

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LUT School of Energy Systems

Bioenergian laboratorio

LUT Scientific and Expertise Publications

Tutkimusraportit – Research Reports

69

Jarno Föhr, Raghu KC, Ville Järvelä, Tapio Ranta,
Juha-Pekka Lemponen & Hanne Soininen

**Hajautettu energiantuotanto biohiili-
pelleteillä**

LUT
Lappeenranta
University of Technology

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Bioenergian laboratorio

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan laitos

LUT Scientific and Expertise Publications
Tutkimusraportit – Research Reports, 69



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Jarno Föhr, Raghu KC, Ville Järvelä, Tapio Ranta, Juha-Pekka Lemponen & Hanne Soininen

Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä



ISBN 978-952-335-131-8
ISBN 978-952-335-132-5 (PDF)
ISSN-L 2243-3376
ISSN 2243-3376
Kuva: Manu Eloaho 2016

Lappeenranta 2017

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

ALKUSANAT

Tämä julkaisu on Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) tuottama loppuraportti tutkimushankkeelle: “Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä”. Tutkimushankkeessa tarkasteltiin uuden vaihtoehtoisen polttoaineen, biohiilipelletin mahdollisuuksia pienemmän kokoluokan energiantuotannon polttoaineena. Kyseessä on täysin uusi polttoaine, jota ei ole vielä kovinkaan paljon tutkittu.

Tutkimushanke oli Lappeenrannan teknillisen yliopiston Bioenergian laboratorion tutkimusryhmän hallinnoima ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) osatoteuttama yhteishanke. Hankkeen LUT-osioiden vastuullisena johtajana toimi prof. Tapio Ranta ja projektipäällikkönä DI Jarno Föhr. Hankkeen toteutukseen ovat osallistuneet LUTin nuorempi tutkija DI Raghu KC ja kandidaatintyöpanoksellaan LUTin opiskelija Ville Järvelä. Hankkeen osatoteuttajana oli Xamkin energia- ja ympäristötekniikan laitos, joka toteutti pääasialliset analysointitutkimukset ja polttokokeet hankkeelle. Xamkilta hanketutkimusta toteuttivat projektipäällikkö DI Juha-Pekka Lemponen ja tutkimuspäällikkö DI Hanne Soininen.

Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja Suur-Savon Energiasäätiö. Hankkeen toteutusaika oli 1.1.2016–30.9.2017. Tutkimustyön toteuttajat kiittävät hankkeen rahoittajia työn mahdollistamisesta ja mukana olleita ohjausryhmän jäseniä arvokkaasta työpanoksestaan ja yhteistyöstään hankkeen tutkimus- ja kehitystyötä kohtaan.

Mikkelissä, syyskuu 2017

Tekijät

TIIVISTELMÄ

Tekijät: Jarno Föhr, Raghu KC, Ville Järvelä, Tapio Ranta, Juha-Pekka Lemponen & Hanne Soininen	
Otsikko: Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä	
Vuosi: 2017	Paikka: Lappeenranta
LUT Scientific and Expertise Publications Raportit ja selvitykset – Reports, 66 sivua, 36 kuvaa, 1 taulukko	
Hakusanat: <i>Biohiili, torrefiointi, energia, polttaminen, biomassa</i>	
<p>Tämä raportti käsittelee ”Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä” -hankkeen tuloksia. Hankkeen tavoitteena oli tutkia biohiilipelletin energiakäytön mahdollisuuksia pienessä kokoluokassa lämmön ja sähköntuotannossa. Biohiilipelletti on uusi polttoaine pienkäytön kokoluokassa ja se on saanut osakseen paljon huomiota.</p> <p>Biohiilipellettien polttoa pienessä kokoluokassa kokeiltiin laboratoriolaitteistolla sekä demonstraatioin käytännön kohteissa. Kokeiden avulla voitiin arvioida biohiilipellettien soveltuvuus nykyisiin öljy- ja pellettikäyttöisiin laitoksiin. Laboratoriomittauksin selvitettiin poltosta aiheutuvia päästöjä ja verrataan sitä tavanomaiseen pellettiin. Hanke sisälsi myös markkinapotentiaalin arvioinnin ja logistiikkajärjestelmän alustavan suunnittelun pelletin jakeluun.</p> <p>Hankkeen pyrkimyksenä oli tunnistaa pelletin tuotannon ja käytön arvoketjuun liittyvä liiketoimintamahdollisuuksia, sekä edistää tulevaisuuden kehitystä joka vähentää energiantuotannon päästöjä ja lisää energiaomavaraisuutta maakunnassa.</p>	

ABSTRACT

Authors: Jarno Föhr, Raghu KC, Ville Järvelä, Tapio Ranta, Juha-Pekka Lemponen & Hanne Soininen

Title: Decentralized energy production by bio-coal pellets

Year: 2017

Place: Lappeenranta

LUT Scientific and Expertise Publications

Raportit ja selvitykset – Reports,

66 pages, 36 figures, 1 table

Keywords: *Bio-coal, torrefaction, energy, combustion, biomass*

This report presents the results of the project called the Decentralised Energy Production by Bio-coal Pellets. The aim of the study was to evaluate the possibilities of small scale energy use of bio-coal pellets in the heat and power production. Bio-coal pellet is a new fuel for the small scale energy production and it has been getting a lot of attention.

The combustion of bio-coal pellets was executed by laboratory facilities and practical experiments to evaluate their suitability to the existing oil and pellet plants. The combustion emissions were analyzed at laboratory facilities and compared to the normal white pellets. The examination of market potential and the tentative bio-coal pellet delivery logistics was also included in the study.

The ultimate ambition was to identify the business possibilities in the whole value chain of bio-coal pellets and promote the future development where the emissions of energy production decrease and the self-sufficiency of energy production increase in the region of South Savo.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Hankkeen taustaa	1
1.2	Hankkeen tavoitteet ja toteutus	2
1.3	Raportin rakenne	3
2	BIOHIILIPELLETIN MARKKINAPOTENTIAALI ETELÄ-SAVON ALUEELLA	4
2.1	Johdanto	4
2.1.1	Biohiilipelletin potentiaaliset käyttäjät Suomessa	4
2.1.2	Etelä-Savon energiatase	9
2.2	Kyselytutkimus Etelä-Savon lämmön- ja sähköntuottajille.....	10
2.2.1	Kyselytutkimuksen rajaus ja toteutus	10
2.2.2	Kyselylomake	11
2.2.3	Kyselytutkimuksen tulokset ja johtopäätökset	11
2.3	Johtopäätökset.....	15
3	ALUEEN OMAN NUOREN KOIVUPUUN TUOTTAMA LISÄARVO ETELÄ-SAVON MAAKUNNALLE	17
3.1	Johdanto	17
3.1.1	Tutkimuksen tausta.....	17
3.1.2	Tutkimuksen tarkoitus ja skenaariot	18
3.2	Materiaalit ja menetelmät	19
3.2.1	Materiaalit.....	19
3.2.2	Menetelmät	19
3.3	Tulokset.....	22
3.3.1	Nuoren koivupuun tarjonta Etelä-Savossa.....	22
3.3.2	Raaka-aineen ja toimitusketjun kustannukset Etelä-Savolle	23
3.3.3	Laitoksien tuotot Etelä-Savolle.....	24
3.3.4	Suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savolle	26
3.4	Johtopäätökset.....	27
4	ENERGIANTUOTANTO BIOHIILIPELLETEILLÄ PIENEMMÄN KOKOLUOKAN KATTILOISSA	29
4.1	Johdanto	29
4.1.1	Tutkimuksen taustaa	29
4.1.2	Energiantuotannon markkinat.....	30
4.1.3	Tutkimuksen tarkoitus	31
4.2	Materiaalit ja menetelmät	31
4.2.1	Materiaalit.....	31
4.2.2	Menetelmät	32
4.3	Tulokset.....	34
4.3.1	Polttokokeet 20 kW:n kattilalla	34
4.3.2	Polttokokeet 120 kW:n kattilalla	35

4.4	Tuloksien analysointi ja johtopäätökset	36
5	BIOHIILIPELLETIN ELINKAARIARVIOINTI	38
5.1	Johdanto.....	38
5.2	Materiaalit ja menetelmät.....	40
5.3	Tulokset.....	42
5.3.1	Polttokokeen hiilidioksidipäästöt.....	42
5.3.2	Hiilijalanjälki	43
5.4	Tulosten analysointi ja johtopäätökset	45
6	LOGISTIIKAN VAIKUTUS BIOHIILIPELLETTIEN TUOTANTOKUSTANNUKSIIN JA TUOTANTOLAITOKSEN INVESTOINNIN KANNATTAVUUS.....	46
6.1	Johdanto.....	46
6.2	Materiaalit ja menetelmät.....	48
6.2.1	Biohiilipellettitehdas	48
6.2.2	Logistikka.....	49
6.2.3	Nettonykyarvo (NPV) ja sisäinen korko (IRR).....	50
6.3	Tulokset.....	51
6.3.1	Tuotantokustannukset	51
6.3.2	NPV ja IRR	52
6.4	Tulosten analysointi ja johtopäätökset	56
6.4.1	Tuotantokustannukset	56
6.4.2	NPV ja IRR	57
7	LOPPUPÄÄTELMÄT.....	59

LÄHTEET 63

1 JOHDANTO

1.1 Hankkeen taustaa

Tässä tutkimuksessa biohiilipelletillä tarkoitetaan erilaisista biomassoista torrefiointimenetelmällä valmistettua ja tuoteominaisuuksiltaan lähes kivihiilimäistä polttoainetta. Torrefioinnissa biomassa paahdetaan korkeassa lämpötilassa, noin 200–300 °C, ja hapettomissa olosuhteissa, jolloin biomassan energiatiheys kasvaa. Saatu aines puristetaan pelleteiksi, jolloin polttoaineen käsittely helpottuu ja lopputuotteen kuljettamisesta tulee kannattavampaa. (Föhr et al. 2015)

Biohiilipelletti on uusi polttoaine pienkäytön kokoluokassa eikä pitkäaikaisia käyttökokemuksia ole saatavilla. Tähän mennessä biohiilipelletin ensisijaisena markkinana on pidetty kivihiilivoimalaitoksia, jossa biohiilipelletti seostettaisiin tavanomaista pellettiä suuremmalla seossuhteella suoraan kivihiilen syöttöjärjestelmän kautta polttoprosessiin. Kivihiilen ja päästöoikeuksien alhaisen markkinahinnan sekä tukijärjestelmien puutteen vuoksi markkinaa ei ole syntynyt Suomeen.

Energiantuotannon pienemmässä kokoluokassa vertailupolttoaine on usein fossiiliset öljy ja kaasua tai puupolttoaine, jolloin polttoaineesta maksukyky on huomattavasti parempi kuin kivihiililaitoksilla. Kivihiililaitokset sijaitsevat käytännössä rannikolla jolloin polttoaineen kuljetusmatkat tulevat pitkiksi Etelä-Savon kaltaisilta tuotantopaikkakunnilta. Samoin tuotantomäärien tulee olla suuria (satoja tuhansia tonneja pellettiä), jotta biohiilipelletin toimittaja olisi uskottava vaihtoehto energialaitoksen polttoainehuollon kannalta. Palveltaessa lähialueen omaa energiantuotantoa, kuljetusmatkat olisivat lyhyitä ja tuotantoyksiköiden koko huomattavasti pienempi (kymmeniä tuhansia tonneja pellettiä/vuosi). Paikallisesti jalostetut biohiilipelletit parantaisivat myös nykyisten laitosten toimintavarmuutta ja loisivat alueelle liiketoimintamahdollisuuksia tuontiöljyn sijaan.

Etelä-Savossa sijaitsee teollisuusyrityksiä, joille biohiilipellettien paikallinen tuotanto ja käyttö voisivat luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Mahdollisuudet voisivat liittyä mm. biohiilen tuotantoteknologian valmistukseen, pellettikattilavalmistukseen, polton päästöjen hallintaan sekä logistiikkapalvelujen tuottamiseen. Paikalliset energiayhtiöt voisivat korvata öljyä biohiilipelletillä omassa energiantuotannossa ja vähentää energiantuotannosta aiheutuvia päästöjä.

Tutkimushanke toteutettiin yhteishankkeena Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) bioenergian laboratorion tutkimusryhmän ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) toimesta. Etelä-Savossa on eri toimijoiden taholta selvitelty biohiilitehdasinvestoinnin edellytyksiä ja tehty koeajoja eri puuraaka-aineista Torrec Oy:n pilottilaitoksella. LUTilla ja Xamkilla oli varastoituna huomattava määrä erilaisista puuraaka-aineista tehtyä torrefioitua puupellettiä aiemman tutkimushankkeen ansiosta, joista oli tehty kattavat laatuanalyysit. Nämä tuote-erät olivat käytettävissä tämän tutkimushankkeen tarpeisiin.

1.2 Hankkeen tavoitteet ja toteutus

Tutkimushankkeen tavoitteena oli saada tietoa, kuinka biohiilipelletti soveltuisi energiatuotantoon pienkäyttökohteissa ja kuinka se eroaisi päästöjen osalta tavanomaisesta pelletistä. Hankkeessa suoritettiin polttokokeita biohiilipelleteillä ja tavanomaisella pelletillä kahden eri kokoluokan polttokattiloilla laboratorioolosuhteissa. Hankkeessa selvitettiin myös potentiaalista pellettimarkkinaa biohiilipelletille Etelä-Savon alueella ja sen kehittymismahdollisuuksia tulevaisuudessa. Lisäksi määritettiin tuotantokapasiteetin tarvetta jalostetulle torrefioidulle pelletille, jolloin selvitettiin sen parhaan raaka-aineen, koivun määrä Etelä-Savossa. Koivumäärän perusteella pystyttiin laskemaan lisäarvo Etelä-Savon maakunnalle, jos sitä jatkojalostettaisiin paikallisesti maakunnassa omaan tarpeeseen tai vientiin naapurimaakunnille.

Hankkeessa selvitettiin myös biohiilipellettien toimittamiseen ja käyttöön soveltuvaa logistiikkajärjestelmää eri asiakassegmenteissä ja arvioitiin logistiikkaan liittyviä

kustannuksia. Tarkastelu piti sisällään kuljetus- ja varastointijärjestelyt arvioitaessa mitä vaikutuksia biohiilipelletin kaltaisella polttoaineella on verrattuna olemassa oleviin järjestelyihin. Lisäksi biohiilipelletin tuottamisen ja käytön elinkaaren aikaisista kasvihuonepäästöistä tehtiin vertailu sekä tavanomaiseen pellettiin että kivihiileen. LCA-analyysin tuottamiseen käytettiin avuksi Gabi-ohjelmistoa. Lopuksi hankkeessa selvitettiin Etelä-Savon maakuntaan mahdollisesti perustettavan jatkojalostuslaitoksen investoinnin kannattavuutta, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 t/vuosi. Lisäksi tarkasteltiin vaneritehtailta syntyvän potentiaalisen sivuvirran hyötykäyttöä jalostuslaitoksen raaka-aineena.

1.3 Raportin rakenne

Tämä tutkimusraportti on “Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä” –hankkeen loppujulkaisu LUTin osatehtävien osalta. Xamkille kuuluvien osatehtävien tarkempi raportointi löytyy heidän omasta vuoden 2016 vuosijulkaisusta: Metsä, ympäristö ja energia – soveltavaa tutkimusta ja tuotekehitystä (Soininen et al.). Kyseisessä vuosijulkaisussa on raportoitu torrefioitujen biohiilipellettien pien- ja demonstraatiopolttokokeet sekä pellettien työterveysvaikutukset.

Tässä raportissa biohiilipelletin tutkimusteemoja käsiteltiin omina artikkeleinaan tutkimussuunnitelman mukaisesti ja ne muodostivat yhdessä kattavan analyysin biohiilipelletin mahdollisuuksista hajautetun energiantuotannon polttoaineena. Raportin rakenne koostui viidestä erillisestä artikkelista, joiden kirjoittajina olivat hankkeessa työskennelleet tutkijat. Hankkeessa tuotettiin myös yksi kandidaatintyö LUTin opiskelijan Ville Järvelän toimesta ja hänen työstään oli koottu keskeisimmät tulokset ensimmäiseen artikkeliin *Biohiilipelletin markkinapotentiaali Etelä-Savon alueella*.

2 BIOHIILIPELLETIN MARKKINAPOTENTIAALI ETELÄ-SAVON ALUEELLA

Ville Järvelä, Jarno Föhr & Tapio Ranta

2.1 Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää biohiilipelletin potentiaalista markkinaa Etelä-Savon alueella erityisesti pienkäyttökohteissa. Biohiilipelletin käyttöä kivihiilivoimalaitoksissa kivihiiltä korvaavana polttoaineena on tutkittu melko paljon Keski-Euroopassa ja Suomessakin. Pienten käyttökohteiden, kuten kotitalouskäytön ja pienten yhdyskuntien lämmöntuotannon osalta asiaa on kuitenkin tutkittu melko vähän. Tästä syystä tutkimuksessa keskityttiin kotitalouksien pienkäytön ja yhdyskuntien lämmöntuotannon, erityisesti huippu- ja varalämmöntuotannon, luomaan markkinapotentiaaliin. Potentiaalista markkinapotentiaalia kartoitettiin myös hiljattain julkaistun Etelä-Savon energiataseen tiimoilta.

Tutkimuksessa suoritettiin kyselytutkimus Etelä-Savon alueen sähkön- ja lämmöntuottajille. Kyselytutkimus tehtiin osana Ville Järvelän kandidaatintyötä, joka toteutettiin tutkimushankkeessa. Kysely tehtiin sähköisesti Webropol 2.0 -kyselysovelluksen avulla ja lähetettiin sähköpostitse niille yrityksille, joilla oli omaa energiantuotantoa. Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää alueen yritysten biohiilipelletin käyttöaikomuksia ja maksukykyä, sekä asenteita biohiilipellettiä kohtaan.

2.1.1 Biohiilipelletin potentiaaliset käyttäjät Suomessa

Suomessa biohiilipellettiä ei käytetä tällä hetkellä lainkaan, lukuun ottamatta kokeiluluonteista toimintaa. Esimerkiksi Keski-Euroopassa muutamat kivihiilivoimalat ovat korvanneet kivihiiltä biohiilipelletillä. Suomessakin kivihiilivoimalaitokset voisivat olla potentiaalinen käyttäjäryhmä tuotteelle. Kivihiilen tämänhetkinen edullinen hinta kuitenkin jarruttaa biomassojen käytön

lisäämistä. Lisäksi sähköntuotantoon käytetyt polttoaineet ovat verottomia, jolloin kivihiilen edullinen hinta korostuu entisestään.

Lämmöntuotannossa biohiilipelletin käyttö voisi olla taloudellisestikin järkevää, koska lämmöntuotannon polttoaineet ovat verollisia. Esimerkiksi Espoossa Fortum oli muuttanut öljyä polttaneen huippulämmöntuotantolaitoksen pellettiä polttavaksi (Fortum Oyj 2016). Tällöin öljykattila voitaisiin muuttaa pellettikattilaksi, ja tällöin myös biohiilipellettiä voitaisiin polttaa, sillä tavalliset vaaleat pelletit ovat teknisesti melko samankaltaisia biohiilipelletin kanssa.

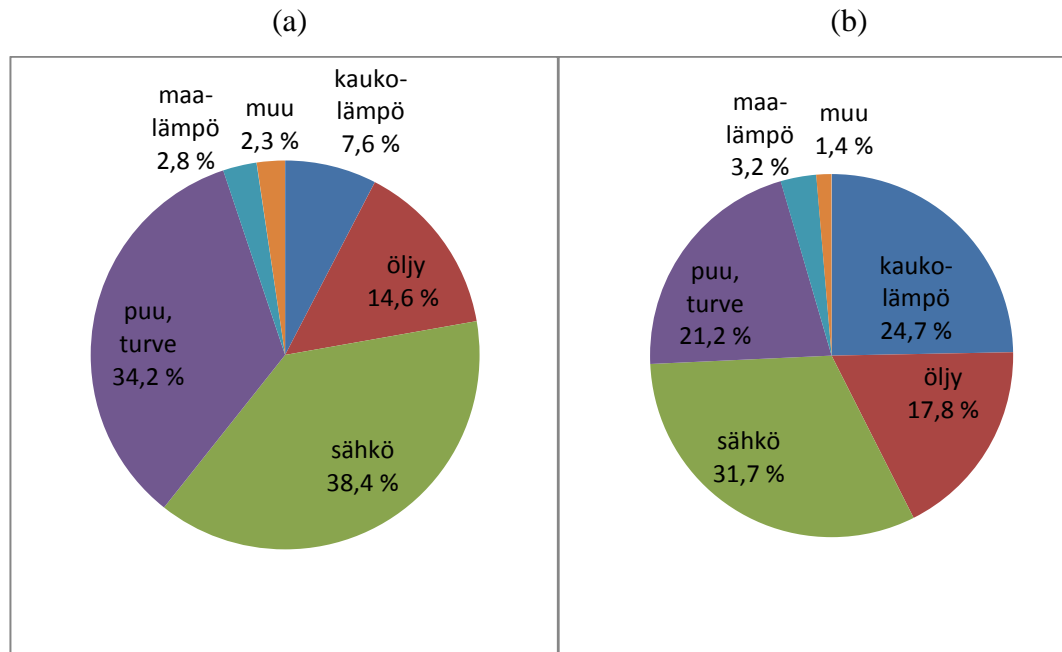
Oletettavasti biohiilipellettiä voi käyttää aivan samoissa kohteissa kuin vaaleata puupellettiäkin. Tällöin myös pienkäyttäjät eli kotitaloudet ja maatilat voisivat olla mahdollisia käyttäjäryhmiä. Esimerkiksi öljykattilan öljypolttimen vaihtaminen biohiilipellettiä polttavaksi tai pienpoltto takassa voisivat olla taloudellisesti kannattavia ratkaisuja.

Pienkäyttö

Biohiilipelletin käyttö asuinrakennusten ja maatilojen lämmityspolttoaineena voi olla varteenotettava ratkaisu uudisrakennus- ja saneerauskohteissa. Esimerkiksi vaalean pelletin kotitalouskäyttö oli 58 000 tonnia vuonna 2014, ja pellettilämmitys onkin 27 000 kiinteistön lämmitysjärjestelmänä. Saneerauskohteissa pellettilämmitys valitaan vuosittain muutamaan sataan kiinteistöön. Uudisrakennuskohteissa pellettilämmitys valitaan kohtalaisen harvoin. Esimerkiksi talotehtaat eivät ole pellettilämmityksestä kovinkaan kiinnostuneita. (Energiautiset 2015)

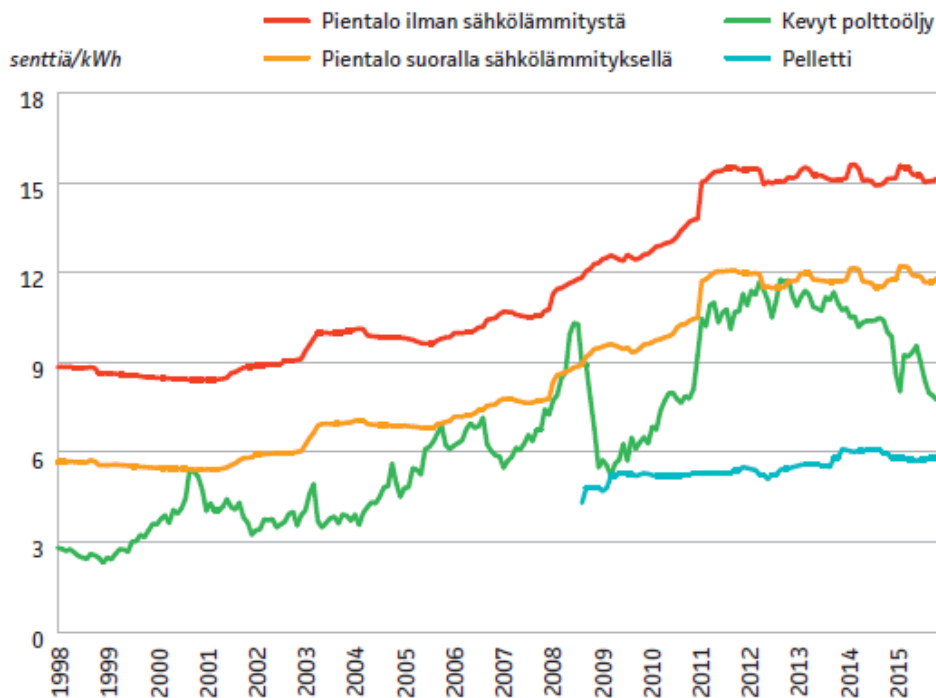
Kuvassa 1 on esitetty asuinrakennusten lämmitysmuotojen jakauma Etelä-Savossa. Noin puolet rakennuksista lämmitetään öljyllä ja sähköllä. Kerrosalan mukaan jaoteltuna osuus on jotakuinkin sama. Kaukolämmöllä kerrosalasta lämmitetään noin neljännes, puulla tai turpeella viidennes, maalämmöllä kolme prosenttia ja muilla ratkaisuilla noin prosentti. Lämmitystapajakauma poikkeaa valtakunnallisesta osuudesta, jossa kaukolämmön osuus on noin puolet. Toisaalta, valtakunnallisessa jakaumassa korostuu erityisesti suuret kaupungit. Kuvasta 1 voidaan päätellä, että

kaukolämpö on erityisesti suurten kohteiden, kuten kerrostalojen lämmitysratkaisu, kun taas puulla lämmitetään pienempiä kohteita, esimerkiksi pieniä omakotitaloja. Öljy- ja sähkölämmitystä käytetään tyypillisesti keskikokoisissa kohteissa, kuten omakotitaloissa ja rivitaloissa.



