



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sanna Moliis

BIOENERGIA – POTENTIAALI JA
KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET
POHJANMAALLA

Tekniikan yksikkö
2015

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|---|
| Tekijä | Sanna Moliis |
| Opinnäytetyön nimi | Bioenergia – potentiaali ja kehittämismahdollisuudet Pohjanmaalla |
| Vuosi | 2015 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 65 |
| Ohjaaja | Vesa-Matti Honkanen |

Tämä selvitystyö on tehty Pohjanmaan liiton valmisteilla olevaa maakuntakaavaa vuodelle 2040 varten. Työ tehtiin talven 2014 – 2015 aikana Ramboll Finland oy:llä.

Tieto alueen bioenergiapotentiaalista edesauttaa uusiutuvien energialähteiden tuotantoa ja käyttöä maakunnassa. Bioenergia on keskeisessä asemassa pyrittäessä Euroopan unionin asettamiin uusiutuvien energialähteiden käyttötavoitteisiin ja maakunnan omiin tavoitteisiin energiaomavaraisuuden ja hiilidioksidineutraalisuuden suhteen.

Työn päätavoite oli selvittää Pohjanmaan teoreettinen bioenergiapotentiaali. Lisäksi työssä kartoitetaan energiantuotannon- ja kulutuksen nykytilannetta maakunnassa ja selvitetään bioenergian kehittämismahdollisuuksia. Bioenergiapotentiaaliselvitykseen on sisälletty biokaasu, peltobiomassat, metsäenergia sekä yhdyskuntajätteet. Turpeen ei katsota olevan uusiutuva energialähde, eikä näin ollen ole sisälletty tähän selvitykseen.

Pohjanmaan bioenergiapotentiaali muodostuu monipuolisista bioraaka-aineista, suurimman energiapotentiaalin muodostavat energiapuu ja peltobiomassat. Hyödyntämällä bioenergiapotentiaalia sekä muita uusiutuvia energialähteitä on teoreettisesti mahdollista kattaa koko Pohjanmaan vuoden 2030 tavoiteltu energiakulutus, joka on 9,2 TWh uusiutuvilla energialähteillä.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Sanna Moliis |
| Title | Bioenergy – potential and development possibilities in Ostrobothnia |
| Year | 2015 |
| Language | Finnish |
| Pages | 65 |
| Name of Supervisor | Vesa-Matti Honkanen |

This research was done for the regional plan for year 2040, made by the Regional Council of Ostrobothnia. The research was done during the winter 2014 – 2015 at Ramboll Finland Oy.

Knowledge of the bioenergy potential in the county of Ostrobothnia contributes to the production and use of renewable energy sources. Bioenergy is in a crucial position, when trying to achieve the goals of renewable energy usage set by the European Union and the goals set by the county considering energy self-sufficiency and carbon dioxide neutrality.

The main objective of the research was to find out the theoretical bioenergy potential in Ostrobothnia. Additionally, the research maps out the current state of energy production, consumption and the development possibilities of bioenergy in the county. The bioenergy research includes biogas, agrobiomass, forest energy and municipal waste. Peat is not considered to be a renewable energy resource; therefore it is not included in this research.

The bioenergy potential in Ostrobothnia consists of multiple bio resources. The largest bioenergy potentials are formed by energy wood and agrobiomasses. The aimed energy consumption in Ostrobothnia in the year 2030, 9,2 TWh, is theoretically reachable by utilizing the county's bioenergy potential and other renewable energy sources.

| | |
|----------|--|
| Keywords | Bioenergy, bioenergy production, bioenergy potential, energy consumption, renewable energy |
|----------|--|

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | BIOENERGIA..... | 9 |
| 2.1 | Mitä on bioenergia?..... | 9 |
| 2.2 | Bioraaka-aineiden ja biojalosteiden luokittelu..... | 11 |
| 2.3 | Bioenergiatuotanto | 13 |
| 2.3.1 | Sähkön erillistuotanto biomassoilla..... | 14 |
| 2.3.2 | Lämmön erillistuotanto biomassoilla | 14 |
| 2.3.3 | Yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon menetelmät biomassoilla (Pien CHP-tuotanto) | 15 |
| 3 | BIOENERGIAA KOSKEVAT TAVOITTEET, LAINSÄÄDÄNTÖ JA POLIITTISET OHJAUSKEINOT SUOMESSA 2014..... | 17 |
| 3.1 | Suomen ympäristöpolitiikka | 17 |
| 3.2 | Päästökauppa..... | 18 |
| 3.3 | Energiatuki (investointituki) | 19 |
| 3.4 | Uusiutuvan energian syöttötariffi (tuotantotuki)..... | 20 |
| 3.5 | Energiaverotus..... | 21 |
| 3.6 | Ilmastolaki..... | 21 |
| 3.7 | Uusiutuvan energian direktiivi..... | 22 |
| 3.8 | Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä | 22 |
| 4 | ENERGIAKULUTUKSEN- JA TUOTANNON NYKYTILA POHJANMAALLA | 23 |
| 4.1 | Energian kokonaiskulutus Suomessa | 23 |
| 4.2 | Sähkönkulutus Pohjanmaalla | 23 |
| 4.3 | Liikenteen energiankulutus Pohjanmaalla | 25 |
| 4.4 | Sähköntuotanto Pohjanmaalla..... | 25 |
| 4.5 | Lämmöntuotanto Pohjanmaalla | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.6 | Bioraaka-aineiden ja kivihiilen kulutus Pohjanmaan voimalaitoksissa | 28 |
| 4.6.1 | Metsäenergia | 28 |
| 4.6.2 | Yhdyskuntajätteen poltto | 29 |
| 4.6.3 | Biokaasutuottajat | 29 |
| 4.6.4 | Kaatopaikkakaasu | 30 |
| 4.6.5 | Muut bioenergiantuottajat | 31 |
| 5 | POHJANMAAN BIOENEGRIAPOTENTIAALI | 32 |
| 5.1 | Bioraaka-aineet Pohjanmaalla | 32 |
| 5.1.1 | Ruokohelpi | 32 |
| 5.1.2 | Olki | 33 |
| 5.1.3 | Energiapaju | 34 |
| 5.1.4 | Metsäenergia | 34 |
| 5.1.5 | Biokaasun tuotanto | 36 |
| 5.1.6 | Yhdyskuntajätteen poltto | 36 |
| 5.2 | Biopolttoaineet- ja nesteet | 37 |
| 5.2.1 | Biodiesel | 37 |
| 5.2.2 | Bioetanoli | 38 |
| 5.3 | Bioenergiapotentiaali | 39 |
| 5.3.1 | Bioenergiapotentiaalin suuruuden määrittely, aineisto ja tutkimusmenetelmät | 39 |
| 5.4 | Pohjanmaan bioenergiapotentiaali | 47 |
| 6 | BIOENERGIATUOTANNON KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET POHJANMAALLA | 48 |
| 6.1 | Pohjanmaalla hyvät edellytykset bioenergiatuotannon kehittämiseksi | 48 |
| 6.2 | Bioenergiastrategia | 48 |
| 6.3 | Hajautettu energiantuotanto | 49 |
| 6.4 | Tanskan hajautetun energiantuotannon kehitys | 51 |
| 6.5 | Maatalouden biokaasulaitokset | 50 |
| 6.6 | Energiapajun viljely | 54 |
| 7 | POHDINTA | 55 |
| | LÄHTEET | 59 |

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Pohjanmaan maakuntaan kuuluvat kunnat (Taustakartta, Esri Finland, kuntajako maanmittauslaitos, alkuperäistä aineistoa on muokattu) | 8 |
| Kuva 2. Eräiden peltobiomassojen ja puun jalostusmahdollisuudet sekä niiden käyttökohteet (Alakangas 2000, 97). | 10 |
| Kuva 3. Biopolttoaineiden- ja nesteiden luokittelu Nigam & Singh 2010 mukaan. | 13 |
| Kuva 4. Energian kokonaiskulutus Suomessa 1990 – 2014 sisältäen liikenteen, lämmön ja sähkön energiakulutuksen (Tilastokeskus 2015). | 23 |
| Kuva 5. Sähkönkulutus Pohjanmaalla vuosina 2007 – 2013 (Energiateollisuus 2014) | 24 |
| Kuva 6. Sähkönkulutuksen prosentuaalinen jakautuminen Pohjanmaalla vuonna 2013. Sähkönkulutus oli yhteensä 3,2 TWh. (Energiateollisuus 2014). | 24 |
| Kuva 7. Pohjanmaan maakunnassa sijaitsevat hakelämpövoimalaitokset. Lämpövoimalaitokset on luokiteltu teholuokan mukaan. | 27 |
| Kuva 8. Vasemman puolinen kuva esittää sähköntuotannon infrastruktuurin vuonna 1985 ja oikealla oleva kuva tilanteen vuonna 2009. Punaiset pisteet osoittavat keskitettyjä CHP-laitoksia, oranssit osoittaa CHP-tuotantolaitoksia ja vihreät pisteet tuulivoimalaitoksia (Lähde: Mathiesen, V.B. 2015). | 53 |
| Taulukko 1. Euroopan unionin ja Suomen kansalliset energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020 (Suomen energia- ja ilmastostrategia 2013) | 17 |
| Taulukko 2. Biokaasun kokonaistuotanto ja biokaasulaitosten energiantuotanto vuonna 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014) Jepuan biokaasulaitoksen tuotantomäärät ovat vuodelta 2014 (sähköpostitiedostelu, Kurt Stenvall), liikennebiokaasun tuotanto alkoi Jepualla elokuussa 2014. | 30 |
| Taulukko 3. Bioenergian tuotanto Pohjanmaan voimalaitoksissa vuonna 2013. | 31 |
| Taulukko 4. Pohjanmaalla käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2014 (Luonnonvarakeskus 2015). | 41 |
| Taulukko 5. Bioenergiapotentiaalın arvioinnissa käytetyt satomäärät ja energiasisällöt. | 41 |
| Taulukko 6. Pohjanmaan biokaasupotentiaali Biogas Botnia- selvityksen mukaan | 47 |
| Taulukko 7. Yhteenvedo Pohjanmaan bioenergiapotentiaalista. | 47 |

1 JOHDANTO

Fossiilisten polttoaineiden niukkuus ja lämpenevä ilmasto sekä yhä tiukempi ympäristöpolitiikka on asettanut paineita uusiutuvien energialähteiden käytölle ja kehittämiselle. Fossiilisten polttoaineiden kulutuksesta syntyy kasvihuonekaasuja, pääasiassa hiilidioksidia, joka edesauttaa ilmastonmuutosta. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä syntyy energiantuotannossa ja liikenteessä, tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden, kuten bioenergian käyttöä huomattavasti näillä sektoreilla ja hillitä ilmastonmuutosta. Bioenergia muodostaa merkittävän uusiutuvan energialähteen fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa.

Suomen tavoite on, että uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta olisi 38 % vuonna 2020. Vuonna 2013 uusiutuvien energialähteiden osuus loppukulutuksesta oli jopa 31 % (Suomen virallinen tilasto 2013), eli tavoite on saavutettavissa. Pitkällä tähtäimellä tavoitteena on kokonaan korvata fossiiliset polttoaineet uusiutuvilla energialähteillä Suomessa, tämä on EU:n mukainen tavoite. Eurooppa-neuvosto on linjannut, että hiilidioksidipäästöjä tulisi vähentää 80 – 95 % vuoteen 2050 mennessä. Pohjanmaan maakunnan tavoite on olla hiilidioksidineutraali ja energiaomavarainen maakunta vuonna 2040.

Tämän työn tavoitteena on arvioida Pohjanmaan maakunnan teoreettinen bioenergiatuotantopotentiaali sekä selvittää bioenergiatuotannon kehittämismahdollisuudet. Lisäksi työssä kartoitetaan myös energiantuotannon- ja kulutuksen nykytilannetta. Bioenergiapotentiaalın määrittelyssä ei ole huomioitu taloudellisia eikä teknisiä rajoituksia. Turvetta ei ole sisälletty bioenergiapotentiaaliin, koska sitä pidetään ilmastopolitiikassa fossiilisenä polttoaineena. Yhdyskuntajäte on sisälletty bioenergiapotentiaaliin, koska se muodostaa Pohjanmaalla merkittävän energialähteen. Jätteen hyödyntäminen energiana on myös ympäristön kannalta parempi vaihtoehto kuin kaatopaikoille sijoittaminen. Työn tarkoituksena on selvittää, miten paljon bioenergiaa olisi teoreettisesti mahdollista tuottaa Pohjanmaalla. Lisäksi peltobiomassojen osalta on vertailtu energiantuotantotapoja tutkimalla, miten paljon energiaa saadaan tuottamalla biokaasua verrattuna biomassojen suoraan polttoon. Työ toimii myös

tietolähteenä Pohjanmaan uusiutuvaa energiaa koskevan vaihemaakuntakaavan päivitystyössä, jonka tavoitevuosi on 2040. Pohjanmaan maakunnalla on tavoitteena olla hiilidioksidineutraali maakunta sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä liikenteen osalta vuonna 2040. Osatavoite on olla kokonaan energiaomavarainen maakunta vuonna 2030. Omavaraisuus ja hiilidioksidineutraalisuus pyritään saavuttamaan pääasiassa monipuolisella energiantuotannolla. Suurin osa energiatarpeesta katettaisiin tuulivoimalla, loput energiatarpeesta tuotettaisiin muilla uusiutuvilla energiamuodoilla, kuten aurinkoenergialla, jätteenpoltolla ja bioenergialla (Wasberg & Pekkola 2012). Bioenergiatuotannon kehittäminen on tärkeää jotta uusiutuvalla energia asetetut tuotantotavoitteet saavutetaan sekä kansallisesti että alueellisesti. Tavoitteiden saavuttamiseksi on kuitenkin parannettava energiatehokkuutta ja vähennettävä energiankulutusta. Pohjanmaan energian loppukulutuksen tavoite on 9,2 TWh/vuosi vuonna 2030, mikäli energiankulutus jatkaa kasvuaan loppukulutus vuonna 2030 olisi 12 TWh/vuosi (Pohjanmaan liitto 2014).

Tämän selvityksen kohdealue on Pohjanmaan maakunta. Pohjanmaa sijaitsee Suomen länsirannikolla. Maakuntaan kuuluu yhteensä 15 kuntaa ja maakunnan pinta-ala ilman merialueita on 7 934,48 km². Kuvassa 1 on osoitettu Pohjanmaan kunnat. Tammikuussa vuonna 2015 maakunnassa oli yhteensä 181 256 asukasta (Tilastokeskus 2015).



Kuva 1. Pohjanmaan maakuntaliittoon kuuluvat kunnat (Esri Finland, kuntajako maanmittauslaitos, alkuperäistä aineistoa on muokattu).

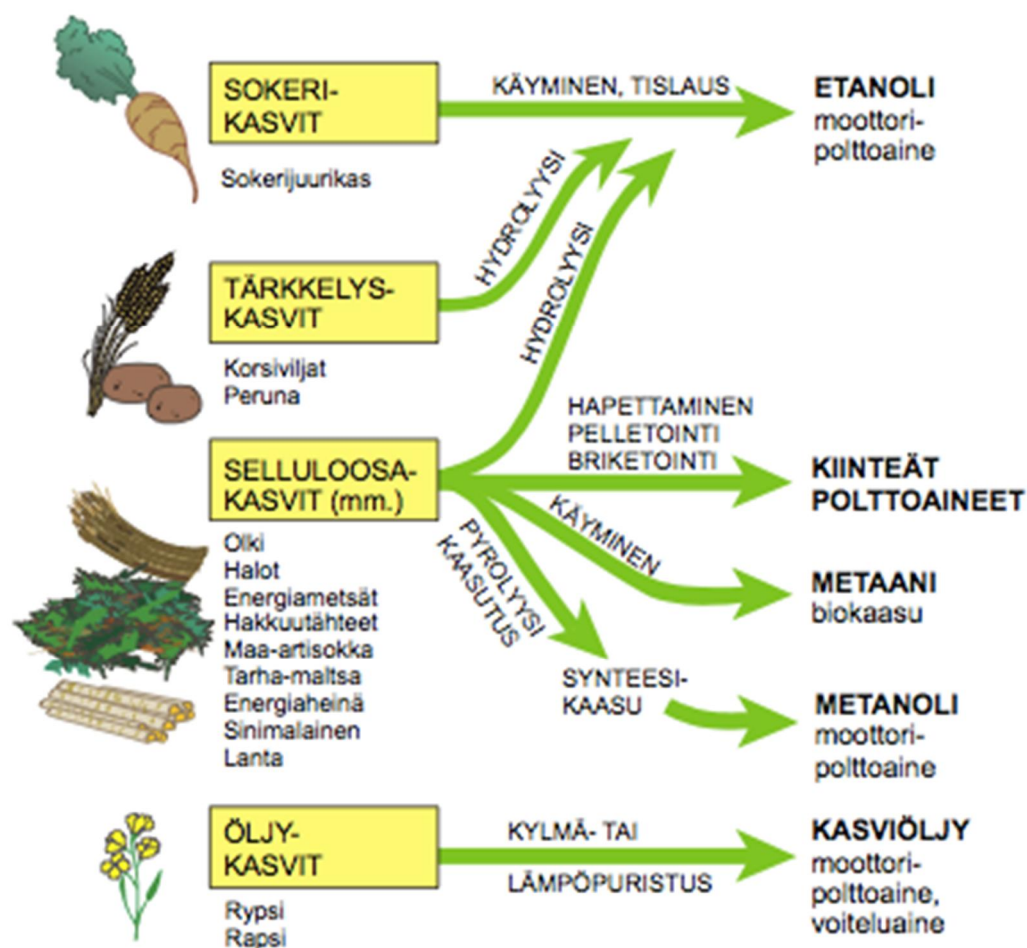
2 BIOENERGIA

2.1 Mitä on bioenergia?

Bioenergia on biomassoilla tuotettua uusiutuvaa energiaa. Biomassat ovat eläin- tai kasviperaistä orgaanista ainetta. Ne voidaan luokitella alkuperänsä mukaan maatalous-, metsä- ja jäteperäisiksi raaka-aineiksi. Lisäksi bioraaka-aineet voidaan luokitella primääriksi tai sekundääriksi energiaksi ja jalostusmenetelmän mukaan ensimmäisen-, toisen-, tai kolmannen sukupolven biopolttoaineeksi.

Biomassa on monipuolinen raaka-aine sillä siitä voidaan jalostaa nestemäistä, kiinteää tai kaasumaista polttoainetta. Useiden jalostusmahdollisuuksien vuoksi biopolttoaineilla voi olla monta käyttökohdetta kuten sähkön- ja lämmöntuotanto. Jalostettuna ne soveltuvat myös liikennepolttoaineeksi, näin ollen ne ovat yksi parhaista, ja monipuolisimmista vaihtoehdoista fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen. Bioenergialla on ainakin osittain mahdollista korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä Suomessa. Hyvä esimerkki biopolttoaineiden potentiaalista liikennepolttoaineena on UPM-Kymmen Oyj:n (UPM) biojalostamo Lappeenrannassa. Tehdas valmistui vuonna 2014 ja jalostaa vuosittain noin 100 000 tonnia uusiutuvaa biodieseliä puupohjaisista raaka-aineista (UPM biopolttoaineet).

Kuvassa 2 esitetään, miten erilaisia peltobiomassoja ja puuta voidaan jalostaa eri käyttökohteisiin.



Kuva 2. Eräiden peltobiomassojen ja puun jalostusmahdollisuudet sekä niiden käyttökohteet (Alakangas 2000, 97).

Biomassat ovat hiilidioksidineutraaleja polttoaineita. Poltettaessa vapautuva hiilidioksidi lasketaan osaksi hiilen luonnollista kiertoa sen sitoutuessa kasvavaan biomassaan ja muuttuessa fotosynteesin kautta hapeksi. Energiantuotanto biomassoilla vähentää näin ollen hiilidioksidipäästöjä verrattuna energiantuotantoon fossiilisilla polttoaineilla ja on kestävä kehityksen mukainen uusiutuva energialähde. Lisäksi biomassojen hyödyntäminen vähentää riippuvuutta tuontipolttoaineista ja parantaa energiaomavaraisuutta. Bioenergian hajautettu tuotanto tuo myös maaseudulle uudenlaisen elinkeinon energiantuotannon muodossa ja luo uusia työpaikkoja.

