

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Arto Yletyinen

PARKETINVALMISTUKSEN SIVUVIRRRAN KÄYTTÖ YHDI-  
TYSSÄ SÄHKÖN- JA LÄMMÖNTUOTANNOSSA

Opinnäytetyö

Toukokuu 2013



## OPINNÄYTETYÖ

Toukokuu 2013  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto  
Sirkkalantie 12 A  
80200 JOENSUU  
p. +358(0)13 260 6900

Tekijä

Arto Yletyinen

Nimeke

Parketinvalmistuksen sivuvirran käyttö yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa

Toimeksiantaja: Karelia-Upofloor Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin uutta energiantuotannon teknologiaa, jonka avulla voidaan kehittää parketinvalmistuksessa syntyvän sivutuotteen hyötykäytön liiketoimintamallia. Tutkimustyön tavoitteena oli selvittää toiminnallisella tutkimuksella sivutuotteen tarkka lämpöarvo sekä valita aineistoanalyysin perusteella sivuvirran laadulle ja määrälle soveltuva CHP- teknologia.

Tutkimuksen aikana kerättyjen tietojen perusteella esitettiin erilaisia investointiehdotuksia ORC-kiertoon perustuvaan yhteistuotantoon sekä arvioitiin laskennallisilla menetelmillä investointivaihtoehtojen taloudellista kannattavuutta. Nykyistä lämpölaitosta soveltuvin osin hyödyntämällä investointi yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon on taloudellisesti ja myös ekologisesti kannattava. Puupolttolaitteen maantiekuljetusta ei uudessa toimintamallissa tarvita ja ostosähköä korvaamalla voidaan saavuttaa merkittävä vaikutus toiminnan taloudelliseen kannattavuuteen.

Nykyinen sivuvirta ei ole määrältään riittävän suuri hinnaltaan kilpailukykyisen sähkön tuottamiseksi silloin kun investointi tehdään ORC-yksikön lisäksi myös lämmöntuotantoon. Tutkimuksen tuloksena kuitenkin nähtiin että energiantuotantoteknologian kehittyessä yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto on tulevaisuudessa taloudellisesti kannattavaa entistä pienemmissä yksiköissä.

Kieli

suomi


Sivuja 47

Liitteet 5

Liitesivumäärä 5

Asiasanat

Puutuoteteollisuus, sivutuote, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, ORC- Organic Rankine Cycle, kannattavuus

	<p><b>THESIS</b></p> <p><b>May 2013</b>  <b>Master's Program in Environmental Technology</b>  <b>Sirkkalantie 12 A</b>  <b>80200 JOENSUU</b>  <b>FINLAND</b>  <b>Tel.+358(0)13 260 6900</b></p>
<p>Author(s)</p> <p>Arto Yletyinen</p>	
<p>Title</p> <p>CHP- production from the residues of parquet production</p> <p>Commissioned by: Karelia-Upofloor Oy</p>	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to investigate new energy production technology to utilize residues from the parquet manufacturing process. By means of an operational study, the exact heat value of the residue was determined, and the suitable Combined Heat and Power (CHP) production technology was selected for the quality and volume of the present yearly residue.</p> <p>On the strength of the gathered information during the study, new investment proposal were presented, and profitability of investments was estimated by annuity calculation and other investment calculation methods. By using the already existing heat source at the factory, a new investment in ORC- based energy production is an economically and ecologically profitable option. With the on-site CHP-production there is no longer a need for the road transportation of solid biofuel products, and the biggest economic benefit is achieved when the produced electricity can be utilized at the factory.</p> <p>If the investment is also made in the new heat source, the present flow of the residue is not enough for the plant to produce cost-effective electricity. The findings of the study showed however, that while the technology develops, CHP- production will be possible and also economically profitable in smaller units than before.</p>	
<p>Language</p> <p>Finnish</p>	<p>Pages 47</p> <p>Appendices 5</p> <p>Pages of Appendices 5</p>
<p>Keywords</p> <p>Wood products industry, residues, combined heat and power production, ORC- Organic Rankine Cycle, profitability</p>	

## Sisältö

1 Johdanto .....	5
2 Puupolttoaineen ominaisuudet yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa .....	6
2.1 Sivuvirran polttoaineominaisuus .....	7
2.2 Kosteuden määrittäminen .....	8
2.3 Lämpöarvojen määrittäminen .....	9
3 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, CHP .....	11
3.1 ORC-teknologia .....	15
3.2 ORC-teknologialla tuotettu sähkö .....	18
4 Kannattavuuden parantaminen energiantuotannolla .....	20
5 Kehittämistehtävä .....	22
6 Tulokset .....	24
6.1 Nykytila-analyysi .....	25
6.2 Sivuvirran energiapotentiaali .....	26
6.3 Sähköntuotannon potentiaali .....	29
6.4 Investointiehdotukset yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon .....	31
6.5 Riski- ja herkkyysanalyysi .....	36
8 Johtopäätökset .....	37
Lähteet .....	40

## Liitteet

Liite 1 Parkettitehtaan toteutunut sähkönkäyttö 2012

Liite 2 Pommikalorimetritestin tulos havupuulle

Liite 3 Pommikalorimetritestin tulos kovapuulle

## 1 Johdanto

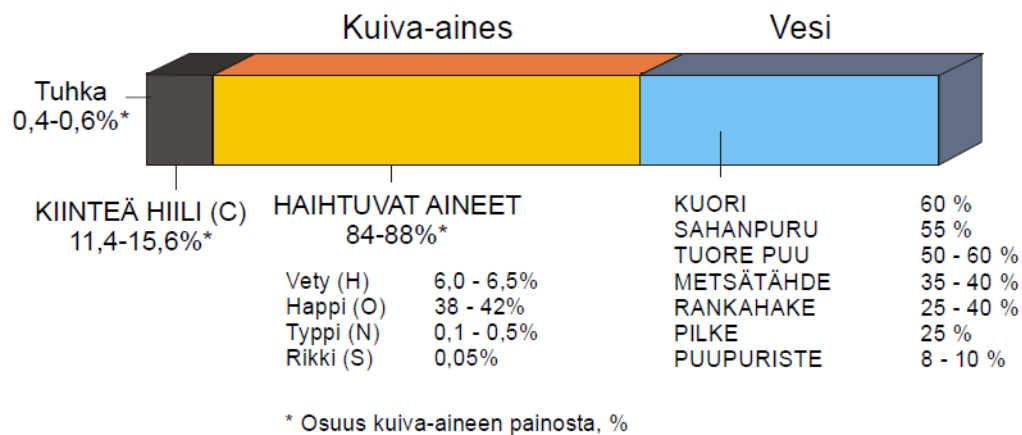
Opinnäytetyössä tutkitaan parketinvalmistuksessa syntyvän sivuvirran vaihtoehtoista käyttötapaa yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Työn aikana tutkitaan uutta toimintamallia ja teknologista ratkaisua nykyisen lämmityskäytön ja briketinvalmistuksen vaihtoehdoksi. Työn tutkimusosiossa selvitetään nykyinen toimintamalli ja sen taloudellinen kannattavuus nykytila-analyysillä, selvitetään tarkka energiapotentiaali toiminnallisella tutkimuksella laboratoriotestein sekä esitetään tuloksissa uusia investointiehdotuksia useita erilaisia laskentamenetelmiä käyttämällä.

Puu on ekologinen polttoaine, mutta tilavuuteen suhteutettuna alhaisen energiasisältönsä takia puupolttoaineen ympäristöystävällisen loppukäytön on tapahduttava mahdollisimman lähellä syntypaikkaa ilman että jalostusvaiheita tai ilmastonmuutoksen kannalta haitallisia maantiekuljetuksia tarvitaan. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, eli CHP-tuotanto on yleisin Suomessa käytettävä kaukolämmön tuotannon teknologinen ratkaisu, mutta perinteisesti höyryturbiineihin perustuvat laitokset ovat olleet suuria >10MW:n laitoksia. Uuden sukupolven Organic Rankine Cycle teknologia mahdollistaa sähkön- tuotantoon hyvin soveltuvan turbiinikäytön aiempaa alhaisemmassa lämpötilassa ja painetasolla. Kehityksen myötä laitosten rakentaminen on entistä halvempaa pienen mitta- kaavan laitoksissa, ja myös käytön aikainen huollon tarve on uusissa laitoksissa vähäis- tä.

Kestävän kehityksen mukainen toiminnan johtaminen tarkoittaa tuotannollisen toiminnan vaikutusten huomioimista toiminnan kaikissa vaiheissa, aina jätteen käsittelyyn saakka. Raaka-ainehintojen ja työkustannusten jatkuvasti noustessa, puutuoteteollisuuden on löydettävä uusia keinoja jalostusarvon nostamiseksi, sekä kokonaan uusien toimintamallien kehittämiseen kilpailukyvyyn varmistamiseksi. Energiantuotannon teknologinen kehitys mahdollistaa nykyisellään uusien toiminta- ja ansaintamallien kehittämisen. Sivuvirroista muodostuvan bioenergian hyötykäytön lisäämisellä voidaan yritys- kohtaisten tulosten parantamisen lisäksi päästä myös lähemmäs Suomelle asetettua kansallista EU-velvoitetta minkä mukaisesti uusiutuvien energialähteiden osuus tulee olla 38 % energiankäytöstä vuonna 2020.

## 2 Puupolttoaineen ominaisuudet yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa

Suomessa on käytettävissä nykyisellään useita erilaisia metsä- ja puutuoteteollisuuden prosesseissa syntyviä kiinteitä, erikseen jalostettuja tai jalostamattomia biomassajakeita. Metsäteollisuuden toimintojen sivutuotteena syntyy massaltaan suurin virta erilaisia puupolttoaineita, mutta alkujalostuksessa syntyvien jakeiden kosteus on tyypillisesti moninkertainen puutuoteteollisuuden sivutuotteisiin verrattuna, ilman erityistä kuivausprosessia. Puutuoteteollisuuden puunkäyttö ja sivutuotemäärät ovat vuositasolla merkittävästi pienempiä, mutta jalostusketjun edetessä puun kosteuspitoisuus tyypillisesti alenee ja samalla polttoaineominaisuus paranee. Lämmön- tai sähköntuotantoa ajatellen kiinteän biopolttoaineen kaksi tärkeintä ominaisuutta ovatkin kosteus ja siitä merkittävästi riippuva lämpöarvo toimituskosteudessa. Puun kuiva-ainekoostumus esitellään kuviossa 1. (Alakangas 2000, 4-32.)