Kuva 1 Asuinrakennusten lämmitysmuodot Etelä-Savossa: (a) Lämmitystapojen jakauma rakennusten lukumäärän mukaan. (b) Lämmitystapojen jakauma rakennusten kerrosalan mukaan. (Tilastokeskus 2016B)

Erityisesti öljy- ja sähkölämmitteiset kohteet voivat olla tulevaisuudessa potentiaalisia pelletinkäyttäjiä. Öljy, ja erityisesti sähkö, ovat pellettiä huomattavastikin kalliimpia, kuten kuvasta 2 nähdään. Näin ollen pellettiin perustuva lämmitysratkaisu voi olla kilpailukykyinen varsinkin kohteissa, joissa lämmönjakojärjestelmä on vesikiertoinen. Tällöin lämpimän käyttöveden aikaansaamisen lisäksi asunnon lämmitys voitaisiin hoitaa kokonaan pelletin avulla, eikä sähkö- tai öljylämmitysjärjestelmää tarvitsisi käyttää edes varalämmitysjärjestelmänä.



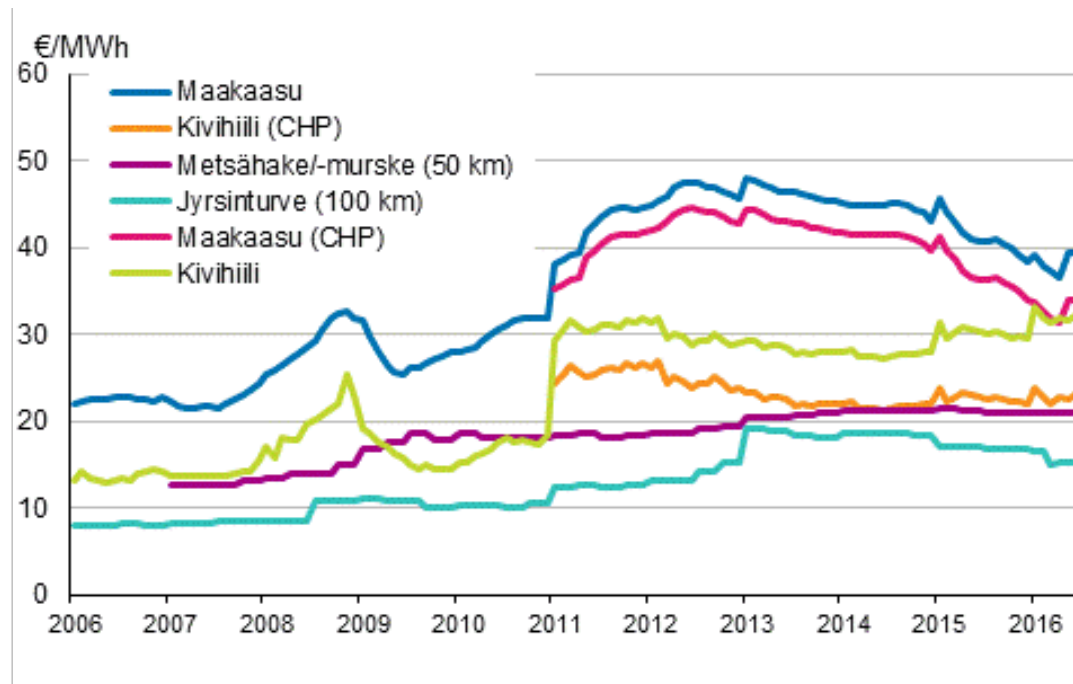
Kuva 2 Kevyen polttoöljyn, sähkön ja pelletin kuluttajahintojen kehitys (Tilastokeskus 2016A).

Kuvassa 2 on siis esitetty pelletin, sähkön ja kevyen polttoöljyn kuluttajahintojen kehitys liki 20 vuoden ajalta. Havaitaan, että sähkön ja erityisesti kevyen polttoöljyn hinnanvaihtelut ovat olleet pelletin hinnanvaihtelua suuremmat. Näin ollen pelletin eduksi voidaan lukea vakaa ja ennustettavissa oleva hintakehitys. Koko tarkastelujakson ajan pelletti on ollut myös kevyttä polttoöljyä ja sähköä edullisempi, minkä vuoksi pelletillä toimiva lämmitysjärjestelmä voisi olla kilpailukykyinen erityisesti näihin polttoaineratkaisuihin verrattuna.

Pellettilämmityksen ja erityisesti pellettitakan kannattavuutta on tutkittu Bioenergia ry:n teettämässä selvitysraportissa ”Pellettitakkojen käyttö lämmityksessä Suomessa”. Pellettitakka on sähköverkkoon kytketty ja termostaatilla ohjattu lämmityslaitteisto. Pellettitakka voi olla joko ilma- tai vesikiertoinen ja sen paino on muutama sata kilogrammaa. Teholtaan pellettitakat ovat 2–20 kW. Suomessa pellettitakkoja on käytössä pari tuhatta kappaletta ja Euroopassa kaiken kaikkiaan liki kolme miljoonaa. (Bioenergia ry 2016)

Lämmöntuotanto

Yhdyskuntien kaukolämmöntuotannossa biohiilipelletit voisivat olla huippu- ja varalämmöntuotannon polttoaine. Nykyisin huippu- ja varalämmöntuotannossa käytetään monesti kevyttä polttoöljyä tai maakaasua, jotka ovat melko kalliita polttoaineita. Tämä parantaa biohiilipellettien asemaa taloudellisessa mielessä. Kuvassa 3 on esitetty voimalaitospolttoaineiden hintakehitys lämmöntuotannossa.



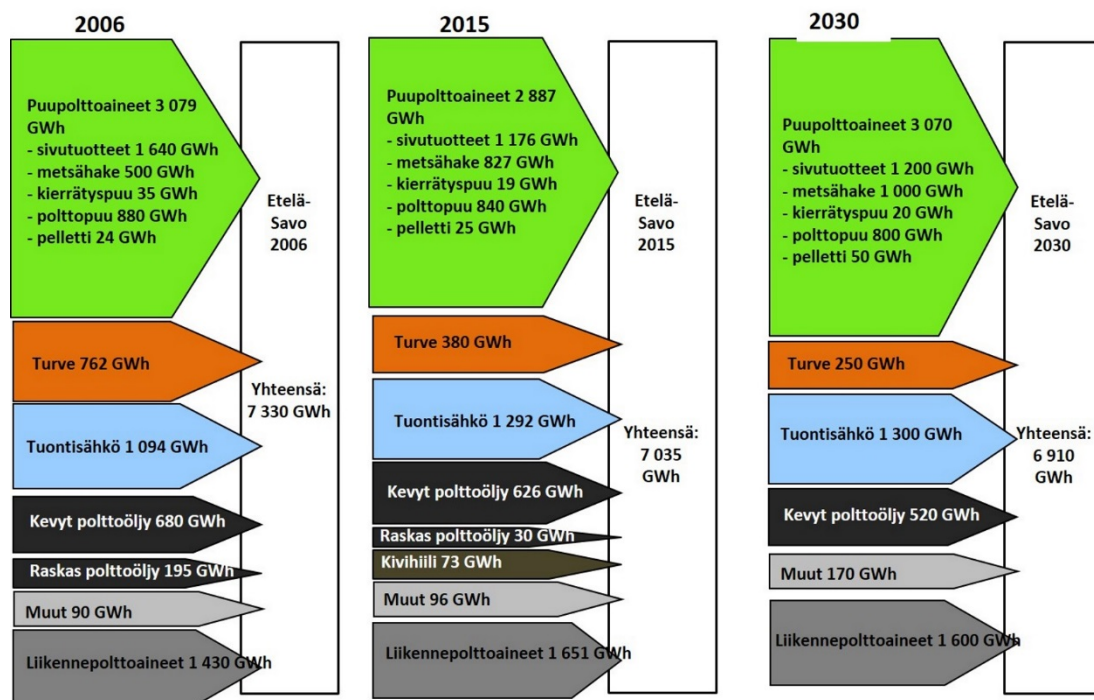
Kuva 3 Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. (Tilastokeskus 2016A)

Kuvasta 3 nähdään, että maakaasun hinta lämmöntuotannossa on noin 40 €/MWh. Kevyen polttoöljyn hintaa lämmöntuotannossa ei tilastoida, mutta lämmitysenergian kuluttajahintoja tilastoidaan sen osalta. Kevyen polttoöljyn kuluttajahinta oli 81,9 €/MWh kesäkuussa 2017. Biohiilipellettien tuotantokustannus on 32–46 €/MWh riippuen tuotantokonseptista (Föhr et al. 2015). Tietysti biohiilipelletin hinta kuluttajille on suurempi kuin tuotantokustannus, mutta huomionarvoista on, että näiden polttoaineiden osalta ollaan samassa hintaluokassa. Muut kuvassa esitetyt

polttoaineet ovat niin paljon biohiilipellettiä edullisempia, joten ilman tukisysteemejä niiden käytön korvaaminen biohiilipelletillä ei ole taloudellisesti järkevää.

2.1.2 Etelä-Savon energiatase

Hanke teki tiivistä yhteistyötä Lappeenrannan teknillisen yliopiston hallinnoiman toisen hankkeen kanssa, jossa selvitettiin Etelä-Savon energiatase vuodelle 2015 ja ennuste vuodelle 2030. Hanke oli nimeltään ”Metsätalouden aluetaloudellinen vaikuttavuus Etelä-Savossa – Tulevaisuusvisio 2020-luvulla”. Etelä-Savon energiatase oli kaikkia polttoaineita tarkasteltaessa yhteensä 7,33 TWh vuonna 2006 (kuva 4) (Karttunen et al. 2017). Kuitenkin vuonna 2015 energiatase oli yhteensä noin 7,04 TWh ja ennusteessa vuodelle 2030 kokonaismäärä on edelleen vähenevä, ollen 6,91 TWh. Energialähteet oli jaoteltu polttoaineryhmiin energiataseessa: puupolttoaineet, turve, tuontisähkö, kevyt ja raskas polttoöljy, kivihiihi, liikennepolttoaineet ja muut energialähteet.



Kuva 4 Etelä-Savon energiatase vuosina 2006 ja 2015 sekä ennuste vuodelle 2030 (Karttunen et al. 2017).

Etelä-Savon energiataaseen mukaan maakunnassa käytettiin puupohjaisia pellettejä 24 GWh vuonna 2006, 25 GWh vuonna 2015 ja 50 GWh ennusteessa vuodelle 2030. Tällöin pellettien käytön ajatellaan tuplaantuvan vuosien 2015 ja 2030 välillä. Tämä oletettu puupellettien käyttömäärän lisäys antaa mahdollisuuden myös biohiilipelletin käytön lisäykselle. Pelleteillä on ajateltu korvattavan raskaan ja kevyen polttoöljyn käyttöä maakunnassa.

2.2 Kyselytutkimus Etelä-Savon lämmön- ja sähköntuottajille

Kyselytutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eteläsavolaisten sähkön- ja lämmöntuottajien asenteita biohiilipellettiä kohtaan sekä heidän potentiaalista tarvettaan biohiilipelletille. Kyselytutkimuksen perusteella voitiin siten lopuksi arvioida sähkön- ja lämmöntuottajien kiinnostusta ja tarvetta biohiilipellettiä kohtaan Etelä-Savon alueella.

2.2.1 Kyselytutkimuksen rajaus ja toteutus

Etelä-Savon Mikkeliässä oli ollut Torrec Oy:n biohiilipellettiä tuottava pilottilaitos, jossa biohiilipelletin valmistusprosessia oli testattu ja tutkittu. Lisäksi Etelä-Savoon on ollut jo muutamia vuosia suunnitteilla teollisen mittakaavan biohiilipelletin tuotantolaitos, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 tonnia vuodessa. (Maaseudun Tulevaisuus 2016) Tällöin kysely kohdistettiin Etelä-Savon alueen yrityksille, jotka tuottavat liiketoimintaansa liittyen sähköä tai lämpöä. Nämä yritykset voisivat olla biohiilipelletin potentiaalisia käyttäjiä tulevaisuudessa.

Kysely lähetettiin kaikkiaan 18:lle Etelä-Savon maakunnassa toimivalle yritykselle. Joukossa oli mm. kunnallisia energiayhtiöitä, lämpöyrittäjiä, kasvintuottajia ja muuta liiketoimintaa harjoittavia yrityksiä. Ennen kyselyn lähettämistä suoritettiin soittokierros yrityksiin, joihin kysely oli tarkoitus lähettää. Näin suurimmalle osalle yrityksistä saatiin tieto kyselystä ja sen tarkoituksesta etukäteen. Varsinainen kysely lähetettiin yrityksille sähköpostilla kesäkuussa 2016. Sähköpostiviestissä oli saatetekstinä vielä kerrottu kyselyn tavoite ja tarkoitus sekä kyselyn lähettäjän yhteystiedot. Sähköpostin lopussa oli linkki Webropol 2.0 -kyselysovellukseen, jossa

kyselyyn vastattiin. Heinäkuussa niille, jotka eivät vielä olleet vastanneet kyselyyn, lähetettiin muistutusviesti sähköpostilla. Kyselyyn saatiin vastauksia myös puheluiden ja sähköpostiviestien avulla.

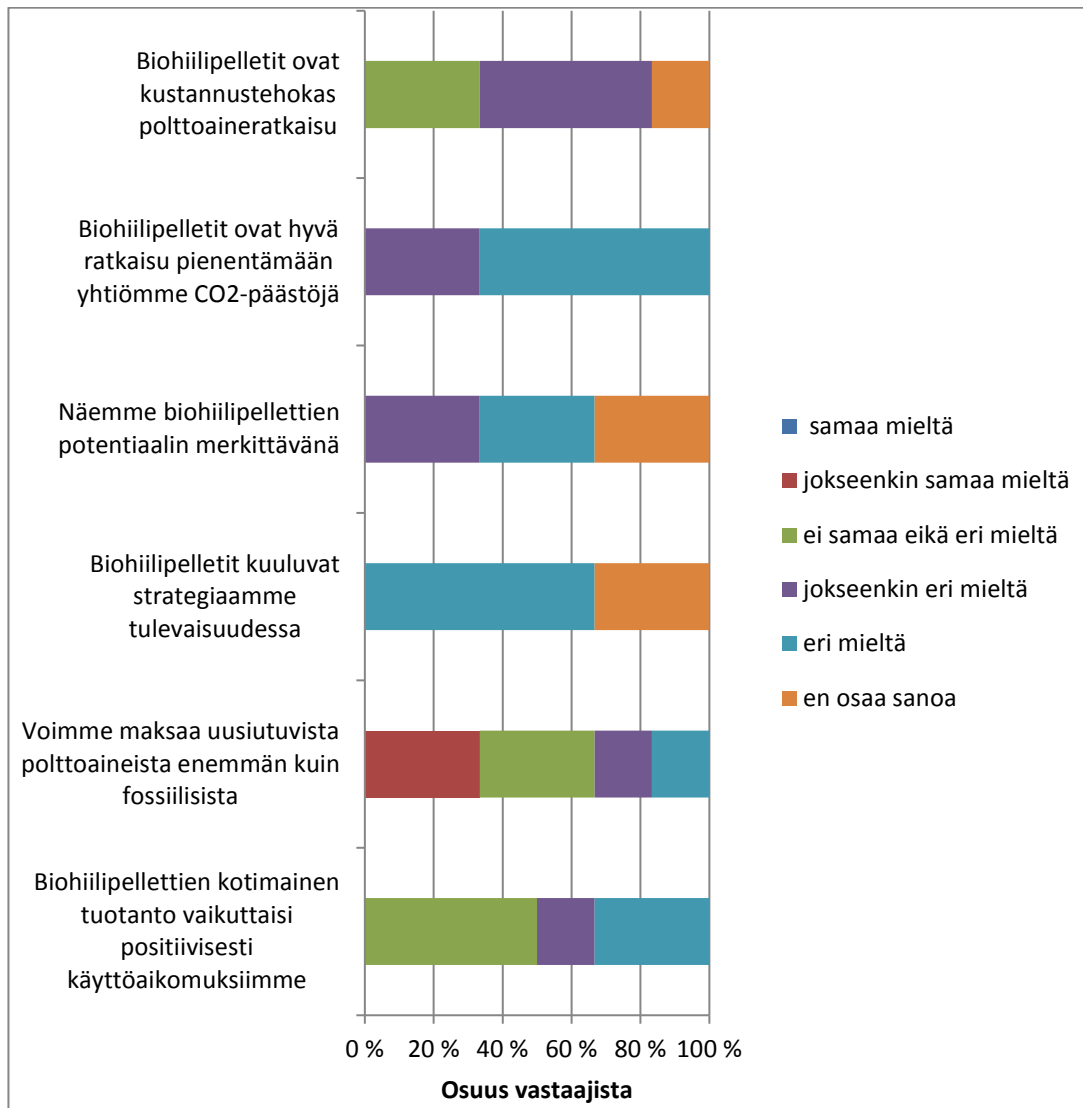
2.2.2 Kyselylomake

Kyselylomake oli sähköisessä muodossa Webropol 2.0 -kyselysovelluksessa (liite I). Kyselyn alussa oli monivalintakysymyksiä ja -väittämiä seitsemän kappaletta. Nämä kohdat olivat vastaajille pakollisia, ja ne sisälsivät kysymyksiä ja väittämiä mm. biohiilipelletin käyttöaikomuksiin ja kustannustehokkuuteen liittyen.

Tämän jälkeen kyselyssä oli yhdeksän kysymystä, joihin vastaaminen tapahtui omin sanoin. Nämä kysymykset olivat vastaajille vapaaehtoisia ja ne käsittelivät mm. biohiilipelletin hintaa, potentiaalista käyttö määrää ja epävarmuustekijöitä, joita biohiilipelletin käyttöönottoon voi liittyä. Vapaaehtoisin kysymyksiin vastattiin lähes yhtä aktiivisesti kuin pakollisiinkin.

2.2.3 Kyselytutkimuksen tulokset ja johtopäätökset

Kyselyyn saatiin lopulta kuusi vastausta eli vastausprosentiksi muodostui 33 %. Vastaajat olivat pääosin energiantuotantoon keskittyneitä yrityksiä, mutta myös muiden toimialojen yrityksiltä saatiin vastauksia. Kyselyn kuuden ensimmäisen väittämän tulokset on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5 Vastauksia kuuteen ensimmäiseen väittämään.

Kuvasta 5 nähdään, että puolet vastaajista ei pitänyt biohiilipellettiä kustannustehokkaana polttoaineratkaisuna. Kolmannes piti kustannustehokkuutta neutraalina ja viidennes ei osannut sanoa kantaansa. Väittämän ”Biohiilipelletit ovat hyvä ratkaisu pienentämään yhtiömme CO₂-päästöjä” kanssa olivat kaikki vastaajat joko jokseenkin eri mieltä tai eri mieltä. Tähän voi olla syynä esimerkiksi kustannustehokkuuteen liittyvät asiat tai se, että biohiilipelletin käyttöön liittyy teknisiä haasteita tai muita epävarmuustekijöitä.

Vastaajat eivät nähneet myöskään biohiilipelletin markkinapotentiaalia merkittävänä. Suurin osa vastaajista oli väittämän kanssa jokseenkin eri mieltä tai eri mieltä ja kolmannes ei osannut vastata. Suurin osa vastaajista oli eri mieltä väittämän ”Biohiilipelletit kuuluvat strategiaamme tulevaisuudessa” kanssa. Tähän väitteeseen kolmannes ei osannut antaa vastausta. Kolmannen ja neljännen väittämän perusteella biohiilipellettiin suhtaudutaan melko varauksellisesti tällä hetkellä.

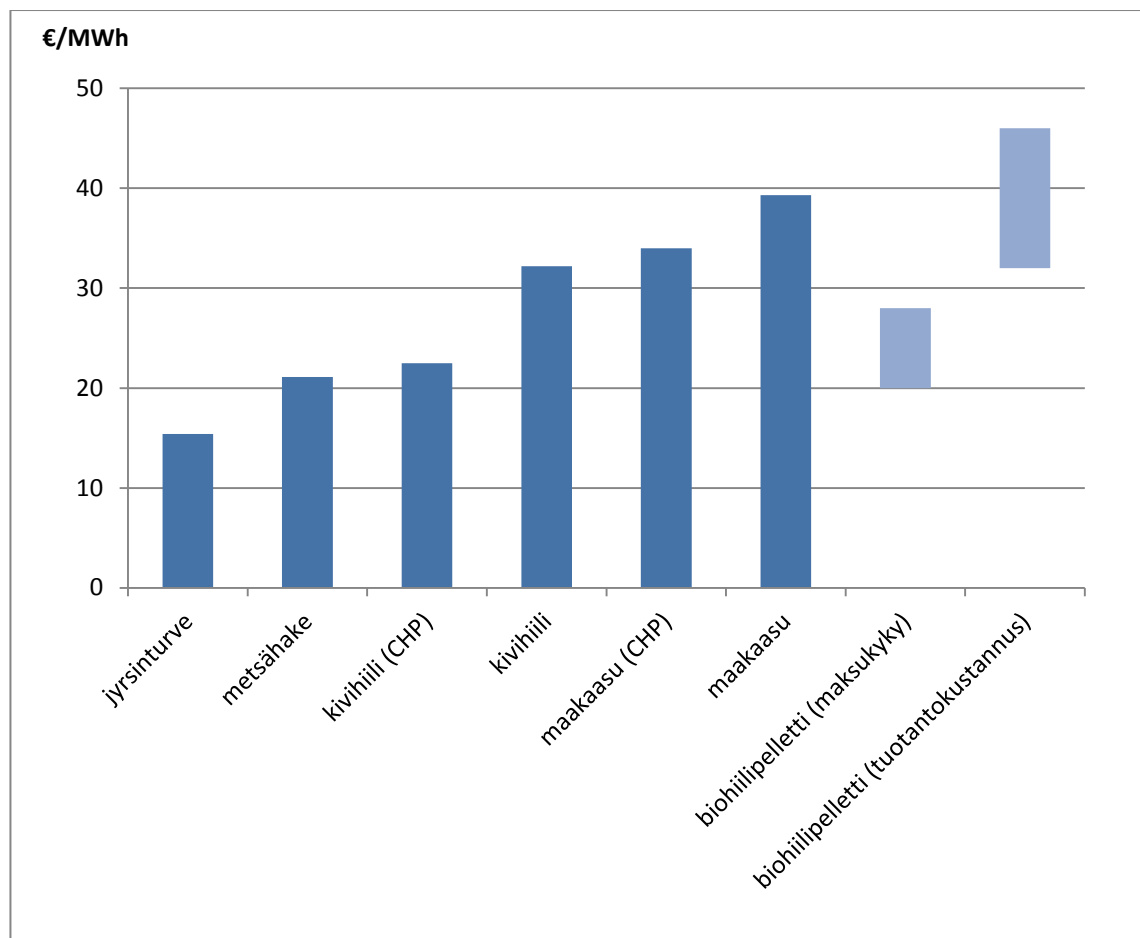
Viidennessä väittämässä selvitettiin yritysten maksukykyä uusiutuvista polttoaineista suhteessa fossiilisiin. Kolmannes vastaajista pystyi maksamaan uusiutuvista polttoaineista enemmän kuin fossiilisista. Kolmannes pystyi maksamaan saman hinnan ja loppu kolmannes ei pystynyt maksamaan uusiutuvista polttoaineista enempää kuin fossiilisista. Kuudennessa väittämässä selvitettiin vaikuttaisiko biohiilipelletin kotimainen tuotanto positiivisesti yritysten biohiilipelletin käyttöaikomuksiin. Puolet vastaajista oli väittämän kanssa jokseenkin eri mieltä tai eri mieltä ja puolet ei ollut samaa eikä eri mieltä. Vastausten perusteella biohiilipelletin kotimaisella tuotannolla ei olisi juurikaan vaikutusta yritysten polttoaineiden käyttöön.