2.2 Bioraaka-aineiden ja biojalosteiden luokittelu

Biopolttoaineet, bionesteet ja biomassat luokitellaan yleisesti primääri- ja sekundääripolttoaineiksi. Primäärienergia on jalostamatonta luonnon energiaa, sitä on muun muassa vesivoima, tuuli, aurinko ja puu. Sekundäärienergia on jalostettua primäärienergiaa, kuten bensiini (Hyttinen 2005, Adato Energia Oy 2002 mukaan). Sekundääripolttoaineet voidaan lisäksi luokitella ensimmäisen-, toisen-, ja kolmannen sukupolven polttoaineiksi. Primääripolttoaineet muodostuvat jalostamattomista biomassoista. Primääripolttoaineet voidaan luokitella alkuperänsä mukaan, esimerkiksi agrobiomassoihin ja metsäbiomassoihin.

Sekundääripolttoaineet kuten bioetanoli ja biodiesel ovat jalostettuja biopolttoaineita jotka soveltuvat muun muassa liikennepolttoaineiksi ja lämmitykseen. Biopolttoaineiden ja bionesteiden osalta Suomen Energiamarkkinaviraston mukaan biopolttoaineilla tarkoitetaan nestemäisiä tai kaasumaisia jalosteita joita käytetään liikenteessä, näitä ovat esimerkiksi biodiesel ja bioetanoli sekä biokaasu. Bionesteet eivät sen sijaan ole tarkoitettu liikennekäyttöön vaan muuhun energiakäyttöön, kuten lämmön- ja sähkön- tuotantoon. Sekundääripolttoaineet voidaan edelleen luokitella kolmeen sukupolven riippuen jalostusmenetelmästä, sen kehitystasosta ja raaka-aineista (Dragone, Fernandes, Vicente & Teixeira 2010, 1355). Sekundääripolttoaineiden jalostusmenetelmiä on lukuisia erilaisia, eikä niihin perehdytä tarkemmin tässä työssä.

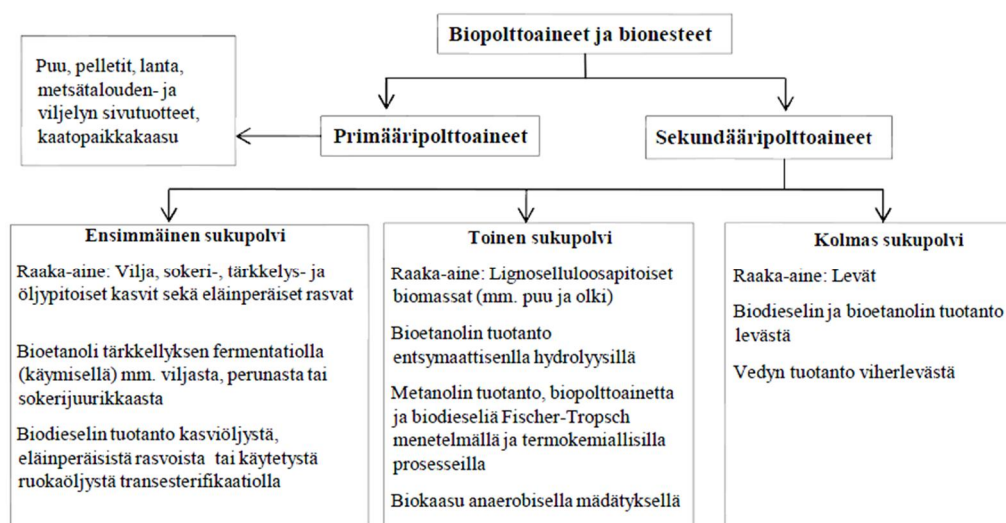
Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineena käytetään pääasiassa ruoaksi kelpaavia tärkkelyspitoisia raaka-aineita, kuten perunaa ja öljypitoisia kasveja, muun muassa rypsiä ja rapsia. Näin ollen nämä polttoaineet kilpailevat maankäytöstä ja viljelyalasta elintarviketeollisuuden kanssa.

Toisen sukupolven biopolttoaineiden ja bionesteiden raaka-aineet ovat pääasiassa sivutuotteita. Pääasialliset raaka-aineet ovat kasvi- ja puupohjainen selluloosa (lignoselluloosa). Metsäteollisuuden sivutuotteista valmistetut biopolttonesteet ovat toisen sukupolven biopolttoaineita. Myös yhdyskuntajätettä voidaan

hyödyntää polttoainetuotannossa. Toisen sukupolven biopolttoaineiden valmistamiseen ei käytetä ruoaksi kelpaavia raaka-aineita, näin ollen raaka-aineet eivät kilpaile elintarviketeollisuuden kanssa. Toisen sukupolven biopolttoaineet vähentävät tehokkaammin päästöjä ja ovat laadultaan korkealaatuisampia kuin ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet, koska niiden tuotannossa käytetään kehittyneempää teknologiaa (Motiva 2014 a). Toisen sukupolven raaka-aineen muuntaminen biopolttoaineeksi vaatii kallista teknologiaa ja esikäsittelyä, minkä takia tämän sukupolven biopolttoaineita ei voida tuottaa laajassa mittakaavassa taloudellisesti kannattavasti (Dragone ym. 2010, 1356).

Kolmannen sukupolven biopolttoaineet ovat vasta kehitteillä, eikä niitä tällä hetkellä ole kaupallisessa tuotannossa. Pääasiallinen raaka-aine kolmannen sukupolven biopolttoaineissa on levä. Levästä voidaan tuottaa biopolttoaineita usealla erilaisella jalostusmenetelmällä. Ajatus levän käyttämisestä biopolttoaineiden raaka-aineena ei ole uusi, mutta se on viime aikoina noussut uudelleen julkisuuteen. Levän käyttämisellä biopolttoaineiden tuotannon raaka-aineena on useita hyötyjä verrattuna perinteisiin tuotantotapoihin. Levä tuottaa 15 – 300 kertaa enemmän öljyä viljelyalaa kohti, verrattuna perinteisesti käytettyihin kasveihin. Lisäksi leväviljelyllä on lyhyt kierto, kun esimerkiksi viljoja korjataan kerran tai kaksi vuodessa levää voidaan kerätä 1 – 10 päivän välein, riippuen viljelytavasta (Dragone ym. 2010, 1356).

Kuvassa 3 on esitetty biopolttoaineiden- ja nesteiden luokittelu primääri- ja sekundääribiopolttoaineisiin sekä 1 – 3. sukupolven biopolttoaineisiin ja nesteisiin.



Kuva 3. Biopolttoaineiden- ja nesteiden luokittelu Nigam & Singh 2010 mukaan.

2.3 Bioenergiatuotanto

Biomassoista voidaan eri menetelmillä jalostaa liikennepolttoaineita ja biopolttonesteitä lämmöntuotantoon. Lisäksi biomassoista voidaan tuottaa biokaasua. Näin ollen bioenergia on erittäin monipuolinen energiatuotantotapa. Bioenergiatuotanto on pääasiassa lämmön- tai sähköntuotantoa, tai yhdistettyä lämmön ja sähköntuotantoa (CHP-tuotantoa, Combined Heat and Power). Myös biopolttoaineiden ja bionesteiden tuotanto on bioenergian tuotantoa, mutta tässä työssä ei perehdytä nestemäisten biopolttoaineiden jalostusmenetelmiin.

Energiantuotanto biomassoilla ei ole täysin ongelmaton energiantuotantotapa. Biomassojen kuljetukset ja varastointi ovat ongelmallisia. Koska niiden energiatiheys on matala verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ja niillä on korkea irtotiheys, mikä johtaa korkeisiin kuljetuskustannuksiin. Korkean irtotiheyden takia bioraaka-aineet vaativat myös varastoinnissa paljon tilaa. Biomassat ovat paikallisia polttoaineita, ja tämän takia ne soveltuvat erityisen hyvin hajautettuun energiantuotantoon. Hajautettuun energiantuotantoon perehdytään vielä tarkemmin myöhemmin tässä selvityksessä.

Tällä hetkellä bioenergiatuotannon kustannukset edellyttävät taloudellista tukea, ja tällä hetkellä kivihiielen halpa hinta heikentää biomassojen kilpailukykyä.

Lisäksi Pohjoismaiden sähkön halpa markkinahinta vaikuttaa bioenergian – erityisesti biomassoilla tuotetun sähkön kannattavuuteen. Bioenergiantuotantoa pyritään lisäämään kansallisilla tukimenetelmillä, erityisesti taloudellisilla tuilla, kuten syöttötariffilla, verotuksella ja energiatuella. Tulevaisuudessa kuitenkin fossiilisten polttoaineiden hinnannousu antaa asiantuntijoiden mukaan tukea bioenergia-alan kasvulle (Villa & Saukkonen 2010, 28).

2.3.1 Sähkön erillistuotanto biomassoilla

Erillistä sähköntuotantoa biomassoilla ei juuri ole Suomessa. Erillinen hajautettu sähköntuotanto perustuu pääasiassa tuuli-, aurinko- ja vesivoimalla tuotettuun sähköön. Biomassoilla tuotettu sähkö tuotetaan tällä hetkellä pääasiassa suurissa voimalaitoksissa yhdistetysti lämmön- ja sähkön yhteistuotannolla, jolloin biomassaa käytetään rinnakkaispolttoaineena esimerkiksi kivihiilen kanssa.

Huolestuttavaa uusiutuvan sähköntuotannon kehityksen kannalta on, että Suomi ei ole osoittautunut uusiutuvan sähköntuotannon kannalta houkuttelevaksi kasvuympäristöksi. Konsulttifirman E&Y:n tekemän kansainvälisen Recai-indeksiselvityksen (Renewable Country Attractiveness) mukaan Suomi sijoittui sijalle 36 vertailun mukana olleista 40 maasta. Recai-ideksi kertoo muun muassa miten sijoittajat, yritykset ja teknologiantarjoajat näkevät markkinat, eli mihin sähköntuotannon kannalta kannattaa tehdä sijoituksia. Suurin syy siihen, että Suomi ei ole houkutteleva sijoitusympäristö uusiutuvan sähkön tuotantoon, on E&Y:n energiatoimialasta vastaavan johtajan Mikko Rytilahden mukaan se, että Suomessa on investoitu kaukolämpöverkkoon, ja vertailu koskee ainoastaan sähköntuotantoa. Lisäksi Suomessa ei ole aurinkovoimaa, maalämpöä, vuorovettä eikä aaltosähköä käytössä ja vesivoimapotentiaali on lähes kokonaan jo käytössä, eikä kehittämismahdollisuuksia juurikaan ole (Helsingin Sanomat 2015, nettiartikkeli).

2.3.2 Lämmön erillistuotanto biomassoilla

Lämmön erillistuotanto biomassoilla on pääasiassa kauko- tai aluelämmön tuotantoa tai talokohtainen lämmitys. Lämmöntuotannossa otetaan talteen

palamisessa vapautuva energia. Poltosta syntyvät savukaasut lämmittävät kattilan lämmönsiirtopintoja, joiden kautta lämpö siirtyy kattilan ympärillä kiertävään veteen (Satosalmi 2014, 36). Lämpökattiloiden hyötysuhteet ovat jopa 95 % (Satosalmi 2014, 39).

Kaukolämmön tuotannossa lämpö tuotetaan lämpökattilassa, ja lämpö siirretään kuluttajille kaukolämpöverkosta pitkin. Siirrossa tapahtuu lämpöhävikkiä, eikä lämmön siirtoetäisyys saa olla liian pitkä. Kaukolämmön siirto kiinteistöihin tapahtuu talokohtaisissa lämmönsiirtimissä, jonka kautta kaukolämpö siirtyy talon lämpöpattereiden kiertoon (Satosalmi 2014, 73).

Pohjanmaalla on yhteensä 45 lämpövoimalaitosta, jotka toimivat biomassoilla, pääasiassa metsähakkeella mutta myös turpeella. Lisäksi useat kasvihuoneviljelijät ovat siirtyneet raskaasta polttoöljystä biomassoihin kasvihuoneiden lämmittämiseen.

2.3.3 Yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotanto biomassoilla (Pien CHP-tuotanto)

Useassa suuressa voimalaitoksessa tuotetaan yhdistetysti lämpöä ja sähköä, eli CHP-tuotanto (Combined heat and power). CHP-tuotannossa otetaan talteen sähköntuotannosta syntyvä ”ylijäämälämpö” ja lämpö syötetään esimerkiksi kaukolämpöverkkoon. Tämä nostaa voimalaitoksen hyötysuhdetta merkittävästi. Hajautetussa energiantuotannossa voidaan pienessä kokoluokassa tuottaa lämpöä ja sähköä yhdistetysti. Pienimuotoinen sähköntuotanto on teholtaan muutamia kymmeniä tai satoja kilowatteja tai korkeintaan muutamia megawatteja (Motiva 2012). Pohjanmaalla ei ole tällä hetkellä pienimuotoista CHP-tuotantoa.

Lähtökohta kannattavalle CHP-tuotannolle on riittävä lämmön ja sähkön tarve ympäri vuoden. Myös polttoaineen hinta ja saatavuus vaikuttaa merkittävästi voimalan kannattavuuteen. Jotta lämmönsiirrosta ei syntyisi turhaa lämpöhäviötä, lämmönsiirtoetäisyyden tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Mahdollisuutta lämmön syöttämisestä kaukolämpöverkkoon tulisi selvittää. Lämmönkulutus vaihtelee suuresti vuodenajan mukaan, ja CHP-tuotannossa on tärkeää, että lämmölle olisi

kysyntää ympäri vuoden, jotta laitosta ei tarvittaisi ajaa puoliteholla. Lämmölle voi myös olla kysyntää teollisuudessa. Maataloudessa on myös potentiaalinen pien CHP-tuottaja, esimerkiksi maitoa tuottavilla maatiloilla on tarvetta sekä lämpöiselle vedelle että sähkölle ympäri vuoden.

Tällä hetkellä kilpailukykyisimmät CHP-teknologiat ovat kaasu- ja dieselmoottorit, mikroturbiinit, höyryturbiinit ja koneet sekä stirling-moottorit (Motiva 2012). Polttokennojen odotetaan yleistyvän tulevaisuuden CHP-tuotannossa. Polttokennot ovat sähkökemiallisia laitteita jossa polttoaineen kemiallinen energia muunnetaan sähköksi ja lämmöksi ilman palamista. Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi vetyä tai biokaasua. Polttokennoja ei ole laajamittaisesti käytetty bioenergi-sovelluksissa ja polttokennoihin perustuva CHP-tuotanto on vielä varhaisessa kehitysvaiheessa (Karjalainen 2012, 7; Pesola & Hoviniemi ym. 29). Polttokennojen käyttö on yleistymässä 1 kW kokoluokassa (pientalot) erityisesti Japanissa ja Etelä-Koreassa, mutta Suomessa kehitys on hidasta (Pesola, Vanhanen, Hagström, Karttunen, Larvus, Hakala, Vehviläinen 2014, 8).

3 BIOENERGIAA KOSKEVAT TAVOITTEET, LAINSÄÄDÄNTÖ JA POLIITTISET OHJAUSKEINOT SUOMESSA 2014

3.1 Suomen ympäristöpolitiikka

Kansainväliset ympäristösopimukset, kuten Kioton pöytäkirja ohjaavat Euroopan Unionin ympäristöpolitiikkaa ja sen kautta Suomen ympäristö- ja energiapolitiikkaa. Euroopan unioni asettaa jäsenmailleen ympäristötavoitteita jotka ovat maakohtaisia. Näin ollen Suomen ympäristöpolitiikka on pitkälti muotoutunut Euroopan unionin asettamien velvoitteiden ja tavoitteiden mukaisesti. Tämänhetkiset EU:n asettamat ilmastotavoitteet on asetettu vuonna 2008, ja ne tunnetaan 20-20-20-tavoitteina. Tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä EU:n energiankulutuksesta 20 % katetaan uusiutuvilla energialähteillä, kasvihuonekaasupäästöt vähennetään 20 % sekä energiatehokkuutta lisätään 20 %. Suomi on kuitenkin päättänyt tiukemmista tavoitteista koskien päästökaupan ulkopuolista sektoria, uusiutuvien energialähteiden osuutta sekä biopolttoaineiden käyttöä tieliikenteessä.

Taulukko 1. Euroopan unionin ja Suomen kansalliset energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020 (Suomen energia- ja ilmastostrategia 2013)

| Tavoitteet vuodelle 2020 | EU | Suomi |
|--|-------|------------------|
| Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ¹⁾ | -20 % | EU-tason tavoite |
| Päästökauppasektorin päästöt ²⁾ | -21 % | EU-tason tavoite |
| Päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöt ²⁾ | -10 % | -16 % |
| Uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta | 20 % | 38 % |
| Biopolttoaineiden osuus tieliikenteen polttoaineista | 10 % | 20 % |
| Energiatehokkuuden parantaminen ³⁾ | +20 % | EU-tason tavoite |

1) vertailuvuosi 1990

2) vertailuvuosi 2005

3) verrattuna vuonna 2007 arvioituun kehitykseen

Suomen tuoreimmassa energia- ja ilmastostrategiassa, joka päivitettiin vuonna 2013, on määritelty keskeisiä kansallisia energia- ja ilmastopoliittikan tavoitteita. Siinä varmistetaan, että vuodelle 2020 asetetut kansalliset tavoitteet saavutetaan

sekä varaudutaan EU:n vuoden 2020 jälkeiseen ilmastopolitiikkaan ja tavoitteisiin.

Ympäristöpolitiikkaa on myös visioitu vuoteen 2050 saakka energia- ja ilmastotiekartassa. Tiekartan tavoitteena on mm. vahvistaa pitkäjännitteistä ja ennustavaa politiikkaa sekä toimia strategisen tason ohjeena kohti hiilidioksidineutraalia yhteiskuntaa – mikä on Suomen tavoite vuoteen 2050, ja osa EU:n 80 – 95 % kasvihuonekaasujen vähennystavoitteesta. Tiekartassa nostetaan erityisesti esiin kotimaisen bioenergian merkitystä rakentaessa hiilineutraalia yhteiskuntaa. Suomen bioenergiatuotantoon vaikuttaa tulevaisuudessa erityisesti se, miten päästöoikeuden hinta asettuu, ja minkälaisia vaatimuksia bioenergian tuotannon kestävyydelle asetetaan sekä säilykö bioenergian hiilineutraali asema päästökaupassa. Noin 80 % Suomen hiilidioksidipäästöistä on peräisin energiantuotannosta ja kulutuksesta, liikenteen aiheuttamat päästöt mukaan luettuna. Näin ollen Suomen energijärjestelmän on kokonaan luovuttava fossiilisista polttoaineista vuoteen 2050 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014 a).

Ympäristöpolitiikan asettamat tavoitteet pyritään saavuttamaan kansallisella lainsäädännöllä ja ohjauskeinoilla. Ohjauskeinojen tavoitteena on nostaa bioenergian, ja muiden uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin sekä kannustaa uusiutuvan energiantuotannon investointeihin. Tässä luvussa on esitetty bioenergian tuotannon kannalta keskeiset ohjauskeinot ja lainsäädäntö.

3.2 Päästökauppa

Päästökauppa on ohjauskeino hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Koska bioenergia luokitellaan EU:n sisäisessä päästökaupassa hiilidioksidineutraaliksi, bioenergiaa tuottavat laitokset eivät kuulu päästökauppiiriin. Näin ollen bioenergiantuottajien ei tarvitse maksaa päästöistään, mikä parantaa bioenergian kilpailukykyä verrattuna kalliimpaan energiantuotantoon fossiilisilla polttoaineilla.

Päästökauppajärjestelmä aloitettiin EU:ssa yritysten välillä vuonna 2005. Päästökaupan tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä siellä, missä päästöjä on halvin vähentää. Päästökauppapiiriin kuuluville laitoksille jaetaan ilmaiseksi tietty määrä päästöoikeuksia. Jos laitos aiheuttaa enemmän päästöjä kuin on saanut päästöoikeuksia, se joutuu ostamaan lisää oikeuksia. Päästökauppa asettaa hiilidioksidipäästöille hinnan ja ohjaa päästövähennykset sinne missä ne ovat edullisimmat. Euroopan unionin päästökauppasektoriin kuuluvat muun muassa polttoaineteholtaan yli 20 MW:n energiantuotantolaitokset, paperi- ja kartonkitehtaat, öljynjalostamot, koksamot, sementtitehtaat sekä rauta- ja terästehtaat.