Kuvio 1. Puun kuiva-ainekoostumus. (Alakangas 2000, 35)

Alkuaineominaisuuksiltaan ja rakenneosiltaan puupolttoaineet eivät merkittävästi eroa toisistaan. Alakankaan (2000, 35) esittämän kuvion (Kuvio 1) mukaan puun kuiva-aineesta lähes 99 % muodostuu aina hiilestä, vedystä ja hapesta. Puun fysikaalinen rakenne muodostuu selluloosasta, hemiselluloosasta sekä kuidut toisiinsa sitovasta ligniinistä mikä puolestaan koostuu pääosin hiilestä ja vedystä, eli varsinaisista lämpöä pala-

misprosessissa tuottavista aineista. Ligniinipitoisuudella onkin merkittävä vaikutus puun polttoainekäyttöä tutkittaessa, ja vaihtelu eri puulajien välillä on suurta. Havupuiden ligniinipitoisuus on tyypillisesti 24-33%, mikä on selvästi enemmän kuin lehtipuiden 16-25%. ( Alakangas 2000, 5-25.)

## 2.1 Sivuvirran polttoaineominaisuus

Kun tutkitaan sivuvirran käyttöä yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon raaka-aineena, on tärkeä tietää polttoaineen sisältämä tarkka lämpöarvo, eli massa suhteutettu lämpömäärä mikä syntyy täydellisessä palamisessa. Kulloinkin käytettävissä olevan raaka-aineen lämpöarvo vaikuttaa laitteiston mitoitukseen ja prosessin toimintaan sekä laitoksen kokonaishyötysuhteeseen, joten laskennan ja suunnittelun tueksi on saatava täsmällinen tieto polttoaineen tärkeimmistä ominaisuuksista. Puulajista ja polttoainejakeesta riippumatta, puusta saatavan kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on keskimäärin 18,2-20MJ/Kg, mutta käytännössä polttoaineen ominaisuutta kuvaa parhaiten laskennallinen lämpöarvo, eli tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa. Tässä niin kutsutussa alemmassa lämpöarvossa otetaan huomioon veden haihduttamiseen tarvittava energiamäärä. (Alakangas 2000, 42.)

Opinnäytetyössä tutkittava sivutuotevirta muodostuu puutuoteteollisuuden prosessissa syntyvästä jätetuusta, mikä koostuu edelleen hiontapölystä, kutterinlastusta, sahanpurusta sekä puutähdehakeesta ja -murskasta. FAO:n luokituksen mukaisesti prosesseissa syntyvä sivutuote on toisasteinen, kiinteä polttoaine (Alakangas 2003, 46). Sivuvirran eri jakeiden tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa MJ/kg on kaikilla jakeilla lähtökohtaisesti sama (taulukko 1), mutta saapumistilan kosteudesta riippuen lämpöarvo voi olla 6-18 MJ/kg. (Alakangas 2003, Impola 1998, Alakangas et. al 1997, Pirinen 1996, 152.) Suuren vaihteluvälin takia sivuvirran jakeista muodostuvan todellisen lämpöarvon ja tarkkan energiapotentialin selvittäminen vaatii aina kokeellista tutkimusta.

Taulukko 1. Puuteollisuuden tyypilliset sivutuotevirrat. (Alakangas 2000, Hakkila et al. 1978, Laine & Sahrman 1985, 69)

Ominaisuus	Sahanpuru	Kutterinlastu
Tyypillinen kosteus, %	50–55	5–15
Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	18,9–19,2	18,9
Kuiva-tuoreiheys (kg/m <sup>3</sup> )	380–480	380- 480
Kostean polttoaineen tiheys, kg/i-m <sup>3</sup>	250–300	80–120
Energiatiheys, MWh/i-m <sup>3</sup>	0,4–0,7	0,5
Tuhkapitoisuus	0,4–1,1	0,4

Puutuoteteollisuuden sivuvirtojen mahdollisia erityispiirteitä ei ole aikaisemmissa tutkimuksissa selvitetty. Parketinvalmistuksen prosessissa syntyvä sivuvirta sisältää tyypillisesti edellä lueteltujen jakeiden lisäksi pieniä määriä liimaa sekä erilaisilla pintakäsittelyaineilla käsiteltyä puuta. Erilaisten öljytuotteista jalostettujen materiaalien lämpöarvo on jo lähtökohtaisesti moninkertainen puupolttoaineisiin verrattuna, joten sivuvirran todellinen lämpöarvo voi olla puhdasta puupolttoainetta korkeampi. Epäpuhauksien määrä on massaan suhteutettuna kuitenkin erittäin pieni, joten suurin vaikutus teholliseen lämpöarvoon on edelleen tutkittavan sivuvirran kosteudella. Kosteus määrittelee sivuvirran energiapotentiaalin, joten sen tarkassa mittaamisessa on käytettävä standardin mukaista mittausmenetelmää.

## 2.2 Kosteuden määrittäminen

Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden analyyseissä puupolttoaineen kosteus selvitetään ISO-589 standardin mukaisella uunikuivausmenetelmällä. Punnitustarkkuudesta riippuen testiin valitaan joko 30-100g tai 200-400g painavat näytteet jotka kuivataan  $105 \pm 2$  °C lämpötilassa vakiopainoon, testin kestäessä maksimissaan 24 tuntia. Kuivauksen jälkeen näytteet punnitaan ja kosteus määritellään näytteessä tapahtuneesta massamuutoksesta. (Alakangas 2000, 26.)



$$M_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

missä  $M_{ar}$  on märkápainoa kohti laskettu kosteus saapumistilassa (%)  
 $m_1$  on määrän näytteen massa (g)  
 $m_2$  on kuivatun näytteen massa (g).

Kosteuden määrittäminen punnitustuloksista (Alakangas 2000, 27)

Testin aikana on huolehdittava oikeasta lämpötilasta ja siitä että kuivausuunissa ei ole testausaikana näytettä kosteampia materiaaleja jotka voivat vääristää tulosta. Kuivauksen jälkeen testattava näyte punnitaan välittömästi kuumana, tai jos laboratoriolalla on käytössä eksikaattori, näytteet voidaan jäähdyttää siinä huonelämpötilaan ja suorittaa mittaus myöhemmin. (Alakangas 2000, 27.) Kosteuden määrittämiseen on käytettävissä myös sähköiseen ja mikroaaltokuivaukseen perustuvia nopeita mittausmenetelmiä, mutta suuren virhemarginaalin takia niitä voidaan käyttää vain suuntaa antavana menetelmänä varsinaisen tutkimusmenetelmän sijaan. Standardin mukainen kosteuden määrittäminen voidaan suorittaa millä tahansa käyttöön soveltuvalla kalibroidulla vaa'alla, sekä uunilla jolla päästään tarvittavaan lämpötilaan, mutta lämpöarvon määrittämiseksi tarvitaan tarkempaa laboratoriolaitteistoa sekä testauksessa käytettävää pommikalorimetria.

### 2.3 Lämpöarvojen määrittäminen

Polttoaineelle ominainen lämpöarvo voidaan määrittää usealla eri testillä tai laskentamenetelmällä. Kiinteän polttoaineen kuiva-aineen lämpöarvon määrittämisessä käytetään yleisesti seuraavia standardeja: ISO 1928, DIN 51900, ASTM D 1989-96, ASTM D-3286-96, ASTM E 711 ja BS 1016. Polttoaineen kuiva-aineen lämpöarvo voidaan ilmoittaa lisäksi kolmella eri tavalla. Polttoaineen ominaisuus voidaan ilmoittaa kalorimetrisenä lämpöarvona, tehollisena lämpöarvona, tai tehollisena lämpöarvona toimituskosteudessa, eli lämpöarvona polttoaineen saapumistilassa mikä on yleisin käytössä oleva esitystapa. (Alakangas 2000, 28.)

Kalorimetrinen lämpöarvo on arvoista suurin, ja sitä kutsutaankin yleisesti yleemmäksi lämpöarvoksi. Kalorimetrissa lämpöarvoa yleisemmin käytetty tehollinen lämpöarvo on laskennallinen arvo pommikalorimetritestillä saadusta kalorimetrisestä lämpöarvosta, ja tuloksessa otetaan huomioon myös polttoaineen sisältämän vedyn palamisesta syntyvä sekä vesihöyryn haihduttamiseen kuluva energia. Alin polttoaineen ominaisuutta kuvaava lämpöarvo on polttoaineen tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa. Kalorimetrisestä lämpöarvosta laskettava tulos on pienin, koska tuloksessa otetaan huomioon polttoaineen sisältämän veden höyrytämiseen vaadittava energiamäärä. (Alakangas 2000, 28.)

**Kalorimetrinen lämpöarvo:**

$$Q_{gr, d} = Q_{gr, ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

(Alakangas 2000, 28)

**Tehollinen lämpöarvo:**

$$Q_{net, d} = Q_{gr, d} - 0,02441 \times M$$

(Alakangas 2000, 29)

**Tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa:**

$$Q_{net, ar} = Q_{net, d} \times \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02441 \times M_{ar}$$

(Alakangas 2000, 29)

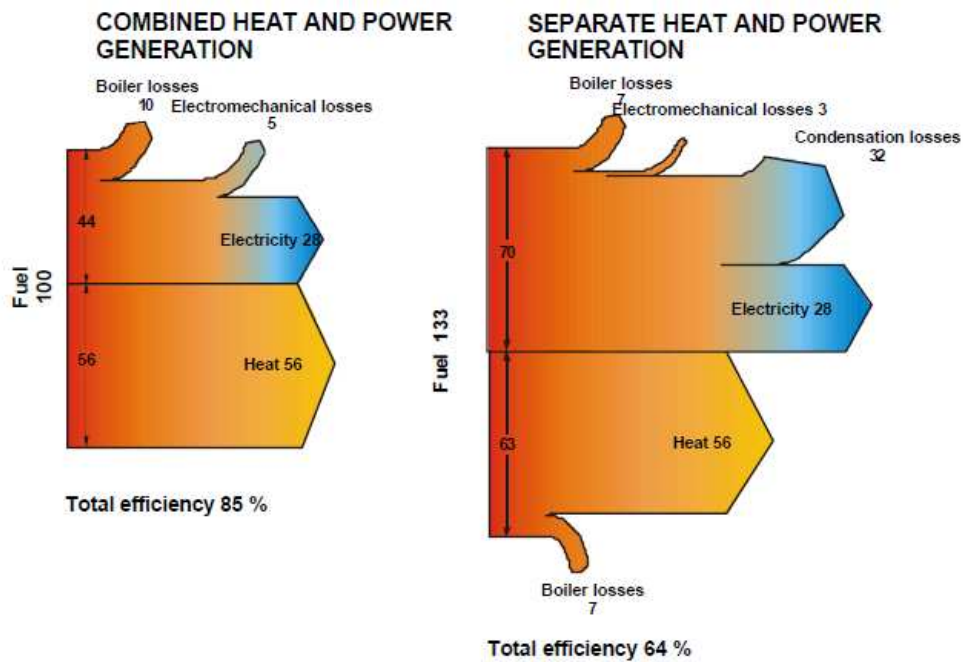
**Kaavojen selitykset:**

- $Q_{gr,d}$  - kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg
- $Q_{gr,ad}$  - analyysikostean näytteen kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg
- $M_{ad}$  - näytteen analyysikosteus
- $Q_{net,d}$  - kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg
- 0,02441MJ/kg - korjaustekijä, eli höyrystymiseen kuluva lämpömäärä, +25°C
- $M$  - kuiva-aineen sisältämän vedyn palaessa syntynyt vesimäärä, %
- $Q_{net,ar}$  - polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg
- $M_{ar}$  - polttoaineen kokonaiskosteus saapumistilassa kostean polttoaineen massalla painotettuna, %.

