

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

BIOENERGIAINVESTOINNIT 2030

Työn tarkastaja: Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Lappeenrannassa 8.4.2019

Kaarle Juho Ilmari Kohonen

Opiskelijanumero: 0452279

TIIVISTELMÄ

Kaarle Juho Ilmari Kohonen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Esa Vakkilainen, Kari Luostarinen

Kandidaatintyö 2019

29 sivua, 16 kuvaa

Hakusanat: kandidaatintyö, bioenergia, bioenergiainvestoinnit, 2030

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan Suomessa toteutuvia bioenergiainvestointeja vuoteen 2030 mennessä yleisellä tasolla. Työn tavoitteena on selvittää poliittisen päätöksenteon taustavaikutusta toteutuviin investointeihin sekä ennustaa mitä investoinnit tulevat olemaan ja mihin ne kohdistuvat. Työssä on hyödynnetty ajankohtaisia tilastotietoja sekä verkkolähteitä ja niiden pohjalta tehty omia päätelmiä ja ennusteita toteutuvista bioenergiainvestoinneista.

Hallituksen energia- ja ilmastostrategiassa on linjattu tulevaisuuden tavoitteita Euroopan Unionin ilmastopoliittisten päätösten pohjalta. Bioenergia on keskeisessä roolissa näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Suomen tärkein luonnonvara on runsas metsäpinta-ala, josta saatavilla puupolttoaineilla tullaan korvaamaan fossiilisia polttoaineita, erityisesti kivihiihtä, energiantuotannossa.

Puupolttoaineet ovat merkittävin yksittäinen energianlähde ja niiden käytön lisäämiseen tullaan investoimaan lähitulevaisuudessa. Metsäteollisuuden kehitys sekä päästökauppa ja poliittiset päätökset tulevat ohjaamaan puuperäisen energian lisäämistä.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
1 Johdanto	4
2 Bioenergia suomessa ja euroopassa	5
2.1 Yleistä bioenergiasta	5
2.2 Bioenergia Euroopassa	5
2.3 Bioenergia Suomessa	6
3 Bioenergia kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa	9
3.1 Euroopan Unionin energia- ja ilmastotavoitteet.....	9
3.2 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia.....	9
3.2.1 Metsäpohjaiset polttoaineet, turve ja kivihiihi	10
3.2.2 Liikenteen biopolttoaineet.....	11
3.2.3 Bioenergian tuet	11
4 Bioenergiainvestoinnit suomessa 2030	13
4.1 Metsähakkeen kilpailukyky.....	13
4.1.1 Energiantuotannon biopolttoaineiden hintakehitys.....	13
4.1.2 Päästöoikeuksien hintakehityksen vaikutuksia	15
4.1.3 Metsähakkeen tavoitteen toteutuminen.....	16
4.2 Suomen puupellettikäyttö.....	17
4.3 Uudet biovoimalaitokset.....	19
4.4 Uudet sellutehtaat	20
4.5 Bio-CCS teknologia	21
5 Bioenergian tulevaisuudennäkymiä	23
5.1 Globaali kehitys IPCC:n 1.5°C-raportissa.....	23
5.2 Kotimainen kehitys vuoteen 2030	23
5.3 Kotimaisia haasteita	27
6 Yhteenveto	29
Lähdeluettelo	30

1 JOHDANTO

Ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu sekä fossiilisten polttoainevarojen ehtyminen ovat ajankohtaisia ongelmia politiikan, teollisuuden, talouden, energiantuotannon sekä ympäristönsuojelun aloilla. Näihin ongelmiin pyritään vastaamaan panostamalla uusiutuvaan energiaan ja kestäväan kehitykseen.

Uusiutuvien energianlähteiden osuus energiasektorilla on kasvussa. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, fossiilisten polttoaineiden tuontiriippuvuuden pienentäminen ja energiaomavaraisuuden kasvattaminen ovat keskeisessä asemassa energiapoliittisessa päätöksenteossa sekä energia-alan investoinneissa. Sitoutuminen maidenvälisiin ilmastotavoitteisiin luo muutoksia valtioiden energiasektoreihin ja synnyttää investointeja uusiutuvaan energiaan.

Bioenergia on Euroopan sekä Suomen merkittävin uusiutuvan energian lähde ja sen merkitys tulevaisuudessa kasvaa entisestään. Bioenergian käyttöön investoiminen on yksi keskeisimmistä keinoista energiantuotannon muuttamisessa hiilineutraalimmaksi ja uusiutuvien energianlähteiden käytön lisäämisessä. Bioenergian soveltuvuus useisiin eri käyttötarkoituksiin tekee siitä nykyhetkellä monipuolisimman ja tehokkaimman uusiutuvan energian lähteen.

Metsät ovat Suomen tärkein luonnonvara, ja Suomessa tullaan lähitulevaisuudessa investoimaan näistä luonnonvaroista saatavaan bioenergiaan kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi.

2 BIOENERGIA SUOMESSA JA EUROOPASSA

2.1 Yleistä bioenergiasta

Bioenergialla tarkoitetaan biopolttoaineilla tuotettua uusiutuvaa energiaa. Biopolttoaineet ovat peräisin metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista eloperäisistä biomassoista, sekä teollisuuden, yhdyskuntien ja maatalouden energiantuotantoon soveltuvista orgaanisista jätteistä. Bioenergian tuotantoon käytettävät biopolttoaineet ovat ekosysteemien luonnonkierron vuoksi uusiutuvan energian polttoaineita. Biopolttoaineiden palamisprosessissa ilmaan vapautuu saman verran hiilidioksidia, kuin biopolttoainemassaan on kasvuvaiheen aikana sitoutunut, minkä seurauksena nettopäästövaikutus on nolla.

Biopolttoaineita hyödynnetään useassa eri olomuodossa. Kiinteitä biopolttoaineita ovat esimerkiksi puuperäiset polttoaineet, kuten hakkeet, sahanpuru, kuori sekä puupelletit. Tärkeä puuperäinen polttoaine on myös sellutuotannon sivutuotteena syntyvä mustalipeää, jota käytetään soodakattiloissa energiantuotantoon. Kiinteitä biopolttoaineita voidaan polttaa sellaisenaan sähkön ja/tai lämmön tuottamiseen tai niitä voidaan jalostaa nestemäisiksi ja kaasumaisiksi polttoaineiksi. Puupohjaisen biokaasun lisäksi on olemassa jäte- sekä peltopohjaisia biokaasuja, jotka on otettu talteen esimerkiksi kaatopaikoilta sekä jätevedenpuhdistamoilta. Nestemäiset biopolttoaineet ja biokaasu soveltuvat esimerkiksi liikenteen ja pienten kaukolämpökattiloiden polttoaineeksi sekä myös sähkön ja lämmön tuotantoon. (Bioenergia ry 2018a)

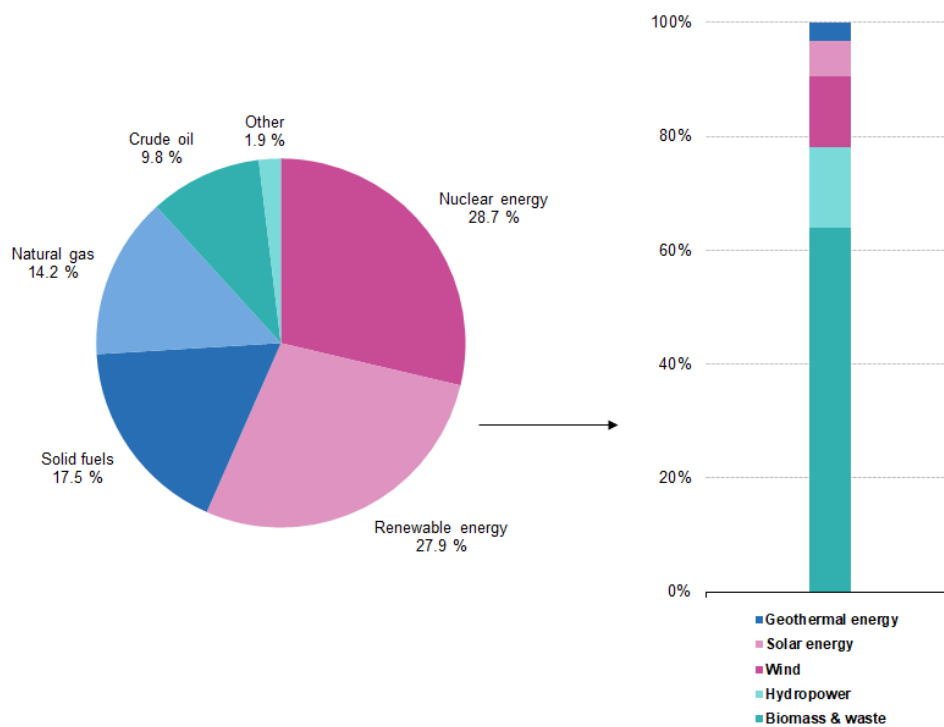
2.2 Bioenergia Euroopassa

EU-28 maiden primäärienergian tuotanto vuonna 2016 oli 755389 ktoe eli noin 8785 terawattituntia (TWh). Uusiutuvilla energianlähteillä tuotettiin tästä 210708 ktoe eli noin 2451 TWh. Tällöin uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun energian osuus primäärienergian tuotannosta oli 27,9 %. Vuoteen 2016 mennessä EU-28 maissa uusiutuvan energian tuotanto on kasvanut keskimäärin vuosittain 4.23 % vuoden 1990 tasoon ja 3.73 % vuoden 2010 tasoon verrattuna. (Eurostat 2018a, 9)

Biomassalla tuotetun energian osuus uusiutuvilla energianlähteillä tuotetusta primäärienergiasta oli vuonna 2016 noin 64 % eli 1569 TWh. Tällöin biomassalla tuotetun primäärienergian osuus kokonaisprimäärienergian tuotannosta EU-28 maissa oli

noin 17,9 %. Kuten kuvasta 1 nähdään, biomassapohjaisella energialla on selvästi merkittävin osuus Euroopan Unionin uusiutuvan primäärienergian tuotannosta. (Eurostat 2018b)

Production of primary energy, EU-28, 2016
(% of total, based on tonnes of oil equivalent)



Source: Eurostat (online data codes: nrg_100a and nrg_107a)

eurostat 

Kuva 1. EU-28 maiden primäärienergian tuotanto energialähteittäin (Eurostat 2018c)