Suomessa päästökaupasta säädetään päästökauppalailla (311/2011). Päästökaupan toimeenpanosta vastaa työ- ja elinkeinoministeriö, se määrittelee mm. päästökauppapiiriin kuuluvien laitoksien maksuttomien päästöoikeuksien määrät jokaiselle kauppakaudelle, ja hyväksyy ne Euroopan komissiossa. Energiavirasto toimii päästökauppaviranomaisena, sen tehtäviin kuuluu muun muassa päästölupien myöntäminen ja huutokaupan pitäminen. Päästökauppaa käydään 7 vuotta kestäville päästökauppakausilla, tällä hetkellä on menossa päästökauppakausi 2013 – 2020. Jokaiselle päästökauppakaudelle Euroopan komissio määrittelee tietyn määrän kaupattavia päästöoikeuksia, joita on joka päästökauppakaudelle tarjolla vähemmän kuin Euroopan unionin nykyiset päästöt. Päästöoikeudet jaetaan päästökauppapiiriin kuuluville laitoksille, jos laitos tuottaa enemmän päästöjä kuin on saanut päästöoikeuksia, sen on ostettava lisää päästöoikeuksia. Toisaalta, jos laitos vähentää päästöjään, se voi myydä päästöoikeuksiaan. Tavoitteena on vähentää päästökauppasektorin kasvihuonepäästöjä 21 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä.

3.3 Energiatuki (investointituki)

Energiatuen tavoite on tukea uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattamista parantamalla investointien taloudellista kannattavuutta, ja pienentämällä taloudellisia riskejä jotka liittyvät uuden teknologian käyttöönottoon. Energiatukea voidaan myöntää yrityksille, kunnille tai muille yhteisöille. Energiatuen myöntämiseen sovelletaan valtionavustuslakia (688/2001). Valtion asetuksessa energiatauen myöntämisen yleisistä ehdoista

(1063/2012) määritellään tarkemmin muun muassa tuen hakemisesta, hyväksyttävistä kustannuksista ja tuen maksamisesta (Työ- ja elinkeino-ministeriö 2015).

Energiatukea voidaan myöntää hankkeille, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, edistävät energiasäästöä, energiantuotannon tai energiankäytön tehostamista, tai hankkeille, jotka vähentävät energiantuotannon tai käytön ympäristöhaittoja (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015). Biokaasulaitos, joka liittyy syöttötariffijärjestelmään, ei ole oikeutettu investointitukeen.

3.4 Uusiutuvan energian syöttötariffi (tuotantotuki)

Uusiutuvilla energialähteillä tuotetulle sähkölle voidaan myöntää syöttötariffi. Syöttötariffijärjestelmästä säädetään laissa 1396/2010, (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta). Syöttötariffijärjestelmän tavoitteena on edistää uusiutuvilla energialähteillä tuotettua sähköä ja parantaa uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä sekä monipuolistaa sähkön tuotantoa ja parantaa omavaraisuutta sähköntuotannossa. Syöttötariffijärjestelmään kuuluvalle sähköntuottajalle maksetaan enintään kahdentoista vuoden ajan sähkön markkinahinnan, tai päästöoikeuden hinnan perusteella muuttuvaa tukea. Syöttötariffin suuruus määrittyy sähkön tavoitehinnan ja sähkön kolmen kuukauden markkinahinnan erotuksesta, erotus maksetaan syöttötariffina sähkön tuottajalle tuotantomäärän mukaisesti (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014 b).

Syöttötariffijärjestelmään voidaan hyväksyä metsähakevoimalaitoksia, tuulivoimalaitoksia, biokaasuvoimalaitoksia sekä puupolttoainevoimalaitoksia, jotka täyttävät vaatimukset. Vaatimukset ovat määritetty laissa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta.

Metsähakevoimalalle voidaan maksaa kaasutinpreemiolla korotettua syöttötariffia, jos voimalaitoksen yhteydessä on kaasutin. Vastaavasti myös puupolttoainevoimalaitokselle tai biokaasuvoimalaitokselle voidaan maksaa korotettua syöttötariffia lämpöpremioina, jos laitoksessa tuotetaan lämpöä hyötykäyttöön.

3.5 Energiaverotus

Energiaverotuksen minimitaso EU:ssa on määritetty neuvoston direktiivissä energiaverodirektiivi 2003/93/EY. Energiavero on valmistevero ja siitä säädetään laeissa sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetussa laissa (1260/1996) sekä nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetussa laissa (1472/1994). Suomessa energiaveroa kannetaan nestemäisistä polttoaineista (myös biopolttoaineista), sähköstä, kivihiilestä, maakaasusta, polttoturpeesta sekä mäntyöljystä. Nestemäisten polttoaineiden valmisteverolain mukaan biopolttoaineet kuten bioetanol, biobensiini, biodieselöljy ja biopolttoöljy ovat veronalaisia polttoaineita jos niitä tuotetaan lämmitys- tai moottoripolttoaineeksi. Biopolttoöljyn, eli lämmitykseen tai dieselmootoreihin tarkoitetun biopolttoaineen pienvalmistaja ei ole velvollinen maksamaan valmisteveroa, jos valmistajan tuotanto on alle 100 000 litraa vuodessa, eikä polttoainetta viellä Suomen ulkopuolelle eikä käytetä Suomessa liikennepolttoaineena. Kestävästi tuotetun biopolttoaineen tai bionesteen verotus on alhaisempi.

3.6 Ilmastolaki

Suomen ilmasto- ja energiapolitiikkaa ohjaava ilmastolaki ei ole vielä voimassa. Tavoitteena on että laki tulisi voimaan vuoden 2015 aikana. Hallitus on antanut ilmastolain esityksen eduskunnalle (HE 82/2014), ja esityksen valiokuntakäsittely eduskunnassa on käynnissä.

Ilmastolain päätavoitteena on ohjata päästökaupan ulkopuolella syntyvien päästöjen vähentämistä (Ympäristöministeriö 2014). Päästökauppasektorin ulkopuoliset kasvihuonekaasupäästöt ovat pääasiassa hajautettuja. Suurimpia päästölähteitä ovat liikenne, talokohtainen lämmitys, jätehuolto ja maatalous. Ilmastolailla pyritään myös ohjaamaan keskipitkän- ja pitkänaikavälin ilmasto- ja energia-politiikkaa, sekä varautua ilmastomuutokseen ja sopeutua siihen (Ympäristöministeriö 2014).

3.7 Uusiutuvan energian direktiivi

Euroopan parlamentin ja neuvoston uusiutuvan energian direktiivillä (2009/28/EY) asetetaan sitovat kansalliset tavoitteet koskien uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian kokonaisuutta energian loppukulutuksesta ja liikenteen polttoaineista (Suomen tavoitteet, katso taulukko 1). RES-direktiivi on ns. 2020-tavoitteiden taustalla, direktiivin tavoitteena on valvoa Euroopan energiankulutusta ja uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen kestävästi liikenteessä ja energiantuotannossa, sekä energiatehokkuuden parantaminen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

RES-direktiivin toteuttamiseksi ja sen asettamien kestävyyskriteerien saavuttamiseksi on asetettu laki biopolttoaineista ja biopolttonesteistä. Lailla biopolttoaineista ja bionesteistä (393/2013) varmistetaan biopolttoaineiden ja bionesteiden elinkaaren kestävyyskriteerit. Lain mukaan biopolttoaineen- tai nesteen tuottajan on haettava kestävyysjärjestelmälleen Energiamarkkinaviraston hyväksyntä, minkä jälkeen tuottaja saa biopolttoaine- tai bioneste-, ja raaka-aineeristä kestävyystodistuksen joka osoittaa, että valmiste tuottaa kestävyyskriteerit. Kestävyystodistuksen saamiseksi ulkopuolisen todentajan tulee antaa lausunto kestävyyskriteerien vaatimustenmukaisuudesta (Energiavirasto 2015). Biopolttoaineen- tai nesteen valmistajan tulee myös vuosittain toimittaa Energiamarkkinavirastolle kestävyyskriteeriselvitys, jossa osoitetaan kestävyyskriteerien täytymisen ja tuotetut biopolttoaine- tai nestemäärät.

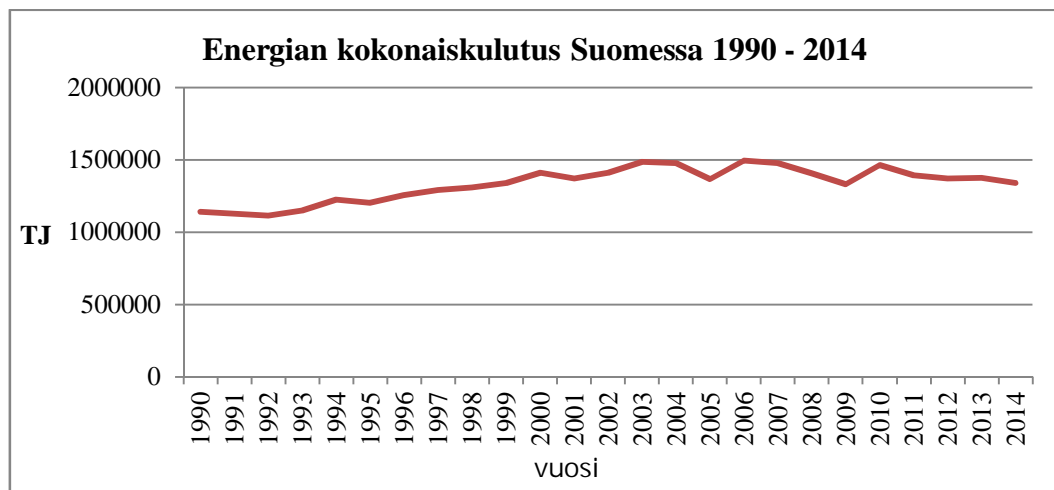
3.8 Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä

Laissa säädetään biopolttoaineiden jakelovelvoitteesta (446/2007), liikenne- polttoaineiden jakelijoille asetetaan laissa velvoite toimittaa kulutukseen biopolttoaineita. Sen tavoitteena on edistää biopolttoaineiden käyttöä moottori- bensiinin ja dieselöljyn korvaamiseksi liikenteessä Biopolttoaineiden jakelovelvoite on yhteensä 8,0 % vuonna 2015 ja nousee asteittain vuoteen 2020 asti, jolloin jakelovelvoite on 20 %. Laki koskee jakelijoita joiden kalenterivuoden aikana jaeltu dieselin, bensiinin ja biopolttoaineiden määrä ylittää miljoonaa litraa.

4 ENERGIAKULUTUKSEN- JA TUOTANNON NYKYTILA POHJANMAALLA

4.1 Energian kokonaiskulutus Suomessa

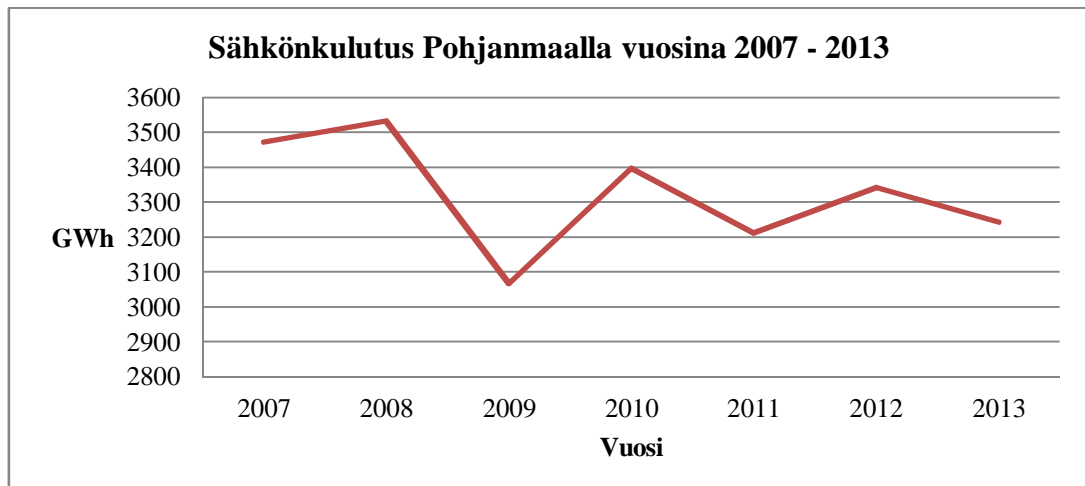
Suomen tavoite on parantaa energiatehokkuutta 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Energiankulutus on kuitenkin kauan ollut kasvussa, mutta vuodesta 2010 lähtien energiankulutus on vähentynyt. Alla olevassa kuvassa näkyy Suomen energian kokonaiskulutuksen vuodesta 1990 vuoteen 2014. Kokonaiskulutus kuvaa kotimaisten energialähteiden ja tuontienergian kulutusta, se sisältää myös energian tuotantoon ja jalostukseen käytetyt polttoaineet sekä liikenteen ja rakennusten lämmitykseen käytetyt polttoaineet.



Kuva 4. Energian kokonaiskulutus Suomessa 1990 – 2014 sisältäen liikenteen, lämmön ja sähkön energiakulutuksen (Tilastokeskus 2015 a).

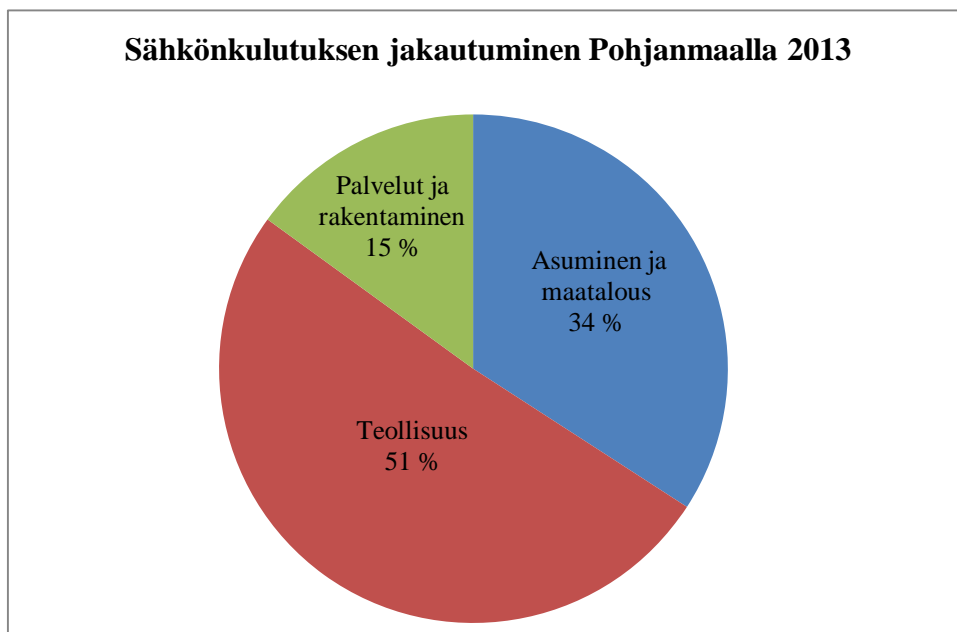
4.2 Sähkönkulutus Pohjanmaalla

Pohjanmaalla sähkönkulutus on vaihdellut vuodesta vuoteen, mutta kehityssuunta osoittaa, että sähkönkulutus on vähenemässä. Pohjanmaan energiatekniikassa vuodelta 2012 arvioidaan sähkönkulutuksen olevan 5,5 TWh vuonna 2020, ja energiankulutus yhteensä 10 TWh (Wasberg & Pekkola 2012, 17). Vuonna 2013 sähkönkulutus oli 3,2 TWh.



Kuva 5. Sähkönkulutus Pohjanmaalla vuosina 2007 – 2013 (Energieoteollisuus 2014).

Suurin sähkönkuluttaja Pohjanmaalla vuonna 2013 oli teollisuus. Tämä johtuu runsaasta energiaintensiivisestä teollisuudesta, kuten paperiteollisuudesta Kaskisissa ja Pietarsaassa. Toiseksi suurin kuluttaja oli asuminen ja maatalous. Palveluihin ja rakentamiseen kului huomattavasti vähemmän sähköä.



Kuva 6. Sähkönkulutuksen prosentuaalinen jakautuminen Pohjanmaalla vuonna 2013. Sähkönkulutus oli yhteensä 3,2 TWh. (Energieoteollisuus 2014).

4.3 Liikenteen energiankulutus Pohjanmaalla

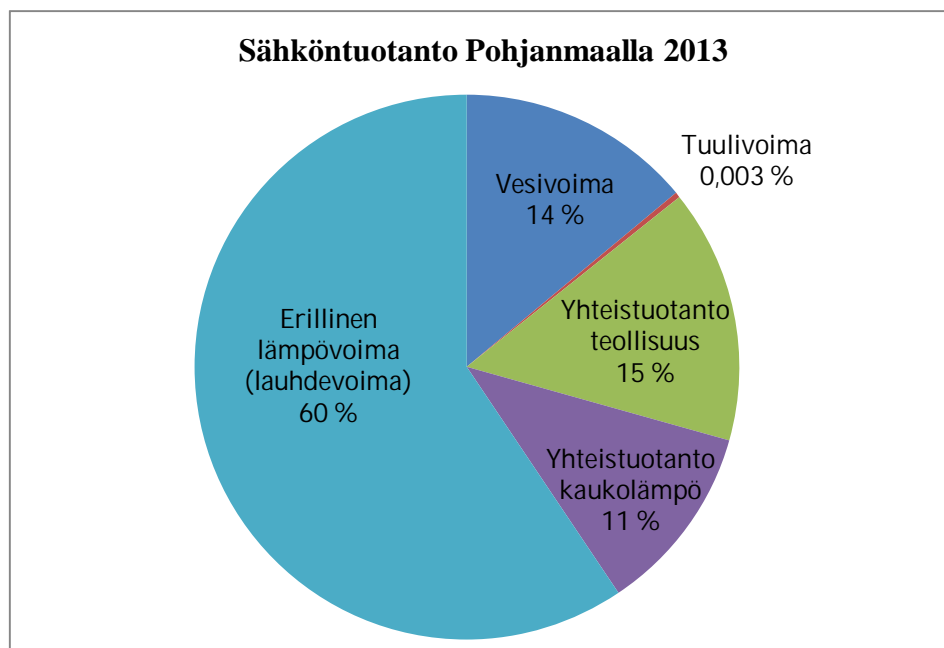
Pohjanmaan tavoitteena on olla energiaomavarainen maakunta vuonna 2030, sähkön, lämmön sekä liikenteen osalta. Maakunnan energiastrategiassa vuodelta 2008 liikenteen energiakulutukseksi arvioitiin 1,5 TWh joka perustui lähes kokonaan fossiilisiin polttoaineisiin (Wasberg & Pekkola 2012). Vuonna 2008 Pohjanmaan autokanta oli 91 908 autoa joista 2 kulki muulla polttoaineella kuin bensiinillä tai dieselillä. Maaliskuussa vuonna 2015 autokanta oli kasvanut 98 350 autoon, josta 129 auto kulki uusiutuvilla polttoaineilla tai sähköllä (Trafi 2015). Suhteuttamalla autokannan kasvu liikenteen energiakulutukseen, sen energiakulutus vuonna 2015 olisi noin 1,7 TWh. Arvio perustuu tilastoihin, eikä moottorien polttotekniikan kehitystä ja mahdollisesti pienempää polttoainekulutusta ole huomioitu. Näin ollen Pohjanmaalla tulisi tuottaa 1,7 TWh biopolttoaineita saavuttaakseen tavoitteen olla energia-omavarainen maakunta vuonna 2030 ja hiilidioksidineutraali vuonna 2040.

Omavaraisuuden saavuttaminen liikennepolttoaineiden kannalta tulee todennäköisesti olemaan suurin haaste Pohjanmaalla. Ensimmäisen- ja toisen sukupolven biopolttoaineiden jalostusmenetelmät ovat vielä kalliita eikä kovin energiatehokkaita, lisäksi ne kilpailevat osittain elintarviketuotannon kanssa samoista raaka-aineista ja viljelyaloista. Biokaasu- ja sähköautojen yleistyminen poistaisi osittain tarvetta nestemäisten biopolttoaineiden tuotantomäärästä.

4.4 Sähköntuotanto Pohjanmaalla

Suomen, ja Pohjanmaan maakunnan energiainfrastruktuuri on pääasiassa keskitettyä. Energia tuotetaan suurissa tuotantolaitoksissa. Keskitetty tuotanto on johtanut korkeaan polttoaineiden tuontiriippuvuuteen (Kinnunen 2011,1). Keskitetyssä tuotannossa sähkö, tai lämpö tuotetaan suuren kokoluokan voimalaitoksissa josta energia siirretään kulutuspisteeseen energiaverkkojen avulla. Keskitetyllä energiantuotannolla saavutetaan mittakaavaetuja, sen haasteita ovat sen sijaan siirtojärjestelmissä tapahtuva hävikki sekä suurten yksiköiden haavoittuvuusriski (Pesola, Hoviniemi, Vehviläinen & Vanhanen 2010, 6).