(Alakangas 2000, 28-30)

**3 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, CHP**

Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa (CHP- Combined Heat and Power) tuotetaan lämpöenergian lisäksi omaan käyttöön tai yleiseen jakeluverkkoon syötettävää sähköenergiaa. Kuviossa 2 nähdään miten laitoksen kokonaishyötysuhde paranee yhteistuotannolla, ja polttoaineen kulutus erillistuotantoon verrattuna laskee parhaimmillaan 20-35 %. Arvokkaasta polttoaineesta saadaan näin ollen parempi hyöty, käytettiin raaka-aineena sitten kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta. Yhdistetty sähköntuotanto on mahdollisuus myös tuotannon arvonlisän ja kannattavuuden kehittämiseksi energiahintojen jatkuvasti noustessa, ja sähkönmyynnistä onkin mahdollista kehittää kokonaan uutta liiketoimintaa. Lauhdesähköstä poiketen sähköntuotanto CHP-laitoksilla on aina riippuvainen saatavilla olevasta lämpökuormasta, joten laitoksilla tehtävä sähköenergia täytyy nähdä aina varsinaisen lämmöntuotannon sivutuotteena. (Sipilä K, Pursiheimo E, Savola T, Fogelholm C, Keppo I, Ahtila P 2005, 11.)



Kuvio 2. Yhteistuotannon vaikutus hyötysuhteeseen. (Alakangas 2001, 9)

Yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon on saatavilla tänä päivänä useita jo kaupallistettuja ja koeteltuja, sekä parhaillaan kaupallistamisen kynnyksellä olevia innovatiivisia teknologisia ratkaisuja. Yleisimmät kiinteän biopolttoaineen CHP- laitosratkaisut ovat höyryvoimalla toimiva vastapainekäyttö, polttoaineen kaasutukseen perustuva moottori- sekä turbiinikäyttö, Stirling- moottori, sekä viimeisimpänä laajamittaisen kaupallistamisen vaiheeseen päässyt ORC, eli Organic Rankine Cycle. Näiden lisäksi yhteistuotantoon voidaan käyttää myös mikroturbiineja sekä polttokennoja, mutta näiden teknologioiden kaupallistaminen ja teollisen mittakaava käyttö ei ole vielä käynnistynyt. (Konttinen 2005, 12.) Tänä päivänä markkinoilla olevat yhteistuotantoratkaisut on esitelty perustietoineen seuraavalla sivulla taulukossa 2.

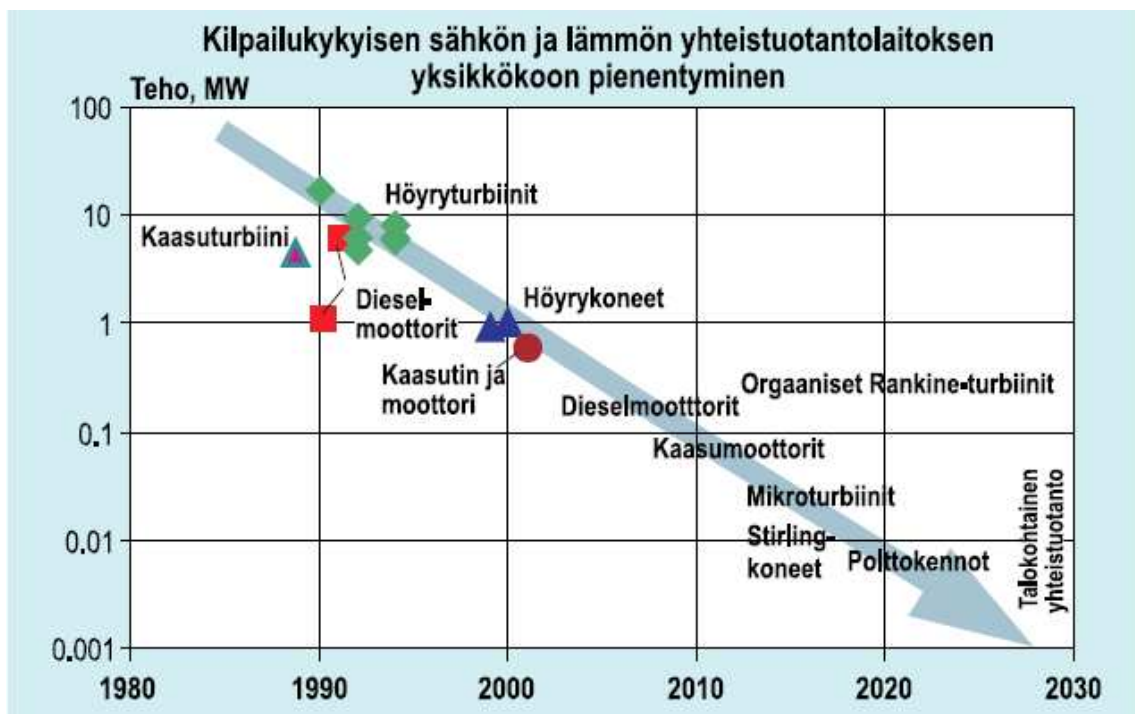
Taulukko 2. Yleisimmät CHP-teknologiat. (Konttinen 2005,7)

Technique	Combustion engines	Micro turbine	Stirling engine	Fuel cells	Steam engine and -turbine	ORC-process
Size	1 kW <sub>e</sub> – 1000 kW <sub>e</sub>	25 kW <sub>e</sub> – 250 kW <sub>e</sub>	10 kW <sub>e</sub> – 150 kW <sub>e</sub>	1 kW <sub>e</sub> – 50 kW <sub>e</sub>	Engines > 100 kW <sub>e</sub> Turbines > 500 kW <sub>e</sub>	150 kW <sub>e</sub> – 1 MW <sub>e</sub>
Power efficiency	25 – 40 %	25 – 30 %	8 – 22 %	38 – 55 %	6 – 30 %	10 – 20 %
Heat efficiency	45 – 50 %	50 – 60 %	50 – 60 %	30 – 45 %	40 – 70 %	60 – 70 %
Typical operation time	15 years	15 years	15 years	1 – 15 years	15 years	> 20 years
Development stage	Widely used	Pre-commercial stage	Pilot-stage	Development stage	Widely used	Pre-commercial stage
Strength	High power production efficiency	Low need of maintenance	Low maintenance need	High power efficiency	Proven technology	Good power efficiency also at partial load
Weakness	Large need of maintenance	Only gaseous or liquid fuel	Limited power efficiency	Short duration	Power efficiency at partial load	Limited power efficiency

Polttokennoa lukuun ottamatta sähköntuotantoprosessin toimintaperiaate on kaikissa edellä mainituissa yhteistuotantomuodoissa pääpiirteittäin sama. Kiinteä biopolttoaine poltetaan ja palamisen tuloksena syntynyt lämpöenergia käytetään erilaisilla teknisillä ratkaisuille ja välittäjäaineilla generaattorin pyörittämiseen ja sähköntuotantoon (Suvanto T, Autio S, Huovari N, Mars H, 2010, 10). Tuotantomuotojen välillä on kuitenkin merkittäviäkin eroja sähkön- ja lämmöntuotannon suhteissa, sekä laitoksen käyttöiässä ja käytön aikaisessa huollon ja valvonnan tarpeessa. Tilanteessa jossa yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa suunnitellaan käytettäväksi vain varsinaisen tuotannon tukiprosessina, helppokäyttöisyys ja erikoisosaamisen tarpeen vähäisyys tekee uudesta toimintamallista käytännössä kiinnostavan. Laitetoimittajat korostavat omassa materiaalissaan tätä näkökulmaa, mutta tutkimuksella mitattua tietoa aiheesta on niukasti saatavilla.

Suomi on maailmanlaajuisesti johtava yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon tuottaja sähkönmyynnissä ja lämpöliiketoiminnassa, ja jopa yli 80 % suomessa tuotetusta kau-

kolämmöstä tuotetaan yhteistuotantolaitoksilla. Pitkiä kaukolämpöverkkoja lämmittävät CHP- laitokset ovat suuria, yli 10MW:n voimalaitoksia, mutta aluetaloudellisesti merkittäviä pienen mittakaavan laitoksia ei ole vielä juurikaan tähän mennessä Suomessa rakennettu. (Suvanto T, Autio S, Huovari N, Mars H 2010, 24.) Keski-Euroopassa pieniä, alle 10MW:n kokoisia yhteistuotantolaitoksia on rakennettu jo satoja, ja teknologian yleistyessä sekä laitetoimittajien keskinäisen ja kasvavan kilpailun ansiosta myös investointikustannukset ovat pudonneet aiempaa kilpailukykyisemmälle tasolle. Yhteistuotanto on aiemmin ollut kannattavaa vain isoissa yksiköissä, mutta kuten kuviosta 3 nähdään, kannattava laitoskoko on pienentynyt laitekehityksen myötä nopeasti.



Kuvio 3. Kilpailukykyisen CHP- laitoksen yksikkökoon kehitys. (Hirvonen 2008, 11)

Yhteistuotannolla voidaan edellä kuvatuin perustein vaikuttaa polttoainetalouteen parantuneen hyötysuhteen myötä, mutta uusilla energiantuotannon teknologisilla ratkaisuilla on myös muita, yksittäisiä kohteita laajempia vaikutuksia ja ennen kaikkea mahdollisuuksia. Fossiilisten polttoaineiden käytöllä on suurin vaikutus kasvihuonekaasujen määrään, ja Euroopan yhteisten ja kansallisten tavoitteiden päämäärä onkin uusiutuvien energianlähteiden käytön lisääminen energiantuotannossa. (Gard 2008, 1.) Biopolttoaineita käyttävä yhdistetty sähkön – ja lämmöntuotanto on mahdollisuus päästövähennys-

ten tavoitteisiin pääsemiseksi, mutta käytön lisäämisellä on myös erityisesti suoraan aluetalouteen kohdentuvia vaikutuksia.