2.3 Bioenergia Suomessa

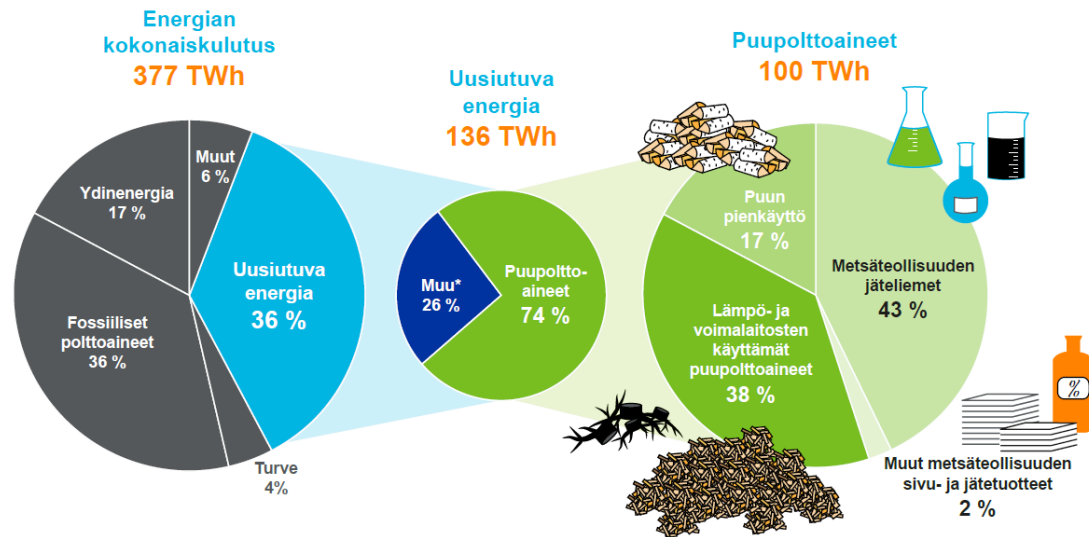
Bioenergialla on tärkeä rooli Suomen energiantuotannossa, sillä merkittävimpanä uusiutuvan energian lähteenä, sitä käytetään erilaisissa energiantuotannon kokoluokissa aina suurista teollisuuslaitoksista pieniin kotitalouksiin. Biopolttoaineilla on suuri osuus erityisesti lämmöntuotannon polttoaineista Suomessa. Usean kokoluokan käyttökohteet lisäävät bioenergian käyttö- ja kehittämismahdollisuuksia sekä uusia energiaratkaisuja. Bioenergian hyödynnettävyys sähkön ja lämmön tuotannossa sekä sen soveltuvuus liikenteen polttoaineeksi tekevät bioenergiasta monipuolisen uusiutuvan energianlähteen. Suomen suuret metsäpinta-alat tuovat runsaat bioenergiavarat kotimaiseen energiantuotantoon.

Kotimaisina energiavaroina runsaasti saatavilla olevat biomassat ovat tärkeitä energiaomavaraisuuden lisäämisessä. Biopolttoaineet sopivat hyvin Suomelle elintärkeän energiantensiivisen teollisuuden energiantuotantoon. Erityisesti metsäteollisuus, suurimpana bioenergian tuottajana ja käyttäjänä, pystyy tuottamaan omien raaka-aineidensa sivutuotteista suuren määrän bioenergiaa. Suomen tärkeimmät biomassapohjaiset energianlähteet ovat puupohjaisia polttoaineita, joita syntyy metsäteollisuuden sekä metsänhoidon sivutuotteena.

Sähkön tuotanto Suomessa vuonna 2017 oli 65.0 TWh, josta uusiutuvilla energianlähteillä tuotettiin 30.7 TWh eli 47.2 % osuus. Puuperäisillä polttoaineilla tuotettiin noin 11.2 TWh eli 17.2 % osuus kokonaissähkön tuotannosta. Kaukolämmön tuotanto vuonna 2017 oli 38.3 TWh, josta puupolttoaineilla tuotettiin 33 %:n osuus. Puupolttoaineilla oli suurin yksittäisen polttoainetyypin osuus kaukolämmön tuotannosta. Teollisuuslämmön tuotannossa biopolttoaineilla on vielä suurempi merkitys. Teollisuuslämmön 53.7 TWh:n tuotannosta 75% oli tuotettu uusiutuvilla polttoaineilla ja puolet lämmöstä oli tuotettu mustalipeällä. (Tilastokeskus 2017a)

Energian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2017 oli noin 378 TWh, josta puupolttoaineet olivat Suomen merkittävin yksittäinen energianlähde 27 %:n osuudellaan kokonaiskulutuksesta. Puupolttoaineiden osuus kokonaiskulutuksessa on noussut tasaisesti vuodesta 1990 lähtien. Kuvassa 2 on havainnollistettu puupolttoaineiden osuutta energian kokonaiskulutuksesta. (Tilastokeskus 2017b)

PUUPOLTTOAINEIDEN KULUTUS 2017



*Muuun uusiutuvaan energiaan kuuluvat vesi- ja tuulivoima, lämpöpumput, aurinkoenergia ja muut biopolttoaineet.

2017 ennakkotieto

Lähde: Tilastokeskus

Kuva 2. Puupolttoaineiden kulutus 2017 (Luonnonvarakeskus 2017a)

3 BIOENERGIA KANSALLISESSA ENERGIA- JA ILMASTOSTRATEGIASSA

3.1 Euroopan Unionin energia- ja ilmastotavoitteet

Euroopan komissio on linjannut energia- ja ilmastopoliittisia tavoitteita useille eri aikaväleille kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, uusiutuvien energianlähteiden käytön lisäämiselle sekä energiatehokkuuden parantamiselle. Tavoitteiden pyrkimyksenä on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80-95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Vuoden 2020 tavoitteiksi on asetettu 20 %:n päästövähennys kasvihuonekaasupäästöissä 1990 tasoon verrattuna, uusiutuvien energianlähteiden osuuden nosto 20 %:iin energiankulutuksesta eri jäsenmaiden välillä sekä energiatehokkuuden parantaminen 20 %:lla. Vuoden 2030 tavoitteet ovat jatkoa 2020 strategialle; kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 40 % 1990 tasoon verrattuna, uusiutuvien energianlähteiden osuuden ja energiatehokkuuden lisääminen 27 %:lla. (TEM 2017, 7-8)

Päästökauppajärjestelmällä on keskeinen rooli EU:n ilmastotavoitteissa. Sen avulla päästöjä vähennetään päästökauppaan kuuluvilla sektoreilla mahdollisimman kustannustehokkaasti. Päästökauppasektoriin kuuluvat pääasiassa polttolaitosten energiantuotannon, energiantensiivisen teollisuuden prosessien sekä lentoliikenteen hiilidioksidipäästöt. Vuosittain aleneva päästökatto varmistaa päästökauppasektorin kokonaispäästöjen asteittaisen vähentämisen ja tavoitteiden etenemisen. Järjestelmän päästöoikeuksilla on mahdollista käydä kauppaa, mikä tuo joustavuutta ja varmistaa sen, että päästöt vähenevät siellä, missä vähentyminen on mahdollisimman kustannustehokasta. (European commission 2018)

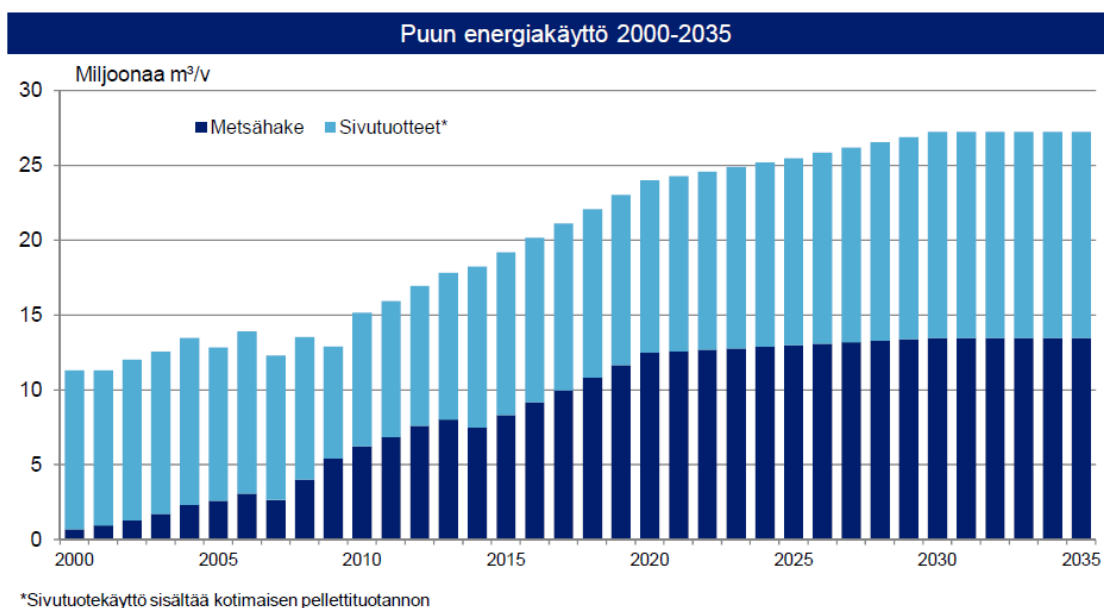
3.2 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia

Euroopan komission määräämät energia- ja ilmastopoliittiset tavoitteet vaikuttavat Suomen hallituksen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa linjattaviin toimiin ja niiden kautta bioenergian käytön tulevaisuuteen. Strategiassa on käytetty apuvälineenä skenaariolaskentaa, jolla arvioidaan nykyisiä politiikkatoimia (perusskenaario) sekä strategiassa linjattavia uusia toimia (politiikkaskenaario). Skenaariotarkastelulla arvioidaan energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista ja tarvittavia lisätoimia.

Energiapoliittisten tavoitteiden kansallisessa arvioinnissa keskeisessä asemassa ovat energiaintensiivinen teollisuus, kuten metsä- ja metalliteollisuus, rakennusten energiankäyttö, liikennesektori, energiaomavaraisuus, energiatehokkuuden lisääminen eri toimialoilla sekä energian kokonaiskulutus. Merkittävimpänä kotimaisena uusiutuvan energian lähteenä, bioenergialla on tärkeä rooli strategian tavoitteiden saavuttamiseksi.