Pohjanmaalla merkittävimmät sähköntuotantolaitokset sijaitsevat Kristiinankaupungissa, Vaasassa ja Pietarsaassa. Kaikki voimalaitokset sijaitsevat rannikolla, mikä mahdollistaa edullisia kivihiilikuljetuksia meriteitse. Biopolttoaineita on myös tuotu laivakuljetuksena Pietarsaareen ja Vaasaan, mutta kuljetus meriteitse ei ole ainakaan vielä osoittautunut kannattavaksi. Sähköntuotanto oli vuonna 2013 Pohjanmaalla yhteensä 4,9 TWh. Eniten sähköä tuotettiin lauhdevoimalla.

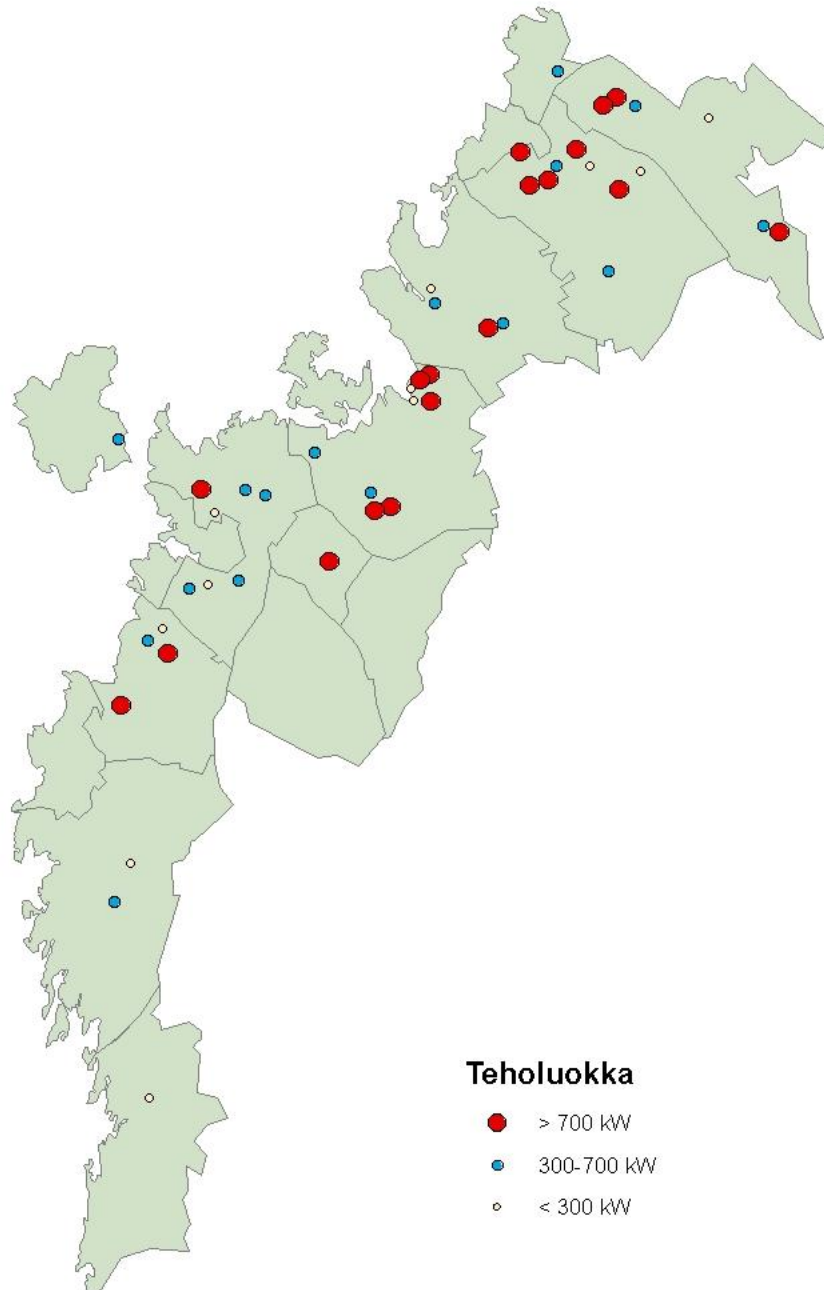


Kuva 7. Sähköntuotantomenetelmien jakautuminen Pohjanmaalla vuonna 2013, eniten sähköä tuotettiin lauhdevoimalla. Sähköntuotanto oli yhteensä 4906 GWh (Energiateollisuus 2014).

4.5 Lämmöntuotanto Pohjanmaalla

Suomessa kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto. Pohjanmaalla 34 % asukkaista hyödynsi kaukolämpöä vuonna 2013. Tarkkaa tilastoa ei ole saatavilla muiden lämmitysmuotojen tuotantomääristä Pohjanmaalla. Vuonna 2013 kaukolämpöä tuotettiin Pohjanmaalla yhteensä 1580 GWh (Kaukolämpötilasto 2013). Eniten käytetyt polttoaineet kaukolämmöntuotannossa olivat kivihiili, sekapolttoaineet ja metsäpolttoaineet (Kaukolämpötilasto 2013). Lisäksi Pohjanmaalla sijaitsee yhteensä 45 hakelämpövoimalaitosta. Lämpövoima-laitoksien tehot vaihtelevat 60

– 2000 MWh välillä, hakelämpövoimalaitosten yhteenlaskettu teho on noin 40 GWh (Rannikon metsäkeskus, tiedostelu). Osa lämpökeskuksista tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon, mutta suurin osa keskuksista on talokohtaisia.



Kuva 7. Pohjanmaan maakunnassa sijaitsevat hakelämpövoimalaitokset. Lämpövoimalaitokset on luokiteltu teholuokan mukaan.

4.6 Bioraaka-aineiden ja kivihiilen kulutus Pohjanmaan voimalaitoksissa

4.6.1 Metsäenergia

Vaskiluodon Voima Oy:n kivihiilivoimalaitos sijaitsee Vaasan sataman vieressä. Voimalaitoksessa on yhteensä kolme kattilaa. Öljykattila, joka toimii huippuvoimalaitoksena, kivihiilikattila toimii jatkuvasti ja vanha kivihiilikattila, joka on poistettu käytöstä. Vuonna 2012 Vaskiluodon voimalaitoksen kattilan yhteyteen rakennettiin biokaasutuslaitos, joka mahdollistaa biomassojen polttamisen kivihiilikattilassa kaasumuodossa. Polttoaineena käytetään pääasiassa metsähaketta ja turvetta. Bioreaktorissa biomassa kaasutetaan, eli muutetaan kiinteästä kaasuksi, ja syötetään kattilaan kivihiilen sekaan. Kaasutuslaitos on yksi ratkaisu siihen, miten fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset voivat ainakin osittain, siirtyä biopolttoaineisiin. Vaskiluodon voiman biokaasutuslaitos on ensimmäinen lajissaan ja suurin maailmassa. Kaasutuslaitos vähentää voimalaitoksen hiilidioksidipäästöjä 230 000 tonnilla vuodessa ja korvaa 25 – 40 % kivihiilikulutuksesta (Vaskiluodon Voima 2013). Vuonna 2013 Vaskiluodossa tuotettiin 148 GWh sähköä ja 42 GWh kaukolämpöä bioraaka-aineilla.

Alholmens Kraftin voimalaitos sijaitsee Pietarsaaren Alholmenin teollisuusalueella. Voimalaitoksella hyödynnetään pääasiassa puuperäistä polttoainetta UPM:n tehtaalta ja Alholmenin sahasta, jotka sijaitsevat samalla tehdasalueella. Voimalaitos hyödyntää polttoaineena biopolttoaineiden lisäksi myös yhteiskuntajätettä, turvetta ja kivihiiltä. Alholmens Kraft on tällä hetkellä ainut voimalaitos Pohjanmaalla joka hyödyntää peltobiomassoja. Peltobiomassojen käyttö on kuitenkin laskussa ja niistä tullaan todennäköisesti luopumaan kokonaan hankalien poltto-ominaisuuksien ja korkean hinnan takia. Voimalaitos tuottaa sekä kaukolämpöä että sähköä. Alholmens Kraft on yksi maailman suurimpia biopolttoainevoimalaitoksia. Vuonna 2013 biopolttoaineilla tuotettiin yhteensä 1534 GWh energiaa (Alholmens Kraft 2013).

UPM Kymmenen sellutehtaan ohella Alholmens Kraft ja Vaskiluodon Voima ovat merkittävimpiä metsäenergian kuluttajia. Lisäksi maakunnassa on lukuisia pieniä lämpökeskuksia ja kasvihuoneita jotka käyttävät lämmöntuotannon

polttoaineena metsähaketta, näiden laitoksien yhteenlaskettu kulutus on merkittävä, mutta selvästi pienempi kuin edellä mainittujen suurien voimalaitosten kulutus.

4.6.2 Yhdyskuntajätteen poltto

Jätteenpolttolaitos Westenergy Oy Ab sijaitsee Mustasaassa. Polttolaitos valmistui vuonna 2012. Polttolaitoksessa poltetaan yhteensä noin 400 000 asukkaan lajitellut yhdyskuntajätteet. Westenergy tuottaa sekä sähköä että lämpöä. Vuonna 2013 voimalaitoksen energiantuotantokapasiteettia hyödynnettiin kokonaan. Silloin tuotettiin yhteensä 80 GWh sähköä ja 280 GWh kaukolämpöä.

4.6.3 Biokaasutuottajat

Ab Stormossen Oy:n jätteenkäsittelykeskus sijaitsee Koivulahdessa Mustasaassa ja sen yhteydessä sijaitsee Pohjanmaan merkittävin biokaasutuottaja. Biokaasulaitos rakennettiin 1980-luvulla ja se oli yksi maailman ensimmäisistä yhdyskuntabiojätettä käsittelevistä biokaasulaitoksista (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 3). Jätekeskus vastaanottaa vuosittain noin 150 000 tonnia jätettä (Vuosikertomus 2013). Stormossenin biokaasulaitos on yhteismädätyslaitos jossa mädätetään biojätettä ja puhdistamolietettä sekä muita orgaanisia jätteitä. Stormossenille ollaan myös rakentamassa biokaasun jalostuslaitosta, joka mahdollistaa biokaasun käyttöä liikennepolttoaineena. Jätekeskuksen yhteyteen rakennetaan myös ajoneuvojen tankkauspiste.

Stormossenin lisäksi Laihialla ja Uudessakaarlepyyssä on biokaasulaitoksia. Laihialla hyödynnetään paikallista orgaanista jätettä. Laihian biokaasulaitoksen kaasua ei tällä hetkellä hyödynnetä energiantuotantoon, mutta lämpöä tuotetaan laitoksen omaan käyttöön. Uudessakaarlepyyssä Jepualla sijaitsee Jepuan biokaasu Oy:n biokaasulaitos. Laitos valmistui vuonna 2014. Bioreaktoriin on putkiyhteys läheiseen maatalaan josta liete ja lanta kuljetetaan suoraan biokaasureaktoriin. Jepuan bioreaktorissa mädätetään myös muuta orgaanista jätettä. Biokaasulaitos toimii synergiassa Pietarsaassa sijaitsevan Snellmannin teurastamon kanssa. Teurastamolla syntyvät jätteet tuodaan biokaasulaitokselle

mädätettäväksi, ja biokaasulaitoksen tuottamaa biokaasua hyödynnetään teurastamolla. Biokaasua hyödynnetään pääasiassa lämmöntuotantoon. Mutta biokaasua jalostetaan Jepualla myös liikennepolttoaineeksi. Laitoksen jalostuskapasiteetti on 400 m³ liikennebiokaasua tunnissa. Biokaasulaitoksen yhteydessä on tällä hetkellä Pohjanmaan ainoa biokaasun tankkausasema.

Taulukko 2. Biokaasulaitosten energiantuotanto vuonna 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014).

| Biokaasulaitos | Sähkö (MWh) | Lämpö (MWh) | Liikenne- polttoaine (MWh) |
|--|------------------------|------------------------|---|
| Laihian kunta | | 252 | |
| Stormossen, Koivulahti | 2254 | 3764 | |
| Jepuan biokaasu, Jepua (2014) | | 7841 | 20 |
| Yhteensä | 2254 | 11857 | 20 |

Pohjanmaalla on suunnitteilla kaksi uutta biokaasulaitosta. Lillby Biogas Ab on suunnittelemassa biokaasulaitosta Pedersöreen, biokaasulaitos tuottaisi noin 5 – 6 GWh energiaa vuodessa. Hankkeelle on haettu ympäristölupaa. Malax Bioenergi Oy Ab on aloittanut uuden biokaasulaitoksen rakentamisen vuonna 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014).

4.6.4 Kaatopaikkakaasu

Kaatopaikoilla muodostuu merkittävä määrä metaania orgaanisen aineen hajottaessa. Keräämällä metaani talteen kaatopaikoilta ja hyödyntämällä kaasua energiantuotantoon ehkäistään metaanin leviämistä ilmakehään. Metaani on huomattavasti pahempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, ja sen talteenotolla ehkäistään ilmaston lämpenemistä. Pohjanmaalla kaatopaikkakaasua otetaan talteen Vaasassa Suvilahdessa sijaitsevassa vuodesta 1999 lähtien suljetulla kaatopaikalla ja Stormossenin kaatopaikalla Mustasaassa. Suvilahden kaatopaikkakaasusta tuotettiin vuonna 2013 yhteensä 1043 MWh sähköä ja 1490

MWh lämpöä, Stormossenilla tuotettiin ainoastaan lämpöä, yhteensä 307 MWh (Huttunen & Kuittinen 2014, 46).

Euroopan unionin kaatopaikkadirektiivin (1999/31/EY) mukaan orgaanisen jätteen sijoittamista kaatopaikoille rajoitetaan vuodesta 2016 alkaen. Näin ollen kaatopaikoille ei päädy orgaanista jätettä samassa mittakaavassa kuin tähän mennessä, eikä metaania tule muodostumaan kaatopaikoilla tulevaisuudessa yhtä paljon kuin tällä hetkellä.

4.6.5 Muut bioenergiantuottajat

Biopolttoaineiden ja -nesteiden tuotanto on Pohjanmaalla vähäistä. Uudessa-kaarlepyyssä toimii biodieseltuottaja. Biodieselin tuotannossa hyödynnetään turkistarhojen eläinperäisiä jätteitä. Biodiesel soveltuu sekä liikennepolttoaineeksi että lämmitykseen fossiilisen öljyn tilalle. Biodieselin vuosittainen tuotantokapasiteetti on 1500 tonnia. Vuonna 2013 biodieseliä tuotettiin 850 tonnia. Tällä hetkellä Pohjanmaalla ei ole bioetanolin tuottajia. Närpiössä on tuotettu bioetanolia perunajätteestä, mutta tuotanto on lopetettu. Pietarsaareissa sijaitseva UPM:n sellutehtaalla tuotetaan energiaa polttamalla mustalipeää, joka on tehtaan prosesseissa syntyvä sivutuote. Suurin osa energiasta hyödynnetään kuitenkin tehtaalla, ja vain pieni osa myydään tehtaan ulkopuolelle. Vuonna 2013 sähköä tuotettiin yhteensä 630 GWh josta suurin osa hyödynnettiin tehtaalla, sähköverkkoon myytiin yhteensä 40 GWh. Mustalipeällä tuotetun energian määrä on riippuvainen tehtaan tuotantomäärästä, minkä takia tuotetun energian määrässä voi olla suuriakin vuosittaisia vaihteluja.

Taulukko 3. Bioenergian tuotanto Pohjanmaan voimalaitoksissa vuonna 2013.

| Voimalaitos | Energia (Lämpö ja sähkö) (GWh) | Liikennepolttoaineet (GWh) |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Alholmens kraft | 1534 | |
| Vaskiluodon Voima | 190 | |
| Biokaasulaitokset | 14,1 | 0,02 |
| Westenergy | 360 | |
| Yhteensä | 2099 | 0,02 |

5 POHJANMAAN BIOENEGRIAPOTENTIAALI

5.1 Bioraaka-aineet Pohjanmaalla

5.1.1 Ruokohelpi

Ruokohelpi on Suomessa luonnonvaraisena kasvava monivuotinen heinäkasvi, jolla on korkea biomassasato (Alakangas 2000, 103). Ruokohelpi soveltuu sellaisenaan polttoon korsibiomassakattilassa ja biokaasuntuotannon syötteeksi. Sitä voidaan myös jalostaa pelleteiksi sekoitettuna esimerkiksi sahanpuruun, jolloin saadaan nostettua sen energiatiheyttä. Ruokohelpi soveltuu myös pyrolyysiöljyn raaka-aineeksi (Huttunen 2005).

Polttoon tarkoitettu ruokohelpisato kannattaa korjata aikaisin keväällä, jolloin sadon polttoaineominaisuudet ovat paremmat kuin syksyllä korjatun. Korjuu voi kuitenkin olla hankalaa pellon huonosta kantavuudesta johtuen, mikä voi johtaa suuriinkin korjuutappioihin. Mikäli ruokohelpi on tarkoitettu biokaasuntuotannon raaka-aineeksi, se korjataan kesällä kasvin ollessa vihreä, mikä helpottaa korjuulaitteiston etenemistä pellolla ja vähentää näin ollen korjuutappioita (Eliasson 2010).

Ruokohelpi on suhteellisen hankala polttoaine. Kokemusten perusteella ruokohelven polttoon liittyy voimalaitoksissa ongelmia. Kosteaa helpi tarttuu kuljettimiin, eikä murskaus toimi tehokkaasti, pölyäminen aiheuttaa siivoustarvetta ja muodostaa turvallisuusriskin (Paappanen, Lindh, Kärki, Impola ja Rinne, 2008, 22.). Lisäksi ruokohelven, ja muiden korsibiomassojen korkea tuhkapitoisuus ja tuhkan alhainen sulamispiste voi aiheuttaa ongelmia voimalaitosten tuhkan käsittelyssä. Peltobiomassat sisältävät myös alkuaineita, mm. klooria, joka voi aiheuttaa kattilan sisäpinnoille korroosiota, tämä lyhentää kattilan elinikää.

Ruokohelven tiheys on erittäin matala, tämän takia se soveltuu parhaiten seospolttoaineeksi esimerkiksi hakkeen tai turpeen kanssa, ruokohelpi on silputettava ennen polttoa, jotta polttoaineet sekoittuvat hyvin. Ruokohelpisilpun keveyden takia kattilasta saatava teho alenee (Tuomisto 2005, 15). Yksin

polttuna ruokohelven palamislämpötila nousee hyvin korkeaksi ja pelkän ruokohelven polttoon tarvitaan erikoiskattila joka on suunniteltu korsibiomassoille. Ruokohelvi vaatii myös runsaasti varastointitilaa ja kuljetuskustannukset nousevat, koska rekkakuljetusta kohti saadaan ruokohelven pienen energiatiheuden takia kuljetettua niin vähän energiaa kerralla.

5.1.2 Olki

Olki on viljan osa joka jää pellolle viljan puinnin jälkeen. Tässä työssä tarkastellaan vehnän, rukiin, ohran ja kauran olkien energiapotentiaalia. Olki on viljelyn sivutuote, näin ollen oljen tuotannon energiakulutus on pieni. Ruokohelven tavoin oljen polttoon ja keruuseen liittyy ongelmia. Oljen poltossa nämä ovat muun muassa savukaasujen korroosiovaikutukset sekä tuhkan määrän ja sulamispisteen aiheuttamia ongelmia (Koisti, Rantala & Laine 2011, 77). Polttoaineeksi korjattavan oljen kosteuden tulee olla matala, ja korjuuseen soveltuvia päiviä on vuodessa sen takia vain noin 12 – 10 päivää (Kokkonen, Viitala & Tölli 2011, 7). Huonoista poltto-ominaisuuksien takia olki soveltuu parhaiten rinnakkaispolttoaineeksi esimerkiksi kivihiilen, puun tai turpeen kanssa. Pelkän oljen polttamiseen tarvitaan olkea varten suunniteltu kattila (Alakangas 2000, 98). Oljen suuri tilavuus hankaloittaa myös varastointia ja tekee kuljetukset kalliiksi, olkea käytetään polttoaineena suurpaaleina, kovapaaleina, silppuna, jauhettuna ja puristeina. Briketointi ja pelletointi kasvattavat oljen tiheyttä ja helpottavat polttoaineen käsittelyä (Tuomisto 2005, 17). Pohjanmaalla ei tällä hetkellä ole voimalaitoksia jotka hyödyntävät olkea energiantuotannossa.