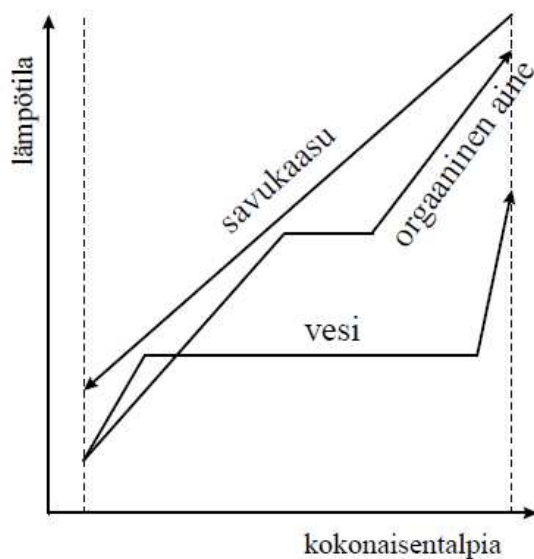
Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto mahdollistaa toimivan ja hajautetun energiantuotannon lähellä raaka-aine lähteitä. Hajauttaminen mahdollistaa puolestaan uusia mahdollisuuksia yrittäjyyteen raaka-ainetuotannosta lähtien, samalla kun heikon energiasällön omaavan puupolttoaineen kuljetusmatkan lyhenevät. Tärkeät aluetaloudelliset vaikutukset osataan ottaa tänä päivänä huomioon jo suunnittelun alkumetreiltä lähtien, kuten jo käytännössä nähdään viimeisimpien rakennushankkeiden ja yleistyvien CHP-investointien myötä. Bioenergiälehdessä (Jalonen 2013, 32) esitellyn Toholammin CHP-voimalan suunnittelun lähtökohtana on esimerkiksi ollut jo olemassa olevien lämpöasiakkaiden palvelun lisäksi toinen laajempi, aluetaloutta palveleva elinkeinopoliittinen tavoite. Vakaalla energianhinnalla sekä monipuolisilla lämpötuotteilla pyritään tietoisesti kehittämään alueellista mielenkiintoa ja luomaan mahdollisuuksia uuden teollisuustoiminnan synnyttämiseksi myös harvemmin asutuille alueille.

### **3.1 ORC-teknologia**

Kehitystehtävän esiselvitysvaiheessa todettujen hyvien ominaisuuksiensa ansiosta tarkempaan tutkimukseen yhteistuotannon teknisistä ratkaisuista valittiin turbiinikäyttöön perustuva ORC-tekniikka, eli Organic Rankine Cycle. ORC-tekniikan voimakkaan kehityksen myötä nykyisillä ratkaisuilla voidaan rakentaa kustannustehokkaita ja miehittämättömiä voimalaitoksia pieneen sekä keskisuureen mittakaavaan. ORC-turbo generaattoria on tyypillisesti käytetty sähköntuotantoon sellaisissa sovelluksissa missä lämmönlähde on ollut saatavilla, riippumatta siitä miten lämpö on syntynyt. (Bini R, DI Prima M, Guercio A 2009, 1.)

ORC-voimalassa höyrystettävänä kiertoineena käytetään veden sijaan orgaanista ainetta, tyypillisesti silikoniöljyä. Molekyylipainoltaan vettä raskaamman silikoniöljyn höyrystymislämpö ja –paine ovat paljon veden vastaavia arvoja pienemmät (kuvio 4), joten

ORC- yksikköä voidaan ajaa matalammalla lämpötilalla, ja pientäkin turbiinia voidaan pyörittää 3000 kierrosta minuutissa isojen voimaloiden tapaan. Matalan kierrosluvun takia järjestelmässä ei tarvita normaalisti pienen mittakaavan laitoksiin kuuluvaa tehohäviöitä aiheuttavaa alennusvaihteistoa generaattorin ja turbiinin välissä, ja myöskään taajuusmuuttajaa ei tarvita koska turbiinin kierrosluku on vastaava kuin sähköteholtaan suuremmissa voimalaitoksissa. Nykyisissä laitteistoissa myös huoltoväli on ratkaisevasti pitempi ja huoltotarve merkittävästi vähäisempi kuin aiemmissa pienen mittakaavan suurnopeusturbiineissa. (Vilkuna 2013, 13.) Vuosikymmenen takaisissa ORC-järjestelmissä pienten ja keskisuurien turbiinien kierrosnopeudet olivat tyypillisesti 20-30 000 kierrosta minuutissa, ja laitosten ajaminen vaati herkän prosessin takia käytännössä ympärivuorokautisen valvonnan (Reunanen A, Honkatukia J, Hannu E, Pitkänen H, Lattu J, Larjola J 1998, 5-6).

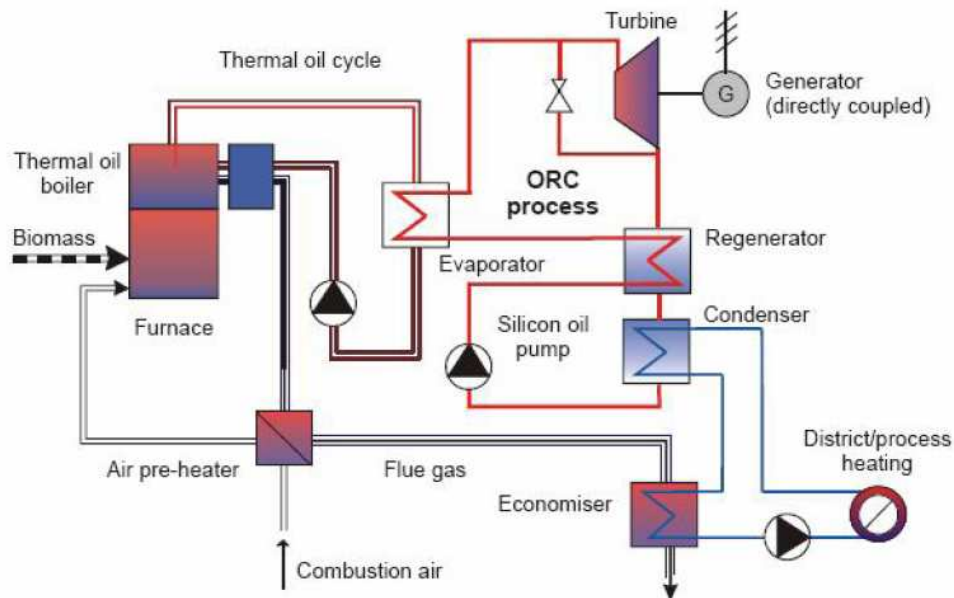


Kuvio 4. Veden ja orgaanisen kiertoaineen entalpiaero. (Reunanen A, Honkatukia J, Hannu E, Pitkänen H, Lattu J, Larjola J 1998, 7)

ORC-prosessissa käytettävän orgaanisen nesteen avulla voidaan hyödyntää matalampia lämpötiloja, sekä ottaa hyötykäyttöön jopa sellaisia hukkalämpövirtoja joita ei perinteisellä vesihöyryturbiinilla ole ollut mahdollista hyödyntää (Purhonen 2010, 4). Matala kierrosluku turbiinissa ja generaattorissa, sekä täysin suljettu kiertoainepiiri mahdollistavat pitkän, keskimäärin 20-vuoden käyttöiän, sekä prosessin päivittäisen käyttämisen



vähäisellä valvonnalla ja huollolla. Kaaviossa 1 esitetty suljettu orgaanisen kiertoaineen piiri ei aiheuta korroosiota järjestelmän osissa, ja viikoittainen huolto sisältää vain venttiilien ja käyttölaitteiden ulkopuolista rasvausta ja tarkastusta. Matalan painetason ansiosta järjestelmän käyttäjältä ei vaadita painelaitteosaamista tai koulutusta, mikä myös osaltaan laskee järjestelmän investoinnin ja käytön aikaisia kuluja. (Bini ym 2009, 3.)

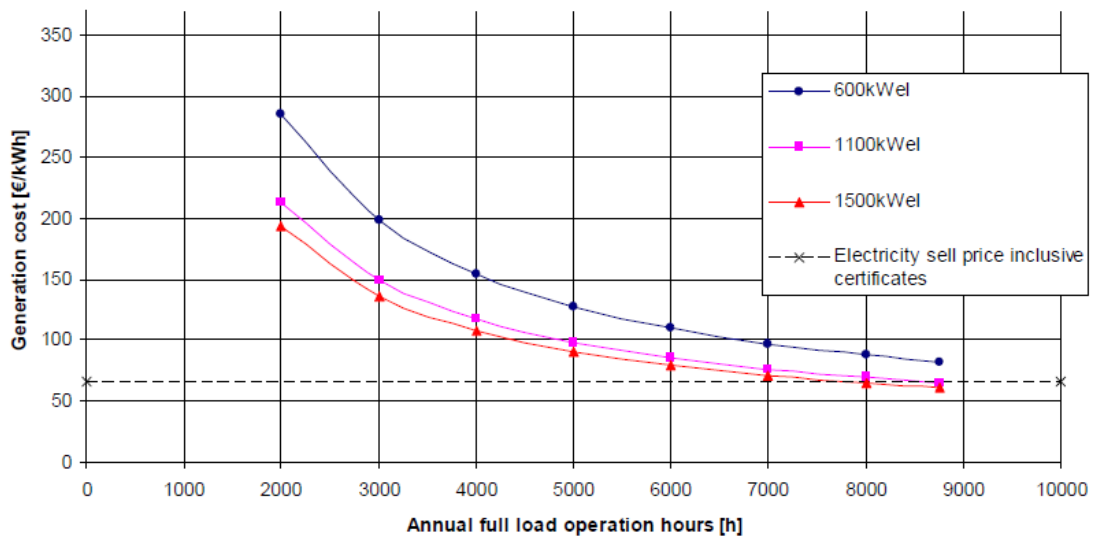


Kaavio 1. ORC-prosessin suljettu kiertoaineipiiri. (Aaltonen J, Ukkonen J 2008, 14)

Perinteisen vesihöyryjärjestelmän vaatiman painetason ja korkean lämpötilan takia tyyppillinen ja taloudellinen turbiini on ollut tähän asti sähköteholtaan aina vähintään 3MW, ja vesihöyryturbiini on edullisemman investointikustannuksen ansiosta edelleenkin suurten voimalaitosten yleisin tekninen sähköntuotantoratkaisu. Isolla turbiinilla päästään helpommin mataliin kierrosnopeuksiin, mikä soveltuu hyvin vaihtovirtaa suoraan sähköverkkoon syöttävälle generaattorille. Pienemmän mittakaavan vesihöyryjärjestelmiin siirryttäessä turbiinin kierroslukua on täytynyt nostaa, jotta sähköä voidaan syöttää samalla taajuudella kuin isolla turbiinilla ja matalalla kierrosnopeudella. (Vilkuna 2013, 13.)