Seitsemännessä kysymyksessä eli viimeisessä pakollisessa kysymyksessä kysyttiin yritysten halukkuutta käyttää biohiilipellettiä liiketoiminnassa juuri tällä hetkellä. Noin kolmannes vastasi halukkuuden olevan melko pieni ja kaksi kolmannesta pieni. Käyttöhalukkuuteen liittyen kysyttiin syitä kahdeksantena kysymyksenä, joka oli vapaaehtoinen. Tähän saatiin vastaus kaikilta. Kolme vastaajaa piti hintaa liian korkeana, kaksi vastaajaa mainitsi liki kaikkien heidän käyttämiensä polttoaineiden olevan jo nyt kotimaisia ja uusiutuvia ja yksi vastaaja kertoi biohiilipelletin käytön olevan teknisesti mahdotonta tällä hetkellä.

Kahdessa seuraavassa kysymyksessä selvitettiin kohteita, joissa biohiilipelletin käyttäminen olisi jo nyt teknisesti mahdollista. Kolme vastaajaa kertoi sen olevan mahdollista kaikissa kiinteän polttoaineen laitoksissa, yksi vastaaja ei pystyisi käyttämään biohiilipellettiä missään ja kaksi vastaajaa ei osannut sanoa. Yhdessä

vastauksessa huomioitiin, että biohiilipelletin annosteluun pitäisi rakentaa erillinen laitteisto, jotta käyttö onnistuisi järkevästi.

Kyselyssä selvitettiin myös korkein mahdollinen hinta, jonka yritykset olisivat valmiita maksamaan biohiilipelletistä. Kuvassa 6 on esitetty polttoaineiden hintoja lämmöntuotannossa, vastausten perusteella saatu maksukyky biohiilipelletistä ja biohiilipelletin arvioitu tuotantokustannus.



Kuva 6 Energian hintoja lämmöntuotannossa, vastaajien maksukyky biohiilipelletistä ja biohiilipelletin tuotantokustannus (mukailien lähdettä Tilastokeskus 2016A).

Kuvassa 6 on esitetty maksukyky biohiilipelletistä vastaajien ilmoittamien alimman ja ylimmän hinnan mukaan. Nähdään, että yritysten maksukyky biohiilipelletistä on

metsähakkeen ja kivihiilen hintaluokkaa eli noin 20–28 €/MWh. Koska maksukyky on näin alhainen, käyttänevät vastaajat pääosin edullisia polttoaineita, kuten metsähaketta ja turvetta. Biohiilipelletin tuotantokustannus on noin 32–46 €/MWh (Föhr et al. 2015), joten ilman tukijärjestelmiä tai muita toimenpiteitä biohiilipelletti vaikuttaa liian kalliilta polttoaineelta yrityksille. Kolmessa vastauksessa arviota maksukyvyistä ei osattu antaa ja kaksi vastaajaa huomioi, että hinta ja maksukyky riippuvat tuotteen eduista ja ominaisuuksista. Mikäli biohiilipelletin hinta olisi yritysten maksukyvyyn puitteissa, sitä oltaisiin valmiita käyttämään vastauksien mukaan yhteensä useita kymmeniä gigawattitunteja. Arviota käyttömääristä pidettiin luotettavina tai neutraaleina.

Vastaajien mukaan biohiilipelletin käyttöä puoltavat sen kotimaisuus ja uusiutuvuus. Näin ajatteli kolme vastaajaa. Biohiilipelletin käytössä neljä vastaajaa piti saatavuutta epävarmuustekijänä, kaksi vastaajaa laite- ja teknistä, yksi vastaaja laatua ja kolme vastaajaa hintaa. Epävarmuustekijöiden suuri määrä oli tietysti hyvin odotettavaa, koska biohiilipelletin valmistuksessa otetaan vasta ensiaskelia Suomessa. Kyselyn viimeisenä kysymyksenä kysyttiin yrittäjien yleistä suhtautumista biohiilipellettiin. Kaksi vastaajaa suhtautui biohiilipellettiin positiivisesti, kaksi vastaajaa ei ollut kiinnostunut, yksi vastaaja ei nähnyt etua biomassan jatkojalostuksesta ja yksi vastaaja piti nykyistä polttoainevalikoimaa riittävänä. Vastauksien perusteella biohiilipellettiä kohtaan näyttäisi olevan sekä kiinnostusta että ennakkoluuloja. Toisaalta vastaajien tietämys biohiilipelletistä vaikutti vaihtelevalla. Osa vastaajista tiesi biohiilipelletistä melko paljon ja osalle biohiilipelletti oli aivan uusi polttoaine.

2.3 Johtopäätökset

Pienkäytön osalta pellettilämmityksen yleisyyttä asuinrakennusten lämmitysmuotona on kaiken kaikkiaan vaikea arvioida Etelä-Savon alueella tulevaisuudessa. Biohiilipelletin osalta arviointi on vielä hankalampaa, koska biohiilipelletille ei ole vielä markkinoita Suomessa. Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä on kustannusten lisäksi useita muita tekijöitä. Valintaan vaikuttavat esimerkiksi järjestelmän käyttövarmuus, ympäristöystävällisyys ja oman työn tarve järjestelmän

käytössä. Mikäli biohiilipellettiä on tulevaisuudessa saatavilla, voisi olettaa, että ainakin pienehkö osa kotitalouksista valitsee sen lämmitysjärjestelmäkseen. Öljy- ja sähkölämmittäjät voivat olla tulevaisuudessa potentiaalisia biohiilipelletin käyttäjiä. Etelä-Savossa lämmitetään asuinkiinteistöistä noin puolet öljyllä ja sähköllä. Jos biohiilipelletin markkinaosuus oletettaisiin noin kymmenesosaksi pelletin nykyisestä markkinaosuudesta, biohiilipelletin käyttö olisi korkeintaan muutaman sadan tonnin luokkaa vuodessa.

Mikäli biohiilipelletille saadaan luotua markkinat samaan tapaan kuin vaalealle puupelletille, voisi biohiilipelletti yleistyä pelletin kaltaisesti myös lämpökeskusmarkkinoilla. Esimerkiksi Turussa, Tampereella, Espoossa ja Juvalla energiayhtiöt ovat korvanneet tai muuttaneet öljyä polttavia lämpölaitoksia pellettejä polttaviksi. Turussa on otettu vuoden 2016 alusta käyttöön pellettejä polttava kaukolämmön vara- ja huippulaitos. Laitos tuottaa noin 20–50 GWh lämpöä vuodessa ja polttotapa on pellettien pölypoltto. (Turku Energia 2016). Tampereella tehtiin samankaltainen ratkaisu vuonna 2012, jolloin sinne rakennettiin pellettilämpölaitos korvaamaan fossiililla polttoaineilla tuotettua lämpöenergiaa (Tampereen sähkölaitos 2012). Espoossa ja Juvalla on muutettu öljyä polttoaineenaan käyttäneet huippulämmöntuotantolaitokset pellettejä polttaviksi. Käytännössä pelleteille on rakennettu varastosiilot ja kattiloiden öljypolttimet on muutettu pellettipolttimiksi. (Fortum 2016, Suur-Savon Sähkö 2015)

Pelletin käyttö Etelä-Savossa oli vuonna 2015 yhteensä 25 GWh. Vuonna 2006 pellettiä käytettiin 24 GWh, joten pelletin käytössä ei ole tapahtunut suurta muutosta. Arvioiden mukaan pelletin käyttö Etelä-Savossa vuonna 2030 olisi 50 GWh eli käyttö kaksinkertaistuisi nykyisestä. Pellettiä käytettäisiin erityisesti lämmöntuotantoon öljyä korvaamaan. Tämä voisi avata markkinoita myös biohiilipelletille, jota voitaisiin käyttää lämpökeskuksissa öljyn sijaan.

3 ALUEEN OMAN NUOREN KOIVUPUUN TUOTTAMA LISÄARVO ETELÄ-SAVON MAAKUNNALLE

Jarno Föhr, Raghu KC & Tapio Ranta

3.1 Johdanto

3.1.1 Tutkimuksen tausta

Metsäperusteisen biotalouden tuomat taloudelliset edut ovat aina positiivisia kohdealueilla. Kuitenkin taloudelliset edut voivat jakautua epätasaisesti maakuntien kesken riippuen metsävarojen ja käyttäjien kysyntäpotentiaalien sijainneista. Suomessa monien maakuntien ongelmana on, että niillä ei ole omaa suuremman kokoluokan puun jatkojalostusyksiköitä omassa maakunnassaan. Tämä seikka on ongelmana myös Etelä-Savon maakunnassa, vaikka alue tunnetaan suurista puuvarannoistaan. Metsäsektorin taloudelliset investoinnit ovat vielä puuttuneet Etelä-Savosta viime vuosien aikana, vaikka maakunta tuottaa yli 10 prosenttia Suomen puuraaka-ainetoimituksista.

Etelä-Savo sijaitsee kaakkoisessa Suomessa ja se on metsäisin maakunta Suomessa. Puuvarannoilla on suuri taloudellinen merkitys Etelä-Savon alueelle. Maakunnan tilanne on kuitenkin se, että lähes kaikki alueen pieniläpimittainen kuitupuun myydään raaka-aineeksi naapurismaakuntien sellutehtaille. Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella koivuvaltaisen kuitupuun luomaa taloudellista merkittävyyttä Etelä-Savon alueella ja määrittää koivukuitupuun tarjontamääriä alueella. Tutkimuksessa vertailtiin keskenään erilaisia vaihtoehtoisia tapauksia, joissa koivukuitupuun joko myydään tavalliseen tapaan raaka-aineeksi naapurismaakuntiin sellutehtaille tai hyödynnetään kokonaisuudessaan mahdollisesti perustettavan biohiilipellettitehtaan tuotannossa omassa maakunnassa. Tutkimuksessa vertailtiin neljää eri skenaariota, joissa Etelä-Savon pieniläpimittaisen koivupuun käyttö oli täysin erilaista itse maakunnassa ja sen ympärysmakunnissa. Näitä neljää eri skenaariota vertailtiin keskenään lisäarvon näkökulmasta Etelä-Savon maakuntaa kohtaan, jolloin alueen

koivupuun hyödyntämisestä syntyvien rahavirtojen suuruudet olisivat erilaisia maakunnan hyväksi.

3.1.2 Tutkimuksen tarkoitus ja skenaariot

Tutkimuksen päätarkoituksena oli laskea pieniläpimittaisen koivupuun tuoma potentiaalinen lisäarvo Etelä-Savon maakunnan hyväksi, kun puuta tarkasteltiin erilaisten käyttöskenaarioiden kautta. Alueellisella lisäarvolla tarkoitetaan suoria taloudellisia vaikutuksia maakunnan omien laitoksien käytön ja niistä saatavien tuottojen ansiosta maakunnan hyväksi. Pieniläpimittaisella puulla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa kuitupuun läpimittaa. Lisäksi tutkimuksessa määritettiin nuoren koivupuun tarjontamääriä vuoteen 2030 asti. Koivu valikoitui tässä tutkimuksessa tarkasteltavaksi puulajiksi, koska koivulle oli mitattu aikaisemmissa pilottiajoissa (Föhr et al. 2015) parhaimmat raaka-aineominaisuudet hyvälaatuisen biohiilipelletin valmistamiseksi.

Peruslähtökohtana oli nykytilanteen jatkuminen (Bau = Business as usual), johon verrattiin muita skenaarioita. Tutkimuksessa tarkasteltiin seuraavia skenaarioita, joissa nuoren koivupuun käyttö oli täysin erilaista:

- Bau: Perinteinen teollisuuskäyttö, jossa nuori koivupuu kuljetetaan raaka-aineeksi sellutehtaille naapurismaakuntiin.
- Skenaario 1: Perinteinen energiakäyttö, jossa nuori koivupuu käytetään hakkeena maakunnan omissa lämpölaitoksissa.
- Skenaario 2: Uudenlainen jalostusprosessi, jossa nuori koivupuu jalostetaan maakunnan biohiilipellettitehtaassa ja tehtaan koko tuotanto suuntautuu vientiin.
- Skenaario 3: Skenaarion 2 mukainen jalostusprosessi, mutta tehtaan tuotannosta 50 % suuntautuu vientiin ja 50 % käytetään maakunnan omissa lämpölaitoksissa.

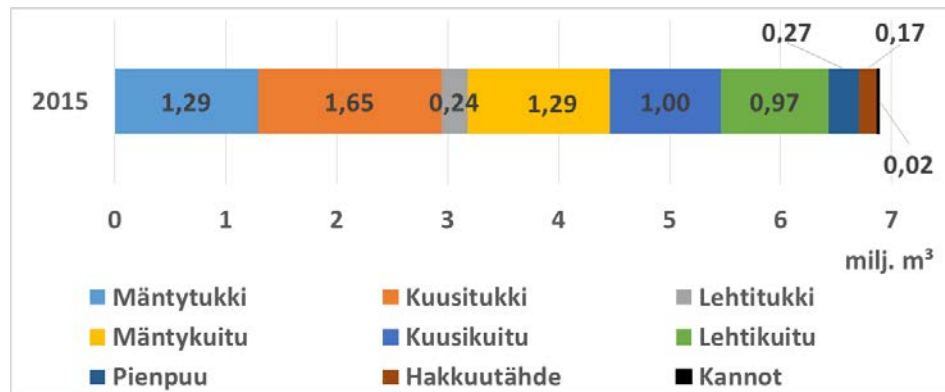
Tutkimuksella pyrittiin tuottamaan uutta tietoa nuoren koivupuun saatavuudesta Etelä-Savon alueella. Tarkoituksena oli tarkastella eri skenaarioiden avulla Etelä-Savolle tuotettua rahallista lisäarvoa nuoren koivupuun ohjaututtua joko normaaliin tapaan sellun raaka-aineeksi naapurismaakuntiin (Bau) tai vaihtoehtoisesti energia-

tai jalostuskäyttötarkoituksiin omaan maakuntaan. Tuloksista selvisi nuoren koivupuun kokonaismäärät, kustannukset, tuotot ja suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savon aluetasolle.

3.2 Materiaalit ja menetelmät

3.2.1 Materiaalit

Vuoden 2015 toteutunut metsäbiomassojen kokonaistarjonta Etelä-Savon alueella on esitetty kuvassa 7. Alueen metsäbiomassojen kokonaistarjonta oli lähes 7 miljoonaa kiintokuutiometriä. Metsäbiomassojen kokonaistarjonta oli jaettu eri biomassatuoteryhmiin kuvassa 7.



Kuva 7 Metsäbiomassojen kokonaistarjonta Etelä-Savon alueella vuonna 2015 (Luonnonvarakeskus 2017).

Tämän tutkimuksen kannalta kaikkein kiinnostavin metsäbiomassa oli lehtikuitu 0,97 miljoonan kiintokuutiometrin määrällä. Käytännössä lehtikuidulla tarkoitetaan ainoastaan kaikkia koivulajeja tilastoissa.

3.2.2 Menetelmät

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin nuoren koivupuun tarjontamääriä Etelä-Savossa aina vuoteen 2030 asti. Tutkimuksen toisessa vaiheessa suoritettiin skenaariovertailut selvitettyjen koivupuiden tarjontamäärien perusteella. Pää tarkoituksena oli vertailla Etelä-Savon suoria taloudellisia hyötyjä alueen nuoren

koivupuun erilaisten käyttöskenaarioiden kannalta. Suurin eroavaisuus käytön osalta ilmenee siinä, että käytetäänkö tai jalostetaanko puu maakunnan sisällä vai ulkopuolella. Tutkimuksessa puun käyttö- ja jalostuslaitoksilla tarkoitetaan maakunnan omia biohiilipelletti- ja aluelämpölaitoksia ja naapuruskuntien sellutehtaita.

Hintojen ja arvojen kokonaislaskennassa käytettiin vain nimellisiä hintoja. Tällöin ne kehittyivät lineaarisesti vuoteen 2030 asti. Nykyvuodeksi asetettiin vuosi 2015.

Nuoren koivupuun tarjonta Etelä-Savossa

Nuoren koivupuun toteutunut tarjontamäärä Etelä-Savon alueella vuosina 2000–2015 selvisi tilastoista (Luonnonvarakeskus 2017). Tutkimuksessa käytettiin hyödyksi MOTTI-simulaattoria, jolla voitiin tuottaa kasvulaskelmia nuorelle koivupuulle vuoteen 2030 asti (Karttunen et al. 2017). Laskelmissa koivupuun kokonaistarjonta kattoi kaiken hakkuupotentiaalin, eikä vain pelkkää harvennuspotentiaalia nuorista metsistä.

Raaka-aineen ja toimitusketjun kustannukset Etelä-Savon maakunnalle

Raaka-aineen ja toimitusketjun kustannukset koostuivat pääasiassa kantohinnasta, hakkuusta, haketuksesta ja kaukokuljetuksesta. Jokainen skenaario piti sisällään edellä mainitut kustannukset ja ainoastaan keskimääräisen kaukokuljetusmatkan pituus vaihteli eri skenaarioiden välillä. Skenaarioille asetettiin seuraavat keskimääräiset kaukokuljetusmatkojen pituudet: Bau (120 km), skenaario 1 (50 km), skenaario 2 ja skenaario 3 (80 km). Toimitusketjuissa syntyvät kustannukset määritettiin ainoastaan laitoksille asti.

Nuoren koivupuun kantohinnaksi asetettiin koivukuitupuun kantohinta tutkimuksen jokaisessa skenaariossa. Koivukuitupuun hintakehitys selvitettiin Luonnonvarakeskuksen (2017) ylläpitämästä pystykauppojen hintatilastoista. Tutkimuksessa muodostettiin koivukuitupuun hintakehitys vuosille 2002–2015 ja

hinnan oletettiin kehittyvän lineaarisesti aina vuoteen 2030 asti perustuen sen hintahistoriaan.

Hakkuun ja kaukokuljetuksen kustannukset selvitettiin Metsäteho Oy:n (2017) tilastoimista tulostalvosarjoilta. Nämä kustannukset selvitettiin myös vuosille 2002–2015. Samalle aikavälille selvitettiin myös keskimääräinen kaukokuljetusmatkan pituus samaisesta tilastosta, jolloin saatiin selville kuljetuksen yksikkökustannus kilometriä kohti. Jälleen, hakkuun ja kaukokuljetuksen kustannuksien oletettiin kehittyvän lineaarisesti aina vuoteen 2030 asti perustuen kustannushistoriaan.

Haketuksen kustannukset selvitettiin Rinteen (2010) tutkimuksesta. Rinne määritteli haketuksen kustannukseksi 6,8 €/m³ (3.4 €/MWh) keskikokoiselle hakkurille välivarastossa, jonka kapasiteetti oli 100 GWh ja sijoitetun pääoman tuotto prosentti 15 % vuodessa. Kyseiselle haketuksen kustannukselle määritettiin kuluttajahintaindeksin (Tilastokeskus 2017) mukainen kustannuskehitys vuosille 2005–2030.

Laitoksien tuotot Etelä-Savon maakunnalle

Bau:ssa nuori koivupuu kuljetettiin raaka-aineeksi sellutehtaille naapurumaakuntiin, koska Etelä-Savon alueella ei ole omia sellutehtaita. Tutkimuksessa voidaan olettaa, että Bau:n osalta laitoksien tuottamia tuottoja ei ole Etelä-Savon alueelta.

Skenaario 1:ssä nuori koivupuu käytettiin hakkeena maakunnan omissa lämpölaitoksissa. Kaukolämmön hintakehitys selvitettiin Energiategollisuus ry:n (2017) materiaalipankista, josta selvisi kolmen etelä-savolaisen suurimman lämmöntuottajan kaukolämmön hintakehitys vuosille 2005–2015. Kyseiset lämmöntuottajat olivat Savon Voima, Suur-Savon Sähkö ja Etelä-Savon Energia. Tutkimuksessa selvitettiin näiden kolmen lämmöntuottajan kaukolämmön keskiarvohinta toteutuneelle ajanjaksolle ja hinnan oletettiin kehittyvän lineaarisesti aina vuoteen 2030 asti perustuen hintahistoriaansa.

Skenaario 2:ssa nuori koivupuun jalostettiin maakunnan biohiilipellettitehtaassa ja tehtaan koko tuotanto suuntautui vientiin. Tutkimuksessa oletettiin, että Etelä-Savossa oli vain yksi biohiilipellettitehdas ja sen hyötysuhde oli 80 prosenttia tuotettua lämpöyksikköä kohden. Lämpöyksikön pieneneminen alkuperäisessä raaka-aineessa johtuu siitä, että tehtaan prosessissa raaka-aineen alkuperäisestä painosta häviää suhteessa enemmän kuin sen sisältämästä energiasta. Tällöin valmiin tuotteen lämpöarvo eli energiasisältö painoyksikköä kohden kasvaa. Lisäksi oletettiin, että yksi kiintokuutiometri koivupuuta sisälsi kaksi megawattituntia energiaa. Laitoksessa tuotetun biohiilipelletin myyntihinnaksi asetettiin 35 €/MWh vuodelle 2015 (Ranta et al. 2016) ja kyseiselle hinnalle määritettiin kuluttajahintaindeksin (Tilastokeskus 2017) mukainen kustannuskehitys vuosille 2005–2030.

Skenaario 3:ssa oli kyse skenaarion 2 mukaisesta jalostusprosessista, mutta tehtaan tuotannosta 50 % suuntautui vientiin ja 50 % käytettiin maakunnan omissa lämpölaitoksissa. Tällöin skenaario 3 on sekoitus edellisistä skenaarioista 1 ja 2.

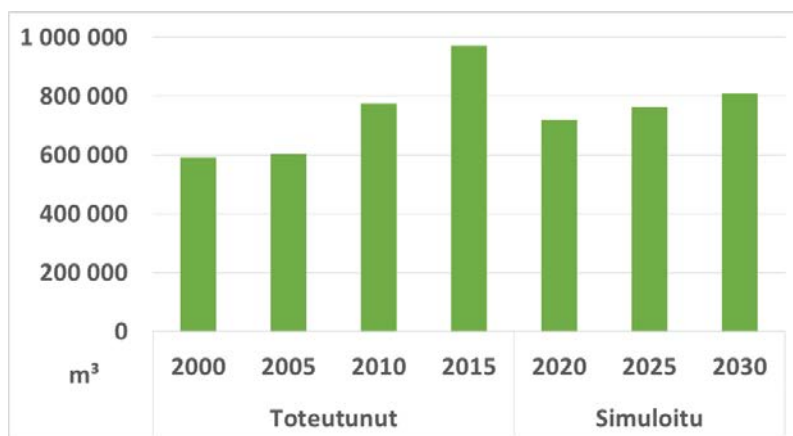
Suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savon maakunnalle

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savon maakunnalle, kun alueen nuorelle koivupuulle oli erilaiset käyttöskenaariot joko maakunnan sisällä tai sen ulkopuolella. Maakuntaan kohdistuvat lopulliset taloudelliset vaikutukset saatiin selville skenaariokohtaisesti, kun kaikki kustannukset sisällytettiin alueen laitoksien tuottamiin tuottoihin.