Viljojen jyviä voidaan hyödyntää energiantuotantoon, tämä voi tulla kyseeseen jos viljan hinta on alhainen, ja sen energiankäyttö polttamalla on kannattavampaa. Pilaantuneita jyväsatoja voidaan myös käyttää energiantuotantoon. Esimerkiksi ohran jyvän tehollinen lämpöarvo on 4,5 MWh/tonni (Thermopolis Oy 2012). On kuitenkin eettisesti kyseenalaista hyödyntää ruoaksi kelvollista biomassaa energiantuotantoon, eikä bioenergian tulisi kilpailla viljelyalasta elintarviketuotannon kanssa. Viljojen jyvien muodostamaa bioenergiapotentiaalia ei ole arvioitu tässä työssä.

5.1.3 Energiapaju

Energiapaju on peltobiomassa joka soveltuu polttoon energiantuotannossa sekä biodieselin ja pyölyysiöljyn raaka-aineeksi. Pajun viljely on lyhytkiertoinen ja korjuu tehdään 4 – 5 vuoden välein. Pajua voidaan viljellä pelloilla tai toiminnasta poistetuilla turvesoilla.

Paju muodostaa merkittävän energiapotentiaalin, koska se soveltuu samoihin käyttökohteisiin kun metsähake pajuhakkeelle olisi Pohjanmaalla kysyntää, ja sen viljelymahdollisuuksia tulisi selvittää. Erityisesti voimalaitoksissa haketettu paju olisi hyvä uusiutuva kotimainen polttoaine, se muistuttaa poltto-ominaisuuksiltaan puupolttoaineita enemmän kuin peltobiomassat, ja sitä voitaisiin myös hyödyntää seospolttoaineena esimerkiksi turpeen kanssa. Muihin peltobiomassoihin verrattuna pajun käsittely ja syöttö voimalaitoksissa on huomattavasti helpompaa (Hurskainen, Kärki ym. 2013). Ruotsissa pajua on viljelty energiantuotannon polttoaineeksi jo 1970-luvun öljykriisistä lähtien.

Pajun korjuu suoritetaan talvella kun lehdet ovat pudonneet. Korjuu voidaan suorittaa kokopuukorjuuna, hakkeena, paaleina tai korjuuna metsäkoneilla (Sihvonen, Leinonen & Villa 2013, 29). Pajun korjuuseen tarvitaan erikoiskalustoa, jotta laiteinvestointi olisi kannattava, koneella tulisi olla 50 – 300 hehtaaria korjattavaa. Suomessa viljeltiin vuonna 2013 pajua alle 100 hehtaarilla, minkä takia Suomeen ei ole hankittu pajun korjuun erikoiskoneita (Sihvonen, Leinonen & Villa 2013, 6). Jotta pajun viljely olisi kannattavaa, se tulisi toteuttaa suuressa mittakaavassa, mikä vaatisi laajoja peltoaloja.

5.1.4 Metsäenergia

Metsähakkeen käyttö on lähes kahdeksankertaistunut 2000-luvun aikana. Laitoksien lukumäärä on myös kasvanut, ja niiden koot ovat suurentuneet. Vuonna 2010 Suomen 30 suurinta laitosta käyttivät lähes 70 % energiantuotantolaitoksissa käytetystä metsähakkeesta (Kurki, Mutanen & Anttila 2012, 4). Metsien käyttö Suomessa on keskeisesti perustunut massa- ja paperiteollisuuden tarpeisiin, näin ollen metsien bioenergian tuotanto on ollut metsäteollisuuden

sivutoimiala, ja raaka-aineen saatavuus on riippunut sellun ja paperin kysynnästä. Kun kysyntä on ollut korkea, kemiallinen massanvalmistus on Suomen merkittävin puuperäisen energian tuottaja (Villa & Saukkonen 2010, 45).

Kiinteisiin puupolttoaineisiin kuuluvat metsähake, puutähdehake, teollisuuden sivutuotepuu (sahanpuru, kutterinlastut, kuori), kierrätyspuu, puupelletit ja briketit sekä pientaloissa käytetty polttopuu eli klapit ja halot (Kurki, Mutanen & Anttila 2012, 5.) Sahanpurua ja kutterinlastua syntyy puutavaran sahauksen sivutuotteena ja konehöyläyksessä. Nämä kevyet polttoaineet soveltuvat parhaiten seospolttoaineena muiden polttoaineiden ohessa. Kutterinlastuista ja sahanpurusta voidaan myös puristaa pellettejä tai briquettejä. Puu soveltuu yleisesti hyvin pelletöintiin tai briketöintiin, koska se sisältää runsaasti ligniiniä joka toimii liimana ja pitää puristeen koossa. Puun kuorta syntyy puunjalostusteollisuuden sivutuotteena. Sillä on korkea lämpöarvo, erityisesti lehtipuun kuorella. Kuorta käytetään tavallisesti metsäteollisuuslaitosten ja lämpökeskusten kattiloissa. Halkoja ja pilkettä käytetään myös energialähteenä pienimuotoisessa lämmöntuotannossa, kuten talokohtaisessa lämmöntuotannossa. Energiapuuksi lasketaan yleisesti hakkuutähteet, eli oksat, latvat ja kannot sekä runkopuu joka ei kelpaa puunjalostukseen. Energiapuu jalostetaan yleensä metsähakkeeksi, jota hyödynnetään pääasiassa lämmityskattiloissa, lämpölaitoksilla ja teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksilla. Puun kantoja hyödynnetään myös energiantuotannossa. Kannot ovat kuitenkin sitkeitä hakettaa ja ne murskataan yleensä. (Alakangas 200, 48 – 80).

Puuperäisiä polttoaineita ovat myös mustalipeä ja mäntyöljy, jotka syntyvät paperiteollisuuden sivutuotteena. Sulfaattimenetelmällä toimivilla paperitehtailla erotetaan puun ainesosat kemiallisesti keittämällä, keitossa syntyvää nestettä kutsutaan mustalipeäksi. Mustalipeä sisältää kemikaalien lisäksi puun ainesosia. Mustalipeää poltetaan sellutehtaissa erikoiskattilassa ns. soodakattilassa, jossa otetaan talteen keittokemikaalit ja hyödynnetään mustalipeän energiasisältö (Motiva 2014 b). Mäntyöljy on toinen paperitehtaiden prosesseista syntyvä sivutuote, se soveltuu lämmöntuotantoon ja jalostettuna myös liikenne-

polttoaineeksi. UPM jalostaa mäntyöljystä uusiutuvaa liikenteeseen tarkoitettua dieseliä.

5.1.5 Biokaasun tuotanto

Biokaasua muodostuu mikrobien hajotettaessa orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Se on kaasuseos joka sisältää tavallisesti 40 – 70 % metaania, noin 30 – 60 % hiilidioksidia ja hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä. Metaani on hiilidioksidia yli 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu. Sitä muodostuu luonnollisesti mm. soilla sekä kaatopaikoilla orgaanisen jätteen mädätessä. Kaatopaikoilla muodostuvan metaanin talteenotolla ja hyötykäytöllä voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä (Huttunen & Kuittinen 2014, 11 – 12). Biokaasu soveltuu hyvin lämmön- ja sähköntuotantoon, sekä jalostettuna myös liikennepolttoaineeksi biokaasuajoneuvoihin.

Biokaasun tuotantoon voidaan hyödyntää lähes mitä vain bioperäistä raaka-ainetta. Biokaasua on kannattavaa tuottaa hajautetusti lähellä raaka-aineita. Biokaasun tuotantoon liittyy useita ympäristön kannalta hyödyllisiä näkökohtia, lisäksi se monipuolistaa maatalouden elinkeinoelämää energiantuotannon muodossa ja luo uusia työpaikkoja. Biokaasun tuotannosta syntyy sivutuotteena mädätettä. Mädäte soveltuu hyvin lannoitteeksi, ja se on kasveille nopeammin hyödynnettävissä kuin lanta. Mädätteen käyttö lannoitukseen vähentää myös kemiallisten lannoitteiden tarvetta (Lehtomäki ym. 2007).

5.1.6 Yhdyskuntajätteen poltto

Yhdyskuntajäte on sisälletty tähän selvitykseen vaikka se ei lähtökohtaisesti ole uusiutuva energialähde, biojätettä lukuun ottamatta, jonka biokaasupotentiaali on myös sisälletty tähän selvitykseen. Euroopan parlamentti ja neuvosto on antanut direktiivin jätteistä (2008/98/EY). Sen tarkoituksena on valvoa koko jätekiertoa, jätteen syntymisestä sen loppukäsittelyyn saakka. Direktiivissä on otettu esille jätehierarkia, jonka mukaisia toimenpiteitä jäsenvaltioiden on toteutettava ympäristön suojelun parantamiseksi. Hierarkia on viisitasoinen ja se muodostuu seuraavista toimenpiteistä 1) Jätteen syntymisen ehkäiseminen 2) Jätteen

uudelleenkäyttö 3) Kierrätys 4) Muu hyödyntäminen, esimerkiksi energiana ja 5) Loppukäsittely, eli kaatopaikalle sijoittaminen. Energiantuotanto on tällä hetkellä perusteltu vaihtoehto käsitellä syntynyttä jätettä, verrattuna loppusijoitukseen kaatopaikalle. Myös Suomen Bioenergia 2020 selvityksessä nähdään jätteenpolto keskeisenä toimenpiteenä bioenergian lisäämiseksi (Villa & Saukkonen. 2010). Elintarviketeollisuuden- ja muun teollisuuden jätteet muodostavat myös merkittäviä biokaasun ja biopolttoaineiden raaka-aineen.

5.2 Biomassojen jalostus, biopolttoaineet- ja nesteet

Kun biomassoista, kuten oljesta ja puusta tuotetaan energiaa polttamalla, energiatappiota tapahtuu keskimäärin 10 – 20 %. Biopolttoaineiden jalostuksessa kuitenkin tapahtuu huomattavasti enemmän energiatappiota, jopa 70 % biomassan energiasisällöstä. Tämä johtuu pääasiassa kehittymättömästä biopolttoaineiden jalostuslaitteistosta. Näin ollen saadaan peltohehtaarilta jopa kaksi kertaa enemmän energiaa tuottamalla biomassalla lämpöä, tai yhdistetysti lämpöä ja sähköä (Börjesson 2007, 128). Vaikka biopolttoaineiden jalostuksesta syntyy huomattavasti enemmän energiatappiota, biomassat ovat merkittävä potentiaali fossiilisten liikennepolttoaineiden korvaamisessa, varsinkin suuremman mittakaavan, integroidussa tuotannossa kehittyneellä teknologialla kuten UPM:n biojalostamo.

5.2.1 Biodiesel

Biodiesel on yleisnimi eläin- tai kasvirasvoista jalostetulle dieselille (Vihma, Heinilä & Sinkkonen 2006, 9.) Biodiesel ei sovellu sellaisenaan liikennepolttoaineeksi, mutta jos se esteröidään alkoholilla, siitä saadaan nykydieselmootoreihin soveltuvaa liikennepolttoainetta (Alakangas 2000, 138). Biodieselin raaka-aineena voidaan käyttää lähes kaikkia kasviöljyjä. Pohjanmaalla viljellyistä kasveista rypsi ja rapsi sekä auringonkukka soveltuisi parhaiten biodieselin jalostukseen. Viljelyalat ovat kuitenkin niin pieniä, ettei biodieselin jalostaminen kasveista suuressa mittakaavassa olisi Pohjanmaalla mahdollista.

Pienemmässä mittakaavassa biodieselin tuotanto kasveista esimerkiksi maatalan työkoneiden käyttöön olisi kuitenkin mahdollista, esimerkiksi rypsiä voidaan tuottaa työkoneisiin soveltuvaa polttoainetta. 5000 kilogrammasta rypsiä saadaan maatalalaitteistolla 1000 kg biodieseliä (Vihma, Aro-Heinilä & Sinkkonen 2006, 10). Pohjanmaan rypsiljelyala oli vuonna 2014 yhteensä 2510 hehtaaria. Rypsin satomäärä on keskimäärin 1500 kg/ha, näin ollen Pohjanmaalla olisi teoreettisesti mahdollista tuottaa vuosittain 753 tonnia biodieseliä rypsiä. Biodieselin tuotanto öljykasveista kilpailee kuitenkin elintarviketeollisuuden kanssa, ja todellisuudessa ainoastaan murto-osa rypsisadosta olisi käytettävissä polttoaineen tuotantoon.

5.2.2 Bioetanoli

Biomassoista jalostettua bioetanolia on mahdollista käyttää sellaisenaan autojen polttoaineena, mutta sen energiasisältö on pienempi kuin bensiinin, ja se vaatisi muutoksia autojen moottoreihin. Bioetanolia käytetään biokomponenttia bensiinissä, jolloin se nostaa bensiinin happimäärää ja vähentää hiilimonoksidipäästöjä (Kiviranta & Siitonen, 8). Suuren mittakaavan bioetanoli-tuotanto ei todennäköisesti ole mahdollista Pohjanmaalla, koska raaka-aineita ei ole tarpeeksi sekä ruoan että bioetanolin tuotantoon. Eri bioraaka-aineista saadaan vaihtelevia määriä bioetanolia, esimerkiksi yhdestä perunaviljelyhehtaarista saadaan 3 000 litraa etanolia, vastaavasti vehnästä saadaan 2540 ja ohrasta 1245 (Virtanen, Usva, Silvenius, Sinikko, Nurmi, Kauppinen & Nousiainen, 19). Pienimuotoinen bioetanolin tuotanto olisi Pohjanmaalla mahdollista, esimerkiksi perunaviljelyn yhteydessä. St Biofuels Oy:llä on ollut toiminnassa bioetanoli-tehdas Närpiössä perunaviljelyn yhteydessä, mutta toiminta on lopetettu. Pienemmän mittakaavan bioetanolitehtaan rakentamista Pohjanmaalla voisi tutkia tarkemmin, koska muun muassa laajoista perunaviljelyistä syntyy bioetanoli-tuotantoon soveltuvia sivutuotteita.

5.3 Bioenergiapotentiaali

5.3.1 Bioenergiapotentiaalin suuruuden määrittely, aineisto ja tutkimusmenetelmät

Bioenergiapotentiaaliin on sisälletty peltobiomassan, puun ja biokaasun muodostamat energiapotentiaalit. Biokaasun tuotantopotentiaalia käsitellään erillisenä energiapotentiaalina. Biokaasun energiapotentiaali perustuu kokonaan BiogasBotnia -selvityksen tuloksiin, joka on Pohjanmaan maakunnan ja Ruotsin Västerbottenin läänin yhteinen tutkimushanke. Hankkeessa on perusteellisesti tutkittu kunnittain Pohjanmaan biokaasupotentiaalia vuonna 2013.

Turvetta ei sisälletä bioenergiapotentiaaliin koska se luokitellaan Suomessa hitaasti uusiutuvaksi energialähteeksi. Ilmastopolitiikassa turvetta käsitellään samoin tavoin kuin fossiilisia polttoaineita sen poltosta syntyvien päästöjen takia, eikä sitä myöskään luokitella uusiutuvaksi. Puun bioenergiapotentiaali on arvioitu vuosittaisten energiapuun hakkuumäärien perusteella ja poltosta saatuna energiamääränä.

Energiapotentiaalia voidaan tutkia ja arvioida usealla eri tasolla. Energiapotentiaalin määrittelytapoja ovat esimerkiksi taloudellinen -, kestävän kehityksen mukainen- ja tekninen potentiaali. Taloudellinen potentiaali viittaa saatuun energiamäärään kun kaikki tuotantoon liittyvät kustannukset ja edut otetaan huomioon. Kestävän kehityksen mukaisessa energiapotentiaalin arvioinnissa viitataan saatuun energiamäärään, kun tuotannossa noudatetaan kestävän kehityksen tavoitteita. Eri tasoilla pyritään huomioimaan erilaisia energiantuotantoa rajoittavia tekijöitä. Rajoittavien tekijöiden todellista suuruutta on kuitenkin lähes mahdotonta arvioida, ja näin ollen myös tuloksen todenmukaisuutta on hankala arvioida. Energiapotentiaalia voidaan myös tutkia erilaisina yhdistelminä, kuten esimerkiksi teknis-taloudellinen potentiaali. Näin ollen saadaan hyvin vaihtelevia tuloksia riippuen millä tasolla energiapotentiaalia on arvioitu. Tässä selvityksessä on tarkasteltu teoreettista energiapotentiaalia, eikä arvioinnissa ole huomioitu esimerkiksi poltossa tai biomassan korjuussa tapahtuvia energiatappioita. Teoreettinen energiapotentiaali viittaa käytössä

olevaan energiamäärään, kun hyödynnetään olemassa olevaa ja kehittyvää teknologiaa kokonaisvaltaisesti. Tulos kuvaa siis energiamäärä mikä saataisiin, mikäli biomassan energiasisältö olisi mahdollista hyödyntää kokonaan, ilman teknisiä rajoitteita tai energiatappioita. Lisäksi on huomioitava, että potentiaali viittaa johonkin sellaiseen, mitä voisi tapahtua, mutta välttämättä ei saavuteta. Potentiaalın suuruus riippuu tulevaisuuden olosuhteista ja toimenpiteistä. Potentiaali on dynaaminen, ajassa muuttuva määre (Kinnunen 2011, 11 – 13). Bioenergiapotentiaalın hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttavat useat erilaiset tekijät, kuten esimerkiksi taloudelliset tuet, sähkön- ja lämmön hinta, viljan hinta ja teknologian kehitys ja hinta.

Peltobiomassojen energiapotentiaalın arviointi perustuu viljojen (vehnä, ruis, ohra, kaura ja seosvilja sekä muut viljat) viljelyalaan ja ruokohelven viljelyyn nykyisillä viljelyaloilla ja kesantopelloilla. Peltobiomassojen viljelyalat on saatu luonnonvarakeskuksen ylläpitämistä tilastoista käytössä olevasta maatalousmaasta vuonna 2014. Energiapotentiaali on arvioitu muuntamalla viljelypinta-alan (hehtaarit) satomääräksi (tonneiksi) hyödyntämällä kirjallisuudessa käytettyjä keskimääräisiä kasvikohtaisia satomääriä. Satomäärät on muunnettu kyseisen kasvin energiasisällön avulla energiamääräksi (GWh). Taulukossa 4 on esitetty Pohjanmaalla käytössä olevan maatalousmaan pinta-alat ja taulukossa 5 on esitetty bioenergiapotentiaalın arvioinnissa käytettyjä kasvikohtaisia satomääriä ja energiasisältöjä.

Taulukko 4. Käytössä oleva maatalousmaa Pohjanmaalla vuonna 2014 (Luke 2015).

| Peltobiomassa | Viljelyala (ha) |
|---|------------------------|
| Viljat (Vehnä, ruis, ohra, kaura, seosvilja ja muut viljat) | 87804 |
| Rehunurmet ja laidun | 27324 |
| Peruna | 3407 |
| Sokerijuurikas | 272 |
| Rypsi ja rapsi | 2510 |
| Ruokohelpi | 84 |
| Kesannot | 3381 |
| Luonnonhoitopellot | 6570 |
| Viherlannoituspellot | 1832 |
| Nurmet, vähintään 5 vuotta | 968 |
| Käytössä oleva maatalousmaa Pohjanmaalla, yhteensä | 138 083 |

Taulukko 5. Bioenergiapotentiaalin arvioinnissa käytetyt satomäärät ja energiasisällöt.

| Kasvi | Satomäärä (tonnia/hehtaari) | Energiasisältö (MWh/tonni) | Energiapotentiaali (MWh/ha) |
|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Ruokohelpi | 4 ^{1a)} - 7 ^{1, 2)} | 4,5 ^{1, 2)} | 18 – 31,5 (keskimäärin 22) ⁵⁾ |
| Olki | 2 ³⁾ | 4,5 ³⁾ | 9 |
| Paju (vuosisato) | 6 – 9 ⁴⁾ | 4,5 ⁴⁾ | 18 – 40,5 |

¹⁾ Mela 1997 ^{1a)} Vatanen 2008 ²⁾ MTT 2005 ³⁾ Laine 2011 ⁴⁾ Tolvanen & Tahvanainen 1998 ⁵⁾ Laine

Ruokohelven energiapotentiaalin määrittämiseksi on arvioitu ruokohelven sadon energiamäärä (MWh/ha). Jos ruokohelpi tuottaa 7 t/ha kuiva-ainetta (Salo 1997) ja sen lämpö-arvo on 4,5 MWh/ton (Mela 1997, MTT 2005) saadaan peltohehtaarialta 31,5 MWh energiaa. Ruokohelven satomäärät vaihtelevat kuitenkin ja joskus satoa saadaan talteen vain 4 t/ha (Vatanen 2008), jolloin saadaan energiaa ainoastaan 18 MWh/ha. Sadon energiamäärää ei voida tarkasti määrittellä, koska se riippuu maaperäolosuhteista, ruokohelven kosteuspitoisuudesta, lannoituksesta sekä korjuuolosuhteista, myös edeltävän kesän sääolosuhteet vaikuttavat huomattavasti satomäärään. Kuivan kesän jälkeinen sato on pienempi kuin sateisen kesän jälkeinen (Pahkala 2005, 7).