### 3.2 ORC-teknologialla tuotettu sähkö

ORC- laitoksen kustannustehokas energiantuotanto on riippuvainen generaattorin mitoituksista sekä riittävästä ja tasaisesta lämpökuormasta mikä mahdollistaa suuret vuotuiset käyttötunnit. Kuten muillakin tuotantomuodoilla, suuremmilla ORC- laitoksilla ja generaattoreilla päästään tyypillisesti edullisempaan hintaan sekä lämpö- että sähköenergian tuotannossa. Generaattorin sähkötehon ja vuotuisen käyttötuntien vaikutus tuotetun sähköenergian hintaan on esitetty kuviossa 4. Yleisenä kannattavuusrajana yhteistuotantolaitoksilla pidetään 5000 vuotuisen käyttötuntin rajaa, mutta taloudellista ja maksimaalista sähköntuotantoa tavoiteltaessa laitoksen käyttötunneiksi tulisi suunniteluvaiheessa asettaa jopa 7000 tuntia. ORC-laitos kuluttaa 500-1000kW:n kokoluokassa kiertoaineen pumppaukseen aina vähintään 60kW:n sähkötehon, joten tästä syystä laitoksesta saatavissa oleva nettosähköteho on aina maksimiteho pienempi. (Obernberger I, Thornhofer P, Reisenhofer E 2002, 3-5.)



Kuvio 5. ORC- laitoksen mitoituksen vaikutus tuotetun sähkön hintaan. (Gard 2008,15)

ORC- laitoksella tuotetun sähkön hintaa selvitettiin kotimaisista ja ulkomaisista tutkimuksista sekä lähdekirjallisuudesta ja laitetoimittajien materiaaleista. Kuten kuviosta 5 nähdään, tekniset ratkaisut ja vuotuiset käyttötunnit ovat vaikuttavimmat muuttujat energiantuotannon investointia suunniteltaessa. Alle 1MW:n sähkötehoa tuottavia laitoja tutkittaessa on havaittu, että tuotetun sähkön hinta nousee merkittävästi pienem-

pään mittakaavaan siirryttäessä. Jotta investointi yhdistettyyn tuotantoon olisi taloudellisesti kannattava, sähkön tuotantohinnan tulisi olla suurilla laitoksilla tuotettuna korkeintaan 10cent/kWh, kun se pienillä laitoksilla on jo keskimäärin 14cent/kWh. (Bini R, DI Prima M, Guercio A, 2009, 8.) Gardin (2008, 15) tutkimustyön ja väitöskirjan mukaan pienen mittakaavan laitoksen sähköenergian tuotantokustannus saattaa kuitenkin nousta jopa lähelle 30cent/kWh, joten laitetoimittajilla on selvästi positiivisempi näkemys sähköntuotannon hintatasosta.

Tutkimuksen kohteena olevassa toimintamallissa hyödynnetään parketinvalmistuksen sivuvirtaa, joten polttoaineelle ei kannattavuutta arvioitaessa voida, tai edes kannata laskea tarkkaa hintaa. Valtaosa aineistoanalyysiin valituista tutkimuksista ja selvitystöistä on tehty erilaisilla ostopolttoaineella toimivista laitoksista, ja vastaavan kokoluokan sivuvirtaa hyödyntävästä laitoksesta ei juuri löytynyt tutkittua tietoa. Gard (2008, 2) toteaa edelleen väitöskirjassaan, että ORC- laitoksen kannattavuuden ja tuotetun sähkön hinnan ratkaisee laitoksen vuotuiset käyttötunnit polttoaineen sisäänostohinnan sijaan, joten polttoaineen hintaa ei kannata esiselvitysvaiheessa tarkastella. Väitöksessä korostuu myös jo edellä mainittu sähkön rooli CHP- laitoksen sivutuotteena (Gard 2008, 15-25).

Teknologian edelleen kehittyessä ORC- tekniikalla tuotetun sähkön hinta laskee, mutta Motivan (2012, 9) selvityksen mukaan pientuotannolla tuotetun sähkön hinta on toistaiseksi vielä harvoin kilpailukykyistä sähkömarkkinoilta ostettuun sähköön verrattuna. Selvityksessä todetaan edelleen, että monesti suurin hyöty pienen mittakaavan yhdistetystä tuotannosta saadaan kun omalla tuotannolla tuotettua sähköenergiaa voidaan hyödyntää omassa käytössä, markkinahintaan hankittavan ostosähkön käytön sijaan. Pieneväen energiamaksun lisäksi myös ulkopuolelle maksettavat siirtomaksut sekä verot pienenevät korvaavan omatuotannon osalta. Pienen mittakaavan sähköntuotannon tyyppisiä tuotantokustannuksia ilman rahoituskustannusta on esitelty seuraavassa Motivan koostamassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Bioenergian tuotantokustannuksia. (Motiva 2012, 10)

	Yleisimmät yksikkö-tehot (kW)	Tuotantomuodon ominaispiirteet sähköntuotannon kannalta	Käyttöikä (vuotta)	Investointikustannus (euro/kW)	Tuotantokustannus (c/kWh)
Tuuli	n. 0,5 2-4 1000–5000	tuulioloilla ratkaiseva merkitys, korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, riippumattomuus polttoaineen hinnoista	20	2000–5000 1000–2000 (1000–5000 kW voimalaitokset)	2-4 (1-140 kW voimalaitokset) 1-2 (1000–5000 kW voimalaitokset) riippuu huomattavasti tuulisuudesta.
Pienvesivoima	20–10 000	korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, riippumattomuus polttoaineen hinnoista	30–40	1 200–3 000	2–5
Aurinkosähkö*	5-50, 2000-	korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, aurinkonvalon määrällä ratkaiseva merkitys	25–30	2900–5000	30–200
Bio-CHP höyryturbiinilla	2 000–5 000	hyvä mahdollisuus sähkön tuotannon suunnitelmallisuuteen: ajoitus ja säädettävyys	20	2 500–3 500	3–6 riippuu huomattavasti polttoaineen ja lämmön hinnasta
Bio-CHP kaasumootorilla tai mikroturbiinilla	30–3 000	korkea sähköhyötysuhde, monipuolinen polttoainevalikoima, modulaarisuus	15	500–5 000 alin kustannus sisältää kaasumootorivoimalaitoksen, ylin kustannus sisältää termisen kaasuttimen	4–8 riippuu huomattavasti polttoaineen ja lämmön hinnasta

#### 4 Kannattavuuden parantaminen energiantuotannolla

Metsäteollisuuden voimakas rakennemuutos näkyy väistämättä myös puunjalostusteollisuuden toiminnassa ja alati muuttuvilla markkinoilla. Toimintaympäristön kansalliset ja kansainväliset muutokset, sekä markkinoiden epävarmuus ja nopeat vaihtelut ovat aiheuttaneet hintakilpailun kiristyessä kotimaisen puunjalostusteollisuuden kilpailukykyyn notkahtamisen. Kansallisen Metsäohjelman 2015 (Maa- ja metsätalousministeriö 2010, 14) mukaan integraatio maailmantaloudessa tulee edelleen jatkumaan, ja myös

metsäteollisuuden tuotanto jatkaa yhä siirtymistään alueille missä tarvittavat raaka-aineet ja työvoiman saatavuus onnistutaan parhaiten turvaamaan.

Suomalaisen paperi- ja massateollisuuden alasajojen seurauksena mekaanisen puunjalostusteollisuuden arvo on noussut vuodesta 2008 lähtien, ollen bruttokansantuotteesta jo samanarvoinen kuin kuiduttavan teollisuuden arvo (Maa- ja metsätalousministeriö 2010, 14). Puutuoteteollisuuden kilpailukyvyyn ylläpitäminen ja parantaminen nousee yhdeksi metsäohjelman tavoitteeksi, pitäen sisällään jalostusarvon kasvattamisen lisäksi kokonaisvaltaisen ekotehokkuusajattelun sekä uusien toimintatapojen sekä liiketoiminta-ajatusten kehittämisen yrityksille sekä eri teollisuudenalojen rajapinnoille (Maa- ja metsätalousministeriö 2010, 17). Tekniikan tason selvityksiä bioenergian käytöstä ja sen lisäämisestä on tehty jo paljon, mutta varsinaiseen uusilla toimintatavoilla saavutettavaan arvonnäkökseen liittyvää tutkimusta ei ole juuri vielä tehty.

Satu Pätärin (2009) väitöskirjassa metsä- ja sitä kautta myös puunjalostusteollisuuden arvonnäköä on tutkittu energiantuotannon rajapinnassa, ja yhteenvedossa todetaan yksiselitteisesti että aiemmat kilpailukyvyyn avaimet eivät todellakaan enää riitä. Uusia toimintamalleja sekä liiketoiminta-ajatuksia on kehitettävä, ja osittain bioenergiabuumin ansiosta valmistavan tuoteteollisuuden ja energiantuotannon rajapinnasta onkin löydettävissä uusia keinoja arvonnäköä kasvattamiseksi ja sitä kautta toimintaedellytysten parantamiseksi. (Pätäri 2009, 5-15.)

Yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa on harjoitettu menestyksekkäästi isoilla energiatuotteiden myyntiin keskittyneillä voimalaitoksilla, mutta myös monet sahalaitokset ovat tehneet investoinnin omaan sähköntuotantoon. Sahojen puunkuivausprosessi muodostaa monesti riittävän lämpökapasiteetin CHP- laitoksen kustannustehokkaalle toiminnalle, ja sahauksen sivutuotteet muodostavat märkänäkin merkittävän raaka-ainepotentiaalin tuotannon polttoainekäyttöön. Aineistoon tutustumisen myötä tuli selväksi, että potentiaalisia uusia käyttökohteita löytyisi juuri pienen mittakaavan, alle 1MW:n sähkötehon laitoksista jotka toistaiseksi ovat keskittyneet vain lämmöntuotantoon

## 5 Kehittämistehtävä

Työn aiheena oleva työelämän kehittämistehtävä on luonteeltaan kvantitatiivinen tutkimus. Hirsjärvi, Remes, Sajavaaran (2009,138-140) mukaan kvantitatiiviselle tutkimukselle keskeisiä piirteitä ovat mm. johtopäätökset aiemmista tutkimuksista, koejärjestelyt ja aineisto joka soveltuu määrälliseen eli numeeriseen mittaamiseen, sekä muuttujien taulukointi ja saattaminen tilastollisilla menetelmillä käsiteltävään muotoon. Tutkimuksessa käytetään myös toiminnallisia laboratoriomenetelmiä raaka-aineominaisuuksien ja niiden perusteella laskettavan todellisen energiapotentiaalin selvittämiseksi.

Tutkimusta voidaan pitää kartoittavana työnä jossa selvitetään nykytila-analyysillä mitä tapahtuu tällä hetkellä, sekä etsitään aineistoanalyysin tulosten perusteella uusia näkökulmia ja ilmiöitä, eli mahdollisia uusia toimintamalleja sekä liiketoiminta-ajatuksia toiminnan kannattavuuden parantamiseksi. Kun tutkimuksen kohteena on tarkkaan rajattu kohde, eli yksittäinen yritys, ja varsinaisessa kehittämistehtävässä tuotetaan yksityiskohtaista ja tarkkaa tietoa vain yhden toiminnon, eli sivuvirran hyödyntämisen mahdollisuuksista, kyseessä on tapaustutkimus, eli case study. ( Hirsjärvi, Remes, Sajavaara (2009, 134.)

Raaka-aineominaisuuden toiminnalliseen selvittämiseen päädyin lähdeaineistoon tutustumisen jälkeen, sillä vastaavanlaatuisesta sivuvirrasta ei löytynyt aiempaa tutkimustietoa. Kohtalaisen tarkkaan lopputulokseen olisi tuki päästy yleisiä lähdeaineistoista saatavia keskiarvojakin käyttämällä, mutta toiminnallisella tutkimusosioilla tuotettiin tarkkaa tietoa juuri kyseessä olevaa kehityskohdetta varten. Tutkimuksen tavoite on tuottaa uutta liiketoiminnallista ja – taloudellista näkökulmaa jo olemassa olevan prosessin vaihtoehdoksi, eikä niinkään toimia teknologisenä selvitystyönä, jollaisia on tehty runsaasti monella eri tasolla.

Nykytila-analyysillä selvitetään perustiedot nykyisestä sivuvirran käytöstä briketin valmistuksessa sekä sen myynnin taloudellisesta tuloksesta katetuottolaskelmalla. Yrityksen tuotannonohjaus- ja varastonhallintajärjestelmästä selvitetään briketeiksi puristettavan sivuvirran tuotanto- ja myyntimäärät kahdelta edeltävältä vuodelta, ja toteutunutta määrää käytetään uuden toimintamallin raaka-ainepotentiaalina. Laskennassa käytetään yksinkertaisia tilastollisia menetelmiä ja tunnuslukuja, lähinnä keskiarvojen muodossa.

Aineisto- sekä nykytila-analyysin perusteella tuotettua numeraalista havaintoaineistoa analysoidaan yksinkertaisesti kahden eri toimintamallin taloudellisia vuosituloksia vertailemalla. Briketin valmistuksen ja myynnin tulosta arvioitaessa selvitetään toiminnan nettotuotto, mutta uuden toimintamallin vaikutus esitetään oman sähköntuotannon aikaansaamana kustannussäästönä. Sivuvirran hyötykäytön nykyisen ja uuden toimintamallin kannattavuuksien erot pyritään yleistettävyyden takia esittämään ja kuvailemaan prosenttitaulukoiden avulla, jolloin yrityssalaisuuden piiriin kuuluvat tarkat liiketoiminnalliset tunnusluvut jäävät esitettäväksi liitteinä julkisen työversion ulkopuolelle. Uuden toimintamallin vaatiman investoinnin laskentaa ja arviointia varten laaditaan laskentataulukot Excel- laskentaohjelmalla.

Tutkimuksen kohteena oleva toimintamallin muutos vaatii toteutuessaan investointiprosessin, mikä puolestaan koostuu useista ennalta asetetuista tehtävistä ja osatavoitteista. Investointiprosessi muodostuu aina yrityksen oman investointikulttuurin ja – ohjeiden varaan, mutta Niskasen & Niskasen (2010, 307–310) mukaan prosessin katsotaan tyypillisesti sisältävän seuraavat vaiheet, joista nyt tehtävän opinnäytetyön kehitysosiossa tarkastellaan neljää ensimmäistä:

**1. Tunnistamisvaiheessa** selvitetään investointitarpeet parempaan kannattavuuteen tai yrityksen ennalta asetettuihin päämääriin pääsemiseksi

**2. Etsintävaiheessa** vertaillaan vaihtoehtoisia investointikohteita sekä muokataan idea ensimmäiseksi investointiehdotukseksi

**3. Tiedonhankintavaiheessa** hankitaan ja tarkastellaan esiselvityksessä hankittua määrällistä sekä laadullista tietoa. Tarkastelun painoarvo on investoinnin mahdollistamissa tuottolaskelmissa sekä toisaalta myös uusissa epävarmuustekijöissä.

**4. Valintavaiheessa** investointiehdotukset asetetaan paremmuusjärjestykseen ennalta asetettujen investointikriteerien perusteella ja paras ehdotus valitaan toteutettavaksi.

**5. Rahoitusvaiheessa** tehdään päätös investoinnin vaatimasta rahoituksesta, eli miten hankintameno tullaan kattamaan joko tulorahoituksella, omalla tai vieraalla pääomalla.

**6. Investointi** pannaan toimeen rahoituksen varmistuttua ja toteutusta valvotaan kunnes toimitus on valmis. Investoinnin jälkilaskentaa varten toteutuneita kassavirtamuutoksia verrataan suunnitelmiin, jotta nähdään toteutuiko investoinnin alkuperäinen tavoite.

## 6 Tulokset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää käytettävissä olevan sivuvirran polttoaineominaisuus ja tarkka energiapotentiaali, sekä selvittää lähdeaineiston avulla käyttökelpoinen, miehittämättömään ja vähän kunnossapitoa vaativaan yhteistuotantoon soveltuva teknologinen yhteistuotantoratkaisu. Tutkimusaineiston analyysin perusteella kiinteän biopolttoaineen yhteistuotantoteknologioista uuden toimintamallin vaihtoehdoksi valittiin ORC- yksikkö, mikä lähdeaineiston perusteella sopii parhaiten kehitettävään kohteeseen. Kiinteän biopolttoaineen polttoon ja ORC- tekniikkaan perustuvia yhteistuotantolaitoksia on rakennettu Keski-Eurooppaan pelkästään yhden laitetoimittajan toimesta jo 170 kappaletta, (Turboden 2012, 10) ja Suomen ensimmäinen laitos valmistuu vielä kuluvan vuoden aikana Toholammen Energia Oy:lle (Jalonen 2013, 32).

Lähdeaineistosta kerätyn teorian ja siitä tehtyjen tulkintojen perusteella kehitettävässä kohteessa on potentiaalia yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon rakentamiselle. Käytettävissä oleva kuiva sivuvirta soveltuu hyvän lämpöarvonsa ansiosta hyvin polttoaineksi, ja parketinvalmistuksen prosessit muodostavat tasaisen ja jatkuvan lämmitysenergian tarpeen, mikä on ehdoton edellytys ORC- prosessin kannattavalle toimin-



nalle. Lämpöenergiaa tarvitaan parketinvalmistuksen prosessissa jatkuvasti puutavara-kuivaamoiden toimintaan sekä kahdelle kuumalevypuristimelle joita syötetään +95 °C lämpimällä kaukolämpövedellä. Tuotannon pyöriessä normaalisti ainoa katkos lämpövirtaan on heinäkuussa, jolloin myös sähkönkulutus on minimissään lomakuukauden ja huoltoseisokin aikana. Vuotuinen tuotantocykli ja sen perusteella muodostuva kuukausittainen sähkönkäyttö on esitetty liitteessä 1.

## 6.1 Nykytila-analyysi

Nykyisessä toimintamallissa parkettitehtaan sivuvirta ohjataan pääosiltaan omaan lämmityskäyttöön prosessien sekä puutavara-kuivaamoiden lämmittämiseksi. Sivuvirrasta lämmityskäytön lisäksi ylijäävä osuus jalostetaan kahdella erillisellä linjalla puristetuksi puupolttoaineksi, eli briketiksi. Brikettiä valmistetaan kahta eri versiota joista sylinterimäistä teollisuusbrikettiä (Kuva 1) myydään pakkaamattomana autokuormittain lämpölaitoskäyttöön, ja kuluttajapakkauksiin lavoitettua tiiliskiven mallista Lumo-brikettiä (Kuva 2) loppukäyttäjille rautakauppajakelulla, tai vaihtoehtoisesti verkkokaupan kautta vapaasti ovelle toimitettuna. Aluelämpölaitoksilla käytettävän teollisuusbriketin kysyntä olisi suurempaa mitä tuotanto nykyisellään, mutta hinnallisesti kuluttajakaupan Lumo-briketti on mielenkiintoisempi myyntiartikkeli.



Kuva 1. Teollisuusbriketti.

(Kuva: Arto Yletyinen2013.)



Kuva 2. Lumo-briketti.

(Kuva: Arto Yletyinen 2013.)