3.3 Tulokset

3.3.1 Nuoren koivupuun tarjonta Etelä-Savossa

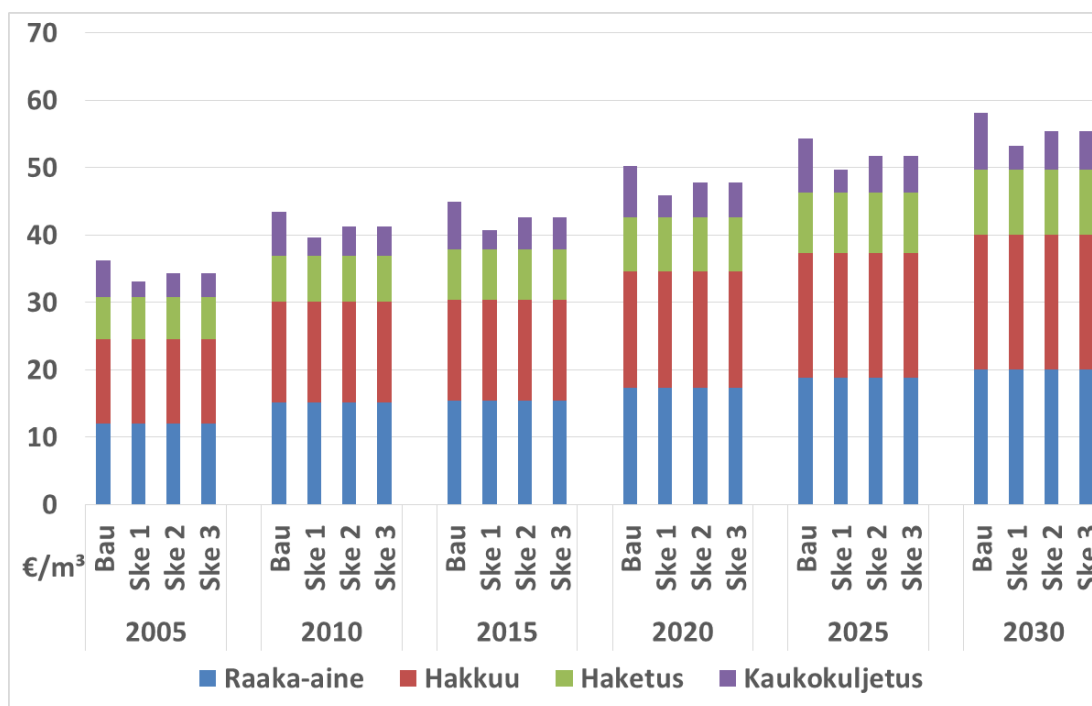
Nuoren koivupuun toteutunut tarjontamäärä Etelä-Savon alueella on esitetty kuvassa 8. Vuosien 2000–2015 määrät perustuivat toteutuneisiin tilastoihin ja vuosien 2016–2030 määrät oli simuloitu. Simulaation tarjontamäärät olivat vuosikohtaisesti tasoitettuja tuloksia.



Kuva 8 Nuoren koivupuun tarjontamäärät Etelä-Savossa.

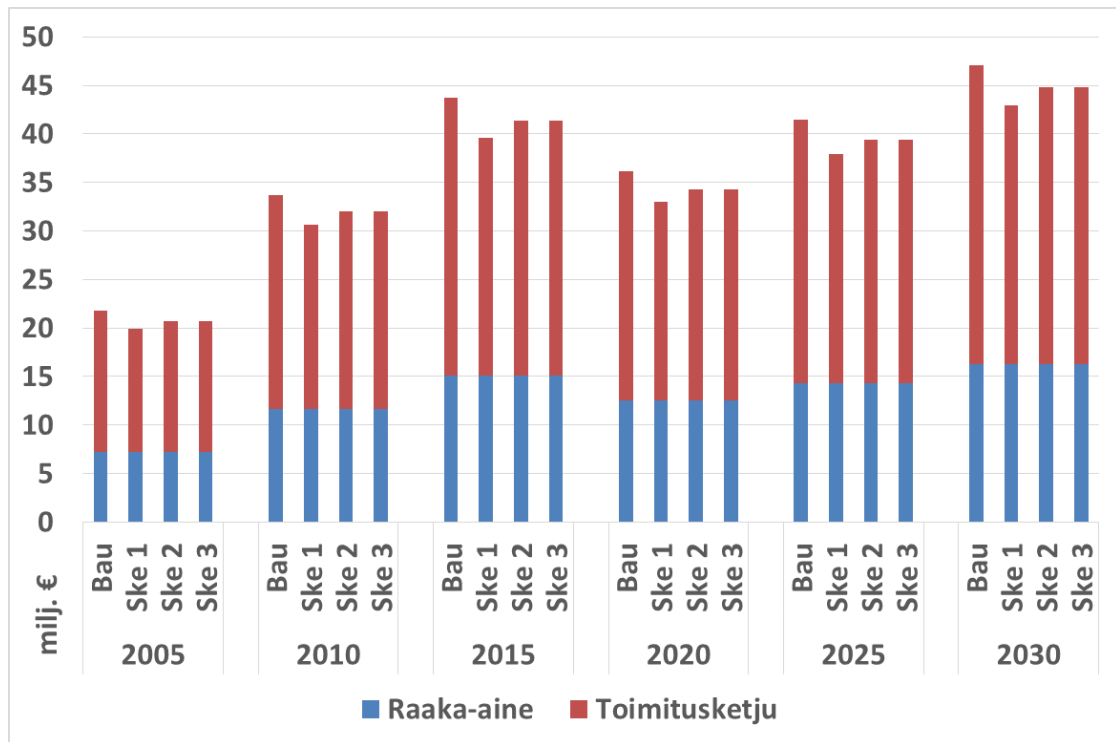
3.3.2 Raaka-aineen ja toimitusketjun kustannukset Etelä-Savolle

Raaka-aineiden ja toimitusketjujen yksikkökustannukset kiintokuutiometriä kohti vuosina 2005–2030 on esitetty kuvassa 9. Tutkimuksessa kantohinta tarkoitti raaka-ainekustannuksia. Lisäksi hakkuu, haketus ja kaukokuljetus muodostivat toimitusketjun kustannukset. Suurin eroavaisuus kustannuksissa johtui pelkästään erilaisista kaukokuljetusmatkan pituuksista.



Kuva 9 Kustannukset kiintokuutiometriä kohti skenaarioittain.

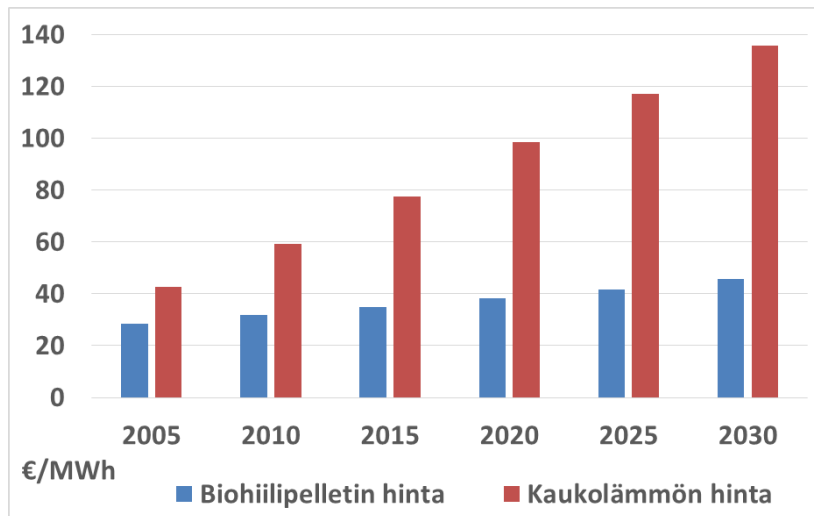
Seuraavassa vaiheessa yksikkökustannukset kerrottiin nuoren koivupuun tarjontamäärillä, jolloin saatiin suorat euromääräiset kustannukset raaka-aineille ja toimitusketjuille (kuva 10).



Kuva 10 Raaka-aineiden ja toimitusketjujen kustannukset skenaarioittain.

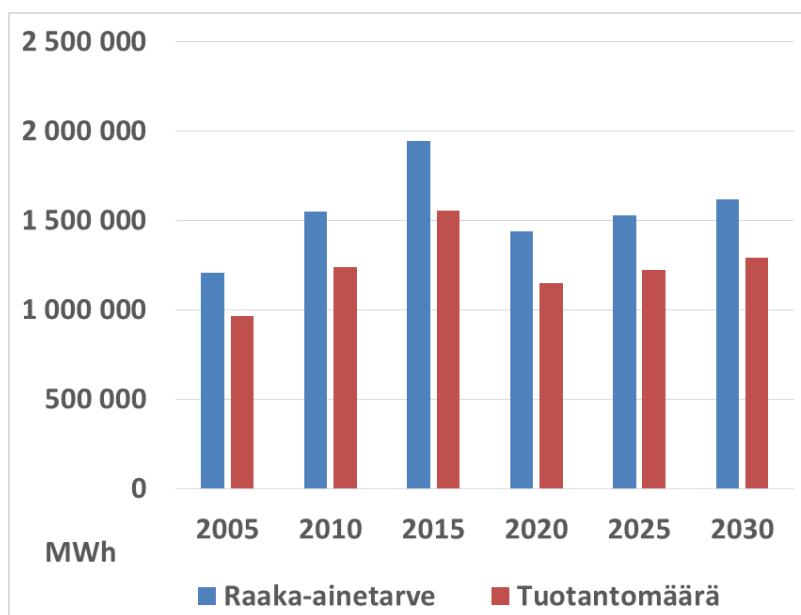
3.3.3 Laitoksien tuotot Etelä-Savolle

Biohiilipelletin ja kaukolämmön yksikkökustannukset megawattituntia kohti vuosille 2005–2030 on esitetty kuvassa 11. Kyseisille yksikkökustannuksille oli määritetty kuluttajahintaindeksin mukainen kustannuskehitys mainitulle ajanjaksolle.



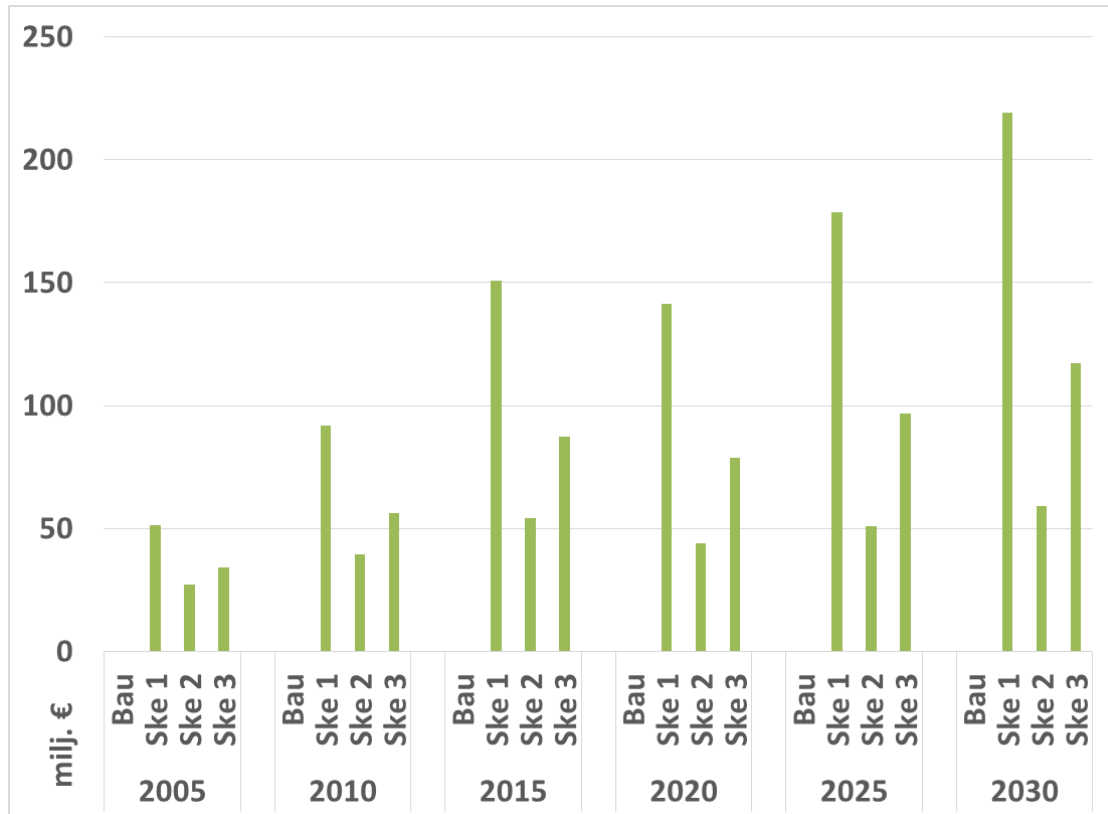
Kuva 11 Biohiilipelletin ja kaukolämmön yksikkökustannukset vuosikohtaisesti.

Maakunnan biohiilipellettitehtaan raaka-ainetarve kaiken nuoren koivupuun käytön mukaisesti ja tehtaan lopullinen tuotantomäärä 80 prosentin hyötysuhteella on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12 Maakunnan biohiilipellettitehtaan raaka-ainetarve kaiken nuoren koivupuun mukaisesti ja tuotantomäärä vuosikohtaisesti.

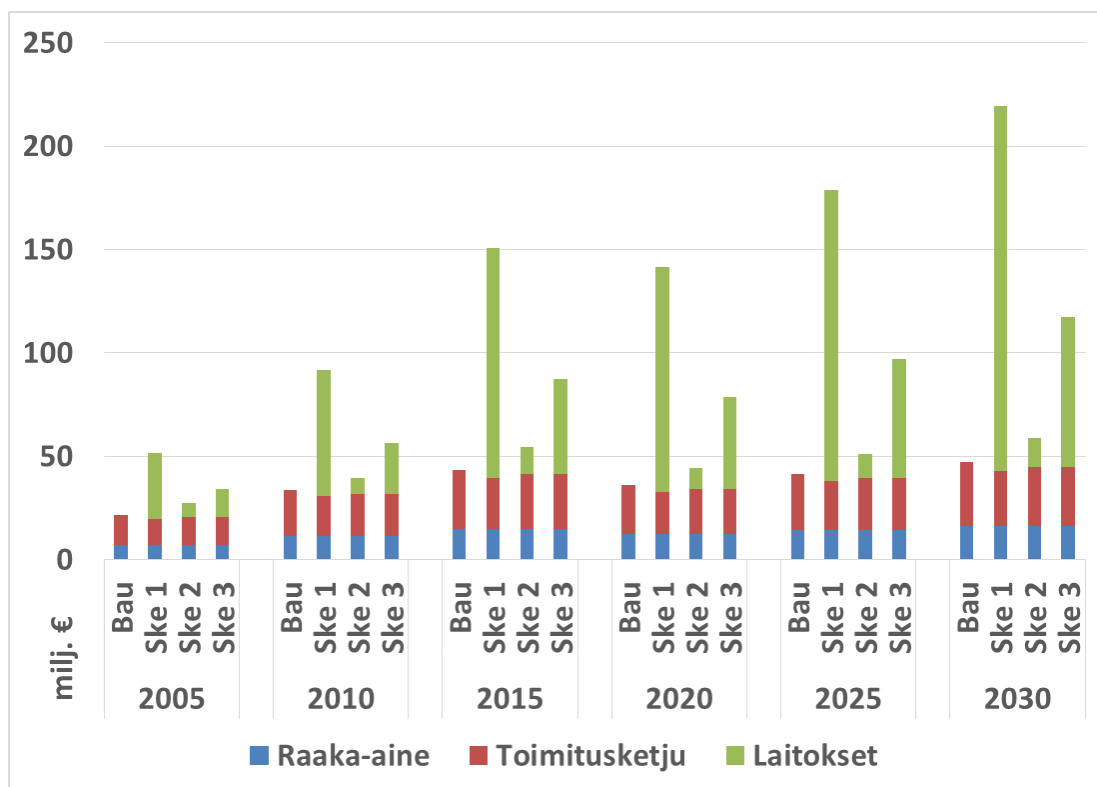
Omien laitoksien toiminnasta saavutetut tuotot Etelä-Savon maakunnalle on esitelty skenaariokohtaisesti kuvassa 13. Kuva 13 osoittaa, että maakuntaan ei synny ollenkaan tuottoja Bau:ssa, koska alueella ei ole omia sellutehtaita. Skenaario 1 oli tuottoisin skenaario, koska alueen kaukolämmöllä oli korkeat kuluttajahinnat verrattuna biohiilen myynnistä saatavaan tuottoon.



Kuva 13 Maakunnan laitoksien tuotot Etelä-Savolle skenaariokohtaisesti.

3.3.4 Suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savolle

Suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savon maakunnalle on esitetty kuvassa 14. Periaate oli, että raaka-aineiden ja toimitusketjujen kustannukset oli sisällytetty maakunnan laitoksien tuottoihin. Tällöin kuva 14 osoittaa alueen omien laitoksien (vihreällä) tuomat taloudelliset merkitykset Etelä-Savon maakunnan hyväksi.



Kuva 14 Suorat taloudelliset vaikutukset Etelä-Savon maakunnalle skenaariokohtaisesti.

3.4 Johtopäätökset

Etelä-Savon alueella nuoren koivupuun (koivukuitupuun) toteutuneet vuosittaiset tarjontamäärät vaihtelivat välillä 0,6–1,0 miljoonaa kiintokuutiometriä vuosina 2005–2015 ja simuloidut tarjontamäärät vaihtelivat välillä 0,7–0,8 miljoonaa kiintokuutiometriä vuosina 2016–2030. Alueen nuoren koivupuun käyttöskenaarioiden välisessä vertailussa oli suuria eroja syntyneiden suorien taloudellisten vaikutusten kannalta Etelä-Savon maakuntaa kohtaan. Bau:ssa suorat taloudelliset vaikutukset maakuntaa kohtaan muodostuivat ainoastaan puun raaka-aineen ja toimitusketjun kustannuksista. Tällöin taloudellista lisäarvoa maakuntaan kohtaan ei ollut, koska puu ei ohjautunut maakunnan omiin laitoksiin. Skenaariolla 1, jossa nuori koivupuun käytettiin hakkeena alueen omassa lämmöntuotannossa, oli suurin taloudellinen lisäarvovaikutus maakuntaan kohtaan. Skenaario 1:n tuoma taloudellinen lisäarvo oli 111 miljoonaa euroa vuonna 2015. Skenaariolla 2, jossa koko

biohiilipellettilaitoksen tuotanto suuntautui vientiin, taloudellinen lisäarvo oli 13 miljoonaa Etelä-Savoaa kohtaan vuonna 2015. Puolestaan samana vuonna skenaarion 3, jossa biohiilipellettilaitoksen tuotannosta 50 % suuntautui vientiin ja 50 % käytettiin maakunnan omissa lämpölaitoksissa, taloudellinen lisäarvo oli 46 miljoonaa euroa Etelä-Savolle.

Skenaariotulokset osoittivat kärjistetysti ja yksiselitteisesti nuoren koivupuun tuoman taloudellisen potentiaalin Etelä-Savon maakunnan hyväksi. Skenaariotulokset yhdessä simuloitujen koivupuun tarjontamäärien kanssa olivat suuntaa-antavia tuloksia, joissa oli oletettu kustannusten ja tuottojen noudattavan yleistä suhdannekehitystä. Tuloksista huomataan, että nykyinen maakunnan koivukuitupuun suora myyminen naapuruskuntien sellutehtaisiin on huonoin vaihtoehto Etelä-Savon maakunnan taloudelle. Johtopäätöksenä on se, että puuta kannattaa jalostaa tai käyttää mahdollisimman paljon oman maakunnan laitoksissa.

4 ENERGIANTUOTANTO BIOHIILIPELLETEILLÄ PIENEMMÄN KOKOLUOKAN KATTILOISSA

Jarno Föhr, Juha-Pekka Lemponen & Hanne Soininen

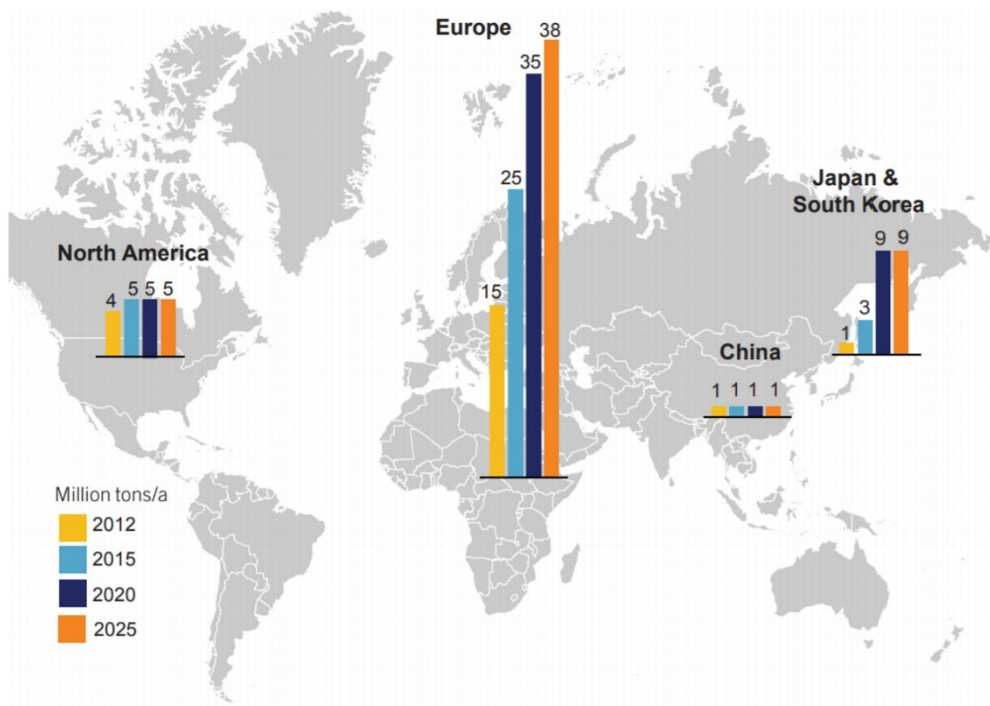
4.1 Johdanto

4.1.1 Tutkimuksen taustaa

Biohiilipelletti voidaan nähdä uutena vaihtoehtoisena polttoaineena energiantuotannon muuttuvissa tarpeissa. Biohiilipellettiä on tutkittu vielä melko vähän ja sillä on potentiaalia tulla yhdeksi varteenotettavaksi pääpolttoaineeksi energiantuotantolaitoksissa Suomessa ja ympäri maailman sen korkean lämpöarvon vuoksi. Biohiilipellettiä tuotetaan puuhakkeesta lämpökäsittelymenetelmällä, esim. torrefiointi, jolloin lämpötila nostetaan noin 240–300 °C:een prosessin aikana. Lämpökäsittelyn jälkeen puu murskataan ja pelletöidään valmiiksi tuotteeksi. Prosessin ansiosta puun ominaisuudet muuttuvat lähemmäs kivihiilen ominaisuuksia, jolloin puulla voitaisiin korvata kivihiilen käyttöä energiantuotantolaitoksissa. Biohiilipelletillä voitaisiin korvata kivihiilen käyttöä määrältään jopa yli puolet olemassa olevissa kivihiilikattiloissa, mutta normaalilla puupelletillä vain alle 15 % polttoainekäytöstä. Biohiilipellettiä voidaan käyttää myös normaaleissa pellettikattiloissa ja se voi korvata öljyn polttamista öljykattiloissa, kun polttimet vaihdetaan pelletille sopiviksi. Lisäksi biohiilipelletit kestävät kuljetusta ja varastoimista ulkoilmassa huomattavasti paremmin kuin normaalit puupelletit. (Flyktman et al. 2011)

Kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö Pöyry on laatinut ennusteen pellettimarkkinoiden globaalista kasvusta vuodelle 2025 (kuva 15). Ennusteen mukaan pelletin markkinat kasvavat 55 miljoonaan tonniin ja tästä biohiilipelletin osuus tulee riippumaan sen tuotantoteknologian kehityksestä ja kaupallistamismahdollisuuksista (Pöyry 2017). Tässä tapauksessa puhutaan suuresta biohiilipelletin tuomasta potentiaalista energiantuotantomarkkinoita kohtaan, joka

pitäisi myös Suomessa hyödyntää, eikä vain jäädä sivustaseuraajaksi. Tämän teknologian käyttö voisi kasvattaa huomattavasti kotimaisen puun käyttöä ja luoda uusia työpaikkoja Suomeen. Lisäksi rahavirrat jäisivät pyörimään Suomeen, eivätkä virtaisi ulkomaille tuotujen fossiilisten polttoaineiden tapaan, jos tuotetta sekä valmistettaisiin että käytettäisiin omassa kotimaassa.