Pohjanmaalla viljeltiin vuonna 2014 ruokohelpeä yhteensä 84 hehtaarilla. Jos kesantoja hyödynnettäisiin nykyisen ruokohelven viljelyalan lisäksi ruokohelven viljelyyn polttoa varten, ja satomäärä olisi 7 tonnia hehtaarilta, saataisiin 62 – 109 GWh energiaa ruokohelven poltosta vuodessa. Kesantoja on Pohjanmaalla eniten Mustasaarella, Närpiössä ja Laihiolla. Mikäli oletetaan, että ruokohelpeä viljeltäisiin kesantojen lisäksi myös pelloilla, jotka viime vuosina ovat olleet poissa elintarviketuotannosta, kuten luonnonhoitopellot ja viherlannoitusnurmet, saataisiin vuosittain 215 – 374 GWh energiaa. Tällainen oletus on tehty Kanta- ja Päijät-Hämeen metsä- ja peltoenergiaselvityksessä (Laine 2010).

Ruokohelpeä soveltuu myös biokaasun tuotantoon. Biokaasulaitosvalmistaja Metener Oy:n tekemässä ruokohelven biokaasutuskokeessa käytettiin Keski-Suomessa viljeltyä ruokohelpeä. Yhdeltä peltohehtaarilta saatiin 15,4 MWh energiaa sadon ollessa 4,5 tonnia kuiva-ainesta hehtaarilta. Ruokohelven energiantuotto oli kuitenkin huonompaa kuin muilla nurmikasveilla johtuen sen huonommasta sulavuudesta (Luostarinen, 2009). Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintalan mukaan ruokohelven metaanintuottopotentiaali on 330 – 420 m³CH₄ / tonni kuiva-ainetta. Näin ollen peltohehtaarilta saataisiin 14,9 - 18,9 MWh energiaa tuottamalla biokaasua ruokohelvellä satomäärän ollessa 4,5 tonnia/hehtaari. Tämä tulos on yhteensopiva Metener Oy:n tekemän biokaasutuskokeen kanssa, jossa ruokohelpehehtaarilla saatiin tuotettua 15,4 MWh energiaa.

Näiden tuloksien perusteella ruokohelven poltosta saadaan jopa 40 – 53 % enemmän energiaa kuin biokaasuntuotannosta, ja ruokohelven poltto olisi energiantuotannon kannalta kannattavampaa kuin biokaasuntuotanto. On kuitenkin otettava huomioon ruokohelven huonot poltto-ominaisuudet minkä takia Pohjanmaalla ei ole Alholmens Kraftia lukuun ottamatta muita voimalaitoksia jotka tällä hetkellä hyödyntävät ruokohelpeä energiantuotannossa. Lisäksi ruokohelven kevätkorjuuseen liittyy suurten korjuutappioiden riski, nämä korjuutappiot eivät ole yhtä suuria kesäkorjuussa. Biokaasuntuotanto on tehokkainta kun käytetään useaa eri syötettä, jolloin saadaan tuotanto tasapainoon

kaikkien tarvittavien ravinteiden suhteen, näin ollen ruokohelpi sopisi hyvin syötteenä esimerkiksi lannan ohella vaikkapa maatalan biokaasulaitoksessa.

Olkisatoa saadaan noin 2 tonnia peltohehtaarilta, ja kuiva-aineen energiasisältö on noin 4,5 MWh/tonni. Näin ollen yhdeltä hehtaarilta saadaan 9 MWh energiaa. (Laine 2011, 77.) Pohjanmaalla käytetään yhteensä 87 804 hehtaaria peltoalaa viljojen viljelyyn, jos olki otettaisiin tältä viljelyalalta talteen energiantuotantoa varten, saataisiin oljen poltosta vuosittain 790 GWh energiaa. Parhaiten energiakäyttöön soveltuu vehnän olki (Laine 2010, 77). Olkipotentiaali on suurin Närpiössä, Mustasaarella ja Vöyrissä, näissä kunnissa viljellään 40 % koko Pohjanmaan viljasta.

Vaikka tässä työssä selvitetään bioenergian teoreettista potentiaalia, on mainittava että ainoastaan murto-osa olkipotentiaalista on teknisesti käytettävissä energiantuotantoon. Esimerkiksi Haapavesi – Siikalatva seutukunnan peltoenergia-potentiaaliselvityksen mukaan seutukunnan alueella olisi mahdollista kerätä 40 % olkisadosta energiakäyttöön josta kuitenkin vain noin 10 % olisi teknisesti korjattavissa johtuen keruu-, kuljetus-, murskaus- ja varastointiongelmista (Kokkonen, Viitala ym. 2011, 8). Huomioiden näitä seikkoja Pohjanmaan olkipotentiaali olisi 31,6 GWh.

Teoreettisesti olki muodostaa erittäin suuren energiapotentiaalin, mutta ottaen huomioon sen korjuuseen, varastointiin ja jalostukseen liittyvät tekniset rajoitteet sen energiapotentiaali on huomattavasti pienempi.

Olkea voidaan myös käyttää biokaasun tuotantoon, mutta esimerkiksi Motivan Biokaasun tuotanto maatilalla – esitteen mukaan olki, kuten puu, soveltuu huonosti biokaasun tuotantoon sen korkeasta kuitu- ja ligniinimäärästä (Motiva 2013).

Metsäenergian muodostama energiapotentiaalin arviointi perustuu Luonnonvarakeskuksen MetInfo-palvelun tulospalvelun (TuPa hakupalvelu 2015) tilastoihin alueellisista hakkuu-mahdollisuuksista. Tilastot hakkuu-mahdollisuuksista on otettu esiin MELA- suunnitteluohjelmistolla, joka on Suomen oloihin kehitetty metsätalouden analyysi- ja suunnitteluohjelmisto. Ohjelmistolla voidaan tuottaa alueellisia ja valtakunnallisia metsien lähivuosikymmenien kehitysvaihtoehtoja. Hakupalvelua käytetään esimerkiksi puunhankinnan suunnittelutehtävissä. Hakkuumahdollisuudet perustuvat vuosien 2009 – 2013 aikana tehtyyn valtakunnalliseen metsien inventointiin. Energiapotentiaalin arvioinnissa on käytetty tilastotietoa suurimmasta kestävästä aines- ja energiapuun hakkuukertymästä ja energiapuukertymän kokonaistilavuudesta Rannikon metsäkeskuksen alueella. Tilastotiedot kuvaavat potentiaalia vuosina 2011 – 2020. Rannikon metsäkeskuksen energiapuukertymän vuosittainen kokonaistilavuus on 625 000 m³, joka vastaa 1250 GWh. Energiapuupotentiaali koostuu rangasta, hakkuu-tähteestä ja rangasta. Laihia ja Isokyrö kuuluvat Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen toiminta-alueeseen, ja näiden kuntien energiapuupotentiaalit on saatu Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen (Laurila, Tasanen & Lauhanen 2010) laatimasta kunnittaisesta teknistaloudellisesta metsäenergiapotentiaali-selvityksestä, edellä mainittujen kuntien yhteenlaskettu teknistaloudellinen energiapuupotentiaali on 95 GWh.

Energiapajun energiapotentiaalin määrittely Pohjanmaalla on haastavaa, koska pajun viljelyyn soveltuvien peltoalojen laajuuden määrittäminen on lähes mahdotonta. Pajun viljely kesannoilla, tai muulla maatalousmaalla ei ole mahdollista. Näin ollen on lähes mahdotonta arvioida pajun energiapotentiaalia, koska viljelyalaa ei voi määrittellä. Tämän takia paju on sivutettu kokonais-bioenergiapotentiaalista, eikä sen kokonaisenergiapotentiaalia ole arvioitu.

Yhdyskuntajätteen polton muodostama energiapotentiaalin arviointi perustuu Westenergyn jätteenpolttolaitoksen energiantuotantoon vuonna 2013, jolloin laitoksen tuotantokapasiteettia hyödynnettiin kokonaan (Skrifvars K., haastattelu). Pohjanmaalla ei tällä hetkellä ole tarpeeksi polttoainetta toiselle jätteenpolttolaitokselle.

Pohjanmaan biokaasupotentiaalista on tehty kattava tutkimus yhteistyössä pohjoisen Ruotsin läänien kanssa (Västerbotten ja Västernorrland). Biogas Botnia- hanke toteutettiin maiden välisenä yhteistyönä. Hankkeen tavoitteena oli parantaa maiden välistä yhteistyötä sekä selvittää biokaasuraaka-aineiden määrä ja biokaasupotentiaali maakunnissa. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään Pohjanmaan kokonaisbioenergiapotentiaalin määrittelyyn.

Biogas Botnia hankkeen mukaan Pohjanmaalla olisi vapaata peltoalaa 27 000 hehtaaria, josta oletetaan että 20 %, eli 5400 hehtaaria olisi mahdollista hyödyntää energiakasvien viljelyyn biokaasutuotantoa varten. Näin ollen biokaasupotentiaali ei ole suoraan yhteenlaskettavissa peltobiomassapotentiaalin kanssa, koska laskuissa on käytetty päällekkäisiä viljelyaloja.

Biogas Botnia -hankkeessa biokaasupotentiaali on arvioitu kunnittain, ja siihen on sisälletty seuraavat raaka-aineet:

- lanta (hevokset, sikalat, lampaat ja kanalat sekä turkistarhat)
- viljelyn sivutuotteet (peruna joka ei kelpaa elintarvikkeeksi sekä naatit, olkea ei ole sisälletty biokaasupotentiaaliin)
- biojäte, (yhteensä 90 kg/henkilö, 70 % jätteestä hyödynnetään)
- jätevesipuhdistamot (oletetaan että 80 % jätevedestä hyödynnetään)
- elintarvike- ja muu teollisuus (teurastamot, kalastus, kasvihuoneet ja paperiteollisuus)
- Energiakasvit (ruokohelpi)

Pohjanmaalla on selvityksen mukaan runsaasti hyödyntämätöntä biokaasupotentiaalia. Erityisesti lanta muodostaa suuren biokaasupotentiaalin. Kruunupyssä, Pedersöressä ja Uudessakaarlepyyssä on erityisesti paljon kotieläimiä ja turkistarhoja, ja näin ollen lannan biokaasupotentiaali on näissä kunnissa suuri, se muodostaa 56 % koko Pohjanmaan potentiaalista.

Viljelystä syntyy sivutuotteita eniten Kristiinankaupungissa, missä viljellään 25 % Suomen perunoista, siellä sivutuotteet muodostavat vuosittain noin 17 GWh biokaasupotentiaalin. Yhteensä 43 % Suomen vihanneksista viljeltiin kasvi-

huoneissa Pohjanmaalla, viljelystä syntyy vuosittain arviolta 6600 tonnia jätettä. Energiakasvien biokaasupotentiaalin määrittelyssä on arvioitu ruokohelven biokaasupotentiaalia, olkea ei ole sisälletty. Selvityksessä ei ole myöskään huomioitu mahdollisuutta hyödyntää nurmia biokaasuntuotannossa. Esimerkiksi viherlannoitusnurmien, monimuotoisuuspeltojen, luonnonhoitopeltonurmien, suojavyöhykkeiden ja monivuotisten ympäristönurmien satoa saa korjata ja hyödyntää taloudellisesti. Näiden peltojen sato soveltuisi biokaasuntuotannossa rinnakkaisyytteeksi esimerkiksi lannan kanssa, ja todellisuudessa biokaasupotentiaali voisi olla vieläkin suurempi.

Biojätteestä ja jätevesipuhdistamoista muodostuva biokaasupotentiaali on suoraan verrattavissa asukasluukuun. Vuosittain biojätettä syntyy keskimäärin 90 kg per henkilö, mikä Pohjanmaalla vastaa 13 GWh biokaasua vuosittain, arviossa on huomioitu, että noin 70 % biojätteestä on mahdollista kerätä, lajitteluvirheiden ja omien kotikompostien takia. Jätevesipuhdistamoista tuleva biokaasupotentiaali on 14 GWh vuosittain, potentiaali on keskittynyt asutuskeskuksiin.

Teollisuuden biokaasupotentiaaliin sisällytetään teurastamot, kalastus, kasvihuoneet sekä paperiteollisuuden. Pohjanmaalla on kaksi teurastamoita joiden jätteet soveltuvat hyvin biokaasun tuotantoon, ne sijaitsevat Maalahdessa ja Pietarsaaressa. Kalastuksesta syntyy myös merkittävä määrä sivutuotteita jotka soveltuvat biokaasun tuotantoon. Pohjanmaalla syntyy jopa 7254 tonnia sivutuotteita kalastuksesta kuten kalariitettä ja ”roskakalaa” vuosittain. Kalastuksen sivutuotteita voidaan myös hyödyntää muuhun bioenergian tuotantoon, kuten biodieselin tuotantoon. Biokaasun tuotantoon eläinperäisistä sivutuotteista tarvitaan lupa elintarviketurvallisuusvirastolta (Skog 2011, 36, 56.)

Paperitehtaiden jäteliemiä olisi myös mahdollista hyödyntää biokaasuntuotantoon. Tämä vaatii kuitenkin suuria investointeja. Biokaasuntuotantoon soveltuu erityisesti bioliete joka on tehtaan jätevesien puhdistusprosessissa syntyvä sivutuote. Kuituliete on toinen sivutuote joka syntyy tehtaan vesien puhdistusprosessista. Sen biokaasuntuotantopotentiaali ei ole yhtä hyvä kuin biolietteen, koska se sisältää runsaasti kuitua joka on hitaasti hajoavaa. Biogas

Botnia- selvityksen mukaan Pietarsaassa sijaitsevan UPM Kymmenen paperitehtaalla olisi mahdollista tuottaa jäteliemistä 80 GWh biokaasua vuosittain.

Taulukko 6. Pohjanmaan biokaasupotentiaali Biogas Botnia- selvityksen mukaan.

| | Lanta | Viljelyn sivutuotteet | Jätevesipuhdistamot ja biojäte | Teollisuus (Paperi- ja muu teollisuus) | Energiakasvit (ruokohelpi) | Yhteensä |
|----------------------------------|-------|-----------------------|--------------------------------|--|----------------------------|----------|
| Biokaasupotentiaali (GWh) | 262 | 25 | 27 | 123 | 89 | 525 |

5.4 Pohjanmaan bioenergiapotentiaali

Peltobiomassat ja energiapuu muodostavat suurimmat energiapotentiaalit, mutta biokaasuntuotanto on myös merkittävä bioenergianlähde. Energiapuuta hyödynnetään jo laajasti Pohjanmaalla, näin ollen peltobiomassat ja biokaasu muodostavat suurimmat hyödyntämättömät potentiaalit. Rannikon metsäkeskuksen mukaan tavoite on kuitenkin myös lisätä energiapuun käyttöä.

Yhteenlaskettu bioenergiapotentiaali on 2140 – 3050 GWh. Bioenergiapotentiaaliin ei ole sisälletty BiogasBotnia -selvityksen energiakasvien biokaasupotentiaalia, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Bioenergiapotentiaalin suuruus riippuu pääasiassa siitä, miten suuria viljelyaloja päätetään hyödyntää energiakasvien viljelyyn.

Taulukko 7. Yhteenveto Pohjanmaan bioenergiapotentiaalista.

| Bioraaka-aine | Energiapotentiaali (GWh) |
|--|--------------------------|
| Ruokohelpi | 62 - 374 |
| Olki | 32 - 790 |
| Energiapuu (kannot, latvat, oksat ja pienpuu) | 1 345 |
| Biokaasu (vertailukelpoisuuden takia pois luettu energiakasvit, koska päällekkäisyyksiä kesantopeltojen viljelyalalla) | 436 |
| Yhteensä | 1875 – 2785 |

6 BIOENERGIATUOTANNON

KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET POHJANMAALLA

6.1 Pohjanmaalla hyvät edellytykset bioenergiatuotannon kehittämiseksi

Pohjanmaalla on saatavilla runsaasti monipuolisia bioraaka-aineita ja sivutuotteita bioenergian tuotantoon, kuten maatalouden tuottamat sivutuotteet ja primäärienergiälähteet, teollisuuden sivutuotteet sekä metsäenergia. Pohjanmaan vahvuus on monipuolinen bioenergiapotentiali, näin ollen maakunnassa on todennäköisesti parhaat edellytykset Suomessa laajalle bioenergian tuotannolle. Lisäksi Pohjanmaalla on erinomaiset edellytykset bioenergiateknologian kehittämiseksi vahvan energiaosaamisen ansiosta. Neljäsosa Suomen energia-alan työpaikoista sijaitsevat Pohjanmaalla (Vasabladet 2015). Lisäksi Vaasa on uusiutuvien energiaratkaisujen keskus kansallisessa Innovatiiviset kaupungit -ohjelmassa (INKA-ohjelma), jonka tavoitteena on synnyttää uutta osaamista, liiketoimintaa sekä uusia yrityksiä ja työpaikkoja. Ohjelmalla tavoitellaan myös innovatiivisten julkisten hankintojen käyttöä ja viennin kasvattamista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014 c). Pohjanmaalla on näin ollen erittäin hyvät edellytykset olla bioenergiateknologian edelläkävijä ja tehdä bioenergiatuotantotekniikasta merkittävän vientituotteen.

Bioenergiatuotannon kehittämismahdollisuuksia on lukuisia. Tässä luvussa on esitetty esimerkkejä bioenergiatuotannon kehittämismahdollisuuksista joita olisi mahdollista toteuttaa Pohjanmaalla.

6.2 Bioenergiastrategia

EU on laatinut koko unionia kattavan bioenergiatoimintasuunnitelman, Biomass Action Plan KOM 2005:628 (Euroopan yhteisöjen komissio 2005), jossa esitetään keinoja bioenergiatuotannon kehittämiseksi. Bioenergia muodostaa merkittävän osuuden uusiutuvista energialähteistä Pohjanmaalla, mikäli sitä hyödynnetään kokonaisvaltaisesti ja kestävästi. Kestävän bioenergiatuotannon kehittämisen varmistamiseksi olisi perusteltua laatia bioenergiastrategia Pohjanmaan maakunnalle. Bioenergia-strategiassa voisi asettaa maakunnalle selkeät tavoitteet

koskien bioenergian tuotantoa ja lisäksi listata tärkeimmät toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi, näin on tehty muun muassa Ruotsissa Blekingen läänissä vuonna 2012. Bioenergiastrategia olisi myös yhdenmukainen Suomen uusiutuvien energialähteiden käyttötavoitteiden kanssa ja Pohjanmaa edesauttaisi tavoitteiden saavuttamisessa. Bioenergiastrategioita on myös laadittu Suomessa muun muassa Pohjois-Karjalassa vuosille 2006 – 2015 ja Keski-Suomessa vuosille 2010 ja 2025.

6.3 Hajautettu energiantuotanto

Energiantuotantoa on kauan toteutettu perinteisellä keskitetyllä tuotantomallilla, jossa tuotanto tapahtuu suurissa voimalaitoksissa kaukana kuluttajista. Keskitetyllä tuotannolla saavutetaan suuret tuotantomäärät jotka alentavat tuotantokustannuksia. Hajautettu energiantuotantomalli on kehittymässä keskitetyn energiantuotantomallin rinnalle. Hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan tuotantomallia, jossa sähkö- lämpö- tai jäähdytysenergia tuotetaan lähellä loppukulutuspiستettä. Hajautetulle energiantuotannolle on ominaista suhteellisen pienet energiantuotantoyksiköt tai ratkaisut (Pesola, Hoviniemi, Vehviläinen & Vanhanen 2010, 6). Hajautettu energiantuotanto ei kuitenkaan välttämättä tarkoita uusiutuvien energiamuotojen hyödyntämistä. Pohjanmaalla lämmöntuotantoa on toteutettu hajautetusti, maakunnassa toimii yhteensä 45 hakevoimalaitosta.

Bioenergian kehityksen kannalta hajautetun energiantuotannon kehitys on keskeinen tekijä. Bioenergiaa on perusteltua tuottaa hajautetusti, jolloin raaka-aineita ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja, ja tuotantokustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina. Lisäksi hajautetussa energiantuotannossa energiantuotanto voidaan integroida esimerkiksi maatalouteen, tai muuhun teolliseen tuotantoon, jolloin kannattavuutta saadaan nostettua. Maaseudulla hajautettu energiantuotanto tuo uusia työpaikkoja ja uuden elinkeinon ja parantaa näin ollen maaseudun elinvoimaisuutta.