3.2.1 Metsäpohjaiset polttoaineet, turve ja kivihiili

Suomessa tuotetusta puupohjaisesta energiasta valtaosa tuotetaan metsäteollisuuden ja muun puuta jalostavan teollisuuden yhteydessä. Suurin osa metsäpohjaisesta energiasta tuotetaan osana selluntekoprosessia, tai puun käytön sivuvirtojen raaka-aineista. Lisäksi merkittävä osuus metsäpohjaisesta energiasta tuotetaan hakkuutähteistä syntyvällä metsähakkeella. Uusiutuvan energian lisäämistavoite edellyttää metsähakkeen ja metsäteollisuuden jäteliemien energiakäytön kasvua. Pöyryn ilmastostrategiaan teettämän ennusteen mukaan, puun energiakäytön odotetaan kasvavan vuoden 2015 19 miljoonasta kuutiosta 27 miljoonaan kuution vuoteen 2035 mennessä. Strategian perusskenaariossa metsähakkeen käytön arvio olisi noin 14.5 miljoonaa kuutiota vuonna 2030, mikä vastaisi hakkeen energiakäytön kaksinkertaistamista 2015 tasosta. (TEM 2017, 59)



Kuva 3. Puun energiakäyttö 2000-2035 (Pöyry 2016a, 53)

Metsäteollisuuden positiivisen kehityssuunnan sekä selluteollisuuden uusien ja suunnitteilla olevien investointien ansiosta mustalipeän sekä muiden sivutuotevirtojen energiakäyttö kasvaa. Sellutuotannon kasvun seurauksena jäteliemien energiakäytön odotetaan lisääntyvän, mutta suhteellisesti suurin kasvu puupolttoaineiden energiakäytössä tapahtuisi metsähakkeen käytön lisäyksenä. Metsähakkeen energiakäyttöön on investoitu paljon ja kuitupuun kysynnän kasvaessa, kasvavat hakkuumäärät parantavat metsähakkeen saatavuutta. (TEM 2017, 31 ja 60)

Perusskenaarion laskelmien mukaan kivihiilen energiakäytöstä luovutaan vuoteen 2030 mennessä. Kotimaisilla polttoaineilla, kuten metsähakkeella ja turpeella, on keskeinen rooli kivihiilen korvaamisessa. Metsäpohjaisen biomassan energiakäytön keskeisin ohjauskeno, päästökaupan lisäksi, on energiaverotus, jolla vahvistetaan metsäpohjaisten biopolttoaineiden energiakäytön kilpailukykyä. Turpeen energiaverotuksella pyritään saamaan turve, kivihiiltä ja muita fossiilisia tuontipolttoaineita kilpailukykyisemmäksi, mutta samalla metsähake turvetta edullisemmaksi vaihtoehdoksi. (TEM 2017, 76 ja 125)

3.2.2 Liikenteen biopolttoaineet

Energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on nostaa biopolttoaineiden osuus tieliikenteen polttoaineista nykyisestä 13.5 %:sta 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Vuoden 2020 tavoitteeksi Suomi on päättänyt EU:n 10 %:n uusiutuvan energian liikennekäyttöä korkeammasta 20 %:n uusiutuvan energian tavoitteesta. Tähän tavoitteeseen pyritään biopolttoaineiden jakeluelvoitteella, jolla korvataan fossiilisia polttoaineita liikenteessä ja lisätään uusiutuvan energian liikennekäyttöä. Jakeluelvoitteella edellytetään vähimmäismäärää biopolttoaineiden osuudelle liikennepolttonesteiden kulutuksesta. Jakeluelvoitteella on tarkoitus edistää tuontiöljyn puolittamistavoitetta, vähentää liikennesektorin päästöjä ja edistää biotalouden laajentumista. (TEM 2017, 40 ja 93)

3.2.3 Bioenergian tuet

Bioenergian tuotantoa tuetaan valtion toimesta uusiutuvan sähkön tuotantotuella. Uusiutuvan sähkön tuotantotukea maksetaan syöttötariffina, jolla tuetaan tuulivoimaan, metsähakkeeseen, biokaasuun sekä muihin puuperäisiin polttoaineisiin perustuvaa sähkön tuotantoa. Syöttötariffin tarkoituksena on lisätä uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähkön kapasiteettia sekä parantaa metsähakkeen toimitusketjua ja kilpailukykyä

suhteessa muihin polttoaineisiin. Metsähakkeen tukitaso muuttuu päästöoikeuden hinnan sekä turpeen verotason mukaan. Uusiutuvan sähkön tuotantotukijärjestelmässä on metsähakevoimaloiden lisäksi joitakin biokaasulaitoksia. (Energiavirasto 2018)

Bioenergiaan perustuviin uusiin hankkeisiin on myös mahdollista saada energiatukea. Energiatukea on mahdollista myöntää hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, lisäävät energiansäästöä tai tuotannon ja käytön energiatehokkuutta tai muulla tavoin muuttavat energiajärjestelmää vähähiilisemmäksi. Energiatuen pääasiallinen tarkoitus on parantaa uuden teknologian käyttöönottoa ja kannattavuutta. (TEM 2018)

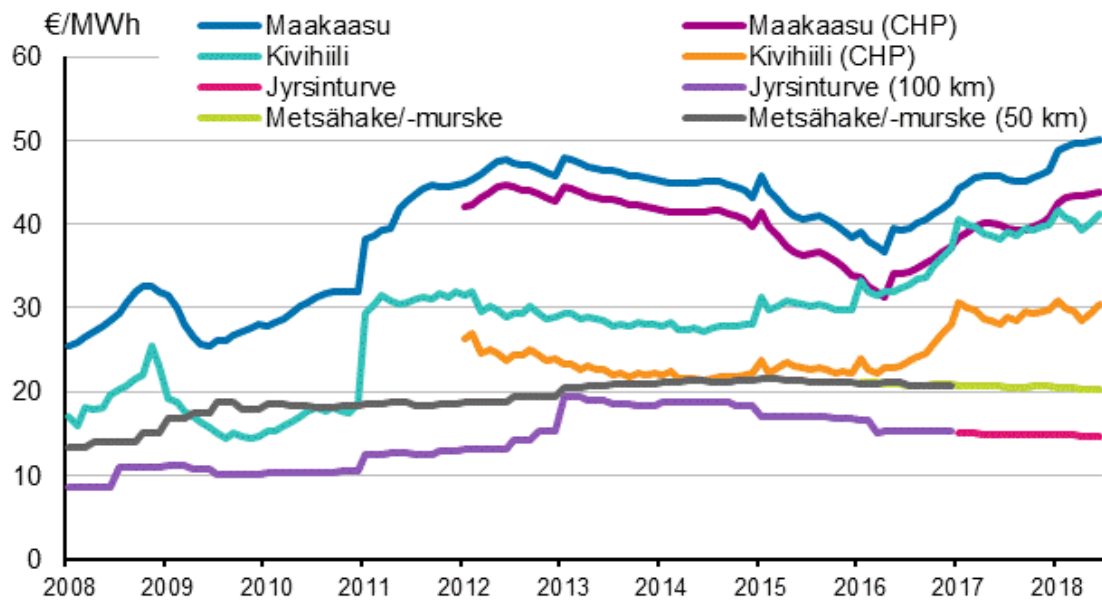
4 BIOENERGIAINVESTOINNIT SUOMESSA 2030

Sitoutuminen energia- ja ilmastotavoitteisiin lisää tarvittavia investointeja uusiutuviin ja vähäpäästöisiin energiantuotantomuotoihin, kuten bioenergiaan. Vuosittain alenevan päästökaton, uusiutuvan energian tuotantotuen, energiatuen sekä polttoaineiden verotuksen vaikutuksista päästökaupparektorilla tapahtuu asteittaista polttoainevalikoiman vaihtumista fossiilisista uusiutuviin polttoaineisiin. Energiantuotannon polttoaineiden vaihdos edellyttää investointeja esimerkiksi uusiin laitoksiin, laitteisiin ja vanhojen laitteiden uudistamiseen sekä polttoaineiden toimitusketjuihin. Lisäksi uusia investointeja tapahtuu energiaintensiivisen teollisuuden talouskehityksen seurauksena. Kaukolämpöön tullaan rakentamaan uutta sekä korvaavaa kapasiteettia sen tuotantoon käytettävien polttoaineiden vaihtuessa päästöjen vähentämiseksi. Metsäteollisuuden taloudellisen kehityssuunnan seurauksena syntyy uusia investointeja bioenergian tuotantoon.

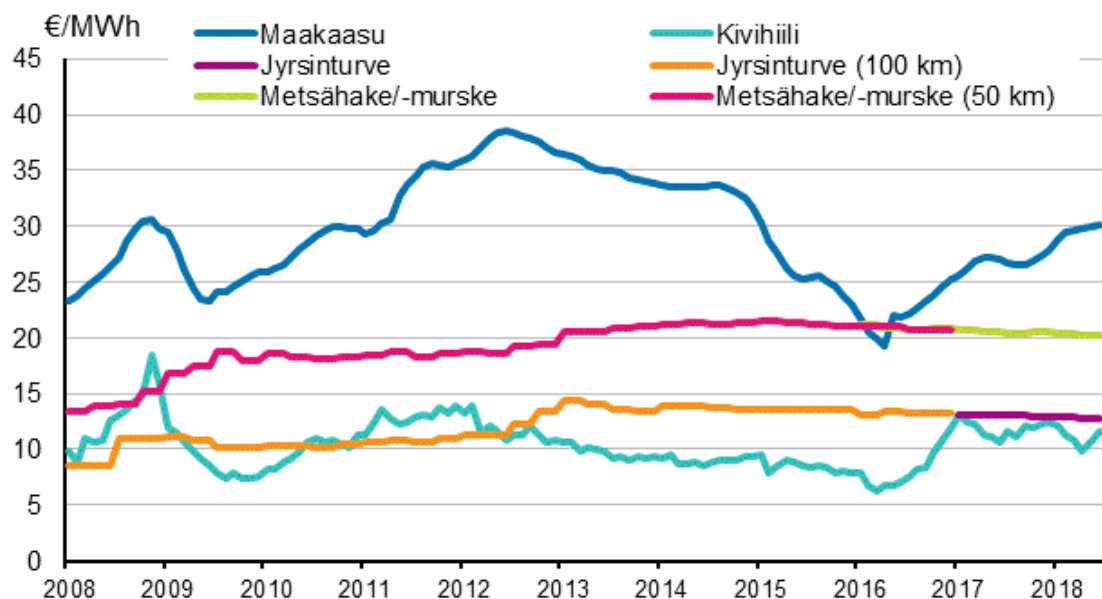
4.1 Metsähakkeen kilpailukyky

4.1.1 Energiantuotannon biopolttoaineiden hintakehitys

Voimalaitosten toteutuneeseen energiantuotantoon sekä niiden kannattavuuteen vaikuttaa olennaisesti polttoaineiden hintakehitys. Polttoaineiden kustannusten suhde ja saatavuus ovat keskeisessä roolissa polttoaineiden käytön määrässä sekä päästöjen syntymisessä. Kuvissa 4 ja 5 on havainnollistettu energian tuotannon polttoaineiden hintakehitystä sähkön- sekä lämmöntuotannossa.