Kuva 15 Ennuste pellettimarkkinoiden kasvusta vuoteen 2025 asti (Pöyry 2017).

4.1.2 Energiantuotannon markkinat

Pienen kokoluokan energiantuotannolla tarkoitetaan kattiloita, joiden lämpökapasiteetti on alle 5 MW. Tähän asti biohiilipelletin mahdollisina päämarkkinakohteina on pidetty hiilivoimalaitoksia Suomessa, mutta asian suhteen ei ole vielä tapahtunut kehitystä. Markkinoita ei ole vielä syntynyt biohiilipelletille, koska markkinahinta hiilelle ja sen aiheuttamille päästöille on ollut todella alhainen ja politiikan tukikeinot ovat puuttuneet täysin biohiilen osalta. Jos biohiilipelletti ei ole vielä valmis suuremman kokoluokan energiantuotannon markkinoille, niin pienemmät lämpölaitokset voisivat olla kiinnostuneita hyvälaatuisesta polttoaineesta.

Pienemmät laitokset maksavat polttoaineestaan hieman enemmän kuin suuret laitokset, koska polttoaineen pitää olla tasalaatuista ja useimmiten melko kuivaa. Lisäksi kuljetuskustannukset laskevat, kun polttoainetta voidaan ennemmin kuljettaa lähilaitokselle kuin kaukaiselle suurlaitokselle.

4.1.3 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen päätarkoituksena oli analysoida torrefioitujen puupellettien poltosta muodostuvien savukaasujen ominaisuuksia ja verrata niitä tavanomaiseen puupellettiin. Polttokokeet suoritettiin kahdella eri pienemmän kokoluokan pellettikattiloilla: 20 kW (kotitalous) ja 120 kW (teollisuusrakennus). Pienemmällä pellettikattilalla poltettiin sekä torrefioitua että tavanomaista puupellettiä kattilan alkuperäisellä vakioteholla, joka oli säädetty tavanomaiselle puupelletille. Suuremmalla pellettikattilalla poltettiin vain torrefioitua pellettiä 50 prosentin ja 100 prosentin nimellistehoilla. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada täsmällistä määrätietoa molempien puupellettien poltosta aiheutuvista savukaasuista. Tutkittavina kaasuina olivat erityisesti jäänöshappi (O_2), hiilimonoksidi eli häkä (CO) ja typen oksidit (NO_x).

4.2 Materiaalit ja menetelmät

4.2.1 Materiaalit

Tutkimuksessa käytetyt torrefioidut puupelletit valmistettiin Torrec Oy:n pilottilaitoksessa, joka sijaitsi Mikkelin Pursialassa, Etelä-Savon Energia Oy:n voimalaitoksen yhteydessä (Torrec Oy 2017). Pilottilaitos oli aloittanut toimintansa elokuussa 2014. Tällainen tonnikokoluokan pilottilaitos tarjosi mahdollisuuden torrefioidun puupelletin tuottamiselle ja niiden pitempikestoisille käytännön polttokokeille ensimmäistä kertaa Suomessa, perustuen paikallisiin biomassavarantoihin.

Tutkimuksella oli jo varastoituna huomattavia määriä torrefioitua pellettiä edellisestä tutkimushankkeesta vuodelta 2015: TORRE – Torrefioidun biohiilipelletin laatu ja

varastoitavuus (Föhr et al. 2015). Torrefioidut pelletit oli valmistettu puuhakkeesta, jota oli ensimmäisessä vaiheessa torrefioitu ja sen jälkeen murskattu ja pelletöity. Pelletit oli valmistettu kokonaan ilman lisäsidonta-aineita prosessin aikana. Pelletteihin lisättiin puristusvaiheessa ainoastaan lauhdevettä, jota oli tiivistynyt säiliön pohjalle aikaisemmassa torrefiointivaiheessa.

Tutkimuksessa olleiden torrefioitujen pellettien raaka-aineena käytettiin puuhaketta, joka oli tuotettu eteläsavolaisesta koivukuitupuusta. Tutkimuksessa käytettiin tavanomaisena puupellettinä suomalaisen Vapo Oy:n valmistamia puupellettejä sekapuusta, jotka eivät sisältäneet ollenkaan kuorta toisin kuin torrefioidut puupelletit. Molempien puupellettien ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Puupellettien ominaisuudet.

Pelletti	Halkaisija (mm)	Kosteuspitoisuus (%)	Tuhka (%)	Energiasisältö (kWh/kg)	Tilavuuspaino (kg/m ³)
Tavanomainen	8	≤10	≤0,4	≥4,7	650
Torrefioitu	8	6,4	1,2	5	680

4.2.2 Menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Ariterm Oy:n valmistamaa Biomatic+ 20 -pellettikattilaa (kuva 16), jonka nimellisteho oli 20 kW (Ariterm Oy 2017A). Kyseinen kattila oli suunniteltu normaalikokoisen omakotitalon (150 m²) lämmittämiseen. Kattila sisälsi BeQuem -pellettipolttimen, jossa pellettien syöttö palopäähän tapahtui ruuvilla alakautta. Kattilaan kuului erillinen pellettisiilo, johon mahtui noin 300 litraa pellettejä. Valmistaja oli ilmoittanut kattilan hyötysuhteeksi 91 %.



Kuva 16 Biomatic+ 20 -pellettikattila, joka sijaitsi Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun LVI-laboratorion tiloissa.

Tutkimuksessa toisena Ariterm Oy:n valmistamana kattila toimi BioComp 120 -biokattila (kuva 17), joka soveltui kaikelle kiinteälle biopolttoaineelle. Kattilan nimellisteho oli 120 kW ja se oli suunniteltu lämmittämään teollisuuskokoluokan rakennuksia. Kattila sisälsi BioJet 60 -polttimen ja arina oli periaatteeltaan porrastettu ja liikkuva arinaratkaisu, jolloin tuhkat puhdistuvat vaivattomammin arinalta. Valmistaja oli ilmoittanut kattilan hyötysuhteeksi 93 %.



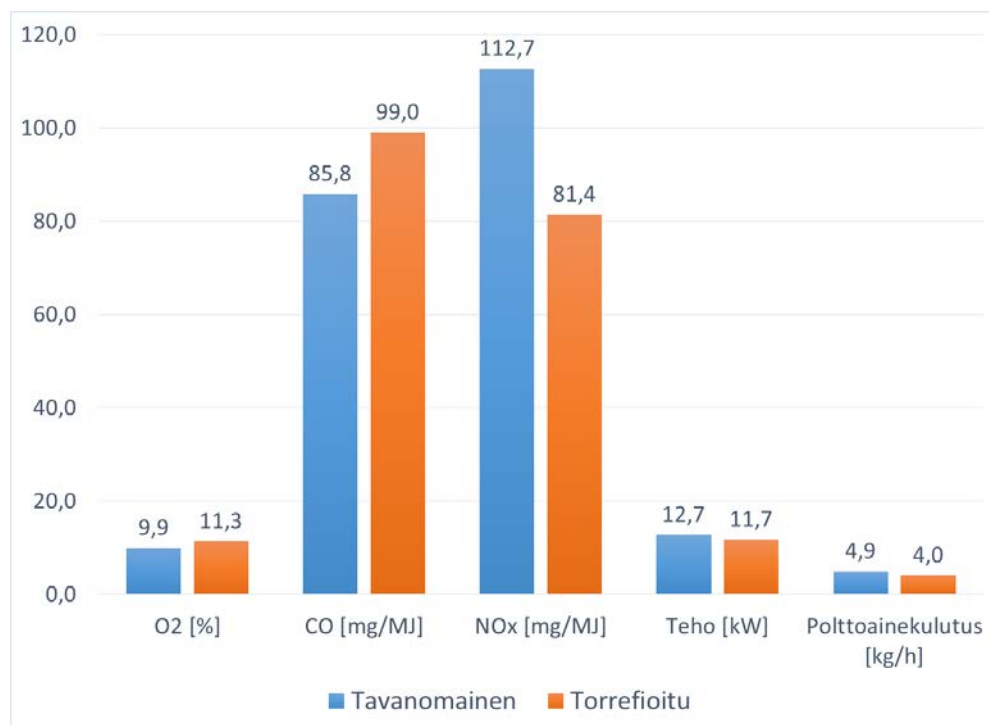
Kuva 17 BioComp 120 -biokattila, joka sijaitsi Ariterm Oy:n testauslaboratoriossa Saarijärvellä.

Polttokokeet suoritettiin huhti- ja toukokuun välisenä aikana vuonna 2016. Pienemmällä kattilalla polton koejakso oli yhden tunnin mittainen ja suuremmalla kuuden tunnin mittainen. Molemmat kattilat lämmitettiin käyttölämpötilaan aina ennen koejaksojen alkua, jotta mittaukset olisivat todellisia jatkuvan käytön osalta. Polttokokeiden savukaasuja mitattiin Testo 350 -savukaasuanalysaattorilla (Testo 350 2017), jonka mittauspiste oli kytketty molempien kattiloiden savukaasuputkistoon kahden metrin päähän tulipesästä.

4.3 Tulokset

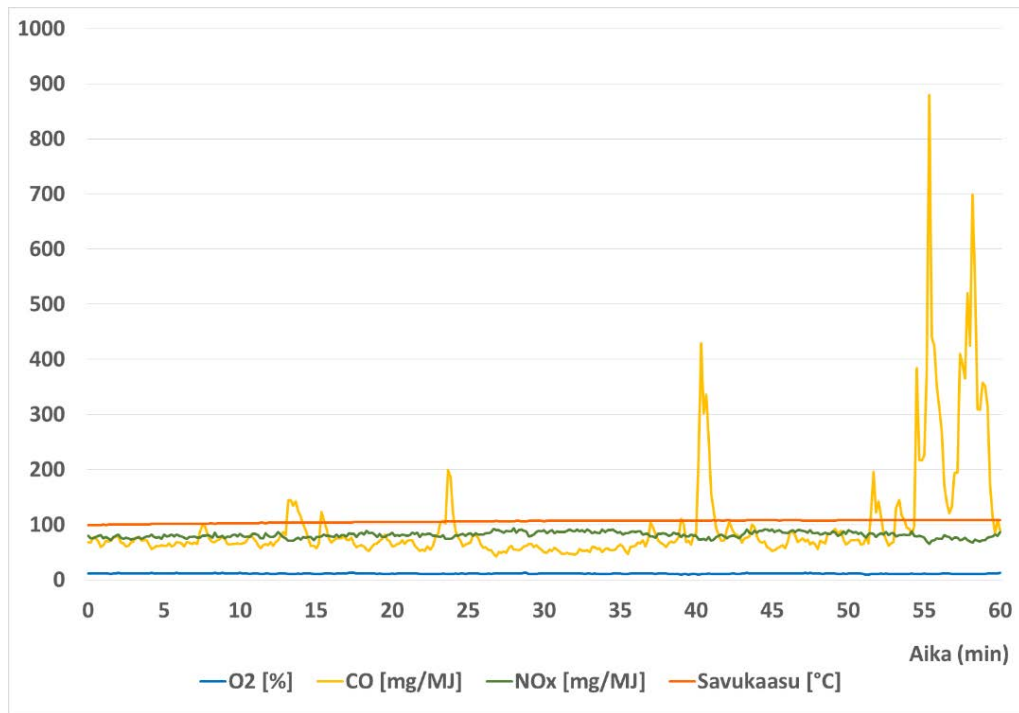
4.3.1 Polttokokeet 20 kW:n kattilalla

Kotitalouskokoluokan polttokokeet suoritettiin sekä torrefioidulla että tavanomaisella puupelletillä 20 kW:n kattilassa. Polttokokeiden tulokset on esitetty kuvassa 18. Tulokset olivat keskiarvotuloksia yhden tunnin koejaksoilta ja nimellisteho oli 100 % koejaksojen aikana.



Kuva 18 Polttokokeiden tulokset 20 kW:n kattilalla.

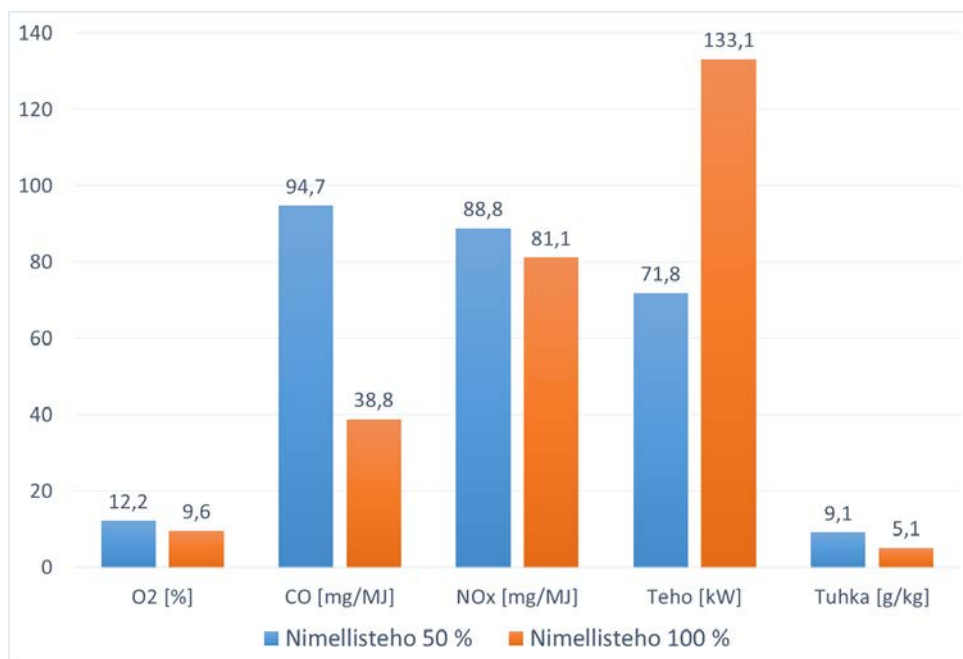
Torrefioidun pelletin osalta yksityiskohtainen tuloksien eteneminen koejakson aikana on esitetty kuvassa 19. Kuvasta huomataan selvemmin tuloksien ajanmukainen kehitys ja niissä ilmenneet tilapäiset piikit.



Kuva 19 Polttokokeen eteneminen torrefioidun pelletin osalta.

4.3.2 Polttokokeet 120 kW:n kattilalla

Teollisuusrakennuksen kokoluokan polttokokeet suoritettiin ainoastaan torrefioidulla puupelletillä 120 kW:n biokattilassa. Polttokokeiden tulokset on esitetty kuvassa 20. Tulokset olivat keskiarvotuloksia kuuden tunnin koejaksoilta. Nimellistehoina käytettiin 50 prosenttia ja 100 prosenttia erillisten koejaksojen aikana.



Kuva 20 Polttokokeiden tulokset 120 kW:n kattilalla.

4.4 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset

Polttokokeiden tulokset 20 kW:n kattilalla osoittivat, että polttoainekulutus oli paljon vähäisempi torrefioidulla puupelletillä (4,0 kg/h) kuin tavanomaisella puupelletillä (4,9 kg/h). Toisaalta, lämmitysteho oli puolestaan hieman pienempi torrefioidulla puupelletillä (11,7 kW) kuin tavanomaisella puupelletillä (12,7 kW). Savukaasujen osalta CO-pitoisuus oli korkeampi torrefioidulla (99,0 mg/MJ) kuin tavanomaisella puupelletillä (85,8 mg/MJ), mutta NO_x-pitoisuus oli vähäisempi torrefioidulla (81,4 mg/MJ) kuin tavanomaisella puupelletillä (112,7 mg/MJ). Jäännöshappi oli torrefioidulla 11,3 % ja tavanomaisella puupelletillä 9,9 %.

Torrefioidun puupelletin yksityiskohtaisista tuloksien etenemisistä yhden tunnin mittaisen koejakson aikana selvisi, että yleisesti ottaen savukaasupitoisuudet pysyivät vakioina. Ainoastaan CO-pitoisuudessa ilmeni huomattavia piikkejä, jotka aiheutuivat epätasaisesta palamisesta. Syynä epätasaiseen palamiseen oli ehkäpä liian pieni tulipesän tila (13 cm · 8 cm) verrattaen pellettien suureen kokoon nähden, sillä mitoiltaan molempien pellettien halkaisijana oli 8 mm. Lisäksi polttokokeet

toteutettiin kattiloiden vakiosäädöillä, jolloin kattiloita ei oltu säädetty torrefioiduille puupelleteille optimaalisimpiin käyttöarvoihin.

Polttokokeet 120 kW:n kattilalla osoittivat hieman erilaisia tuloksia. Tämän kattilan kokeet suoritettiin vain torrefioidulla puupelletillä. Merkittävintä oli se, että suuremmalla kattilan nimellisteholla sekä CO- että NO_x-pitoisuudet laskivat merkittävästi. Sama asia toteutui myös tuhkapitoisuuden kohdalla.

Tutkimus osoitti, että torrefioituja puupellettejä voidaan polttaa normaaleissa pelletti- ja biokattiloissa, kunhan kattilat ensin säädetään polttoaineille sopiviksi. Polttokokeissa ilmeni häikäpiikkejä, jotka aiheutuivat epätasaisesta palamisesta. Asia voidaan korjata muuttamalla kattilan säätöarvoja optimaalisemmaksi kyseiselle polttoaineelle. Yleisesti tiedetään, että torrefioidut puupelletit palavat pitempään tulipesässä, koska ne sisältävät enemmän hiiltä. Tällöin kattilan säätämällä on suuri merkitys onnistuneen polton aikaansaamiseksi. Torrefioidun puupelletin ansiosta kattiloiden polttoainekulutukset olisivat paljon vähäisempiä kuin tavanomaisella puupelletillä ja varastointitilaa tarvittaisiin paljon vähemmän polttoaineelle. Kuitenkin, aihe vaatisi lisää kattavampaa tutkimusta.

5 BIOHIILIPELLETIN ELINKAARIARVIOINTI

Raghu KC & Tapio Ranta

5.1 Johdanto

Kylmän ilmaston ja pitkä talven johdosta lämmityksen osuus on noin 25 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta (Tilastokeskus 2015). Lisäksi noin 66 prosentin osuus on asuintilojen lämmitystä kaikkien kotitalouksien energiankulutuksesta. Suomessa on noin 200 000 taloa, joita lämmitetään fossiilisella öljyllä noin 460 miljoonalla litralla vuosittain. Kun päästökertoimeksi oletetaan 2,64 kg CO₂/l, niin näiden asuntojen lämmitys aiheuttaa päästöjä noin 1,2 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä vuosittain (Hast et al. 2016).

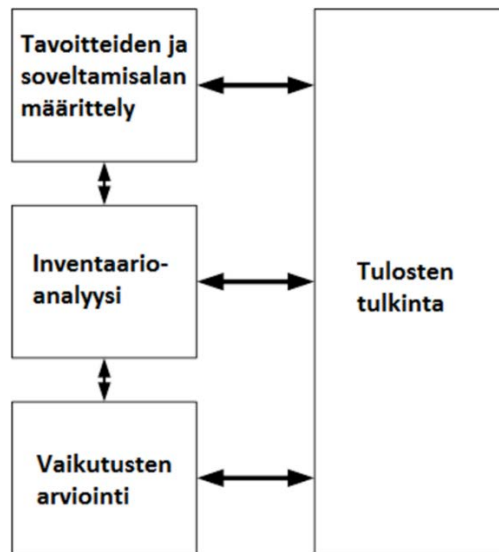
Suomessa vuosina 2006–2009 keskimäärin noin 18 000 öljyllä lämmitettyä yhden talouden asuntoa muuttivat lämmitysjärjestelmänsä toiseen vaihtoehtoon vuosittain. Esimerkiksi vuonna 2006 noin 37 prosenttia öljyllä lämpenevistä talouksista muuttivat lämmityksensä muihin vaihtoehtoihin, kuten sähkö-, puu-, maalämpö- ja kaukolämpöratkaisuihin. Vuonna 2009 muutostahti vain kasvoi, sillä öljylämmityksen vaihtaminen muuhun lämmitykseen oli noussut jo 49 prosenttiin. Nämä tilastot osoittivat, että öljylämmitysjärjestelmän asteittainen lopettaminen kotitalouksissa ja vaihtaminen muihin vaihtoehtoisiin lämmitysjärjestelmiin on ollut väistämätöntä ja pellettipolttojärjestelmä voisi olla yksi vartenotettava vaihtoehto korvaavaksi lämmitysjärjestelmäksi. (Vihola et al. 2012)

Vuoden 2015 tilastojen mukaan Etelä-Savon alueella noin 38 prosenttia kotitalouksista lämpeni sähköllä, kun puolestaan 14 prosenttia lämpeni öljyllä (Tilastokeskus 2015). Rouvinen et al. (2013) arvioivat, että kotitalouksien pellettilämmityksen arvioidaan kolminkertaistuvan vuosina 2009–2020. Tutkimus osoitti myös sen, että pellettilämmityksen positiiviset käyttäjäkokemukset todennäköisesti nostavat sen uskottavuutta ja sosiaalista hyväksyntää. Toistaiseksi Suomessa käytetään vielä perinteisiä vaaleita puupellettejä lämmitystarkoitukseen,

mutta myös pellettimuodossa oleva torrefioitu puupelletti on noussut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi perinteisen vaalean pelletin rinnalle.

Torrefioinnilla tarkoitetaan biomassan termokemiallista käsittelyä, jossa biomassaa paahdetaan 200–300 °C:ssa ja niukkahappisessa ympäristössä. Käsittelyn aikana biomassaa haurastuu osittain erityyppisten haihtuvien aineiden johdosta. Torrefioitu biomassaa sisältää enimmillään 90 % alkuperäisestä energiasta ja alkuperäisestä painosta häviää noin 30 %. Lisäksi torrefioidun biomassan helpompi jauhautuvuus ja hydrofobisuus (Thrän et al. 2016) ovat etuina polttoaineen käytölle olemassa olevissa hiilivoimaloissa. (Bergman & Kiel 2005)

Elinkaariarviointi eli LCA (Life Cycle Assessment) on menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin. Menetelmän avulla tunnistetaan ja kertomaan asianomaisille osapuolille mahdollisuuksista vähentää tuotteiden ympäristövaikutuksia sen elinkaaren eri vaiheissa. Siinä käsitellään sekä resurssien kulutusta että sen aiheuttamia seurauksia koko tuotteen elinkaaren ajan. Menetelmässä on neljä eri vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulosten tulkinta (kuva 21). Menetelmän ensimmäinen ja samalla tärkein vaihe, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, kuvaa tuotejärjestelmän ympäristövaikutukset ja rajat tutkimukselle. Inventaarioanalyysivaiheessa otetaan huomioon tuotejärjestelmän syötteet ja tuotokset määrällisessä muodossa. Vaikutusten arviointivaiheessa edellisen vaiheen tuloksia arvioidaan siten, että voidaan ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana. Tuloksien tulkintavaiheessa verrataan vaikutusarviointiin tai inventaarioanalyysiin tai molempien tuloksien arviointia asetettuihin tavoitteisiin ja soveltamisalaan. (ISO 14044 2006)



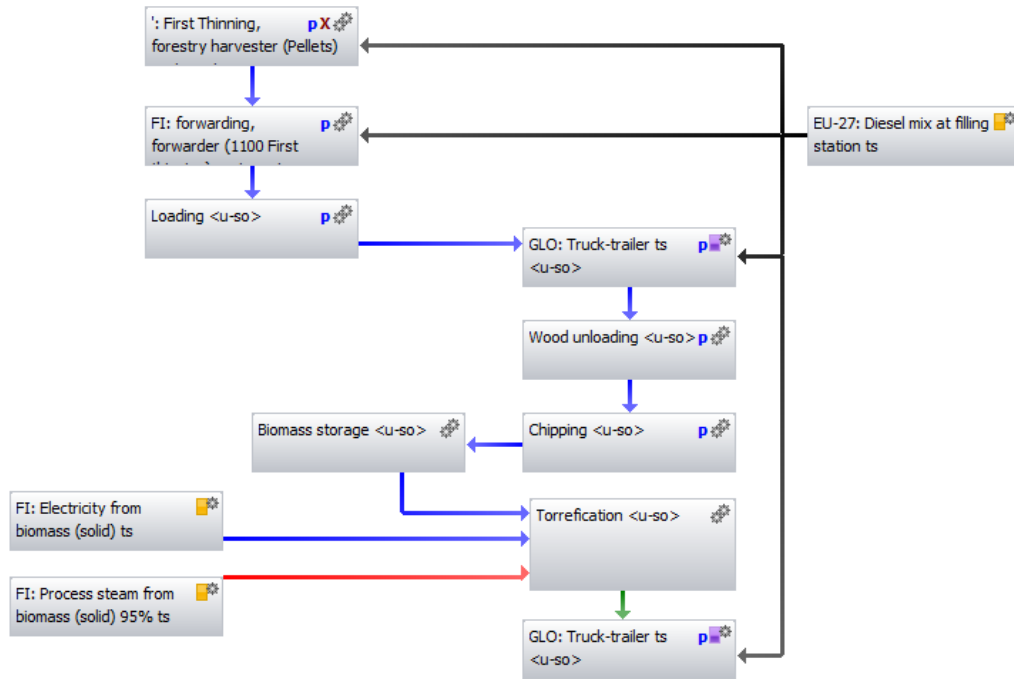
Kuva 21 Elinkaariarvioinnin vaiheet (mukailen lähdettä ISO 14044 2006).