Vahvan keskitetyn tuotannon takia lainsäädäntö ja sähkönjakeluinfrastruktuuri on sopeutettu tähän tuotantomalliin, ja hajautettua energian pientuotantoa ei ole

tuettu samalla tavalla kuin suuremman kokoluokan tuotantoa, minkä takia hajautetun energiantuotannon kehitys on ollut hidasta. Myös lainsäädäntö ja hankalat lupaprosessit hankaloittavat ja hidastavat hajautetun energiantuotannon ja bioenergiatuotannon yleistymistä. Lisäksi hajautetun energiantuotantomallin yleistymisen edellytyksenä on että tehdään muutoksia energianjakeluverkkoon, jotta sähköä ja lämpöä on mahdollista tuottaa lähellä kuluttajaa.

6.3.1 Maatalouden biokaasulaitokset

Biokaasun tuotannolla maataloilla on hajautettua energiantuotantoa. Sillä on sekä ympäristöllisiä että taloudellisia hyötyjä. Maataloilla syntyy viljelyn sivutuotteita ja lantaa jotka soveltuvat erinomaisesti biokaasun tuotantoon. Useat erilaiset syötteet tuottavat enemmän biokaasua kuin esimerkiksi pelkkä lanta, ja ylläpitävät parempaa ravinnetasapainoa bioreaktorissa. Lisäksi maatalakohtaisissa biokaasulaitoksissa voidaan mädättää biohajoavaa yhdyskunta- ja teollisuusjätettä. Mädäte, joka on biokaasutuotannon jäännös, soveltuu hyvin peltojen lannoitteeksi. Mädätteen lannoiteominaisuudet ovat paremmat kuin pelkän lannan, se on kasveille käyttökelpoisempaa ja hajua aiheuttavia yhdisteitä on vähemmän. Biokaasun tuotanto maatalalla mahdollistaa energiaomavaraisuuden sekä sähkön, lämmön että työkoneiden ja ajoneuvojen polttoaineiden suhteen, myös myyntitulot ovat mahdollisia. Biokaasun tuotanto on kannattavinta hajautettuna lähellä raaka-aineiden tuotantoalueita, jotta kuljetuskustannukset pysyisivät alhaisina. Energiantuotanto maaseudulla luo uusia työpaikkoja ja ylläpitää maaseudun elinvoimaa. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 2).

Biokaasun tuotanto on todettu yhdeksi puhtaimmista ja energiatehokkaimmista tavoista tuottaa liikenteen biopolttoainetta (Lehtomäki ym. 2007). Pohjanmaalla sijaitsee jo yksi biokaasutankkausasema maatalousbiokaasulaitoksen yhteydessä, tulevaisuudessa niitä voi olla useampia, erityisesti vilkkaasti liikennöityjen väylien ja kaupunkien läheisyydessä.

Maataloilla olisi myös mahdollista tuottaa biokaasulla yhdistetysti lämpöä ja sähköä. Syöttötariffijärjestelmä ei kuitenkaan tue biokaasun CHP -pientuotantoa. Syöttötariffijärjestelmään liittyminen edellyttää, että biokaasulaitoksen sähkön-

tuotantoteho ylittää 100 kilowatin, ja että laitos ei sisällä käytettyjä osia. Syöttötariffi nostaa tuotetun sähkön myyntihintaa ja parantaa näin ollen sähköntuotannon kannattavuutta. Harva tila kuitenkin pystyy saavuttamaan 100 kW sähkötehon omilla raaka-aineilla, koska CHP- pientuotannossa päästään ainoastaan noin 25 – 30 % sähkön tuotannon hyötysuhteisiin, eivätkä laitokset näin ollen ole oikeutettuja syöttötariffijärjestelmään. Alle 100 kW laitokselle, joka haluaa tuottaa sähköä verkkoon, on käytössä sähkön markkinahinta, mikä tarkoittaa, että tuottaja saa maksun sähköstä mutta menettää siirron ja sähköeron osuuden, eikä sähkön myynti ole kannattavaa (Motiva 2012a).

Maatilojen lantoihin ja viljeltäviin energiakasveihin perustuva biokaasun tuotanto on ajateltu kasvavan Suomessa tulevaisuudessa (Villa & Saukkonen 2010; Latvala ym 2007 mukaan). Lantaan perustuvan biokaasuntuotannon on arvioitu olevan kannattavaa maataloilla, joissa on yli 100 nautaa tai yli 1 000 lihasikaa (Villa & Saukkonen 2010 MMM 2008 mukaan). Pohjanmaan ELY-keskuksen alueella toimi vuonna 2014 yhteensä 22 maatilaa jossa oli 1 000 tai enemmän lihasikaa ja 40 tilaa jossa oli 100 tai enemmän lehmää. Näin ollen näillä 62:lla tilalla olisi arvion mukaan kannattavaa tuottaa biokaasua. Pohjanmaan ELY-keskuksen alueella on lisäksi yhteensä 24 tilaa, joissa on yli 1 000 kanaa (Luke 2014) ja yli 500 turkistarhaa (BiogasBotnia 2013).

6.4 Tanskan hajautetun energiantuotannon kehitys

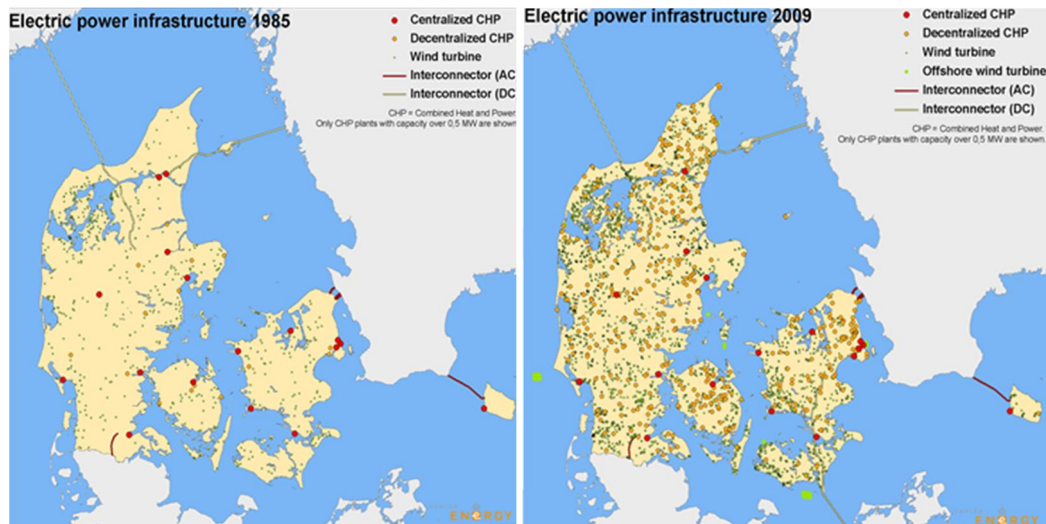
Tanskassa on panostettu energiantuotantoon uusiutuvilla energialähteillä 1970-luvun öljykriisistä lähtien, siihen aikaan Tanska oli täysin riippuvainen öljystä ja hiilestä joka tuotiin ulkomailta. Tänäpä päivänä Tanska on kärkimaita uusiutuvien energialähteiden käytössä, lisäksi Tanskassa on Euroopan maista eniten CHP-tuotantoa (Lorentzen 2005).

Fossiilisista polttoaineista uusiutuviin polttoaineisiin siirtyminen toteutettiin lainsäädännöllä, taloudellisilla tuilla ja verotuksella, joiden seurauksena energiantuotanto fossiilisilla polttoaineilla tuli kalliiksi. Lisäksi panostettiin uusiutuvien energialähteiden, erityisesti biomassojen, kehitykseen ja tutkimukseen. Kaukolämpöverkkoa laajennettiin, lukuisia uusia laitoksia

rakennettiin ja kuluttajia velvoitettiin liittymään verkkoon, lisäksi kiellettiin sähkölämmityksen asentaminen uusiin rakennuksiin, sähkökulutuksen vähentämiseksi. Sähkötarve kasvoi kuitenkin, ja tarvittiin ratkaisu kattamaan lisääntyvää kulutusta. Yksi vaihtoehto oli laajentaa suurien tuotantolaitosten kapasiteettia, mutta sen sijaan päätettiin laajentaa sähkötuotantokapasiteettia perustuen kaukolämpötarpeeseen ja lukuisiin kaukolämpövoimalaitoksiin ympäri Tanskaa (Lorentzen 2005).

Lämpövoimalaitoksien muuttaminen CHP-laitoksiin toteutettiin kolmessa vaiheessa vuosina 1990 – 1998, fossiilisia polttoaineita käyttävät laitokset muunnettiin samanaikaisesti käyttämään maakaasua tai biopolttoaineita. 1990-luvulla uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämisestä, erityisesti hajautetussa energiantuotannossa, tuli keskeinen kehityskohde hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Koska Tanskassa ei ole hyödynnettävissä laajoja metsiä energiantuotantoon, peltobiomassoista ja biokaasusta tuli keskeisimpiä bioenergiälähteitä, tänä päivänä Tanskaan tuodaan myös runsaasti metsäpolttoainetta energiantuotantoon. Biomassat ovat Tanskassa verottomia polttoaineita sekä sähkön- että lämmön tuotannossa (Lorentzen 2005).

Kuvassa 8 On esitetty hajautetun sähkötuotannon kehitys Tanskassa vuosien 1985 ja 2009 välillä. Uusia keskitettyjä CHP-laitoksia ei ole juuri rakennettu, uusia hajautettuja CHP-laitoksia ja tuulivoimalaitoksia on sen sijaan rakennettu runsaasti. Kuvissa on ainoastaan esitetty laitokset, joiden teho on yli 0,5 MW, todellisuudessa laitoksia on vielä enemmän kuin kuvassa on esitetty.



Kuva 8. Vasemman puolinen kuva esittää sähköntuotannon infrastruktuuriin vuonna 1985 ja oikealla oleva kuva tilanteen vuonna 2009. Punaiset pisteet osoittavat keskitettyjä CHP-laitoksia, oranssit osoittaa CHP-tuotantolaitoksia ja vihreät pisteet tuulivoimalaitoksia (Lähde: Mathiesen, V.B. 2015).

Tanskassa tapahtuneen hajautetun energiatuotannon kehitys on mahdollistanut useat poliittiset toimenpiteet ja pitkällä aikataululla tehdyt päätökset sekä halu ratkaista energiantuotantoa ja ympäristön pilaantumiseen liittyviä ongelmia. Tavoite oli päästä eroon tuontipolttoaineen riippuvuudesta ympäristöystävällisellä tavalla, ja siinä onnistuttiin laajalla hajautetulla energiatuotannolla keskitetyn energiantuotannon ohella. Suurissa kaupungeissa, missä energiantarve on suuri, säilytettiin keskitetty tuotanto ja maaseudulla laajennettiin hajautettua energiantuotantoa uusiutuvilla energialähteillä.

Pohjanmaalla on paljon samankaltaisuuksia Tanskan kanssa, kuten samankaltaiset edellytykset bioraaka-aineiden suhteen. Pohjanmaalla on runsaasti maataloutta ja maanviljelyä, lisäksi on käytettävissä suuri metsäenergiapotentiaali. Energiainfrastruktuurissa mailla on myös samankaltaisuuksia, jonkun verran keskitettyä energiantuotantoa ja runsaasti hajautettua lämmöntuotantoa. Pohjanmaalla hajautetun lämmöntuotannon laitokset olisi mahdollista muuttaa CHP-laitoksiin, kuten Tanskassa tehtiin vuosina 1990 – 1998. Tanskan onnistuneesta kehityksestä, koskien hajautettua energiantuotantoa voisi oppia Suomessa ja Pohjanmaalla ja siirtyä kattavaan, ja raaka-aineiden osalta monipuoliseen hajautettuun energiantuotantoon.

6.5 Energiapajun viljely

Energiapajun viljelymahdollisuuksia Pohjanmaalla tulisi tutkia. Se on peltobio-massoista halvin voimalaitoksissa poltettava bioraaka-aine megawattituntia kohti, toiseksi halvin on monivuotinen korsibiomassa, kuten ruokohelpi ja kalleinta ovat yksivuotiset korsibiomassat, kuten hamppu (Rosenqvist 2007, 267). Lisäksi paju ei ole yhtä herkkä säämuutoksille kun ruokohelpi ja olki. Pajuviljelyllä on korkea perustamiskustannus, mutta toisaalta pajuviljelyä ei tarvitse perustaa uudelleen pitkällä aikavälillä, ja on näin ollen pitkällä aikavälillä halvempi kuin yksivuotiset kasvit. Satomäärään ja pajun laatuun vaikuttavat merkittävästi pajun kasvupaikka, lannoite ja lajike (Sihvonen, Leinonen & Villa 2013, 6). Suotuisalla viljelypaikalla pajun vuosittainen sato voi olla jopa 12 – 20 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta, Suomessa 6 – 9 tonnin satomäärät ovat kuitenkin todennäköisempiä. Kuiva-ainetonnin energiasisältö on noin 4,5 MWh (Toivonen & Tahvanainen 1998, 28).

Ruotsissa pajua on viljelty energiantuotantoa varten jo kauan. Viime aikoina Ruotsissa on tutkittu pajun viljelyä jätevesipuhdistamoiden läheisyydessä. Se on osoittautunut erittäin toimivaksi. Tuottaakseen suuren satomäärän paju vaatii lannoitusta ja kasteluvettä, ja jätevesi soveltuu hyvin energiapajun lannoitukseen. Jätevesi sisältää runsaasti typpeä ja fosforia, jotka ovat tärkeitä ravinteita pajulle, ja levittämällä jätevesi pellolle paju toimii jäteveden puhdistajana. Levittämällä sitä pelloille saadaan suuremmat satomäärät ja jätevesipuhdistamon ei tarvitse ostaa kemikaaleja näiden ravinteiden poistamiseen. Jätevesien hyödyntämisellä kasteluvetenä on paljon hyötyjä, sekä viljelijälle että jätevesipuhdistamolle. Pajuviljelijä voi korvata kalliit kaupalliset lannoitteet jätevedellä ja puhdistamon ei tarvitse käyttää yhtä paljon saostuskemikaaleja (Melin, Aronsson & Hasselgren 2004, 4). Pajuhakkeen tuotantokustannukset vähenevät myös lannoituskulujen poistumisesta ja suuremman sadon ansiosta (Nurmi 2014).

Pohjanmaan maaseudulla on useita pienpuhdistamoja, joiden jätevesiä voisi hyödyntää pajuviljelyn kastelemiseen. Lisäksi maakunnassa on useita hake-lämpölaitoksia, missä pajuhaketta olisi mahdollista hyödyntää ja paju korjataan talvisaikaan, jolloin myös lämmöntarve on suurin.

7 POHDINTA

Bioenergia on hiilidioksidineutraali ja uusiutuva energialähde ja on tällä hetkellä yksi merkittävimmistä energialähteistä fossiilisten liikennepolttoaineiden ja energiantuotannossa käytettyjen polttoaineiden korvaamisessa. Hajautettu bioenergian tuotanto parantaa lisäksi energiaomavaraisuutta sekä lisää maaseudun elinvoimaa ja monipuolistaa sen elinkeinoelämää.

Bioenergian tuotanto on tällä hetkellä täysin riippuvainen taloudellisista tuista. Tukipolitiikka on kuitenkin epävakaa. Tukien suuruudet voivat vaihdella vuodesta toiseen, minkä takia ei uskalleta tehdä investointeja bioenergian tuotantoon, vaikka useimmat hankkeet olisivat oikeutettuja investointitukeen. Lisäksi sähkön pientuottajat eivät ole oikeutettu syöttötariffijärjestelmään, mikä hidastaa hajautetun energiantuotannon kehitystä. Kansainvälinen päästökauppa ei myöskään ole toiminut halutulla tavalla johtuen päästöoikeuksien alhaisesta hinnasta. Mikäli päästöoikeuksien hinta olisi tarpeeksi korkea, se parantaisi huomattavasti bioenergian kilpailukykyä. Voidaan todeta että bioenergian tuotannon ja hajautetun energiantuotannon kehittäminen riippuu pitkälti poliittisesta päätöksenteosta.

Lainsäädännön ja tukipolitiikan kautta tulisi parantaa bioenergiatuotannon kannattavuutta pitkällä aikataululla jotta saavutettaisiin Euroopan unionin ja maakunnan sekä Suomen kansalliset energia- ja ilmastotavoitteet. Toisaalta maakohtaiset tukimekanismit ja uusiutuvan energian tavoitteet ovat osoittautuneet ristiriitaisiksi EU:n päästökaupan tavoitteiden kanssa. Maakohtaiset tavoitteet ja tukimekanismit heikentävät EU:n päästökaupan toimivuutta ja syrjäyttävät markkinaehtoisia keinoja sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Kansalliset ohjaukset eivät myöskään kohdistu ympäristön kannalta parhaimpiin teknologioihin (Viljanen & Kyläheiko 2015, 16) eivätkä näin ollen edesauta uuden teknologian kehittämistä. EU:n suunnalta on tullut merkkejä siitä, että suuntana olisi paluu hintaohjausjärjestelmään, missä myös uusiutuvat energiamuodot kilpailisivat hintaohjauksen kautta, hiilidioksidipäästöjen vähentäminen toteutettaisiin pääasiassa päästökaupan avulla.

Tavoitteena on, että tukijärjestelmistä päästäisiin eroon vuoteen 2017 mennessä. Tällaisen muutoksen tavoitteena on, että yrittäjien innovatiivisuus nousisi ja teknologinen kehitys nopeutuisi, koska mitä enemmän yritys vähentää hiilidioksidipäästöjään, sitä enemmän päästöoikeuksia voidaan myydä, mikä parantaa kannattavuutta verrattuna tuottajiin, joiden hiilidioksidipäästöt eivät vähene (Viljanen & Kyläheiko 2015, 16 – 17).

Toinen keskeinen toimenpide energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamisessa on energiatehokkuuden parantaminen. Pienempi energiankulutus vähentää luonnollisesti tuotantotarvetta. Sähkönkulutus on ollut laskussa Pohjanmaalla, ja Suomessa energian kokonaiskulutus on myös ollut laskussa viime vuosien aikana. Energiatehokkuuden tehostaminen on lisäksi yksi EU:n 2020-tavoitteista. Pohjanmaan liiton alueella tavoite on, että energian kokonaiskulutus olisi tasolla 9,2 TWh vuonna 2030 (Pohjanmaan liitto 2014).

Pohjanmaan bioraaka-ainepotentiaali on monipuolinen, minkä takia mikään energialähde ei muodosta ylivoimaisesti suurinta energiapotentiaalia. Eikä näin ollen voida kohdistaa resursseja vain yhden bioraaka-aineen tuotannon kehittämiseen. Suurimman energiapotentiaalin muodostavat kuitenkin peltobiomassat ja energiapuu. Yhdyskuntajätteen poltto ja biokaasu muodostavat myös merkittävät potentiaalit. Varsinkin biokaasun tuotannossa ja peltobiomassojen käytössä on runsaasti hyödyntämätöntä potentiaalia. Mikäli biokaasuajoneuvot yleistyvät myös biokaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi tulee muodostamaan merkittävän elinkeinon. Peltobiomassat muodostavat merkittävän hyödyntämättömän energiapotentiaalin. Syy siihen, miksi peltobiomassojen hyödyntäminen on vähäistä, on pääasiassa niiden polttotekniset ongelmat, eikä erikoiskattiloita korsibiomassojen polttoon tällä hetkellä ole Pohjanmaalla. Ruokohelpeen liittyy polttoteknisten ongelmien lisäksi kevätkorjuun korjuutappioita. Tämän takia olisi perusteltua harkita ruokohelven käyttöä biokaasutuotannon syötteenä, esimerkiksi lannan ohessa. Viljojen olki on halpa polttoaine, koska se on viljelystä syntyvä sivutuote. Kuten ruokohelpi, olki on hankala polttoaine, eikä se sovellu kovin hyvin biokaasun tuotantoon. Paju on näin ollen nykyisiin voimalaitoksiin parhaiten soveltuva biopolttoaine, mutta sen

viljelyyn ja korjuuseen liittyy myös ongelmia. Yhdyskuntajätteen poltto muodostaa suuren energiapotentiaalin Pohjanmaalla. Jätteenpolton energiapotentiaali tulee todennäköisesti pysymään samassa suuruusluokassa, mikäli uutta jätepolttolaitosta ei rakenneta Pohjanmaalle. Uuden voimalaitoksen rakentaminen on kuitenkin epätodennäköistä, koska siihen ei olisi tarpeeksi polttoainetta Pohjanmaalla. Metsäenergiaa hyödynnetään laajalti Pohjanmaalla ja kulutus on suurempi kuin energiapotentiaali johtuen paperiteollisuudesta, merkittävä osa puusta tuodaan kuitenkin maakunnan ulkopuolelta. Tavoitteena on lisätä energiapuun käyttöä maakunnassa kestävästi.