Toimintamallin nykytilaa ja sen taloudellista tulosta analysoitaessa selvisi, että nykyisillä tuotanto- ja myyntimäärillä teollisuusbriketti on kannattavin tapa sivuvirran hyötykäytölle. Kuluttajakaupan brikettimyynnissä kannattavuutta heikentää kuljetuskustannusten suuri osuus, sillä tuotteen voi hankkia Suomessa suoraan ovelle toimitettuna. Teollisuusbriketin valmistuksen ja myynnin liiketoiminnallinen tulos on taloudellisesti kannattavaa, joten tutkimuksen seuraavissa vaiheissa Lumo-briketin valmistuksen ja myynnin, sekä uuden kehitettävän toimintamallin tulosta verrataan suhteessa teollisuusbriketin tuotannon liiketoiminnalliseen tulokseen. Euromääräisten lukujen sijaan, liitteissä 4 ja 5 esitettyjen katetuottolaskelmien perusteella selvitetty toimintamallien taloudellinen vaikuttavuus esitetään jatkossa suhteellisilla prosenttiluvuilla. (Taulukko 3)

Taulukko 3. Brikettien myynnin kannattavuuden vertailu. (Yletyinen 2013)

	<b>Teollisuusbriketti</b>	<b>Lumo-briketti</b>
<b>Taloudellinen kannattavuus, %</b>	100 %	59 %

## 6.2 Sivuvirran energiapotentiaali

Sivuvirran jakeiden todellinen lämpöarvo selvitettiin pommikalorimetrillä SAVONIA Ammattikorkeakoulun puutekniikan palotestauslaboratoriolla 15.3.2013. Testiin valittiin sivuvirrasta kaksi erilaista jaeita, joista toinen koostui pääosin havupuusta eli kuusesta ja toinen eksoottisesta kovapuusta. Kalorimetrisessä lämpöarvossa näytteiden välillä mitattiin vain 1,5 %:n ero, tuloksen ollessa havupuisella näytteellä hivenen korkeampi. Tulos vahvistaa osaltaan teoriaosuudessa esitettyä puun vety- ja ligniinipitoisuuden vaikutusta puupolttoaineen lämpöarvoon. Havupuilla luontainen ligniinipitoisuus on korkeampi lehtipuihin verrattuna, jolloin myös lämpöarvo kiinteällä polttoaineella on yleisesti korkeampi. Ennen pommikalorimetritestiä briketeistä sahattiin ISO-589 standardin mukaisesti oikean kokoiset kappaleet kosteuden määrittystä varten. (Taulukko 4)

Taulukko 4. Kosteuden määrittäminen. (Yletyinen 2013)

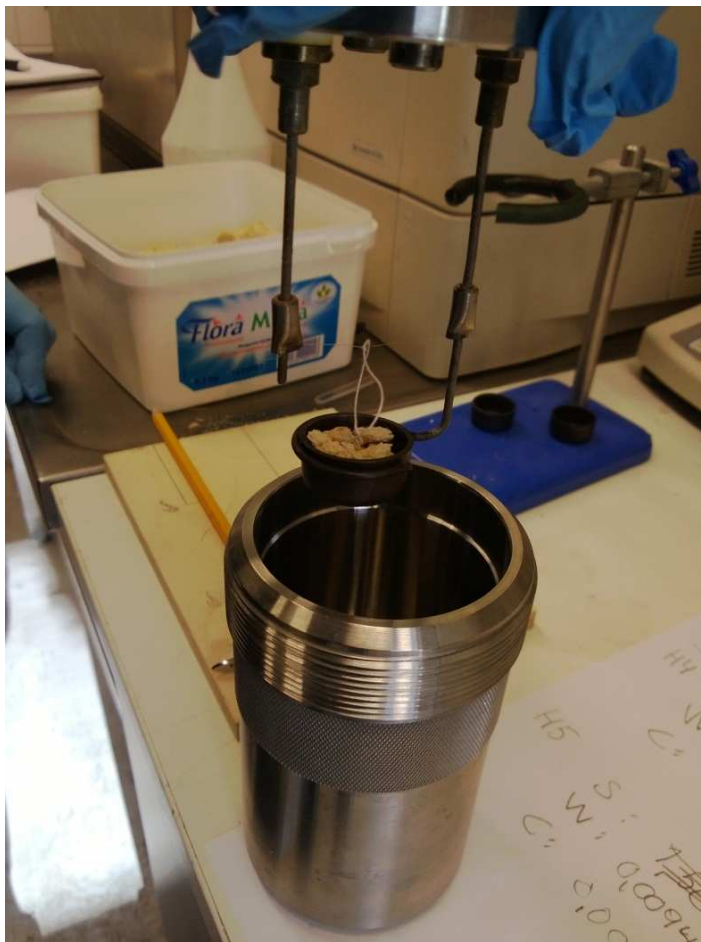
Kosteuden määrittäminen ISO 589, 11.2.2013	Näyte 1, Kuusi	Näyte 2, Kovapuu
Alkupaino, g	347,86	312,1
Loppupaino, g	323,69	290,57
Näytteen kosteus, %	6,94	6,89

ISO 1716 standardin mukaisessa pommikalorimetritestissä (Kuva 3) testattiin kaksi erilaista parkettitehtaan sivuvirrasta otettua näytettä. Testissä 30bar ylipaineisessa teräskapselissa, eli pommissa, poltetaan tyypillisesti erilaisia rakennusmateriaaleja palamisessa syntyvän lämmön määrittelyä varten. Tarkin tulos saadaan silloin kun testattavalla näytteellä saadaan syntymään 30MJ:n tehoa vastaava lämpötilaero, ja kalibrointivaiheessa testattavan sivutuotteen mitattavaksi määräksi tuli n.1,6g. Samaa tulosta ja painoa käytettiin kummallekin testattavalle näytteelle.



Kuva 3. Pommikalorimetrialaitteisto Savonia Ammattikorkeakoulun palotestauslaboratoriolla. (Kuva: Arto Yletyinen 2013)

Pommikalorimetritestissä 1mg:n tarkkuudella punnitut näyte, sekä sytytykseen käytettävä puuvillalanka (Kuva 4) poltetaan hapella ylipaineistetussa pommissa, ja näytteen lämpöarvo määritellään pommia ympäröivässä vesihautteessa tapahtuvasta lämpötilamuutoksesta mikä on tyypillisesti 1-5 astetta testattavasta materiaalista ja määrästä riippuen. Näyte palaa ylipaineisessa ja happirikkaassa ilmassa täydellisesti, ja testin jälkeen avattavassa pommissa on nähtävissä vain vedyn palamisesta syntyvää vettä. Testin jälkeen lämpöarvotulos kirjataan ylös näyttöruudulta tai tulostetaan erillisellä printterillä, ja testituloksesta laskennallisesti johdettavat lämpöarvot lasketaan teoriaosuudessa esitetyillä kaavoilla. Testauksessa mitatut lämpöarvot ovat luettavissa taulukosta 5, ja esimerkit pommikalorimetritestin tulosteista on esitetty liitteinä 2 ja 3 opinnäytetyön lopussa.



Kuva 4. 1,6g:n näyte ja sytytyslanka ennen pommin sulkemista. (Kuva: Arto Yletyinen 2013.)

Taulukko 5. Lämpöarvot laskettuna pommikalorimetrin tuloksesta. (Yletyinen 2013)

<b>Pommikalorimetritesti 15.3.2013</b>	<b>Näyte 1, Kuusi</b>	<b>Näyte 2, Kovapuu</b>
<b>Kalorimetrinen lämpöarvo, MJ/kg</b>	20,58	20,3
<b>Tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa, MJ/kg</b>	18,9	18,64
<b>Tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa, kWh/kg</b>	5,25	5,2

Nykytila-analyysillä myynti- sekä varastokirjanpidosta selvitetty sivuvirran massa mikä voitaisiin hyödyntää energiantuotannossa uudessa toimintamallissa briketin valmistuksen sijaan, on kahden vuoden keskiarvosta laskettuna n.4 500 000 kg vuodessa. Korkean energiasisältönsä ansiosta tehtaan nykyinen sivuvirta muodostaa merkittävän energiapotentiaalin yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotannon vaihtoehtoa tutkittaessa. Tutkimuksen toiminnallisessa laboratorio-osuudessa selvitetty sivuvirran tarkka tehollinen lämpöarvo oli 5,2 kWh/kg, jolloin vuotuiseksi teoreettiseksi sähkön- ja lämmöntuotannon energiapotentiaaliksi muodostuu tällä hetkellä briketöintiin käytettävällä massalla 23 400 000 kWh/a.

### 6.3 Sähköntuotannon potentiaali

Tutkittavaan kohteeseen soveltuvaa ja käyttökelpoista yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoteknologiaa selvittäessä, lähdeaineiston ja aiempien tutkimusten perusteella päädyttiin tarkastelemaan ORC- yksikköä asetetut vaatimukset täyttävänä vaihtoehtona. Sähkön- ja lämmöntuotannon välinen suhde ei ole voimalaitoksissa aina tasainen ja vaihtelee tarpeen ja saatavilla olevan lämpökuorman mukaan, mutta jatkossa esitettävän laskennan perusteeksi valittiin useammasta lähteestä varmistettu tuotantosuhde 20 % sähköä ja 80 % lämpöä. Laitossuhde yhdistelmävoimaloissa on tyypillisesti korkea, 85–90%, ja ORC-laitoksen pumppauksiin kuluva oma sähkönkäyttö yleisesti n.30 % tuotetusta sähköenergiasta. Laskentaperusteissa käytettävä sähköenergian voimassa oleva hinta, siirtomaksu sekä sähköveron suuruus on tarkastettu Savon Voima Oyj:n verkkopalvelusta 28.4.2013. (Savonvoima, 2013).

### Energiantuotanto- ja säästöpotentiaali

Käytettävissä oleva raaka-aine, kg/a	4500000
Raaka-aineen tehollinen Lämpöarvo toimituskosteudessa, kWh/kg	5,2
Energiapotentiaali kWh	23400000
Laitossuhde	90 %
Sähköteho	20 %
Laitoksen oma sähkönkäyttö	30 %
Omaan käyttöön tehtävä sähkö kWh/a	2948400
Ostoenergian hinta cnt/kWh (1.4.2013)	6,4
Omatuotannon säästöpotentiaali ostosähköstä, €/a	189582
Siirtomaksu €/kWh (1.4.2013)	3,4
Sähkövero €/kWh (1.4.2013)	0,87172
Säästöpotentiaali, vero + siirto, €/a	125947

Laskelman perusteella nykyisellään briketeiksi puristettavasta sivutuotteesta olisi tehtävissä lähes kolme miljoonaa kilovattituntia sähköenergiaa varsinaisen lämmöntuotannon sivutuotteena. Määrä vastaa noin 200 sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuista energiankäyttöä, ja muodostaa jo nykyiselläkin energianhinnalla merkittävän säästöpotentiaalin. Raaka-aineen hyvä energiasisältö muodostaa merkittävän tuotantopotentiaalinkin vaikka sivuvirran vuotuinen kilomäärä ei ole suuri, laajamittaista ja biomassaan pohjautuvaa CHP- tuotantoa ajatellen. Ennen investointikustannusten huomioimista oman sähkötuotannon suhteellinen taloudellinen vaikutus olisi merkittävä. Ostoenergian korvaamisen lisäksi omalla sähkötuoannolla saadaan säästöjä kun maksettavat sähkön siirtomaksu ja sähkövero pienenevät oman tuotannon osuuden verran. Uusi yhteistuotantoon perustuva toimintamalli toisi säästöjä myös kunnossapidon kustannuksien kautta, sillä uudessa toimintamallissa kahden brikettilinjan huolto- ja työkulu jää syntymättä.