5.2 Materiaalit ja menetelmät

Sekä perinteisen vaalean pelletin että torrefioidun pelletin tuotantoprosessit ja lopputuotteista saatava lisäarvo vaikeuttavat arviointia siitä, että ovatko torrefioidut pelletit ympäristöystävällisempi ratkaisu verrattuna valkoisiin pelletteihin. Tutkimuksessa suoritettiin LCA-tutkimus Ecoinvent-tietokantojen ja kokeellisten tietojen perusteella. Molempia puupellettejä poltettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Ariterm Biomatic+ 20 -pellettikattilassa (20 kW) ja poltosta syntyviä savukaasuja mitattiin Testo 350 savukaasuanalysaattorilla. Kyseinen kattila soveltui alaltaan noin 150 m² omakotitalon lämmitykseen. Tämän polttokokeen tarkoituksena oli tutkia molempien pellettien poltosta aiheutuvia kaasuja pienemmän kokoluokan kattilassa. Polttokokeissa käytettiin Torrec Oy:n Mikkelin pilottilaitoksessa tuotettuja torrefioituja puupellettejä. Torrefioitu pellettien raaka-aineiden alkuperä ja ominaisuudet oli kuvattu aiemmassa tutkimushankkeessa (Föhr et al. 2015). Vertailun vuoksi myös Vapo Oy:n tuottamat kaupalliset valkoiset pelletit poltettiin samassa kattilassa.

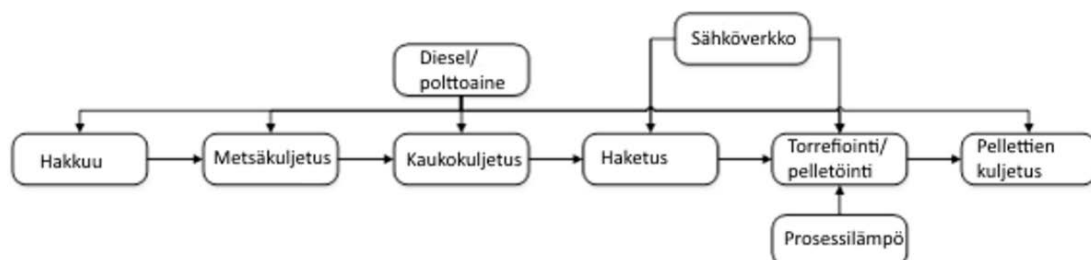
Tutkimuksessa laskettiin molempien pellettien elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt koko toimitusketjun osalta. Toimitusketjuissa huomioitiin

fossiilisen öljyn käyttö työ- ja kuljetusajoneuvoissa. Elinkaaritutkimus toteutettiin GaBi Thinkstep -ohjelmiston avulla. Kuvassa 22 on esitetty elinkaarimallinnusta torrefiointin tuotantoketjusta, jota oli suoritettu Gabi-ohjelmalla.



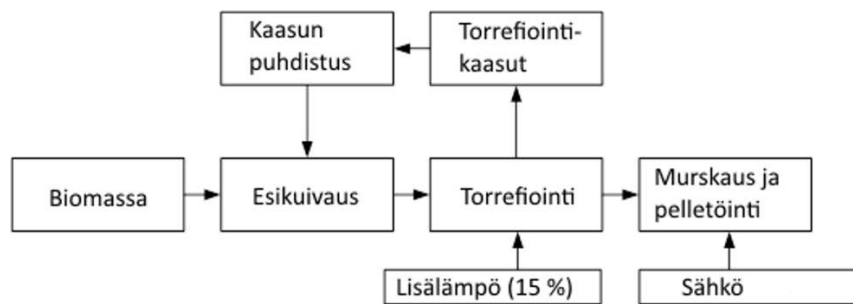
Kuva 22 Torrefiointiketjun elinkaarimallinnus GaBi ohjelmistossa.

Elinkaarianalyysin periaatteen mukaisesti on tarpeen määrittellä tutkimuksen rajat, kuten oli esitetty kuvan 21 ensimmäisessä vaiheessa. Tässä määrittelyvaiheessa kokonaisprosessin yksittäiset vaiheet ja tuotu energia esitetään laatikoissa ja niiden kulku ilmaistaan nuolien suunnilla. Kuten kuvassa 23 on esitetty, prosessi alkaa puiden hakkuusta ja niiden metsäkuljetuksesta tienvarteen. Tämän jälkeen puut kuljetetaan haketuspaikalle haketukseen.



Kuva 23 Tutkimuksen rajat.

Torrefiointiprosessin tekninen vuokaavio on esitetty kuvassa 24. Ensimmäiseksi hakettu biomassa esikuivataan. Seuraavaksi biomassahake torrefioidaan, murskataan ja pelletöidään ennen kuljetusta pelletin loppukäyttäjille. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että 15 % torrefiointivaiheen tarvitsemasta lämpöenergiasta saatiin prosessin ulkopuolelta. Tutkimuksessa oletettiin myös, että torrefiointikaasuja käytettiin uudelleen biomassan esikuivausvaiheessa. Haketuksen, murskauksen ja pelletöinnin energia saatiin sähköverkosta.

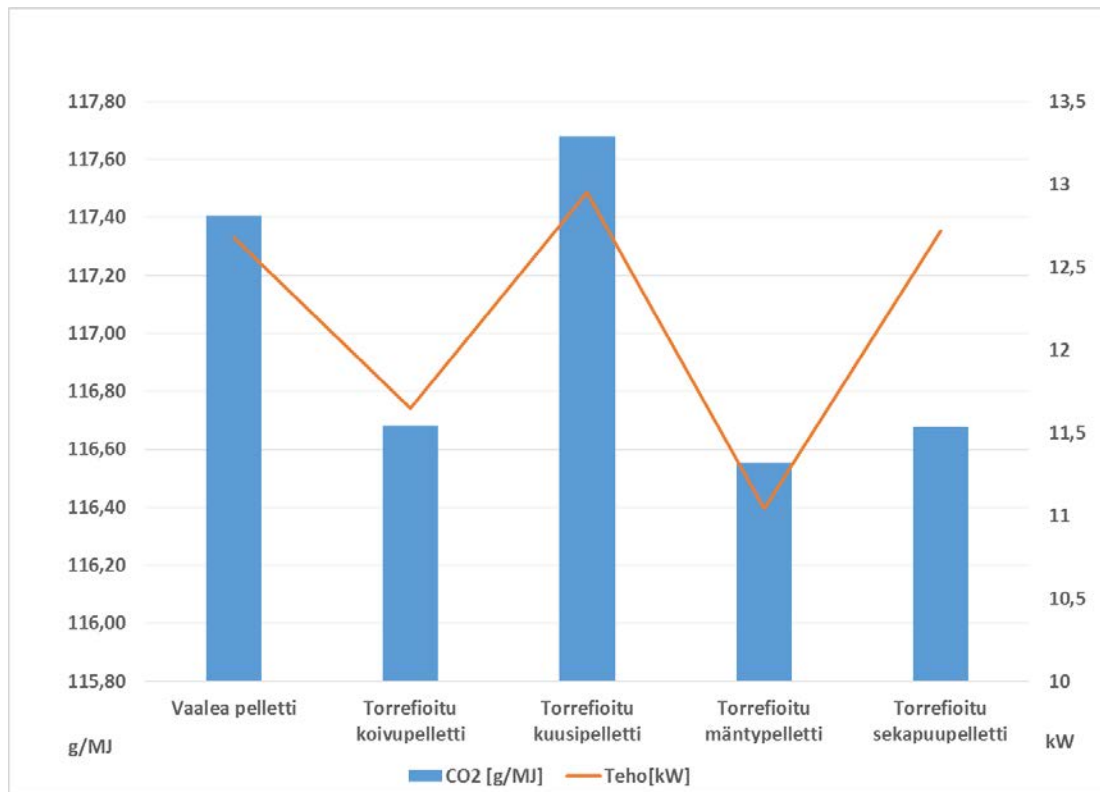


Kuva 24 Torrefiointiprosessin vuokaavio.

5.3 Tulokset

5.3.1 Polttokokeen hiilidioksidipäästöt

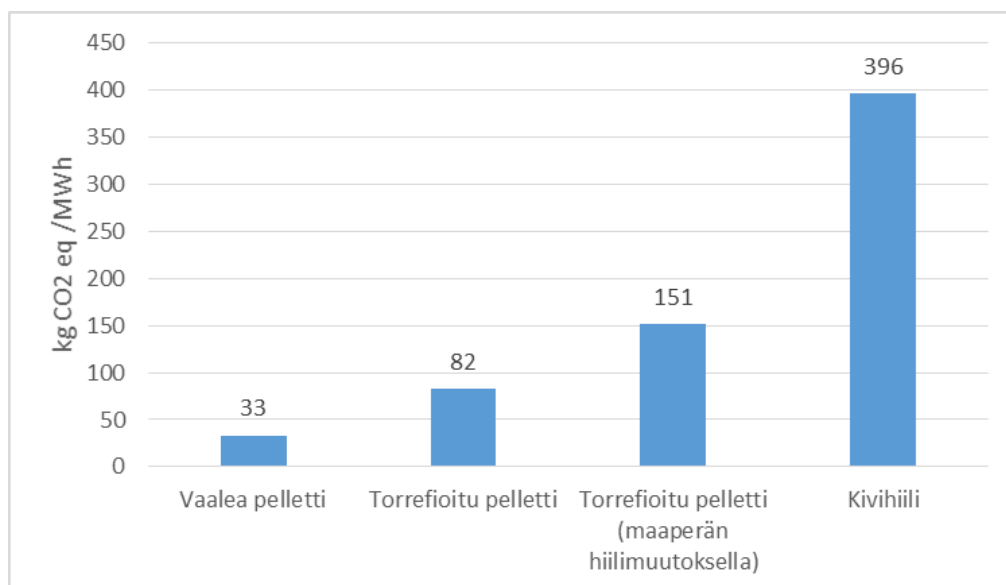
Vaikka biomassan poltosta peräisin oleva hiilidioksidipäästö katsotaan neutraaliksi ilmakehässä, niin se aiheuttaa kuitenkin kasvihuonepäästöjä. Kuvassa 25 on esitetty vertailukelpoiset tulokset pellettien polttokokeissa ilmenneistä hiilidioksidipäästöistä. Tulokset ovat sekä perinteisestä valkoisesta pelletistä että puulajikohtaisista torrefioiduista pelleteistä. Tulokset osoittivat alustavasti, että vaalean pellettien polttaminen tuotti noin 0,6 % enemmän hiilidioksidia kuin torrefioidut pelletit, lukuun ottamatta torrefioituja kuusipellettejä. Toisaalta, vaalean pelletin polttoainekulutus (4,9 kg/h) oli suurempi kuin torrefioidun pelletin (4,0 kg/h) polttokokeiden aikana.



Kuva 25 Perinteisen vaalean ja puulajikohtaisesti torrefioitujen pellettien polton hiilidioksidipäästöt 20 kW:n pellettikattilassa.

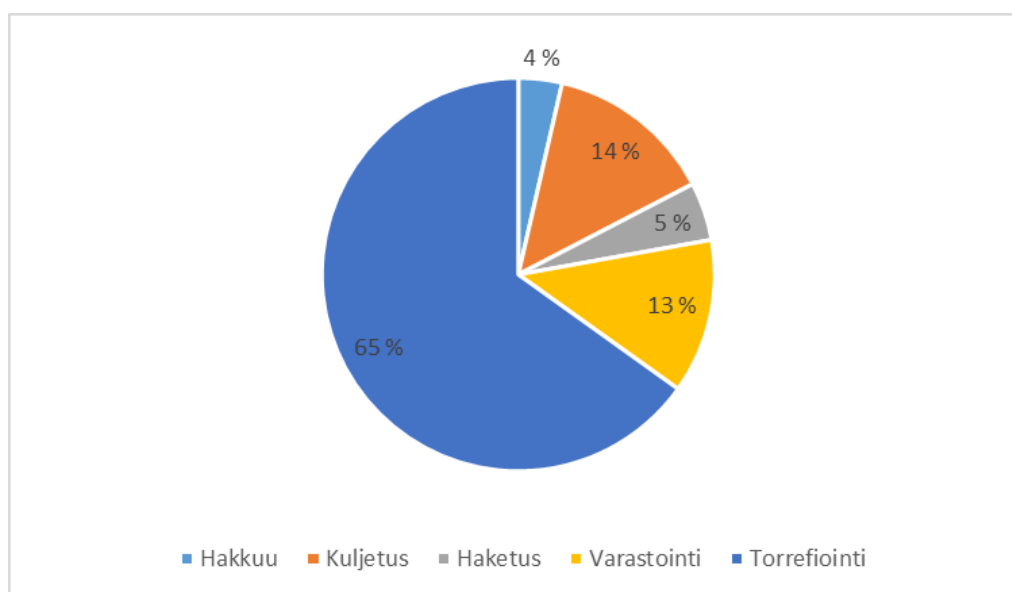
5.3.2 Hiilijalanjälki

Vaalean pelletin ja torrefioidun pelletin hiilijalanjäljet määritettiin kaikkien toimitusketjujen osalta ja niiden tulokset on esitetty kuvassa 26. Tulosten mukaan torrefioidulla pelletillä oli hiilidioksidipäästöjä 82 kgCO₂-eq/MWh, joka oli 80 % vähemmän kuin kivihieillä. Kuitenkin, jos maaperän hiilimuutos otetaan huomioon, niin torrefioidun pelletin hiilidioksidipäästöt olisivat 151 kgCO₂-eq/MWh.



Kuva 26 Eri pellettien ja kivihiilen hiilijalanjäljet.

Torrefioidun pelletin toimitusketjun eri vaiheiden CO₂-päästöosuudet on esitetty kuvassa 27. Torrefioidun pelletin toimitusketjun päästöistä suurin osa (65 %) johtui torrefiointivaiheesta. Biomassan kuljetus ja varastointi aiheuttivat yhdessä noin 27 % toimitusketjun kokonaispäästöistä.



Kuva 27 Torrefioidun pelletin toimitusketjun CO₂-päästöosuudet eriteltyinä.

5.4 Tulosten analysointi ja johtopäätökset

Elinkaariarvioinnin hiilijalanjäljen tuloksista huomattiin, että hiilidioksidipäästöistä voitaisiin vähentää huomattava määrä (80 %), kun kivihiiltä korvattaisiin torrefioidulla pelletillä energiantuotannon osalta. Hiilijalanjäljen tulokset osoittivat myös, että vaalean pelletin hiilidioksidipäästöt (33 kgCO₂-eq/MWh) olivat alhaisemmat kuin torrefioidun pelletin (82 kgCO₂-eq/MWh). Kuitenkin torrefioidun pelletin korkeampi energiasisältö erottaa sen vaaleasta pelletistä, jolloin sitä voidaan kuljettaa edullisemmin pitempiä matkoja ja se tarvitsee vähemmän varastointitilaa. Tässä tutkimuksessa torrefiointivaiheen tarvitsemasta energiasta 15 % tuotiin muista energialähteistä, kuten hiilivoimaloista, joten merkittävä osa sen vaiheen hiilidioksidipäästöistä johtui fossiilisen polttoaineen käytöstä.

Käytännössä olisi mahdollista, että torrefiointilaitokset olisivat energiariippumattomia, jos biomassaa käyttävä laitoksen oma pienen kokoluokan kattila voisi toimittaa tarvittavan lämmön torrefiointivaiheeseen. Tällöin kattilassa voitaisiin polttaa koko prosessin aikana syntyviä raaka-aineen sivuvirtoja. Kuitenkin järjestelmässä saattaa olla tarvetta ylimääräiselle polttobiomassalle energiatarpeen täyttämiseksi. Toisaalta, tällaisessa skenaariossa järjestelmän hyötysuhde vähenee.

6 LOGISTIIKAN VAIKUTUS BIOHIILIPELLETTIEN TUOTANTOKUSTANNUKSIIN JA TUOTANTOLAITOKSEN INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Raghu KC, Jarno Föhr & Tapio Ranta

6.1 Johdanto

Biohiilipelletti on uusiutuva polttoainetta energiantuotannolle, koska sitä valmistetaan metsäbiomassan raaka-aineista. Biohiilipelletillä voidaan korvata fossiilista polttoöljyä kotitalouksien lämmityksessä sekä kivihiilen käyttöä suurissa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Koska biohiilipelletin lisäarvoina ovat ominaisuudet, kuten korkea energiasisältö ja hydrofobisuus, niin sen uskotaan olevan paranneltu versio tavanomaisesta vaaleasta pelletistä. Kuitenkin biohiilipelletin korkeat tuotantokustannukset ja politiikan epävarmuus panostaa uusiutuviin energialähteisiin eivät ole kiihdyttäneet biohiilipelletin käyttöä energiantuotannon polttoaineena. Viime aikoina on tiedotettu uuden torrefiointilaitoksen rakentamisesta Etelä-Savon alueelle. On arvioitu, että investoinnin suuruus olisi noin 70–80 miljoonaa euroa laitokselle, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 t/vuosi (Länsi-Savo 2016). Tämä tuleva laitos voisi olla mahdollisesti maailman suurimpia torrefiointilaitoksia.

Suomessa metsäbiomassan toimitusketjulle on useita vaihtoehtoja, joilla pystytään toimittamaan raaka-ainetta torrefiointilaitokselle. Aivan ensimmäiseksi puut hakataan ja siirretään tienvarteen varastopinoon. Tämän jälkeen puut haketetaan mobiilihakkurilla suoraan yhdistelmän kyytiin tienvarressa ja kuljetetaan torrefiointilaitokselle (kuva 28). Vaihtoehtoisesti puun rungot voidaan kuljettaa tukkirekalla joko suoraan torrefiointilaitokselle tai biomassaterminaaliin, joissa haketuksen voi myös suorittaa. Biomassaterminaalit tarjoavat kustannustehokkaita ja laajamittaisia biomassan varastointi- ja käsittelyvaihtoehtoja polttoaineen toimittamisen varmistamiseksi kaikissa olosuhteissa (kuva 29). Virkkusen et al.

(2015) tutkimuksen mukaan terminaali ei välttämättä tarjoa suoria taloudellisia etuja, mutta se tarjoaa useita epäsuoria etuja, kuten esimerkiksi toimitusvarmuuden ja vakaan hinnan biomassalle.



Kuva 28 Haketusta tienvarressa suoraan yhdistelmän kyytiin.



Kuva 29 Biomassaterminaali.

Tämän tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena oli arvioida logististen vaihtoehtojen vaikutusta torrefioitujen pellettien tuotantokustannuksiin. Logistisia vaihtoehtoja tarkasteltiin eri skenaariovaihtoehdoilla ja tuotantokustannukset määritettiin biohiilipellettitehtaalle, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 t/vuosi ja sen investointi olisi 45,5 miljoonan euroa, joka pohjautui kirjallisuuden lähdetietoihin.

Tämän tutkimuksen toisena tavoitteena oli arvioida investointien toteutettavuutta perustettavalle biohiilipellettitehtaalle, joka perustui pääoman budjetoinnin työkaluun eli nettonykyarvoon (Net Present Value, NPV) ja sisäiseen korkoon (Internal rate of return, IRR). Nettonykyarvo on sellaisenaan kannattavuuden mittari. Nettonykyarvo on tulovirran nykyarvon ja menovirran nykyarvon erotus. Sisäinen korkokanta on se laskentakorko, jolla nettonykyarvo on nolla (Chandra 2008). Alkuinvestointi on toteuttamiskelpoinen, kun nettonykyarvo on suurempi kuin nolla ja sisäinen korko on suurempi kuin tuottovaatimus. Tutkimuksessa sijoitusten kannattavuutta arvioitiin eri komponenttien avulla, kuten herkkyystarkastelemalla biohiilipellettien energiasisältöjä ja laitoksen tuotantokapasiteettia.

6.2 Materiaalit ja menetelmät

6.2.1 Biohiilipellettitehdas

Tässä tutkimuksessa oletettiin hypoteettisen biohiilipellettitehtaan tuotantokapasiteetiksi 200 000 t/vuosi Etelä-Savon alueella. Tehtaalle tarvittavan puuraaka-aineen oletettiin tulevan ympäröivältä alueelta 200 kilometrin säteellä. Tämän kokoluokan tehtaasta puhuttaessa jouduttiin tutkimuksen lähtötietoja selvittämään aiemmin julkaistuista tutkimuksista. Puun raaka-ainehinta perustui Luonnonvarakeskuksen (2015) tilastoimaan koivukuitupuun hankintahintaan Savo-Karjala alueelta helmikuussa 2015. Tuolloin koivukuitupuun hankintahinta oli 30,5 €/m³. Lisäksi tutkimuksessa oletettiin, että yksi kiintokuutiometri koivupuuta sisälsi kaksi megawattituntia energiaa. Tehtaan investointikustannuksen oletettiin olevan 45,5 miljoonaa euroa (Svanberg et al. 2013). Vuosikorvauskerroin olisi 0,1175, joka perustui 10 prosentin vuotuiseseen korkoon ja 20 vuoden käyttöikään.

Svanberg et al. (2013) tutkimuksen mukaan tehtaan kokopäiväinen henkilöstötarve olisi 23 työntekijää. Rannan et al. (2016) tutkimuksen mukaisesti lämmön kustannukseksi oletettiin 25 €/MWh ja sähkön 100 €/MWh. Lisäksi saman tutkimuksen mukaisesti tuntipalkkojen oletettiin olevan 25 €/t ja rahtikustannuksen 20 €/t.