Ensimmäisen sukupolven bioenergiatuotannon kehityksen kannalta on tärkeää että raaka-aineita hyödynnetään kestävästi ja energiatehokkaasti, koska se on rajallinen energialähde pinta-alatarpeen näkökulmasta. Näin ollen tulisi harkita mihin suuntaan kehitystä ohjataan, jotta energiapotentiaalia hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Biopolttoaineiden jalostamisella saadaan tuote jolle on tasainen kysyntä ja jonka kulutus on suuri, mutta toisaalta ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden tuotanto on kallista ja primääriraaka-aineet kilpailevat elintarviketeollisuuden kanssa samoista viljelyaloista. Jalostus ei ole kestävä, mikäli jalostuksessa ei hyödynnetä jätteeksi luokiteltavaa raaka-ainetta (esimerkiksi teurasjätettä, kalan perkuujätettä), tai sivutuotetta jolloin ei aiheudu samanlaista konfliktia elintarviketeollisuuden kanssa. Lisäksi raaka-aine on halpaa. Sivutuotteita voidaan myös hyödyntää biokaasun tuotantoon.

Tällä hetkellä biodiesel, bioetanol ja liikennebiokaasu muodostavat parhaat vaihtoehdot fossiilisten liikenne-polttoaineiden korvaamiseen uusiutuvilla polttoaineilla. Lämmöntuotannolla, tai CHP-tuotannolla pystytään hyödyntämään polttoaineen energiasisältöä parhaiten. Bioenergia muodostaa merkittävän energiapotentiaalin Pohjanmaalla. Yhteensä bioenergiapotentiaali on suuruusluokkaa 2235 – 3145 GWh. Bioenergiapotentiaali ei kuitenkaan kata koko maakunnan energiatarvetta, mutta yhdessä laajan tuulivoimatuotannon kanssa, jonka energiapotentiaali on arvioitu jopa 5 TWh:ksi (Ramboll 2010) olisi mahdollista kattaa jopa 79 – 89 % tavoitetusta energiakulutuksesta vuonna 2030. Tämän lisäksi on käytettävissä muita uusiutuvia energialähteitä, kuten

aurinkovoimaa, vesivoimaa ja geotermistä lämpöä. Suurin osa Pohjanmaan kunnista voisi olla täysin energiaomavaraisia tuottamalla bioenergiaa, lukuun ottamatta suurimmat asutuskeskukset ja teollisuuspainotteiset kunnat (Peura & Hyttinen 2005). Maakunnan tavoite olla energiaomavarainen ja hiilidioksidineutraali vuonna 2040 ei ole saavutettavissa pelkällä paikallisella bioenergian tuotannolla, mutta mikäli kaikkia uusiutuvia energialähteitä hyödynnetään monipuolisesti, tavoite on teoreettisesti saavutettavissa.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Viitattu 15.1.2015.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja

Alholmens Kraft, ympäristöraportti. 2013. Viitattu 27.2.2015.

http://www.alholmenskraft.com/sv/environment/environmental_reports/2013

Biogas Botnia 2013. Råvaruanalys inom projektet Biogas Botnia – biogaspotentialen i Västerbotten, Västernorrland och Österbotten år 2013. Viitattu 7.12.2014.

<http://biofuelregion.se/arkivet/pdfsok/?swp-query=biogaspotential&swp-page=2>

Börjesson, P. 2007. Bioenergisystem – vilka är effektivast? s. 121 -136. Bioenergi – till vad och hur mycket? Formas Fokuserar. Viitattu 16.2.2015.

<http://www.formas.se/Forskning/Formas-Publikationer/Pocketbocker-Formas-fokuserar/Bioenergi---till-vad-och-hur-mycket/>

Dragone, G., Fernandes, B., Vicente A.A., & Teixeira J.A. 2010. Third generation biofuels from microalgae. IBB Institute for biotechnology and Bioengineering.

Viitattu 3.3.2015. Formatex 2010 s. 1355-1366. <http://www.formatex.org-/microbiology2/chapters2.html>

Eliasson, K. 2010. Rörflen som biogasråvara. Viitattu 8.4.2015.

<http://hushallningssallskapet.se/om-oss/hushallningssallskapet-sjuharad/biogas/avslutade-projekt/>

Energiatuki. Työ- ja elinkeinoministeriö 2015. Viitattu 03.02.2015.

<https://www.tem.fi/energia/energiatuki>

Energiavirasto 2015. Kestävyysskriteerit. Viitattu 5.3.2015.

<https://www.energiavirasto.fi/kestavyyskriteerit>

Euroopan yhteisöjen komissio 2005. Biomassaa koskeva

toimintasuunnitelma. Viitattu 27.3.2015. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0628>

Helsingin Sanomat 2015. Nettiartikkeli. Viitattu 3.3.2015. Kansainvälinen selvitys: Suomi on uusiutuvan energian surkimusvaltio.

<http://www.hs.fi/talous/a1425291484654>

Hurskainen, M., Kärki, J. Korpijärvi, K., Leinonen, A. & Impola, R. 2013. Pajun käyttö polttoaineena kerrosleijukattiloissa (VTT). Viitattu 4.2.2015.

<http://www.forestenergy2020.org/fi/tulokset/julkaisut/>

Huttunen, M.J & Kuittinen, V. 2014. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17.

Joensuu. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta.

Sarjajulkaisu. Viitattu 6.4.2015. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1567-2/

Hyttinen, T. 2005. Valoa Pimeässä Kohti energiaomavaraisuutta maaseudulla. Vaasan Yliopisto, Levón-instituutti. Julkaisu no. 116. Viitattu 3.4.2015. <http://www.uva.fi/fi/research/publications/orders/database/?sarja=11&sivu=3>

K. Stenvall. 2015. Sähköpostitiedostelu. Toimitusjohtaja Jepuan Biokaasu Oy. E-mail. kurt.stenvall@jeppokraft.fi. 9.3.2015.

Kaukolämpötilasto 2013. Energiateollisuus ry. 2014. Viitattu 7.3.2015. <http://energia.fi/julkaisut/kaukolampotilasto-2013>

Karjalainen, T. 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus – laitteet ja niiden käyttöönotto.

Kokkonieniemi, H., Viitala, E. & Tölli, L. 2011. Peltoenergiapotentiaaliselvitys Haapavesi – Siikalatva seutukunnan alueella Katse tulevaisuuteen hankkeelle. Pro Agria Oulu.

Kinnunen, M. 2011. Bioenergian potentiaalitarkastelu Pirkanmaan alueelta – energiaomavaraisuuden jäljillä. Pro Gradu –tutkielma Jyväskylän yliopisto. Viitattu 7.2.2015. <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/26675>

Kiviranta, T & Siitonen, V. 2005. Bioetanolin tuotanto. Kemiantelekniiikan osasto, Teknillisen kemian laboratorio.

Kurki, P., Mutanen, A. & Anttila, P. 2012. Energiapuumarkkinat – käytännön kokemukset ja tilastointimahdollisuudet. ISBN 978-951-40-23583 (PDF). Viitattu 12.1.2015. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp228.htm>

L 30.12.2010/1396 Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. Viitattu 03.02.2015.

L 27.12.2012/21063. Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista. Viitattu 03.02.2015.

L 8.4.2011/311. Päästökauppalaki. Viitattu 03.02.2015.

L 7.6.2013/393. Laki biopolttoaineista ja biopolttonesteistä. Viitattu 10.03.2015.

L 13.4.2007/446. Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä. Viitattu 10.03.2015

L 30.12.1996/1260. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta. Viitattu 12.3.2015.

L 29.12.1994/1472. Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta. Viitattu 12.3.2015.

- Laine, A. 2011. Peltoenergian tuotanto- ja käyttöpotentiaali Kanta- ja Päijät-Hämeen alueella. Metsä- ja peltoenergiaselvitys 2011, 70-82. Koisti, O.P., Rantala, J. & Laine, A. Päijät-Häme. Multiprint Oy. Viitattu 14.3.2015. <http://www.metsakeskus.fi/julkaisu/hameen-metsa-ja-peltoenergiaselvitys>
- Laitinen, J. & Tikkanen, H. & Aittola, J.P. Uusiutuvat energiavarat ja niiden sijoittuminen Pohjanmaalla (Ramboll Finland oy). 2010. Viitattu 15.12.2014. <http://www.obotnia.fi/aluesuunnittelu/maakuntakaavoitus/vaihekaava-2/>
- Laurila, J., Tasanen, T & Lauhanen, R. 2010. Metsäenergiapotentiaali ja energiapuun korjuun resurssitarpeet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Tutkimusartikkeli. Metsätieteen aikakauskirja 355-365. 2010. Viitattu 19.2.2015. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff104355.pdf>
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Viitattu 28.1.2015. <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/13152>
- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Viitattu 24.2.2015. <http://www.biokaasufoorumi.fi/>
- Luke 2014. Kotieläinten ja maatalojen lukumäärät karjakoonaan keväällä 2014. Viitattu 22.3.2015. http://www.maataloustilastot.fi/kotiel%C3%A4inten-lukum%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t-kev%C3%A4%C3%A4ll%C3%A4-2014_fi
- Luke 2015. Käytössä oleva maatalousmaa kunnittain vuonna 2014. Viitattu 26.3.2015. http://www.maataloustilastot.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2014_fi
- Luostarinen, J. 2009. Ruokohelven biokaasutuskokeet loppuraportti 4.11.2009. Metner Oy, ympäristö- ja energiateknologiaa, ruokohelven biokaasutuskokeet. Viitattu 8.3.2015. http://www.oulunkaari.com/sivu/fi/elinkeinot/hankkeet/selvitykset_ ja_raportit57/
- Melin, G., Aronsson, P. & Hasselgren, K. 2004. Salix i kretsloppet, hållbar användning och behandling av avloppsvatten och slam i Salixodling. Viitattu 4.4.2015. <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/407.pdf>
- Motiva. 2012. Opas sähkön pientuottajalle 04/2012. Viitattu 7.3.2015. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto
- Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla – esite. Viitattu 21.1.2015. http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/biokaasun_tuotanto_maatilalla.1027.shtml

- Motiva 2014 a. Liikenteen biopolttoaineet. Viitattu 17.3.2015.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/liikenteen_biopolttoaineet
- Motiva. 2014 b. Soodakattila. Viitattu 2.4.2015.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_tuotantotekniikka/polttotekniikka_nestemaisille_polttoaineille/soodakattila
- MTT. 2005. Pahkala, K. & Iso-lahti, M & Partala, A. & Suokannas, A. & Kirkkari, A.M. & Peltonen, M. & Sahramaa, M. & Lindh, T. & Paappanen, T. & Kallio, E. & Flyktman, M. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten 2. korjattu painos 2005. Viitattu 3.2.2015. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met1b.pdf>
- Nigam, P.S. & Singh, A. 2010. Production of liquid biofuels from renewable resources. Viitattu 26.3.2015. <http://helhaphl2010-02.wikispaces.com/file/detail/Production+of+liquid+biofuels+from+renewable+resources.pdf>
- Nikolaisen, L. 2012. IEA Bioenergy task 40 Country report 2011 for Denmark. Viitattu 5.4.2015. <http://www.bioenergytrade.org/publications.html>
- Nurmi, A. 2014. Energiapajun viljely ja käyttö vesien puhdistuksessa – teknistä-loudeellinen tarkastelu. Pro Gradu –tutkielma. Viitattu 18.3.2015.
<https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/44188>
- Paappanen, T. & Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., Lötjönen, T., Kirkkari, A-M. & Rinne, S. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Viitattu 7.1.2015.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>
- Pahkala, K. 2005. Koetoiminta ja käytäntö. Ruokohelven satoon voidaan vaikuttaa, 7-8. Viitattu 26.3.2015. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/460332>
- Peura, P. & Hyttinen, T. 2011. The potential and economics of bioenergy in Finland. Vaasa Energy Institute, Lévon Institute, University of Vaasa.
- Pesola, A., Hoviniemi, H., Vehviläinen, I. & Vanhanen, J. 2010. Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla loppuraportti 12/2010. Viitattu 5.3.2015.
http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/selvitys_hajautetusta_ja_paikallisesta_energiantuotannosta_erilaisilla_asuinalueilla.1027.shtml
- Pesola, A., Vanhanen, J., Hagström, M., Karttunen, V., Larvus, L., Hakala, L., & Vehviläinen, I. 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi loppuraportti. Viitattu 21.2.2015.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto
- Pohjanmaan liitto. 2014. Pohjanmaan maakuntakaava, vaihe 2: Uusiutuvat energiamuodot ja niiden sijoittuminen Pohjanmaalla (tuulivoimakaava). Selostus,

- maakuntavaltuuston hyväksymä 12.5.2014. Viitattu 1.3.2015.
<http://www.obotnia.fi/aluesuunnittelu/maakuntakaavoitus/vaihekaava-2/>
- Päästökauppa. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 03.02.2015.
<https://www.tem.fi/energia/paastokauppa>
- Rannikon metsäkeskus, tiedostelu. P. Majabacka. 16.4.2015.
- Rosenqvist, H. 2007. Energigrödor på åkermark – vem vill odla dem? Viitattu 4.2.2015. <http://www.formas.se/Forskning/Formas-Publikationer/Pocketbocker-Formas-fokuserar/Bioenergi---till-vad-och-hur-mycket/>
- Salo, R. 1997. Ruokohelpiseminaari, biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoikka sekä käyttö energian tuotantoon. Mela, T. Peltobiomassaa energian raaka-aineeksi. s. 7 – 9. Viitattu 9.2.2015. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/439140>
- Satosalmi, J-M. 2014. Lämmöntuotanto älykkäässä energiaverkossa. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 3.4.2015.
<https://www.doria.fi/search?query=1%C3%A4mm%C3%B6ntuotanto+%C3%A4lykk%C3%A4%C3%A4ss%C3%A4+energiaverkossa&submit=Hae>
- Selander, A., Sjölin, M & Wik-Portin, K. 2011. Kustens skogsprogram 2012 – 2015. Viitattu 9.2.2015.
<http://www.metsakeskus.fi/julkaisu/metsaohjelmat-2012-2015>
- Skog, S. 2011. Projektet Fiskrens och bifångster. Opinnäytetyö. Viitattu 15.3.2015.<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201102172443>
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013. Energian hankinta ja kulutus. ISSN1799-795. Tilastokeskus. Viitattu: 1.3.2015.
http://www.stat.fi/til/ehk/2013/ehk_2013_2014-12-10_tie_001_fi.html
- Sihvonen, J. Leinonen, A. & Villa, A. 2013. Pajun korjuu, varastointi ja toimitus laitokselle – Tehtäväraportti. Viitattu 3.4.2015.
<http://www.forestenergy2020.org/fi/tulokset/julkaisut/>
- Skrifvars. K. Tuotantopäällikkö Westenergy Oy Ab. Haastattelu. 30.07.2014.
- Thermopolis Oy. 2010. Tiedote. Viljakasvit ja olki Etelä- Pohjanmaan Energiatoimisto – energiaosaaja lähelläsi. Viitattu 12.3.2015.
<http://thermopolis.thermopolis.fi/default.aspx?pageid=98>
- Tike, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 2014. Viljelykasvien sato vuonna 2013. Viitattu 21.4.2015. http://www.maataloustilastot.fi/sato-ja-viljasadon-laatu-2013_fi
- Tilastokeskus 2015. Pohjanmaan väestön ennakkotiedot Tammikuussa 2015. Viitattu 12.3.2015.<http://www.pohjanmaalukuina.fi/uutiset/vaeston-ennakkotiedot-paivitetty-tammikuu-2015>

Tilastokeskus 2015 a. Energian- ja sähkön kokonaiskulutus Suomessa 1990 – 2014. Viitattu 17.3.2015. http://193.166.171.75/database/statfin/ene/ehk/ehk_fi.asp

Toivonen R.M. & Tahvanainen L.J. 1998. Profitability of willow cultivation for energy production in Finland. University of Helsinki, Department of Forest Economics. Elsevier Science Ltd. s. 27-37.

Trafi. 2015. Ajoneuvotilastot. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot 31.12.2007-2014. Viitattu 22.3.2015.
http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi__Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/?rxid=c17425d6-5592-4c98-9e79-2baaa64134a1

Tuomisto, H. 2005. Biokaasun ja peltoenergian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset.

TuPa hakupalvelu 2015. Laskelma: Suurin kestävä aines- ja energiapuun hakkuukertymä. Viitattu 16.4.2015. <http://mela2.metla.fi/mela/tupa/index.php>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2009. Energian kysyntä vuoteen 2030 Arvioita sähkön ja energian kulutuksesta. Viitattu 19.4.2015.
https://www.tem.fi/energia/energia-alan_selvityksia_ja_raportteja/energian_kysynta_vuoteen_2030

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. Viitattu 23.1.2015. https://www.tem.fi/energia/energia-_ja_ilmastostrategiat/vuoden_2013_strategia

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014 a. Vapaavuori, J. Härmälä, E. Turunen, M. Rinne, S. & Kinnunen, M. Parlamentaarinen energia- ja ilmastokomitea 2014. Energia- ja ilmastotiekartta 2050 Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. Päivänä lokakuuta 2014. Viitattu 16.1.2015.
https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/energia-_ja_ilmastotiekartta_2050

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014 b. Syöttötariffi. Viitattu 5.4.2015.
https://www.tem.fi/energia/uusiutuvat_energiالاhteet/uusiutuvan_energian_syotto_tariffi

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014 c. Innovatiiviset kaupungit - ohjelma. Viitattu 30.3.2015. <http://www.tem.fi/inka>

Työ – ja elinkeinoministeriö. 2015. Energiatuki. Viitattu 4.4.2015.
<https://www.tem.fi/energia/energiatuki>

UPM biopolttoaineet. 2015. UPM Kymmenen kotisivut, tietoa Lappeenrannan biojalostamosta. Viitattu 7.4.2015.
<http://www.upm.com/FI/MEDIA/Pressikansiot/Liiketoiminta/Biopolttoaineet/Pages/default.aspx>

Vasabladet. Artikkel. Fördel för fossil energi. 2.4.2015. s. 4.

Vatanen, R. 2008. Onko ruokohelven tuotantosopimusten tekemisen aika. Vapo, Farmit.net 1/2008. s 50-51.

Vaskiluodon voima Oy. 2013. Kivihiilestä biopolttoaineisiin. Viitattu 16.2.2015.
http://issuu.com/codeddesign/docs/vaskiluodon_voima_2013

Vihma, A., Aro-Heinilä, E., & Sinkkonen M 2006. Rypsibiodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus. ISSN 1458-5103. Viitattu 14.3.2015.
<http://www.mtt.fi/pdf/mtts/115.pdf>

Viljanen, S. & Kyläheiko, K. 2015. Tukimekanismeja ja tavoitekonflikteja Euroopan nykyisillä sähkömarkkinoilla. Uusiutuva energiapolitiikka. Lappenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 15.4.2015.
<http://www.sitra.fi/julkaisu/2015/tukimekanismeja-ja-tavoitekonflikteja-euroopan-nykyisilla-sahkomarkkinoilla>

Villa, A. & Leinonen, A. Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö. Viitattu 16.2.2015. <http://www.forestenergy2020.org/openfile/184>

Villa, A., Saukkonen, P. 2010. Bioenergia 2020 – Arvioita kasvusta, työllisyydestä ja osaamisesta. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 19.3.2015.
https://www.tem.fi/files/25900/TEM_6_2010.pdf

Virtanen, Y., Usva, K., Silvenius, F., Sinikko, T., Nurmi, P., Kauppinen, T. & Nousiainen, J. Peltoenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset. 2009. Viitattu 24.2.2015. MTT. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/442433>

Vuosikertomus. 2013. Stormossen. Viitattu 17.2.2015.
http://www.stormossen.fi/Asiakaslehti_ja_vuosikertomus

Ympäristöministeriö 2014. Luonnos hallituksen esitykseksi ilmastolaista. Viitattu 20.1.2015. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastolakiehdotuksesta_pyydetaan_lausun\(28255\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastolakiehdotuksesta_pyydetaan_lausun(28255))

Wasberg & Pekkola. 2012. Österbottens energistrategi. Viitattu 2.4.2015.
<http://www.obotnia.fi/regionutveckling/programarbete/energistrategi/>