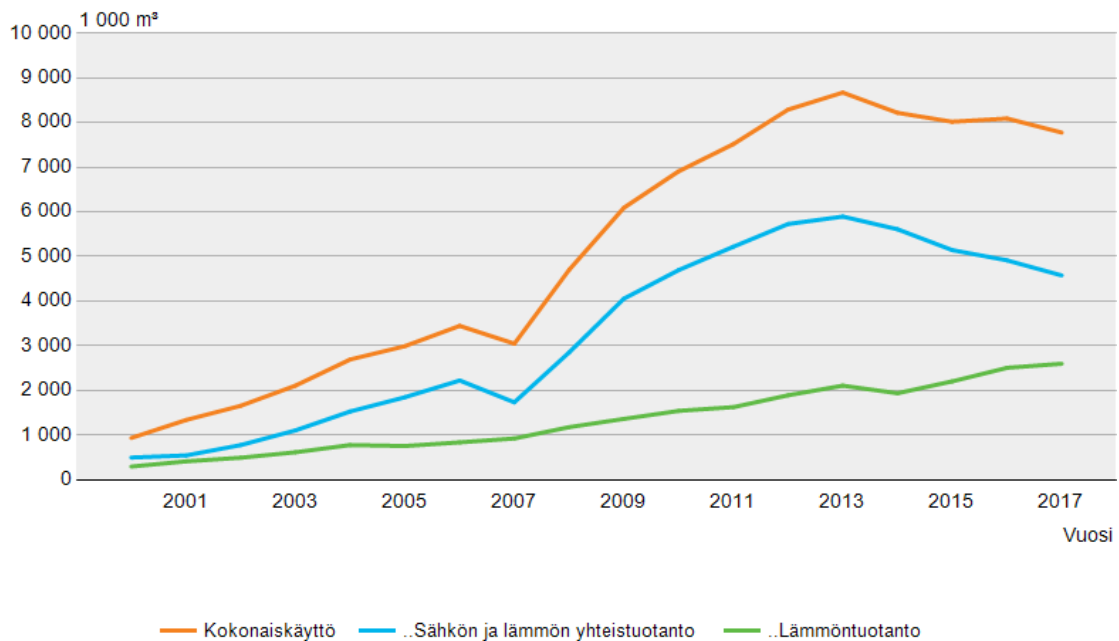
Kuva 4. Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa (Tilastokeskus 2018a)



Kuva 5. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa (Tilastokeskus 2018b)

Kuvista 4 ja 5 huomataan metsähakkeen hinnan pysytelleen noin 20 €/MWh tasolla sekä sähkön, että lämmöntuotannossa. Suomessa sähkön tuotantoon käytetyistä polttoaineista ei makseta veroa, mikä näkyy metsähakkeen selkeästi huonompana kilpailukyynä sähköntuotannossa kivihiileen ja turpeeseen nähden. Metsähakkeen käyttö pelkässä lämmöntuotannossa on yhteistuotantoa kilpailukykyisempää ja tämä näkyy käytön kasvun suuntautumisena lämmön erillistuotantoon (Kuva 6).

Metsähakkeen kokonaiskäyttö käyttökohteittain



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, Puun energiakäyttö

Kuva 6. Metsähakkeen kokonaiskäyttö käyttökohteittain (Luonnonvarakeskus 2017b)

Puupolttoaineiden kokonaiskäytön kasvusta huolimatta, metsähakkeen osalta nykytilanteessa ollaan kaukana energia- ja ilmastostrategian tavoitteesta. Hakkeen kilpailukyky yhteistuotannossa ei ole riittävällä tasolla, fossiilisten polttoaineiden alhaisen hinnan ja metsähakkeen tuotantotuen riittämättömän tason vuoksi.

4.1.2 Päästöoikeuksien hintakehityksen vaikutuksia

Päästöoikeuden hinta vaikuttaa energiantuotannon polttoaineiden kilpailukykyyn niiden aiheuttamien päästöjen kautta. Päästöoikeuden aiheuttama lisäkustannus riippuu päästöoikeuden hinnasta sekä käytettävän polttoaineen hiilidioksidipäästöjen määrästä. Korkealla päästöoikeuden hinnalla tulisi olla taloudellisesti ohjaava vaikutus käytettävien polttoaineiden valinnassa siirryttäessä vähäpäästöisempiin vaihtoehtoihin.



Kuva 7. Päästöoikeuksien hintakehitys (Business insider 2018)

Kuvasta 7 huomataan päästöoikeuksien hinnan pysytelleen alle 10 € hiilidioksiditonnia kohden, pitkään ennen vuoden 2018 loppupuolta. Fossiilisten polttoaineiden käyttökustannukset ovat pysyneet alhaisena sähkön tuotannossa päästöoikeuden matalan hinnan vuoksi. Alhaiset päästöoikeuksien hinnat eivät ole tuoneet riittävän suurta kilpailukykyä heikentävää vaikutusta fossiilisten polttoaineiden käyttöön energiantuotannossa. Tämä on vaikuttanut negatiivisesti metsähakkeen kilpailukykyyn.

4.1.3 Metsähakkeen tavoitteen toteutuminen

Metsähakkeen energiakäytön osalta jäädytään energia- ja ilmastostrategian vuoden 2020 tavoitteesta puupolttoaineiden energiakäytön kasvusta huolimatta. Metsähakkeen kilpailukyky yhteistuotannossa ei ole ollut viime vuosina riittävällä tasolla. Päästöoikeuden kasvavan hinnan vuoksi odotetaan kuitenkin metsähakkeen kilpailuvyyn paranevan yhteistuotannossa sekä turpeen energiakäytön vähenevän päästökaupasektorilla noin puoleen vuoteen 2030 mennessä.

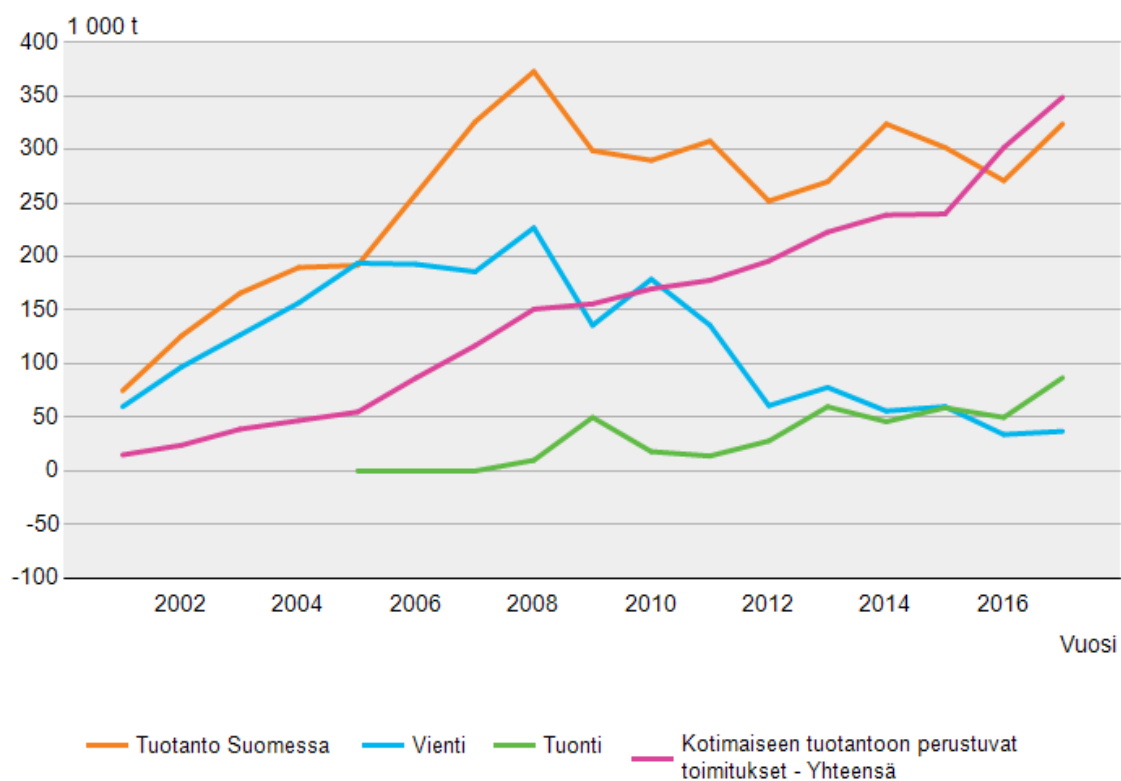
Kotimaisen metsähakkeen kaupallisen saatavuuden arvioidaan olevan kysyntää pienempää. Saatavuuden sekä käytön alueellinen epätasapaino vaatii hakkeen osalta tehokkaita ratkaisuja korjuun sekä logististen kustannusten hallitsemiseksi. Metsähakkeen hankintasäteen kasvaessa, hakkeen laitoshinta nousee myös. Tämän vuoksi tuontibiomassa on mahdollisesti kilpailukykyinen kotimaiseen metsähakkeeseen verrattuna esimerkiksi Itä-Suomessa ja rannikon käyttökohteissa. Itämeren alueella on runsaasti korjuupotentiaalia ja vähäistä kysyntää kyseisissä maissa. Metsähakkeen

käyttöpaikkahinnan tulisi pysyä kuitupuun hintaa matalampana, jotta kuitupuuta ei ohjaudu energiantuotantoon. (Bioenergia ry, 2018b)

4.2 Suomen puupellettikäyttö

Puupelletit ovat mekaanisen puunjalostusteollisuuden sivutuotteista kuivaamalla sekä puristamalla jalostettuja puupolttoaineita. Puupellettejä käytetään pääasiassa kaukolämpölaitoksissa sekä kiinteistöjen lämmityslähteenä. Kuvassa 8 on havainnollistettu Suomen pellettituotantoa, tuontia sekä vientiä ja kotimaiseen tuotantoon perustuvia toimituksia.