Biomassakuljetusajoneuvon hyötykuorman oletettiin olevan 46 t ja ajoneuvon omaksi tyhjäpainoksi 29,5 tonnia. Rankapuu kuljetuskustannukset laskettiin Korpilahden (2013) kehittämän mallin mukaisesti. Haketuksen kustannukset perustuivat Rinteen (2010) tutkimuksen, jonka lineaarinen yhtälö on esitetty yhtälössä 1, jossa Y edustaa kuljetuksen kustannuksia ja X edustaa kuljetusetäisyyttä. Toisaalta puun kuljetuskustannukset perustuivat Metsätehon (2017) esittämiin tietoihin. Lisäksi torrefioitujen biohiilipellettien tuotantokustannukset laskettiin Rannan et al. (2016) tutkimuksen perusteella.

$$Y = 0,259X + 1,0252 \quad (1)$$

6.2.2 Logistikka

Tässä tutkimuksessa tutkittiin myös biohiilipellettitehtaan raaka-ainevirran erilaisia logistiikkaratkaisuja eri skenaariovaihtoehdoilla (kuva 30), jotka olivat seuraavat:

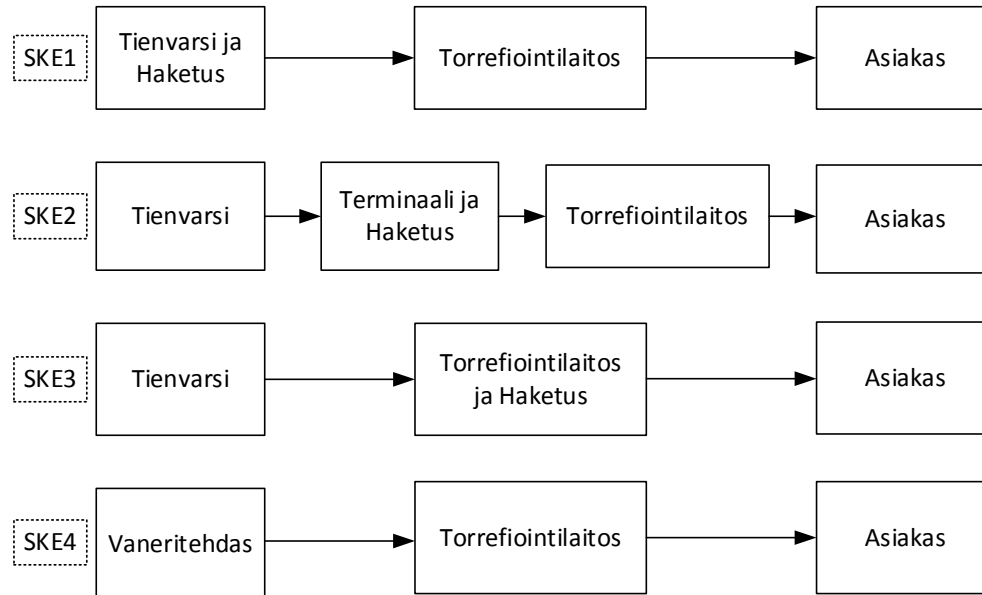
Skenaario 1: Rankapuu siirretään hakkuun jälkeen tienvarteen ja haketetaan keskikokoisella hakkurilla. Tämän jälkeen hakkeet kuljetetaan torrefiointilaitokselle.

Skenaario 2: Rankapuu siirretään hakkuun jälkeen tienvarteen. Tienvarrelta puu kuljetetaan terminaaliin ja haketetaan siellä. Tämän jälkeen hake kuljetetaan torrefiointilaitokselle, jonka oletetaan olevan 30 km päässä terminaalista.

Skenaariossa 3: Rankapuu kuljetetaan tienvarresta suoraan torrefiointilaitokselle ja haketetaan sen läheisyydessä.

Skenario 4: Lisävaihtoehtona tarkastellaan lähialueen vaneritehtaan sivutuotevirtojen käyttöä raaka-aineena torrefiointilaitoksella. Tienvarresta tulevan rankapuun ja

vaneritehtaan sivutuotteen välinen ero on se, että vaneritehtaan raaka-aine on jo valmiiksi haketettu.



Kuva 30 Skenaariovaihtoehdot biohiilipellettitehtaan raaka-ainevirralle.

6.2.3 Nettonykyarvo (NPV) ja sisäinen korko (IRR)

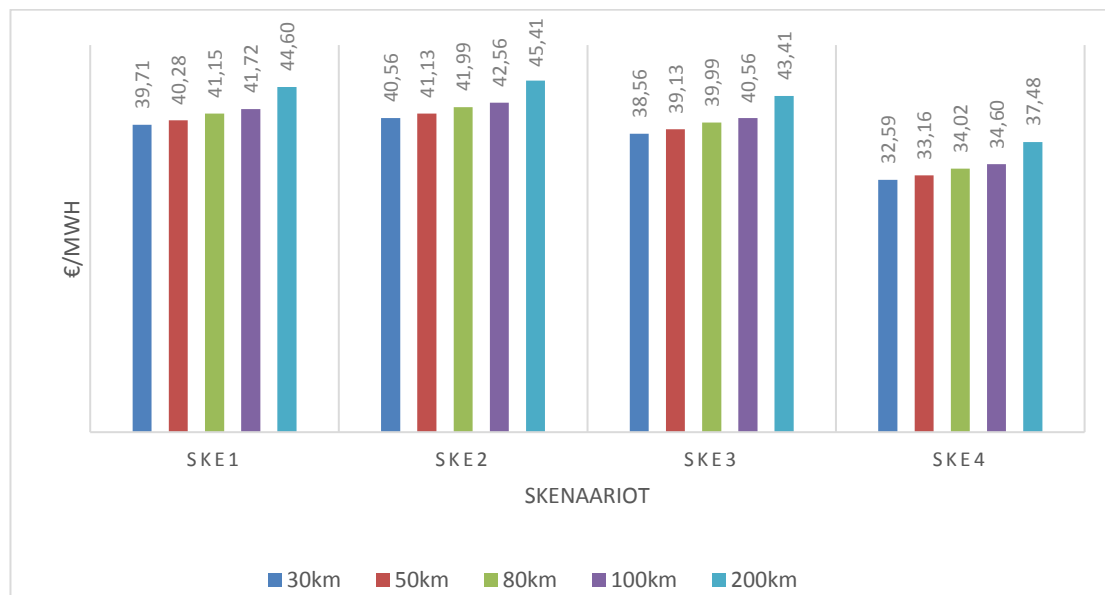
Alustavien tietojen mukaan, jotka olivat 45,5 miljoonan euron investointi, 10 prosentin korkotaso ja 20 vuoden laitoksen käyttöikä, laskettiin nettonykyarvo (NPV) ja sisäinen korko (IRR). Vuotuinen tuotto oletettiin vakioksi. NPV:n ja IRR:n herkkyyttä arvioitiin vaihtelevan nettotuoton, pellettien energiasisällön ja tuotantokapasiteetin perusteella.

Länsi-Savon (2016) lehtikirjoituksen mukaan Etelä-Savon torrefioidun biohiilipellettitehtaan investointi olisi 70–80 miljoonaa euroa. Tässä tutkimuksessa investoinnin oletettiin olevan 45,5 miljoonaa euroa lähdekirjallisuuden perusteella. Suuresti eroavien investointimäärien vuoksi on kuitenkin järkevää tarkastella molempia ilmoitettuja investointeja. Näin ollen tässä tutkimuksessa arvioitiin sekä NPV että IRR myös 80 miljoonan euron investoinnille.

6.3 Tulokset

6.3.1 Tuotantokustannukset

Kuvassa 31 on esitetty torrefioidun puupelletin tuotantokustannukset. Tuloksista kävi ilmi, että SKE3 oli halvin kolmen ensimmäisen skenaarion kesken, jolloin puubiomassa haketettiin torrefiointilaitoksen läheisyydessä. Näissä laskelmissa haketuskuksannukset oli pidetty vakiona (3,16 €/MWh). Kuitenkin SKE4, jossa hyödynnettiin vaneriteollisuuden sivutuotteita, oli halvin skenaario johtuen halvasta raaka-aineesta (hinnaksi oletettu 12€/MWh).

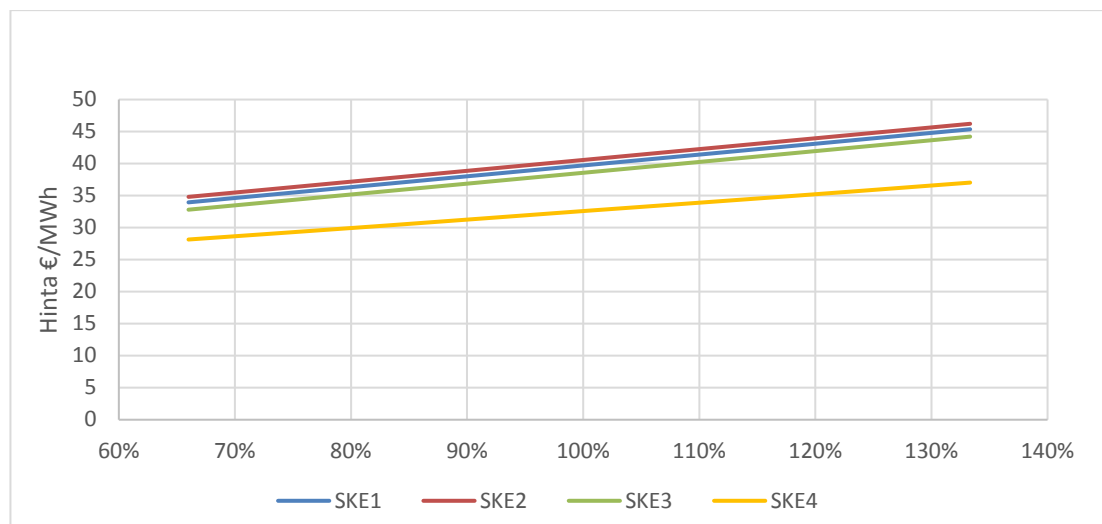


Kuva 31 Torrefioitujen puupellettien tuotantokustannukset.

Tuloksista kävi myös ilmi, että keskitetyt terminaali- tai käyttöpaikkahaketukset laskivat torrefioitujen puupellettien kustannuksia 1,41 €/MWh tienvarsihaketuksen sijasta. Tämä kävi ilmi skenaarioissa 2 ja 3.

Kuvassa 32 on esitetty herkkyystarkastelu raaka-aineen hinnan vaikutuksesta torrefioidun puupelletin tuotantohinnan suhteen. Kun raaka-aineen hinta oli 66 prosenttia normaalista 100 prosentista, niin pelletin hinta laski 14 prosentilla. Samoin,

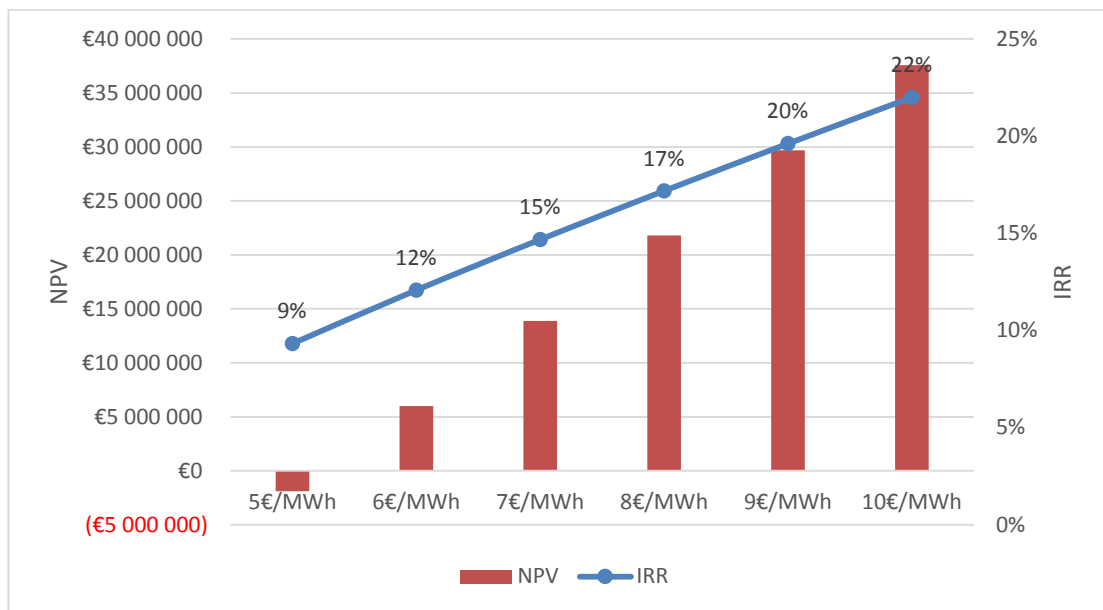
jos raaka-aineen hinta nousi 33 % normaalista hinnasta, niin pelletin hinta nousi 14 prosentilla.



Kuva 32 Raaka-aineen hinnan vaikutus torrefioidun puupelletin tuotantohinnalle (oletettu kuljetusmatka 30 km).

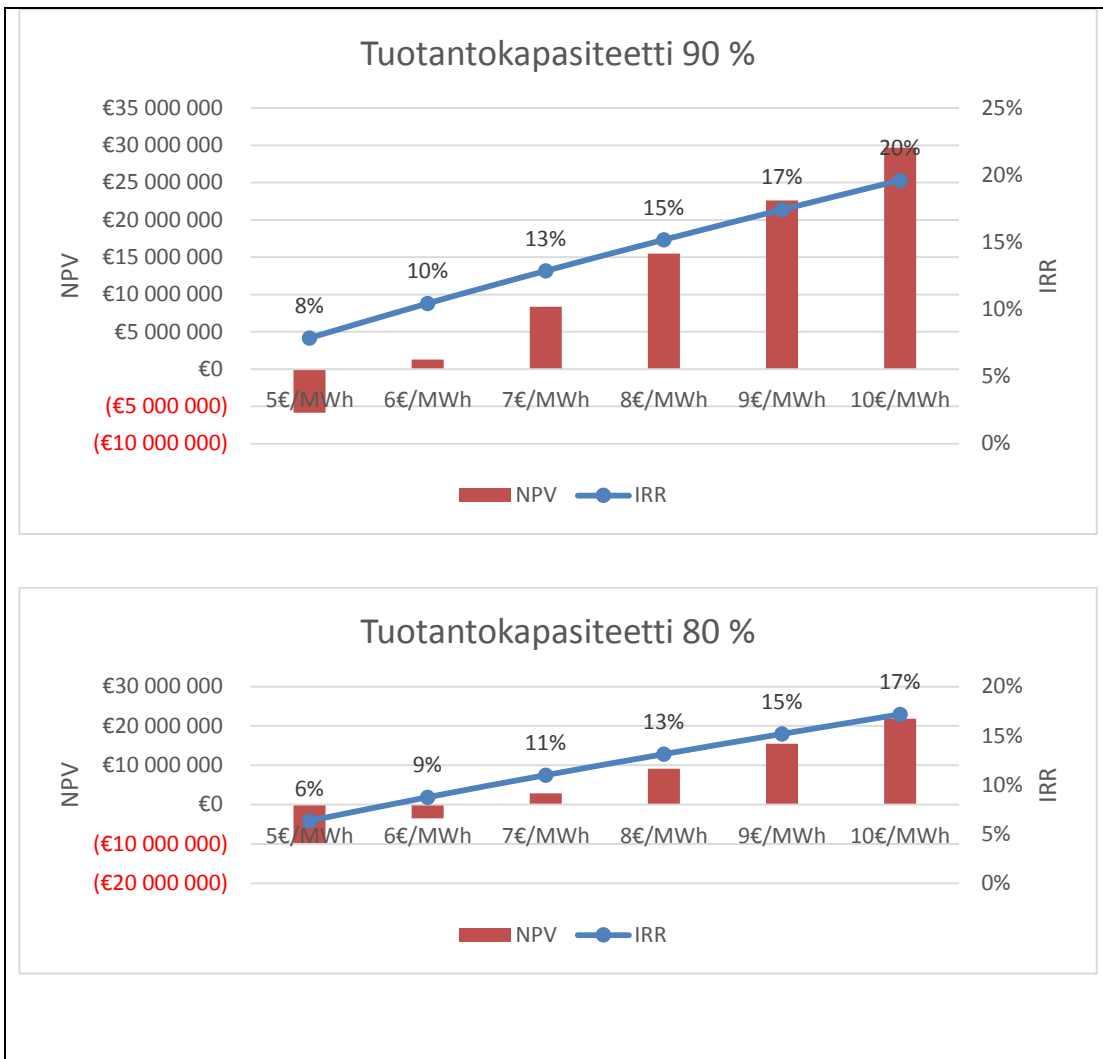
6.3.2 NPV ja IRR

Kuvassa 33 on esitetty laitokselle, jonka alkuinvestointi olisi 45,5 miljoonaa euroa ja tuotantokapasiteetti 200 000 t/vuosi, laskelmia NPV:n ja IRR:n suhteen. Kuvasta huomataan, että 5 €/MWh nettotuotto ei olisi riittävä laitokselle. Laskelmien mukaan 5 €/MWh nettotuotto johtaisi NPV:n arvoon -1,9 miljoonaa euroa ja IRR:n arvoon 9 %. Kuitenkin pelletistä saatava 6 €/MWh nettotuotto johtaisi positiiviseen NPV:n arvoon, joka olisi 6 miljoonaa euroa ja IRR olisi 12 %, joka olisi korkeampi kuin alkuperäinen diskonttokorko (tuottovaatimus).



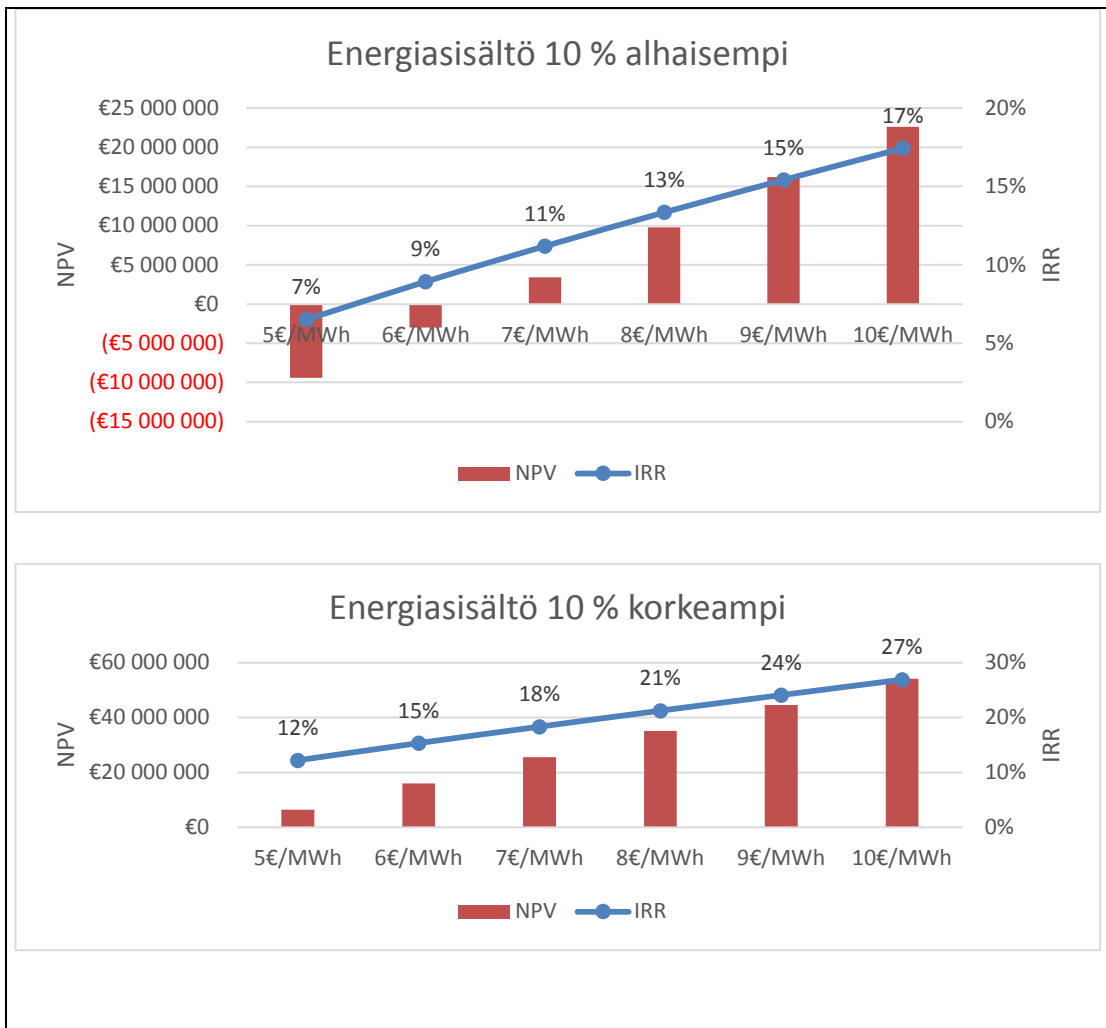
Kuva 33 NPV ja IRR vaihtelevan nettotuoton (€/MWh) perusteella.

Kuvassa 34 on esitetty saman laitoksen vastaavat laskelmat kuin aiemmassa kuvassa 33, mutta laskelmia on herkkyytarkasteltu tuotantokapasiteetin (90 % ja 80 %) suhteen. Kun laitos oli toiminut 90 prosenttisesti, niin 6 €/MWh nettotuotolla NPV asettui noin 1 miljoonaan euroon ja IRR 10 prosenttiin. Kun laitos oli toiminut vain 80 prosenttisesti, niin laitos ei ollut enää kannattava 6 €/MWh:n nettotuotolla.



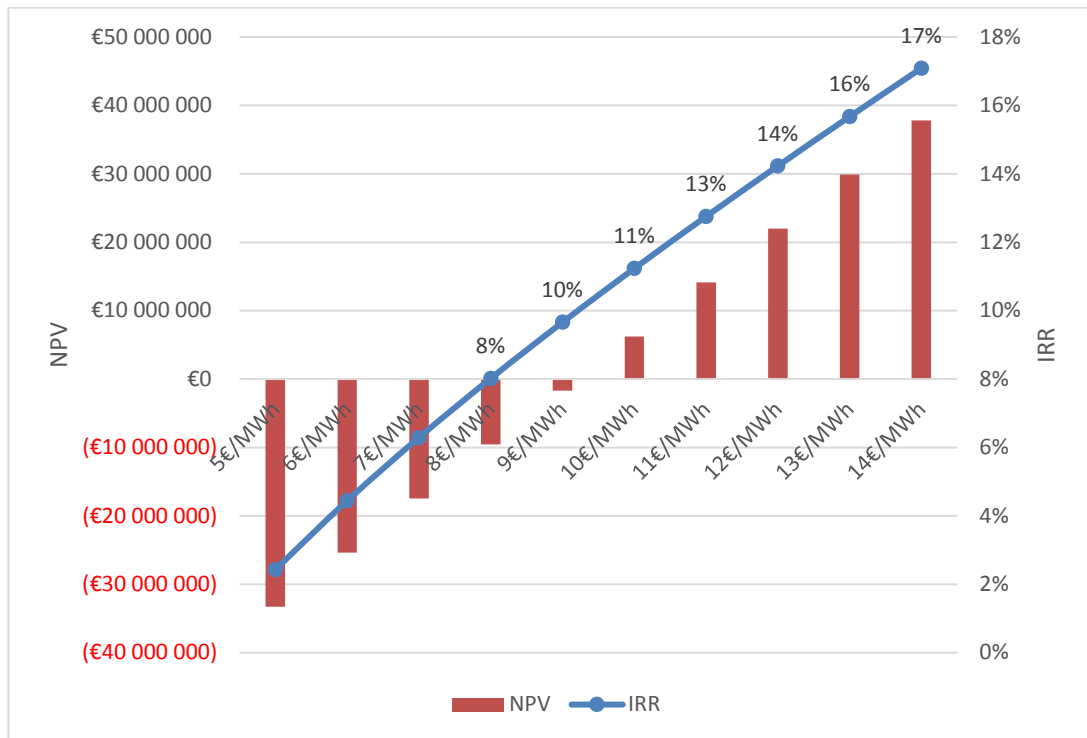
Kuva 34 NPV ja IRR, kun laitoksen tuotantokapasiteetti oli 90 % ja 80 %.

Kuvassa 35 on esitetty biohiilipellettien energiasisällön vaikutus NPV:hen ja IRR:ään. Tulokset osoittivat, että kun lähtötietojen energiasisältö (5,1 MWh) alenee 10 prosenttia, niin 6 €/MWh nettotuotolla päästään NPV:n osalta -3 miljoonaan euroon ja IRR:n osalta 9 prosenttiin. Toisaalta, pellettien 10 % korkeammalla energiasisällöllä päästään jo 5 €/MWh nettotuotolla 6 miljoonaan euroon (NPV) ja 12 prosenttiin (IRR).



Kuva 35 NPV ja IRR, kun energiasisältö oli 10 % alhaisempi tai 10 % korkeampi.

Kuvassa 36 on esitetty tulokset NPV:stä ja IRR:stä, kun oletettu alkuinvestointi olisikin 80 miljoonaa euroa, josta oli uutisoitu lehdistössä. Kuvasta huomataan, että positiivisen NPV:n saavuttamiseksi biohiilipelletin myynnistä olisi saatava 10 €/MWh nettotuotto. Tällöin saavutettaisiin 6 miljoonan euron NPV ja 11 prosentin IRR.



Kuva 36 NPR ja IRR, kun alkuinvestointi olisi 80 miljoonaa euroa.

