2017)
Metsien hakkuu on uhka luonnon monimuotoisuudella	(Säntti 2017), (Aalto et al. 2016)
Bioenergian käyttö lisää paikallisia päästöjä	(Aalto et al. 2016)
Metsien hakkaaminen vähentää maaperän hiilipitoisuutta	(Brack 2017)
VAIKUTUKSET TALOUTEEN	
Bioenergian käyttö kehittää valtioiden taloutta ja tuo rahaa	(Säntti 2017)
Bioenergian käyttö kehittää paikallista taloutta tuomalla metsänomistajille ja maanviljelijöille tuloja	(Toivonen 2017), (Säntti 2017), (World Bioenergy Association 2017)
Bioenergian käyttö työllistää	(Toivonen 2017), (World Bioenergy Association 2017)
Bioenergian käyttö parantaa valtioiden energiaturvallisuutta	(World Bioenergy Association 2017)
Bioenergian käyttö vähentää investointeja fossiilista polttoaineita käyttäviin teknologioihin ja infrastruktuuriin	(Cowie et al. 2017)
MUUT	
Bioenergiaa voidaan toimittaa silloin, kun energiaa tarvitaan	(Brack 2017), (Cowie et al. 2017)
Bioenergiaa voidaan varastoida ja muuttaa eri energiamuotoihin	(Cowie et al. 2017)