Puupellettien tuotanto, vienti, tuonti sekä toimitukset



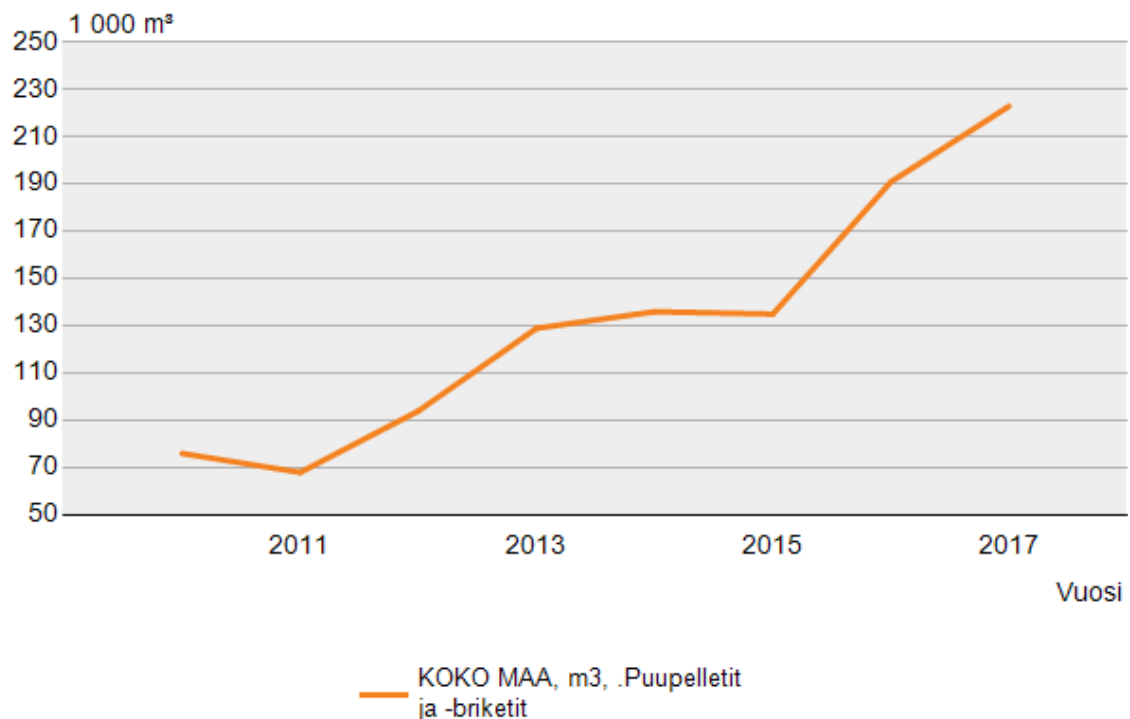
Lähde: Luonnonvarakeskus, Puupelletit

Kuva 8. Puupellettien tuotanto, vienti, tuonti sekä toimitukset (Luonnonvarakeskus 2017c)

Kuvasta 8 nähdään kotimaisen tuotannon pysyttelevän 2010-luvulla noin 300 000 tonnin tasolla. Tuonti sekä kotimaiseen tuotantoon perustuvien toimitusten määrä ovat kasvussa ja vienti laskusuuntainen. Toimitusten määrän kasvukäyrän perusteella voidaan odottaa

kotimaisen tuotannon sekä tuonnin kasvamista tulevaisuudessa. Valtaosa kotimaisista toimituksista suuntautuu lämpö- ja voimalaitoksille sekä suurkiinteistöille, mikä selittyy fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta seuraavalla pellettien kasvaneella voimalaitoskäytöllä (Kuva 9). Pelletillä on myös merkittävä rooli pienkiinteistölämmityksen öljyn käytön korvaamisessa.

Lämpö- ja voimalaitosten pellettien sekä brikettien energiakäyttö



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, Puun energiakäyttö

Kuva 9. Puupellettien ja brikettien energiakäyttö voimalaitoksissa (Luonnonvarakeskus 2017d)

Esimerkkinä uudesta, kivihiilen käyttöä korvaavasta, pellettivoimalaitoksesta on Helsingin Salmisaaressa, vuoden 2018 alussa, käyttöön otettu pellettilaitos. Helen Oy:n Salmisaaren 92 MW:n laitos tuottaa kaukolämpöä pääasiassa pellettien avulla noin Savonlinnan kokoiselle kaupunkialueelle. Laitoksessa on poltettu pellettiä jo aikaisemmin kivihiilen kanssa seospoltossa, mutta uusien kattilainvestointien avulla siellä voidaan käyttää pellettejä polttoaineena merkittävästi enemmän samalla korvaten kivihiilen energiakäyttöä. Helenillä on myös suunnitteilla uusia samankaltaisia kivihiilen

käyttöä korvaavia biolämpölaitoksia Vuosaaren, Patolaan sekä Tattarisuolle. (Helen 2018)

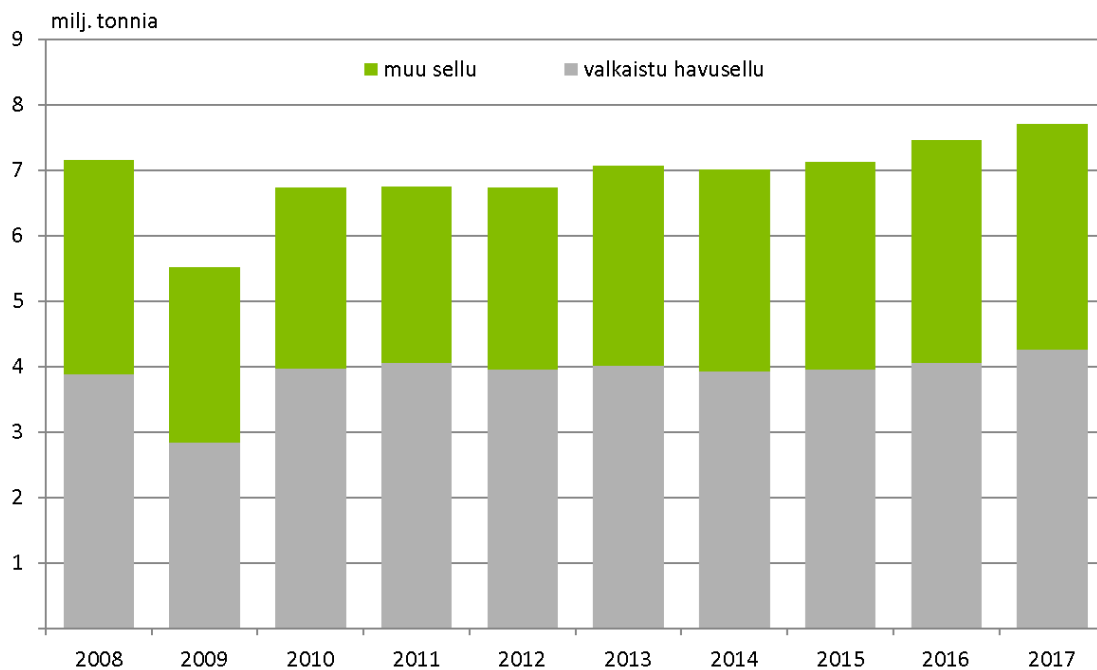
4.3 Uudet biovoimalaitokset

Fossiilisten polttoaineiden korvaamisen seurauksena tullaan rakentamaan uusia biovoimalaitoksia sekä uudistamaan vanhoja voimaloita. Esimerkkinä Oulun Energian Laanilan voimalahankkeessa ollaan rakentamassa 215 MW:n biovoimalaitosta, jolla tuotetaan sähköä sekä kaukolämpöä ja teollisuuden prosessihöyryä. Laitoksen sähköteho on 70 MW ja kaukolämpöteho 175 MW. Voimala rakennetaan jätteitä energiaksi jalostavan ekovoimalaitoksen läheisyyteen. Laanilan laitoksen monipolttoainekattila käyttää polttoaineinaan suurimmaksi osaksi puuta, jonka seassa poltetaan kierrätyspolttoaineita sekä turvetta eri suhteissa. Laitoksella on tarkoitus korvata vanhentuva voimalaitosyksikkö uudella vähäpäästöisemmällä ja energiatehokkaammalla laitoksella. Voimalan suunnittelussa on otettu huomioon tulevaisuuden mahdollisuuksia integroida sen yhteyteen biojalostamoita, mikä parantaa energiantuotannon biotaloutta. Laitoksen investointikustannuksen arvioidaan olevan 200 miljoonan euron luokkaa. (Oulun Energia 2018)

Tulevaisuuden voimalaitosratkaisuihin tullaan hyödyntämään laajaa polttoainevalikoimaa. Uudet monipolttoainekattilat voivat käyttää monipuolisesti erilaisia polttoainekoostumuksia eri suhteissa, parantaen joustavuutta ja toimintavarmuutta vähentämällä polttoaineiden saatavuudesta aiheutuvia ongelmia. Tämän lisäksi monipolttoaineratkaisut vähentävät politiikkatoimien sekä päästöoikeuksien markkinakehityksen polttoaineisiin kohdistamia riskejä ja edistävät energiantuotantoon käytettävien polttoaineiden vaihdosta.

Uusissa biovoimalaitoshankkeissa tullaan myös investoimaan laitosten yhteyteen rakennettaviin biojalostamoihin, joilla kasvatetaan biotaloutta ja biomassojen hyödyntämistä entisestään tuottamalla liikenteen polttoaineita sekä muita jalostettuja biotuotteita.

4.4 Uudet sellutehtaat



Kuva 10. Sellun tuotanto Suomessa (Metsäteollisuus 2018)

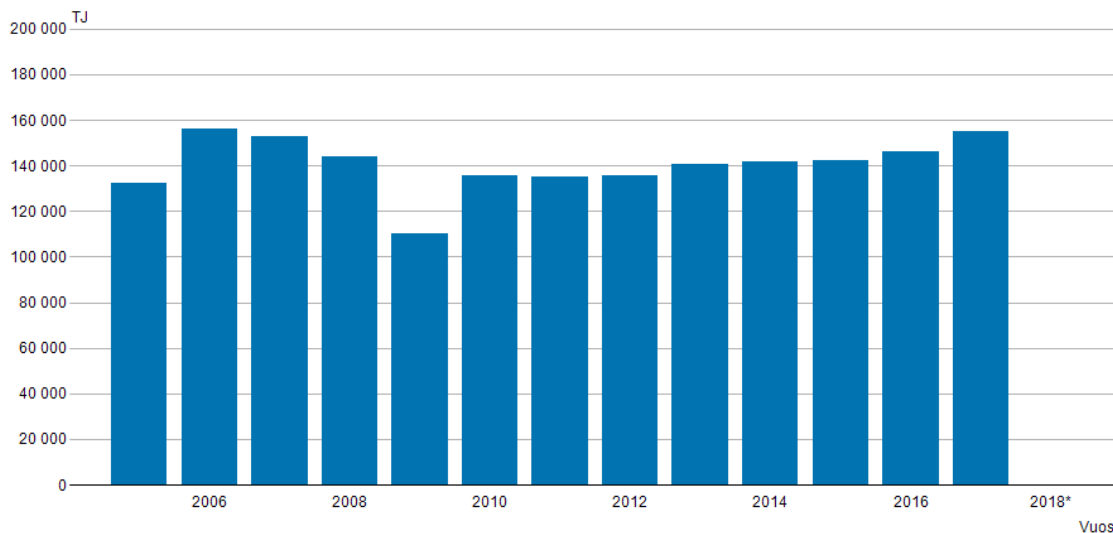
Sellun kasvava kysyntä ja tuotanto tulevat synnyttämään uusia investointeja selluteollisuuteen ja sen kautta kansalliseen biotalouteen. Vuonna 2017 käyttöön otettu Metsä Fibren uusi biotuotetehdas Äänekoskella valmistaa koivu- ja havusellua. Äänekosken laitos on metsäteollisuuden historian suurin investointihanke 1.2 miljardin euron arvolla. Sellutuotannon lisäksi tehtaalla tuotetaan biotuotteita, kuten mäntyöljyä ja tärpähtiä, sekä bioenergiaa. Tehdas ei käytä fossiilisia polttoaineita lainkaan, vaan tuottaa kaiken energian omien raaka-aineiden sivuvirroista. (Metsä Fibre 2018)

Metsäteollisuudessa tullaan investoimaan Äänekosken laitoksen kaltaisiin biotuotetehtaisiin, joissa sellutuotannon ympärille on rakennettu bioenergian ja erilaisten jalostettujen biotuotteiden tuotantoa, jotka laajentavat biotalouden ekosysteemiä. Tulevaisuuden energiaomavaraisissa biotuotelaitoksissa puuraaka-ainetta ja tuotannon sivuvirtoja tullaan hyödyntämään aiempaa tehokkaammin samalla kasvattaen tehtaiden omavaraisuusastetta. Biotalouden ekosysteemin laajetessa biotuotteiden käyttö kasvaa eri sektoreilla kuten esimerkiksi liikenteessä biopolttoaineiden muodossa.