6.4 Tulosten analysointi ja johtopäätökset

6.4.1 Tuotantokustannukset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisia logistiikkaratkaisuja biohiilipelletitehtaalte, joka suunniteltu rakennettavaksi Etelä-Savon alueelle. Laitoksen ilmoitettu koko olisi 200 000 t/vuosi, joka olisi kokoluokaltaan mahdollisesti maailman suurimpia torrefiointilaitoksia. Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli tutkia erilaisia logistiikkavaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia torrefioitujen puupellettien tuotantokustannuksiin. Tutkimuksessa tarkasteltiin biohiilipelletin raaka-ainelogistiikan vaihtoehtoja skenaariokohtaisesti.

Tuloksista havaittiin, että raaka-ainekustannuksilla oli merkittävä rooli tuotantokustannuksissa. Tulokset osoittivat myös, että hakettaminen tehtaan läheisyydessä biomassaterminaalin sijaan alensi biohiilipelletin tuotantokustannuksia 5 %. Toisaalta, jos hakettaminen tapahtui keskitetysti biomassaterminaalissa tai

tehtaan läheisyydessä, niin se alensi tuotantokustannuksia 7 % tienvarsihaketuksen sijaan. Toisaalta, kuljetusmatkalla oli myös merkittävä vaikutus biohiilipelletin tuotantokustannuksiin. Tulokset osoittivat, että 100 kilometrin lisäkuljetus aiheutti noin 7 prosentin kasvun pelletin tuotantokustannuksiin.

Kuitenkin biohiilipelletin tuotantokustannukset ovat edelleen huomattavasti korkeammat kuin sen kilpailijoiden, kuten kivihiilen tai tavanomaisen vaalean pelletin. Jos biohiilipellettilaitokset käyttäisivät energiapuuta nykyisen kuitupuun sijaan, niin puuraaka-aineen hinta olisi merkittävästi alhaisempi. Kuitenkin laitoksilla saattaa olla mahdollisuus kuljettaa energiapuuta naapurimaakunnista, mikä johtaa automaattisesti pitempiin kuljetusmatkoihin. Tällöin tarvittaisiin kattavampaa arviointia siitä, mikä vaihtoehto olisi kannattava ratkaisu kustannustehokkuuden kannalta.

Viimeisenä skenaariona 4 tarkasteltiin vaneritehtaan sivutuotevirtojen käyttöä biohiilipellettitehtaan raaka-aineena. Vaneritehdas sijaitsee Ristiinassa, Etelä-Savossa. Todellisuudessa on vaikea arvioida tehtaalta syntyvien sivutuotteiden hintaa, koska näitä biomassoja käytetään raaka-aineena selluteollisuudessa (selluhake) ja polttoaineena energialaitoksilla ja maksukyky niistä vaihtelee. Tutkimuksessa arvioitiin biohiilipelletin tuotantokustannukset olettaen, että vaneritehtaalta tulevan raaka-aineen hinta vaihteli. Tuloksista huomattiin, että jos sivutuotteen hinta olisi 8 €/MWh ja biohiilipellettilaitos olisi lähellä (30 km) vaneritehdasta, niin biohiilipelletin tuotantokustannukset olisivat noin 28 €/MWh, joka on jo kustannuksiltaan kilpailukykyinen. Jos sivutuotteen hinta nousi 16 €/MWh:iin, niin tuotantokustannukset olisivat noin 36 euroa /MWh.

6.4.2 NPV ja IRR

Tämän tutkimuksen toisena tavoitteena oli arvioida investointien toteutettavuutta Etelä-Savon maakuntaan perustettavalle biohiilipellettitehtaalle. Tutkimuksissa oletettiin, että investoinnin suuruus olisi 45,5 miljoonaa euroa ensimmäisenä vuotena ja takaisinmaksu tapahtuisi tasaisena rahavirtana seuraavan 20 vuoden aikana.

Tulokset osoittivat, että jos biohiilipelletistä saataisiin 5 €/MWh:n nettotuotto, niin se ei olisi vielä riittävä tehtaan investoinnin kannalta. Toisaalta, 6 €/MWh nettotuotosta NPV:n arvoksi saadaan jo 6 miljoonaa euroa. Tulokset osoittivat myös, että jos biohiilipelletin energiasisältö kasvaa 10 % normaalista 5,1 MWh/t:sta, niin 5 €/MWh:n nettotuloksen perusteella saadaan NPV:n arvoksi 6 miljoonaa euroa ja IRR:n arvoksi 12 %. Lisäksi, jos tehtaan tuotantokapasiteetti jää 90 prosenttiin sille ilmoitetusta nimellisestä tuotantokapasiteetista, niin 6 euron/MWh:n nettotuotolla saavutetaan NPV:n arvoksi noin 1 miljoonaa euroa ja IRR:n arvoksi 10 %.

Lehtiuutisoinnin mukaan Etelä-Savon maakuntaan on suunniteltu investointimäärältään noin 70–80 miljoonan euron biohiilipellettilaitos, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 t/vuosi. Tässä tutkimuksessa määritimme samat investointilaskelmat myös tämän kokoiselle investoinnille. Tulokset osoittivat, että investoinnit olisivat toteuttamiskelpoisia, jos laitos pystyisi tuottamaan vähintään 10 €/MWh nettotuoton biohiilipelletistä 20 vuoden aikana. Kuitenkaan biohiilipelletitehtaan on erittäin vaikea asettaa tällaista suurta voittomarginaalia omalle tuotteelleen. Biohiilipelletin tuotanto tarvitsee avuksi poliittisia kannustimia valtion taholta uusiutuvia polttoaineita kohtaan ja fossiilisille polttoaineille enemmän päästöveroja. Tämä voisi helpottaa uusiutuvien polttoaineiden käyttöönottoa jatkossa.

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Maailmassa on jatkuvaa energiankäytön kasvua ja siihen pyritään alueellisesti vastaamaan kehittämällä uusia ratkaisuja energiantuotannon parissa. Yhtenä ratkaisuna voisi olla lähes kivihiilen ominaisuudet omaava puuraaka-aineesta valmistettava biohiilipelletti, jolla on suurempi energiasisältö kuin tavanomaisella puupelletillä. Tässä julkaisussa olleiden tutkimuksien pyrkimyksenä oli tunnistaa kaupallistumisvaiheessa olevan biohiilipelletin tuotannon ja käytön arvoketjuun liittyviä toimintamahdollisuuksia. Lisäksi pyrkimyksenä oli edistää tulevaisuuden kehitystä, joka vähentäisi energiantuotannon päästöjä ja lisäisi energiaomavaraisuutta paikallistasolla, erityisesti Etelä-Savon maakunnassa. Tähän haasteeseen pyrittiin vastaamaan *Hajautettu energiantuotanto biohiilipelleteillä* -hankkeessa suoritettujen osatehtävien perusteella.

Energiantuotanto pienessä kokoluokassa (< 5 MW) edellyttää yleensä hyvä- ja tasalaatuista polttoainetta, jolla tarkoitetaan alhaista kosteutta ja vähäistä epäpuhtauksien määrää. Polttoaineiden korkea energiasisältö, hyvä varastoitavuus ja käsiteltävyys ovat myös tavoiteltavia ominaisuuksia. Tavanomainen puupelletti ja biohiilipelletti ovat yhdessä soveliaita polttoainevaihtoehtoja tässä vaatimusluokassa. Biohiilipelletin etuna on kuitenkin se, että sillä pystyttäisiin korvaamaan kivihiiiltä kivihiiivoimaloiden nykykattiloissa paljon suuremmilla seososuuksilla kuin tavanomaista pellettiä käyttämällä. Kuitenkin kivihiilen ja päästöoikeuksien alhaisen markkinahinnan sekä tukijärjestelmien puutteen vuoksi markkinaa ei ole syntynyt biohiilipelletille Suomeen. Lisäksi sähköntuotantoon käytetyt polttoaineet ovat verottomia, jolloin kivihiilen edullinen hinta korostuu entisestään.

Lämmöntuotannossa biohiilipelletin käyttö voisi olla taloudellisestikin järkevää, koska lämmöntuotannon polttoaineet ovat verollisia. Tällä alueella biohiilipelletin suurin potentiaali voisi olla huippu- ja varalämpölaitosten polttoaineena, sillä niissä käytetään jo ennestään kalliita polttoaineita, kuten maakaasua ja polttoöljyä. Myös rinnakkaiskäyttö tavanomaisen puupelletin kanssa voisi olla mahdollista kyseisissä laitoksissa, sillä monia huippu- ja varalämpölaitoksia on muutenkin muutettu

puupelletille viime vuosien aikana. Lisäksi pienkäytössä olisi myös suuri käyttöpotentiaali, sillä kalliimmat öljy- ja sähkölämmitteiset asunto- ja kiinteistökohteet voisivat olla korvattavissa biohiilipelletille soveltuvilla pellettikattiloilla.

Etelä-Savon alueella olisi tarjolla vuosittain nuorta koivupuuta (koivukuitupuu) simulointimallien mukaisesti noin 0,7–0,8 miljoonaa kiintokuutiometriä vuosien 2016–2030 aikana. Tämä määrä riittäisi maakuntaan suunnitellun biohiilipellettilaitoksen raaka-aineeksi, jonka tuotantokapasiteetti olisi 200 000 t/vuosi. Käytännössä tämän kokoinen laitos tarvitsee raaka-ainetta vuosittain noin 0,6–0,7 miljoonaa kiintokuutiometriä riippuen laitoksen prosesseista. Kuitenkin, jos tulevaisuudessa Etelä-Savon kaikki nuori koivupuuta käytettäisiin laitoksen raaka-aineena, niin taloudellinen lisäarvo maakuntaa kohtaan olisi noin 10–14 miljoonaa euroa vuosittain edellyttäen, että laitoksen koko tuotanto menisi vientiin maakunnan ulkopuolelle. Toisaalta, jos laitoksen tuotannosta käytettäisiin puolet maakunnan omissa energiantuotantolaitoksissa ja puolet menisi vientiin, niin taloudellinen lisäarvo maakuntaa kohtaan olisi jopa 44–72 miljoonaa euroa. Tämä johtuu suurelta osin kaukolämmön korkeasta kuluttajahinnasta. Tällä hetkellä tilanne on kuitenkin se, että lähes kaikki koivukuitupuu kuljetetaan suoraan raaka-aineeksi naapuruskuntien sellutehtaille, jolloin puun jalostamisesta ei saada ollenkaan taloudellista hyötyä Etelä-Savon maakunnassa. Johtopäätöksenä on se, että puuta kannattaa jalostaa tai käyttää mahdollisimman paljon oman maakunnan laitoksissa, jotta maakunta hyötyisi parhaiten omista puuvarannoistaan.

Lehtiuutisointien mukaan Etelä-Savon maakuntaan suunniteltu biohiilipellettitehdas olisi investointimäärältään noin 80 miljoonaa euroa. Tutkimuksissa määritimme investointilaskelmat hankkeen kannattavuudelle. Tulokset osoittivat, että investoinnit olisivat toteuttamiskelpoisia, jos laitos pystyisi tuottamaan vähintään 10 €/MWh nettotuoton biohiilipelletistä 20 vuoden aikana. Kuitenkaan biohiilipellettitehtaan on erittäin vaikea asettaa tällaista suurta voittomarginaalia omalle tuotteelleen. Jos investoinnin suuruus olisi lähdekirjallisuuden mukainen 45,5 miljoonaa euroa, niin

6 €/MWh:n nettotuotto pelletistä riittäisi saamaan hankkeesta kannattavan. Investoinnin kannattavuutta pystyisi tarkastelemaan monelta eri kantilta, esim. tuotteen energiasisällön tai vaikkapa tehtaan tuotantokapasiteetin kannalta. Tällöin liikutaan kuitenkin pelletin nettotuoton muutosalueella 1–2 €/MWh suuntaan tai toiseen.

Torrefioitujen puupellettien polttokokeet osoittivat, että niitä voidaan polttaa normaaleissa pelletti- ja biokattiloissa, kunhan kattilat ensin säädetään kyseisille polttoaineille sopiviksi. Pienemmän 20 kW:n kattilan polttokokeissa ilmeni häikäpiikkejä, jotka aiheutuivat epätasaisesta palamisesta. Asia voidaan jatkossa korjata muuttamalla kattilan säätöarvoja optimaalisemmaksi kyseiselle polttoaineelle. Kaikki tutkimuksen polttokokeet toteutettiin kattiloiden vakiosäädöillä, jolloin kattiloita ei oltu säädetty torrefioiduille puupelleteille optimaalisiin käyttöarvoihin. Polttokokeet 120 kW:n kattilalla osoittivat hieman parempia tuloksia torrefioidulle pelletille. Merkittävintä oli se, että suuremmalla kattilan nimellisteholla sekä CO- että NO_x-pitoisuudet laskivat merkittävästi. Sama asia toteutui myös tuhkapitoisuuden kohdalla.

Biohiilipelletin elinkaariarvioinnin hiilijalanjäljen tuloksista huomattiin, että kivihiilen energiantuotannon hiilidioksidipäästöistä voitaisiin vähentää jopa 80 %, kun kivihiili korvattaisiin torrefioidulla puupelletillä. Hiilijalanjäljen tulokset toimitusketjun osalta osoittivat myös, että tavanomaisen vaalean pelletin hiilidioksidipäästöt (33 kgCO₂-eq/MWh) olivat alhaisemmat kuin torrefioidun pelletin (82 kgCO₂-eq/MWh). Kuitenkin torrefioidun pelletin korkeampi energiasisältö erottaa sen vaaleasta pelletistä, jolloin sitä voidaan kuljettaa edullisemmin pitempiä matkoja ja se tarvitsee vähemmän varastointitilaa. Kivihiilellä vastaava toimitusketjun hiilidioksidipäästö oli jopa 396 kgCO₂-eq/MWh.

Biohiilipelletin tuotantokustannuslaskelmissa havaittiin, että raaka-ainekustannuksilla oli merkittävä rooli pelletin hinnan suhteen. Kun raaka-aineen hinta oli 66 prosenttia normaalista 100 prosentista, niin biohiilipelletin hinta laski 14 prosentilla. Samoin,

jos raaka-aineen hinta nousi 33 % normaalista hinnasta, niin biohiilipelletin hinta nousi 14 prosentilla.

Tässä julkaisussa biohiilipellettiä päästiin tutkimaan monelta eri kantilta. Tosiasia on kuitenkin, että aihe vaatii vielä lisää luotettavaa tutkimusta. Biohiilipelletin tuotanto ei lähde myöskään käyntiin ilman poliittista tukea ja fossiilisten polttoaineiden verotuksen tiukentamista. Tutkimuksen osalta toivomme myönteisiä toimenpiteitä biohiilipellettiä kohtaan, mikä voisi mahdollistaa biohiilipellettilaitosten investointeja Suomen maakuntiin. Vain maakunnissa tapahtuvan puunjalostamisen ja käyttämisen kautta saavutetaan taloudellista lisäarvoa, jolloin puhutaan kymmenien miljoonien eurojen hyödyistä maakuntia kohtaan.

LÄHTEET

- Ariterm Oy 2017A. Pellettikattilat. Ariterm Biomatic+ 20. Saatavissa: <http://www.ariterm.fi/lammitysratkaisut/pientalokattilat/pellettilammitys/pellettikattilat/>.
- Ariterm Oy 2017B. Biokattilat. BioComp. Saatavissa: <http://www.ariterm.fi/lammitysratkaisut/jarjestelmakomponentit/biokattilat/biocomp/>.
- Bergman, P. C. & Kiel, J. H. 2005. Torrefaction for biomass upgrading. 14th European Biomass Conference, Pariisi, Ranska, s. 17–21.
- Bioenergia ry 2016. Pellettikatkat tehokkaita korvaamaan sähkölämmitystä. Selvitysraportti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/ajankohtaista/muut_tiedotteet/2016/bioenergia_ry_selvitys_pellettikatkat_tehokkaita_korvaamaan_sahkolammitysta.8357.news.
- Chandra, P. 2008. Financial Management. Tata McGraw-Hill Education.
- Energiateollisuus ry 2017. Kaukolämmön hintatilasto. Materiaalipankki. Julkaistu 3.3.2017. Xls-tiedosto. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view.
- Energiauutiset 2015. Pelletin voimalaitoskäyttö kasvussa. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://www.energiiauutiset.fi/uutiset/pelletin-voimalaitoskaytto-kasvussa.html>.
- Fortum Oyj 2016. Lämpö: Puhtaampaa lämpöä puupelleteillä. Saatavissa: <http://www.fortum.com/countries/fi/lampo/tulevaisuuden-lampo/pelletti-kivenlahti/pages/default.aspx>.
- Flyktman, M., Kärki, J., Hurskainen, M. et al. 2011. Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. Espoo, VTT Tiedotteita – Research Notes 2595, 65 s..
- Föhr, J., Seppänen, T., Suikki, J., et al. 2015. Torrefioidun biohiilipelletin kirjallisuustutkimus ja koeajot pilottilaitoksessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Scientific and Expertise Publications. Tutkimusraportit – Research Reports 46. 46 s.. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/117387>.
- Hast, A., Ekholm, T. & Syri, S. 2016. What is needed to phase out residential oil heating in Finnish single-family houses? *Sustainable Cities and Society*. Vol. 22, s. 49–62.

- ISO 14044 2006. Environmental management- Life cycle assessment- Requirements and guidelines. Saatavissa: www.sfs.fi.
- Karttunen, K. (toim.), Karhunen, A., Laihanen, M. et al. 2017. Metsätoimialan aluetaloudellinen vaikuttavuus Etelä-Savossa – Tulevaisuusvisio 2020-luvulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. LUT Scientific and Expertise Publications. Raportit ja selvitykset – Reports 71. 55 s.. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/135149>.
- Korpilahti, A. 2015. Bigger vehicles to improve forest energy transport. Metsälehdien tulosalvosarja 2/2015.
- Luonnonvarakeskus 2015. Teollisuuspuun kauppa, helmikuu 2015. Tilastojulkistus 12.3.2015. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/puukauppa/2015/02/>.
- Luonnonvarakeskus 2017. Metsätilastot. Saatavissa: <http://stat.luke.fi/metsa>.
- Länsi-Savo 2016. Mikkeliin iso investointi: 50 tehdastyöpaikkaa ja lisää metsiin. Lehtiartikkeli 28.11.2016. Saatavissa: <http://www.lansi-savo.fi/uutiset/lahella/mikkeliin-iso-investointi-50-tehdastyopaikkaa-ja-lisaa-metsiin-356751>.
- Maaseudun Tulevaisuus 2016. Biohiilitehdas Mikkeliin. Lehtiartikkeli 29.11.2016. Saatavissa: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/biohiilitehdas-mikkeliin-1.170289>.
- Metsäteho Oy 2017. Metsätehon tulosalvosarja. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/kategoria/tuloskalvosarja/>.
- Pöyry 2017. Is biocoal a bioenergy game changer? Pöyry Point of View: Shaping the next future. 8 s.. Saatavissa: [http://www.bioendev.se/wordpress/wp-content/uploads/2017/03/P%C3%B6yry is biocoal a bioenergy game changer .pdf](http://www.bioendev.se/wordpress/wp-content/uploads/2017/03/P%C3%B6yry%20is%20biocoal%20a%20bioenergy%20game%20changer.pdf).
- Ranta, T., Föhr, J. & Soininen, H. 2016. Evaluation of a pilot-scale wood torrefaction plant based on pellet properties and Finnish market economics. International Journal of Energy and Environment, 7 (2)2016, s. 159–168.
- Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Rouvinen, S. & Matero, J. 2013. Stated preferences of Finnish private homeowners for residential heating systems: a discrete choice experiment. Biomass Bioenergy. Vol. 57, s. 22–32.
- Strandström, M. 2017. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2016. Metsätehon tulosalvosarja 1a/2017.

- Suur-Savon Sähkö Oy 2015. Juvan kaukolämmöntuotannossa siirryttiin kotimaisiin puupelletteihin. Saatavissa: <http://www.ssoy.fi/Yritys/Tiedotearkisto/Juvan-kaukolammontuotannossa-siirryttiin-kotimaisiin-puupelletteihin/>.
- Svanberg, M., Olofsson, I., Flodén, F. et al. 2013. Analysing biomass torrefaction supply chain costs. *Bioresource Technology*. Volume 142, s. 287–296.
- Tampereen sähkölaitos Oy 2012. Sarankulmaan nousee Suomen suurin pellettilämpölaitos. Saatavissa: https://www.tampereensahkolaitos.fi/yritysjaymparisto/ajankohtaista/Sivut/Sarankulmaan_nousee_Suomen_suurin_pellettilampolaitos.aspx#.VtVvT49OLIU.
- Testo 350 2017. For Emission testing and combustion analysis. Esite, PDF-tiedosto. Saatavissa: <http://www.testo350.com/downloads/350/literature-manuals/1-%20testo-350-brochure.pdf>.
- Thrän, D., Witt, J., Schaubach, K. et al. 2016. Moving torrefaction towards market introduction – Technical improvements and economic-environmental assessment along the overall torrefaction supply chain through the SECTOR project. *Biomass Bioenergy*. Vol. 89, s. 184–200.
- Tilastokeskus 2015. Saatavissa: http://www.stat.fi/index_en.html.
- Tilastokeskus 2016A. Energian hinnat, 2016, 2. vuosineljännes. Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmön tuotannossa. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2016/02/>.
- Tilastokeskus 2016B. Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja lämmitysaineen mukaan 31.12.2015. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asu_rakke/020_rakke_tau_102.px/?rxid=545ecbf9-84f8-46f6-9f36-bd48f1e2e33.
- Tilastokeskus 2017. Liitetaulukko 6. Kuluttajahintaindeksi 2005=100. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khi/2017/03/khi_2017_03_2017-04-13_tau_006_fi.html.
- Torrec Oy 2017. Yrityksen kotisivu. Saatavissa: <http://www.torrec.fi/index.php/fi/>.
- Turku Energia 2016. Turku Energian Luolavuoren pellettilaitos on otettu käyttöön. Saatavissa: <http://www.turkuenergia.fi/kotitalouksille/ajankohtaista/2016/turku-energia-luolavuoren-pellettilaitos-otettu-kayttoon/>.
- Vihola, J. & Heljo, J. 2012. Lämmitystapojen kehitys 2000–2012. Aineistoselvitys. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Rakennustekniikan Laitos. Construction Management and Economics. Report 10.

Virkkunen, M., Raitila, J. & Korpinen, O.-J. 2015. Cost analysis of a satellite terminal for forest fuel supply in Finland. *Scandinavian journal of forest research*. Volume 31, 2.

7. Mikä on halukkuutenne käyttää biohiilipellettejä liiketoiminnassanne tällä hetkellä? *

	suuri	melko suuri	neutraali	melko pieni	pieni	en osaa sanoa
Valitkaa parhaiten Teille sopiva vaihtoehto.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Mitkä ovat syyt halukkuuteenne/haluttomuuteenne?

9. Missä kohteistanne olisi mahdollista käyttää biohiilipellettejä nyt?

10. Luettelkaa potentiaalisia kohteita, joissa voisitte käyttää biohiilipellettejä.

11. Mikä on korkein hinta, jonka olisitte valmiita maksamaan biohiilipelleteistä? (€/MWh)

12. Jos biohiilipelletit olisivat tämän hintaisia, kuinka paljon käyttäisitte niitä vuodessa? (MWh)

13. Kuinka luotettavana pidätte arviotanne käyttömäärästä?

	hyvin luotettavana	hyvin luotettavana	neutraalina	epäluotettavana	epäluotettavana	hyvin epäluotettavana	en osaa sanoa
Valitkaa parhaiten Teille sopiva vaihtoehto.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Mitkä asiat mielestänne puoltavat biohiilipellettien käyttöä?

15. Mitä epävarmuustekijöitä näette biohiilipellettien käytössä ja/tai käyttöönotossa?

16. Mikä on yleinen suhtautumisenne biohiilipelletteihin?

17. Vapaa sana. Voitte kirjoittaa tähän mielipiteitänne energiantuotantoon ja biohiilipelletteihin liittyvistä asioista ja tästä kyselystä. Kaikki mielipiteet ja arviot ovat tervetulleita.


ISBN 978-952-335-131-8

ISBN 978-952-335-132-5 (PDF)

ISSN-L 2243-3376

ISSN 2243-3376

Lappeenranta 2017

**LUT**
Lappeenranta
University of Technology