Sellutuotannon kasvun seurauksena myös jäteliemien energiakäytön odotetaan kasvavan lähitulevaisuudessa. Kuvassa 11 on havainnollistettu metsäteollisuuden jäteliemien

energiakäytön kehitystä. Tästä näemme niiden energiakäytön kasvaneen vuoden 2008 laskusuhdanteen jälkeen vuosittain.

Metsäteollisuuden jäteliemien energiakäyttö



Lähde: Energiatilasto, Finland's annual inventory report on greenhouse gases

Kuva 11. Metsäteollisuuden jäteliemien energiakäyttö (Tilastokeskus 2018c)

4.5 Bio-CCS teknologia

Uusi CCS-teknologia (Carbon Capture and Storage) perustuu hiilidioksidin talteenottoon sekä varastointiin voima- ja teollisuuslaitoksissa. CCS-tekniikalla hiilidioksidi voidaan ottaa talteen kolmella tavalla: palamisprosessin aikana syntyvistä savukaasuista, ennen polttoprosessia tai käyttäen happipolttua. Talteenoton jälkeen hiilidioksidi varastoidaan ja sijoitetaan esimerkiksi maanalaisiin geologisiin muodostelmiin, joissa se on erityksissä ilmakehästä. (Teir et al. 2011, 15-16)

Hiilidioksidin talteenottotekniikan integroiminen biomassan polttoon, tekisi BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) laitoksesta nettonielun, koska biomassan kasvuvaiheessa sitoutunutta hiilidioksidia ei päästetä ilmakehään energiantuotantoprosessissa. Tällä kokonaisvaikutuksella voidaan edistää kasvihuonekaasupäästöjen vähentymistä. BECCS-teknologian kaupallistumisella on kuitenkin taloudellisia haasteita. Talteenottoteknologiaan investoiminen on kallista ja politiikkatoimet eivät kohtele talteen otettua bioperäistä hiilidioksidia samalla tavalla kuin fossiilisperäistä. Nämä tekijät asettavat investoinnille kustannusriskin, sillä teknologian kannattavuus riippuu päästöoikeuden hinnasta ja biomassaa polttoaineenaan

käyttävät laitokset välttävät muutenkin päästömarkkinoiden riskit. Pelkästään biomassaa polttavilla laitoksilla ei ole taloudellista kannustinta investoida talteenottoteknologiaan. Tämän vuoksi CCS-tekniikan käyttöönotto kaupallistuu todennäköisimmin ensin jo käytössä olevissa suuremmissa laitoksissa, joissa käytetään biomassan lisäksi muita polttoaineita ja, jotka ovat alttiita päästömarkkinoiden riskeille. (Teir et al. 2011, 38-40)

5 BIOENERGIAN TULEVAISUUDENNÄKYMÄ

5.1 Globaali kehitys IPCC:n 1.5°C-raportissa

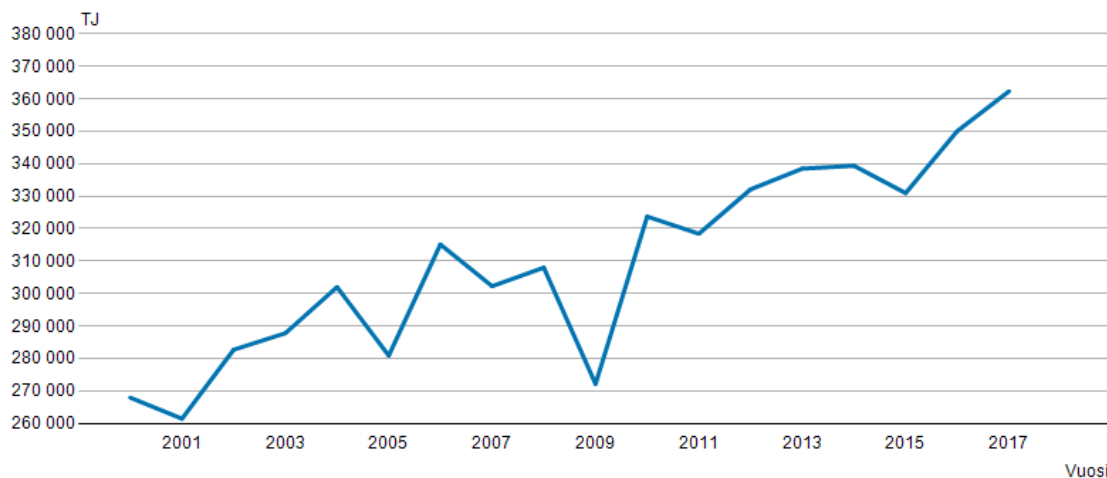
IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) hallitustenvälisessä 1.5°C-raportissa käsitellään maapallon keskilämpötilan nousua, nousun vaikutuksia maapallon ekosysteemiin sekä keinoja rajoittaa keskilämpötilan nousua. Raportin skenaariotarkasteluissa, bioenergian käyttö on keskeisessä asemassa hiilineutraalissa energiantuotannossa. Raportin eri skenaarioissa biomassan globaalien osuuden primäärienergiasta odotetaan kasvavan vuosien 2020 ja 2050 välillä. Bioenergian lisäämisen ohella, biotalouden nettonieluvaikutusta kasvatetaan poistamalla hiilidioksidia ilmakehästä BECCS-teknologian avulla sekä metsityksillä.

Vuonna 2020 bioenergian osuuden kokonaisprimäärienergiasta arvioidaan skenaarioiden keskiarvon perusteella olevan noin 10 %:n suuruusluokkaa, vuonna 2030 noin 14 % ja 2050 mennessä osuus olisi jo 26 % (IPCC 2018, 132-134). Lisäksi niissä skenaarioissa, joissa energian kysyntä ei laske merkittävästi, ennustetaan myös CCS-teknologian käytön runsasta kasvua bioenergian tuotannossa. Joissakin skenaarioissa puolestaan hiilidioksidin nettonielua kasvatetaan metsityksellä. Riippumatta siitä häviävätkö hiilidioksidipäästöt CCS-teknologian tai metsityksen avulla, biomassan energiakäyttö on joka tapauksessa merkittävässä roolissa eri skenaarioissa. (IPCC 2018, 96)

5.2 Kotimainen kehitys vuoteen 2030

Puupolttoaineiden energiakäytön voidaan odottaa kasvavan lähitulevaisuudessa. Sellun korkean kysynnän vuoksi sellun tuotanto, jäteliemien energiakäyttö sekä metsäteollisuuden sivuvirtojen raaka-aineiden saatavuus energiantuotantoon kasvaa. Metsäteollisuuden positiivinen suhdanne lisää energiapuun saatavuutta raaka-ainepuun hyödyntämisen lisääntyessä. Kuvassa 12 on havainnollistettu puupolttoaineiden energiakäytön kasvua 2000-luvulla.

Puupolttoaineiden kokonaiskulutus

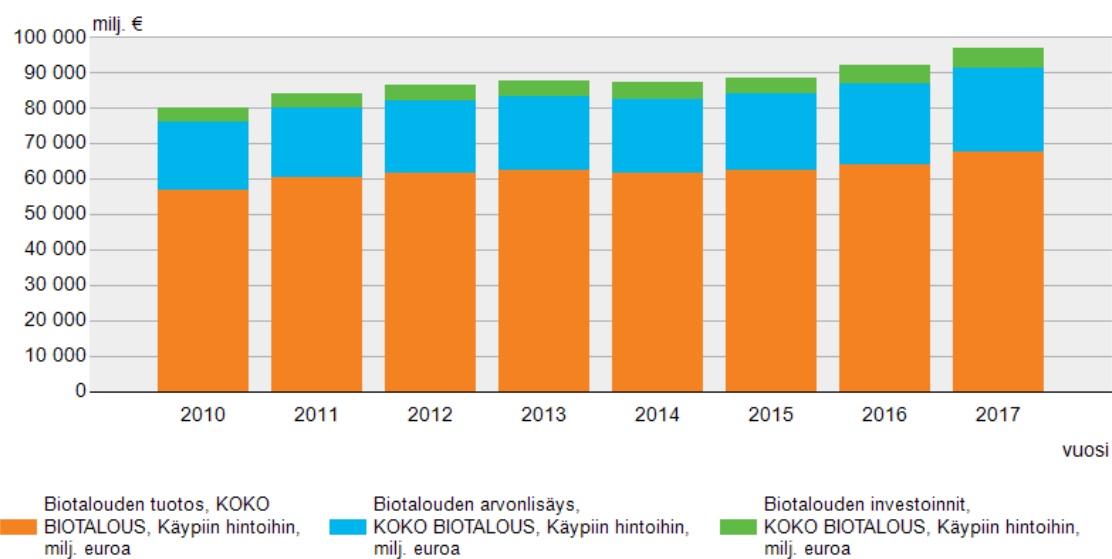


Lähde: Energiatilasto, Finland's annual inventory report on greenhouse gases

Kuva 12. Puupolttoaineiden kokonaiskulutus (Tilastokeskus 2018c)

Metsien käyttöasteen kasvun lisäksi alkutuotannon sekä jalostustoiminnan alat tulevat integroitumaan keskenään metsäteollisuudessa. Investoinnit uusiin biotuotetehtaisiin ja vanhojen tehtaiden modernisointi tulevat kasvattamaan biotaloutta ja biomassojen hyödynnettävyyttä eri toimialoilla. Biotalouskasvukehitystä ja energiainvestointeja on havainnollistettu kuvissa 13 ja 14.

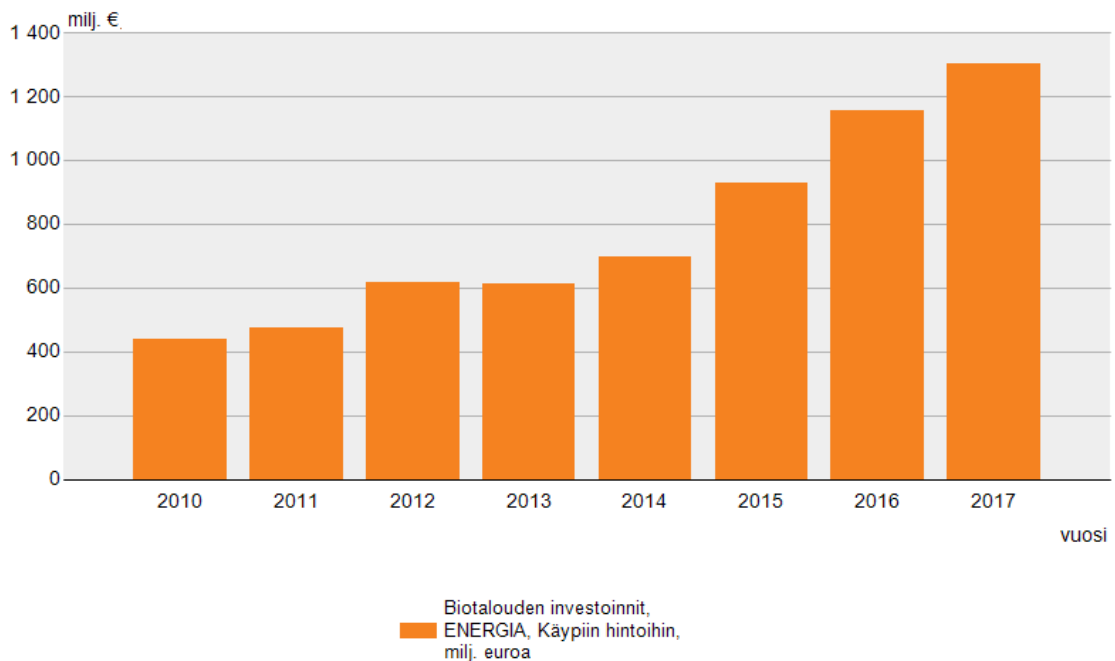
Biotalouskasvun tuotos, arvonlisäys ja investoinnit



Lähde: Tilastokeskus ja Luonnonvarakeskus

Kuva 13. Biotalouskasvun tuotos, arvonlisäys ja investoinnit (Luonnonvarakeskus 2017e)

Biotalous tuotos, arvonlisäys ja investoinnit



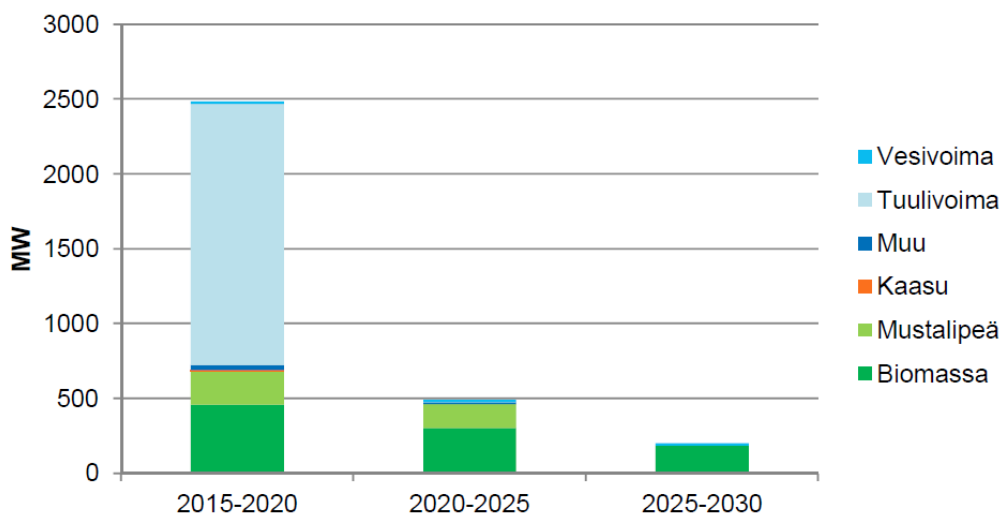
Lähde: Tilastokeskus ja Luonnonvarakeskus

Kuva 14. Biotalousenergiainvestoinnit (Luonnonvarakeskus 2017e)

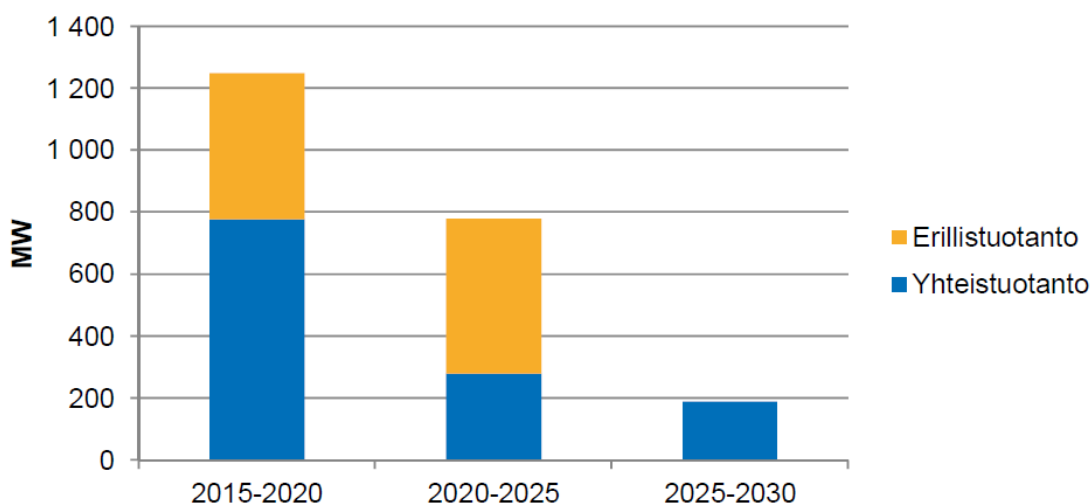
Kuvan 14 tilastotietojen mukaan biotalousenergiainvestoinnit olivat vuonna 2017 noin 1,3 miljardia euroa ja vuosittaiset investoinnit selkeästi kasvussa. Biotalousenergiainvestointien määrän voidaan odottaa kasvavan 2020-luvun alkupuolelle saakka, jotta pysytään aikataulussa energia- ja ilmastostrategian 2030 tavoitteista.

Päästöoikeuden hinnan alkaneen nousun ennustetaan jatkuvan, minkä odotetaan parantavan sivutuotevirtojen kilpailukykyä suhteessa turpeeseen ja muihin fossiilisiin polttoaineisiin päästökaupparektorilla. Tämän odotetaan lisäävän investointeja sivuvirtoja hyödyntäviin laitoksiin ja edistävän polttoainevaihdosta fossiilisista uusiutuviin vuoteen 2030 mennessä. Päästöoikeuden kasvavan hinnan odotetaan nostavan sähkön hintaa.

Valtioneuvoston EU:n 2030 ilmasto- ja energiapolitiikan linjausten toteutumisvaihtoehtoja arvioivassa selvityksessä, on arvioitu lähitulevaisuuden investointeja uusiutuvan energian tuotantoon (Kuvat 15 ja 16)



Kuva 15. Investoinnit uusiutuvaan energiaan sähköntuotannossa Kansalliset tavoitteet-skenaariossa (Pöyry 2016b, 54)



Kuva 16. Investoinnit uusiutuvaan energiaan kaukolämmöntuotannossa Kansalliset tavoitteet-skenaariossa (Pöyry 2016b, 55)

Kuvista 14 sekä 15 nähdään toteutuvien uusiutuvan energian investointien painottuvan 2020-luvun alkupuolelle. Bioenergian osalta sähköntuotantoinvestoinnit ovat korvausinvestointeja yhteistuotantolaitoksiin, joilla laitokset muutetaan monipolttoainelaitoksiksi, joissa vähennetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja biopolttoaineet ovat ensisijaisia polttoaineita.

Lämmöntuotantoinvestoinnit tulevat olemaan kaukolämpöinvestointeja, joilla korvataan vanhentuvaa kaukolämpökapasiteettia. 2020-luvun jälkimmäisellä puoliskolla

investoinnit painottuvat yhteistuotantoon, koska sähkön hinnan odotetaan nousevan päästöoikeuden hinnan kasvaessa, parantaen yhteistuotannon kilpailukykyä. Yhteistuotannon kannattavuuteen liittyy kuitenkin epävarmuutta, minkä vuoksi investoinnit saattavat kohdistua yhteistuotannon sijasta puupohjaiseen erillistuotantoon riippuen sähkön hintakehityksestä. (Pöyry 2016b, 53)

CCS-teknologiaan tullaan mahdollisesti investoimaan vuoteen 2030 mennessä joissakin seospolttolaitoksissa, mutta sen laajamittaista kaupallistumista estävät taloudelliset haasteet. Talteenottoteknologian korkea hinta rajoittaa käyttöönoton mahdollisuuksia ja taloudellisen kannustimen puute biomassaa polttavissa laitoksissa ei ohjaa investoimaan CCS-teknologiaan. Tästä syystä päästövähennykset tulevat lähitulevaisuudessa tapahtumaan pääasiassa polttoainevaihdoksen myötä.

5.3 Kotimaisia haasteita

Energia- ja ilmastopoliittisten tavoitteiden toteutumisella on useita haasteita. Useat tekijät voivat vaikeuttaa energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamista. Energiainvestoinnit ovat rahallisesti erittäin arvokkaita ja niiden pitoaika on monta kymmentä vuotta, minkä vuoksi ne kantavat suuret riskit. Satojen miljoonien investointien kannattavuus riippuu voimakkaasti polttoaineiden vaihtelevasta kilpailukyvästä.

Poliittiset päätökset luovat riskitekijöitä biopolttoaineiden kilpailukykyyn. Muutokset polttoaineiden vero- ja tukitasoihin voivat heikentää biopolttoaineiden kilpailukykyä energiantuotannossa, minkä seurauksena bioenergiainvestointien toteutuminen voi olla haasteellista. Jatkuva polttoaineiden kilpailukykyyn muutostila vaikeuttaa energiantuotannon polttoainekäytön vaihdosta.

Päästöoikeuden hintakehitykseen liittyvä epävarmuus vaikeuttaa polttoaineiden kilpailukykyyn arvioimista ja päästökaupan ohjaavaa vaikutusta. Lisäksi poliittisen päätöksenteon päällekkäisyydellä päästökauppaan kanssa voi olla negatiivisia vaikutuksia tuotannon kilpailukykyyn ja kannattavuuteen. Päästökaupan tarkoituksena on saada päästöt vähentymään sieltä, missä se on kustannustehokkainta ja päällekkäisyys poliittisen päätöksenteon kanssa voi häiritä tätä mekanismia.

Investoinnit bioenergian tuotantoon vaikuttavat biopolttoaineiden saatavuuteen. Biomassojen kysyntä on nykyisin tarjontaa suurempi, minkä takia biomassaa polttavien

laitosten polttoainehuollon merkitys kasvaa. Metsähakkeen saatavuuteen vaikuttaa myös yksityisten metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuus. Epävarmuus biomassojen saatavuudesta lisää varastointitarvetta ja voi lisätä tuontia ulkomailta, mikä heikentää energiaomavaraisuusastetta. Bioenergian ja biopohjaisten jalosteiden tuotannon lisääminen vaatii kasvavia määriä biomassaa, jota kuitenkin uusiutuu rajallinen määrä vuosittain. Tämän takia esimerkiksi hakkuiden määrä tulee pitää kestäväällä tasolla, jotta metsähaketta pystytään korjaamaan riittäviä määriä vuosittain. Bioenergian lisäämisestä seuraavalla hakkuumäärien kasvattamisella on myös vaikutuksia metsien nettonieluun ja sitä kautta kokonaishiilidioksidipäästöihin.

Biomassojen energiakäytöllä ja metsäteollisuuden kehityksellä on merkittävä vaikutus toisiinsa. Metsäteollisuuden positiivinen kehitys on mahdollistanut riittävät raaka-aineiden sivutuotevirrat energiantuotantoon. Mikäli sellun ja kartongin kysyntä laskisi lähivuosina, metsäteollisuuden sivutuotteiden syntyminenkin vähenisi pienentyvien hakkuumäärien ohella. Tällöin metsähakkeen sekä muiden sivutuotteiden ja jäteliemien energiakäyttö laskisi.

6 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tarkastella Suomessa toteutuvia bioenergiainvestointeja vuoteen 2030. Biotalous kasvaa energia- ja ilmastopoliittisten päätösten seurauksena ja olemme vaiheittain siirtymässä pois fossiilitaloudesta. Metsien tarjoamien luonnonvarojen kautta tullaan kasvattamaan biotaloutta energiantuotannossa sekä raaka-ainejalostuksessa.

Suomi pyrkii vastaamaan EU:n ilmastotavoitteisiin energiantuotannossa korvaamalla fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa bioenergialla. Metsäteollisuuden positiivinen kehitys edesauttaa metsien käyttöasteen kasvamista sekä bioenergian käytön lisäämistä eri toimialoilla. Uudet sekä korvaavat investoinnit monipolttoainelaitoksiin, raaka-aineiden sivuvirtojen hyödyntämisen lisääminen, uudet sellutehtaat sekä metsäteollisuuden alkutuotannon ja jalostustoiminnan integroituminen tulevat ratkaisemaan kansallisen energia- ja ilmastostrategian asettamia tavoitteita biotaloudelle.

Puuperäisten polttoaineiden energiakäyttö kasvaa samalla, kun kivihielestä luovutaan. Investoinnit bioenergiaan vuoteen 2030 mennessä tulevat kasvattamaan puupolttoaineiden energiakäyttöä. Polttoperäisessä energiantuotannossa siirrytään fossiilisista polttoaineista, biopolttoaineiden sekä turpeen seospolttoon. Biopolttoaineiden käyttö kasvaa myös liikenteessä jakeluvelvoitteen sekä kasvaneen jalostusteollisuuden myötä.

Päästöoikeuden lähiaikoina kasvaneen hinnan odotetaan parantavan bioperäisten polttoaineiden, erityisesti metsähakkeen, kannattavuutta yhteistuotannossa ja sen kautta edesauttaa energia- ja ilmastostrategian tavoitteita. Sähkön hintakehityksen epävarmuuden seurauksena investoinnit voivat kuitenkin kohdistua lämmön erillistuotantoon yhteistuotannon riittämättömän kilpailukyvyn takia.

LÄHDELUETTELO

Bioenergia ry, 2018a. Bioenergiatietoa [verkkajulkaisu]. [Viitattu 24.10.2018]. Saatavissa: <http://www.bioenergia.fi/Bioenergiatietoa>

Bioenergia ry, 2018b. BERY: Omaa energiaa. Kotimaisten polttoaineiden toimintaympäristö ja käyttöarviot 2030 saakka ”Omaa energiaa” [verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.1.2019]. Saatavissa: <https://www.epressi.com/media/userfiles/131763/1543302745/bery-omaa-energiaa-raportti-julkinen-final.pdf>

Business insider, 2018. CO2 European emission allowances [verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.11.2018]. Saatavissa: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>

Energiavirasto 2018. Uusiutuvan energian tuotantotuki [verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.11.2018] Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/tuotantotuki>

Eurostat, (2018a). Energy balance sheets [verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.10.2018] Saatavissa: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9172750/KS-EN-18-001-EN-N.pdf/474c2308-002a-40cd-87b6-9364209bf936>

Eurostat, (2018b) Energy from biomass [verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.10.2018]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environmental-data-centre-on-natural-resources/natural-resources/energy-resources/energy-from-biomass>

Eurostat, (2018c). Energy production and imports [verkkajulkaisu]. [Viitattu 25.10.2018]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports

European commission 2018. European commission, EU emissions trading system [verkkajulkaisu]. [Viitattu 12.11.2018]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

Helen, 2018. Helsingin ensimmäinen biovoimalaitos vihittiin käyttöön [verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.11.2018]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2018/helsingin-ensimm%C3%A4inen-biol%C3%A4mp%C3%B6laitos-vihki%C3%A4iset/>

IPCC, 2018. Chapter 2. Global Warming of 1.5 °C [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.3.2019]. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf

Luonnonvarakeskus, 2017a. Puupolttoaineiden kulutus 2017 [verkkojulkaisu]. Viitattu [4.1.2019]. Saatavissa: https://stat.luke.fi/sites/default/files/puunenergia_2017.pdf

Luonnonvarakeskus, 2017b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus tilastotietokanta: Metsähakkeen kokonaiskäyttö käyttökohteittain [verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.11.2018]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_10%20Puun%20energiakaytto/02_Metsahakkeen_kok_kaytto.px/?rxid=7aa9bed8-e454-4250-8896-979b1de161e1

Luonnonvarakeskus, 2017c. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus tilastotietokanta: Puupelletit (1000t) [verkkojulkaisu]. [Viitattu 11.11.2018]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_12%20Puupelletit/01_Puupelletit.px/?rxid=1e89cd46-e0d0-409c-a2bd-96a74f16fb8b

Luonnonvarakeskus 2017d. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus tilastotietokanta: Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö maakunnittain [verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.11.2018]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_10%20Puun%20energiakaytto/01a_Laitos_ekaytto_maak.px/?rxid=7aa9bed8-e454-4250-8896-979b1de161e1

Luonnonvarakeskus, 2017e. Suomen virallinen tilasto (SVT): Luonnonvarakeskus tilastotietokanta: Biotalous tuotos, arvonlisäys ja investoinnit [verkkojulkaisu]. [Viitattu 6.1.2019]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_10%20Muut_02%20Biotalous_10%20tuotos/01_Biotalous.px/?rxid=7aa9bed8-e454-4250-8896-979b1de161e1

Metsä Fibre, 2018. Äänekosken biotuotetehdas [verkkajulkaisu]. [Viitattu 27.12.2018]. Saatavissa: <https://www.metsafibre.com/fi/yhtio/Biotuotetehdas/Pages/default.aspx>

Metsäteollisuus, 2018. Sellun tuotanto Suomessa [verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.12.2018]. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/massa-ja-paperiteollisuus/>

Oulun Energia, 2018. Laanilan biovoimalaitoshanke [verkkajulkaisu]. [Viitattu 29.11.2018]. Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/laanilan-biovoimalaitoshanke>

Pöyry, 2016a. Suomen metsäteollisuus 2015-2035 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 8.11.2018]. Saatavissa:

https://tem.fi/documents/1410877/2772829/P%C3%B6yry_Suomen+mets%C3%A4teollisuus+2015-2035.pdf/ac9395f8-8aea-4180-9642-c917e8c23ab2

Pöyry, 2016b. EU:n 2030 ilmasto- ja energiapolitiikan linjausten toteutusvaihtoehdot ja Suomen omien energia- ja ilmastotavoitteiden toteutuminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.2.2019]. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2772829/EUn+2030+ilmasto-+ja+energiapolitiikan+linjausten+toteutusvaihtoehdot+ja+Suomen+omien+energia-+ja+ilmastotavoitteiden+toteutuminen.pdf/12eba82a-c044-47df-9325-e5d6c39ff1e9>

Teir et al. 2011. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS:n) soveltaminen Suomen olosuhteissa. [Viitattu 21.12.2018]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2576.pdf>

TEM, 2017. Työ- ja elinkeinoministeriö: Taustaraportti kansalliselle energia- ja ilmastostrategialle vuoteen 2030 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 5.11.2018]. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/3570111/Energia-+ja+ilmastostrategian+TAUSTARAPORTTI_1.2.+2017.pdf/d745fe78-02ad-49ab-8fb7-7251107981f7/Energia-+ja+ilmastostrategian+TAUSTARAPORTTI_1.2.+2017.pdf.pdf

TEM, 2018. Työ- ja elinkeinoministeriö: Energiatuki [verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.11.2018] Saatavissa: <https://tem.fi/energiatuki>

Tilastokeskus, 2017a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkojulkaisu].
ISSN=1798-5072. 2017. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 4.11.2018].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/salatuo/2017/salatuo_2017_2018-11-01_tie_001.fi.html

Tilastokeskus, 2017b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu].
ISSN=1799-795X. 4. Vuosineljännes 2017. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 9.11.2018].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2017/04/ehk_2017_04_2018-03-28_tie_001.fi.html

Tilastokeskus, 2018a. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu].
ISSN=1799-7984. 2. Vuosineljännes 2018, Liitekuvio 3. Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 15.11.2018].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/02/ehi_2018_02_2018-09-12_kuv_003.fi.html

Tilastokeskus 2018b. Tilasto: Energian hinnat [verkkojulkaisu].
ISSN=1799-7984. 2. Vuosineljännes 2018, Liitekuvio 4. Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 15.11.2018].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/02/ehi_2018_02_2018-09-12_kuv_004.fi.html

Tilastokeskus, 2018c. Suomen virallinen tilasto (SVT): Tilastokeskus: Energian kokonaiskulutus energianlähteittäin ja CO₂-päästöt [verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.11.2018].
Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ene_ehk_pxt_001_fi.px/?rxid=37659cd5-6284-41d1-9f25-0d334c24c956