### **Nykytila-analyysin vertailu, suhteellinen tuotto ennen rahoituskustannusta**

Teollisuusbriketin valmistus ja myynti	100 %
Lumo-briketin valmistus ja myynti	59 %
Oma sähköntuotanto, teoreettinen ennen investointikulua	699 %

#### **6.4 Investointiehdotukset yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon**

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää laitetoimittajilta kerättävän lähdeaineiston ja aiempien tutkimusten perusteella kohteeseen ja käytettävissä olevalle sivuvirran määrälle ja laadulle soveltuva ORC- laitos. Investointiehdotusta varten etsittiin tietoja yleisesti Euroopan markkinoilla tunnetuista ja jo toimiviksi todetuista laitteistoista joissa tuotetun kaukolämpöveden lämpötila on riittävä parketinvalmistuksen prosessia varten,  $>90^{\circ}\text{C}$ . Investointiehdotusta varten etsittiin tarkan teknisen ratkaisun sijaan hintatietoja joita käytettiin investointilaskelman pohjatiedoiksi. Viimeisimpien selvitysten mukaan biomassan polttoon perustuva yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon investointikustannus on tyypillisesti 2000 -3500€/kW (Motiva 2012, 12).

Erilaisten laskentamenetelmien avulla voidaan suunnittelu ja esiselvitysvaiheessa arvioida investoinnin kannattavuutta sekä muita taloudellisia vaikutuksia ja seurauksia. Kehitystehtävän aikana koottavan investointiehdotuksen taloudellisen kannattavuuden tarkastelua varten laadittiin Exceliin laskentataulukoita joilla voidaan helposti vertailla investointikustannuksen (€/kW) hintaa erilaisten muuttujien suhteessa. Investoinnin kannattavuutta voidaan tarkastella usealla erilaisella, perinteisellä tai kehittyneemmällä laskentamenetelmällä, ja investoinnin arviointia varten olisikin hyvä käyttää aina vähintään kahta erilaista laskentamenetelmää. Perinteisiä menetelmiä ovat Niskanen ja Niskanen (2010, 309) mukaan muun muassa takaisinmaksuajan menetelmä, sekä investoinnille laskettu tuotto prosenttimenetelmä.

Investoinnin lähtökohta on tilanne missä sähköntuotantoa voidaan ajaa vuosittaisen sivutuotteen energiapotentiaalin mahdollistama maksimimäärä. Tästä lähtökohdasta laskelmat tehdään alkuvaiheessa siitä oletuksesta, että investoinnin vuotuiset tuotot jotka kustannussäästöinä saavutetaan, ovat vuosittain samansuuruiset. Tällöin investoinnin kannattavuutta voidaan tarkastella yksinkertaisella ja yleisesti käytetyllä takaisinmaksumenetelmällä, jossa lasketaan aikajakso minkä aikana investoinnin vuosittaiset ja yhteenlasketut nettotuotot tai kustannussäästöt ylittävät investoinnin hankintamenot Takaisinmaksumenetelmä jättää usein huomioimatta investoinnin aiheuttamat todelliset korko- ja rahoituskustannukset, joten takaisinmaksumenetelmä ei yksin riitä tuottamaan tarvittavaa tietoa päätöksenteon tueksi. (Niskanen & Niskanen, 2010, 301.)

Nykyarvomenetelmällä investoinnille suunnitellun käyttöiän aikaiset tuotot ja kustannukset diskontataan vuosittain yhteenlaskettuna nykyhetkeen. Neilimön ja Uusi-Rauvan (2010, 219) mukaan laskelmalla päästään kannattavuudessa nollatulokseen silloin kun kertyneiden nettotulojen diskontattu nykyarvo on yhtä suuri kuin hankintakustannus. Nykyarvomenetelmälle käänteisenä laskentamenetelmänä voidaan puolestaan käyttää annuiteettimenetelmää, jossa investoinnin aiheuttama hankintakustannus jaetaan vuotuisiksi yhtä suuriksi rahoituseriksi, eli annuiteeteiksi. Laskelmassa investoinnin hankintameno kerrotaan laskentakorosta ja rahoitusajasta laskettavalla annuiteettitekijällä, ja investointi on taloudellisesti kannattava, jos nettotuotot tai kustannussäästöjen aikaansaamat tuotot ovat suuremmat kuin ulkoisen pääoman aiheuttamat vuotuiset kustannukset, eli annuiteetit (Neilimö & Uusi-Rauva 2010, 220).

Kehitystehtävässä laaditut investointiehdotukset on laskelmiseen tehty lähtökohdiltaan kahdelle erilaiselle investointivaihtoehdolle. Investoinnin pohjatietona on kummassakin vaihtoehdossa nykyisin käytettävissä oleva sivuvirta, ja laitokset on mitoitettu esiselvityksessä lasketun ja todennetun energiapotentiaalin mukaan. Ensimmäisessä vaihtoehdossa nykyistä laitekantaan ja olemassa olevaa lämpölaitosta hyödynnetään jolloin investointi tehdään pelkästään 600kW:n tehoiseen ORC-yksikköön ja laitoksen sekä sähkönsyötön vaatimiin muutostöihin. 600kW:n tehoisella generaattorilla laitos pystyisi käyttämään raaka-ainepotentiaalin 5000 tunnin tuotannolla, mikä on realistinen ja käytökelpoinen arvio vuotuisista käyttötunneista laskelman pohjaksi. Koko käyttöaikaa ei



voida käytännössä ajaa huipputeholla, joten 5000 tuntia mitoitusperusteena jättää pelivaraa sähköntuotannon optimoimiselle.

Toisessa vaihtoehdossa investointi tehdään sekä lämmön- että sähköntuotantoon, jolloin laitoksen mitoitusperusteena on käytetty nykyisen kokoista, 2MW:n huipputehon antavaa kiinteän polttoaineen biokattilaa. Generaattorin koko toisessa investointivaihtoehdossa on pienempi, jolloin vuotuisia käyttötunteja täytyy olla enemmän jotta raaka-ainepotentiaali saadaan käytettyä suurimman mahdollisen sähköntuotannon ja sen tuoman säästön aikaansaamiseksi. Toisessa investointivaihtoehdossa käytettävä 400 kW:n generaattori vaatiikin jo 7300 vuotuista käyttötuntia huipputeholla jotta päästään samaan tuotantomäärään kuin isommalla vaihtoehdolla. Kumpaakin investointivaihtoehtoa tarkastellaan 15 vuoden investointiajalla sekä nykyisellä n. 6 %:n korkokannalla laskettuna. Varsinaista tuotto-odotusta ei investointiehdotuksissa käsitellä.

Nykyarvomenetelmän avulla tarkasteltuna kehitystehtävässä esitettävä uusi toimintamalli ei ole kannattava kummallakaan esitetyistä investointivaihtoehdoista. Maltillisella 6%:n laskentakorkokannalla laskettuna edullisemman 600kW:n ORC investoinnin vuotuiset nettotuotot eivät investointiajan aikana riitä kattamaan ulkoisesta pääomasta aiheutunutta rahoituskulua. Pienemmän sähkötehon ja samalla selvästi kalliimman investointivaihtoehdon kannattavuus on merkittävästi huonompi, sillä kalliimmasta investoinnista huolimatta vuotuiset nettotuotot pysyvät samoina kuin halvemmassa vaihtoehdossa. Nykyarvomenetelmällä lasketut vuotuiset nettotuotot ja laskentakorkokannan mukainen rahoituskustannus 6 %:n korolla on esitetty seuraavassa taulukossa 6.

Taulukko 6. Vuotuiset tuotot nykyarvomenetelmällä laskettuna. (Yletyinen 2013)

<b>Aika / a</b>	<b>Investointi €</b>	<b>Nettotuotto €</b>	<b>Nykyarvo €</b>	<b>Rahoituskulu €</b>
0	2050000			-2050000
1		315529	297669	
2		315529	281722	
3		315529	267397	
4		315529	254459	
5		315529	242715	
6		315529	232007	
7		315529	222204	
8		315529	213195	
9		315529	204889	
10		315529	197206	
11		315529	190078	
12		315529	183447	
13		315529	177263	
14		315529	171483	
15		315529	166068	
			3301801	4912944

Nykyarvomenetelmän laskentataulukkoa voidaan hyödyntää myös silloin kun investointiehdotuksia tarkastellaan takaisinmaksumenetelmään hyväksikäyttäen. Taulukkolaskentaohjelmaa käyttämällä vuotuisia nettotuottoja lasketaan yhteen niin paljon että laskelman tuloksessa päästään samalle tasolle investoinnin aiheuttaman rahoituskustannuksen kanssa. Tyypillisesti takaisinmaksumenetelmää käytettäessä laskentakorko jätetään huomioimatta, mutta todellinen kuva investoinnin takaisinmaksuajasta saadaan kun laskennassa käytetään diskontattuja nykyarvoja sekä laskentakorolla laskettua rahoituskustannusta. (Neilimö & Uusi-Rauva 2010, 220-225.) Ennen laskentakoron huomioimista, sähköteholtaan 600kW:n investointi maksaisi alkuperäisen rahoituskustannuksen takaisin seitsemässä vuodessa, mutta kun nettotuotot diskontataan ja rahoituslaskelmasa otetaan huomioon laskentakorkokanta, takaisinmaksuaika on 15 vuotta. Tässä tapauksessa investointi maksaisi itsensä takaisin vasta varsinaisen investointiajan päätyttyä.

Annuiteettimenetelmää käytettäessä investoinnin kannattavuutta arvioidaan vuotuisen tulo- ja menoannuiteetin avulla. Yksinkertaisella taulukolla esitetään vuotuiset tulot sekä rahoituskustannuksen aiheuttavat perustiedot. Miehitämättömän toimintaperiaatteen takia, sähköteholtaan 600kWh:n tehoisen ORC-yksikön vuotuisiksi tuotantokus-

tannuksiksi on laskennassa määritelty vain 1cnt/ kWh, ja tilanteessa missä koko energiapotentiaali saadaan tehtyä ulkopuolista ostoa korvaavaksi sähköenergiaksi, investointi olisi taloudellisesti kannattava.

### Laitosinvestointi ja toiminnan kannattavuuden arviointi annuiteettimenetelmällä, 600kW:n sähköteho

Investointikustannus €/kWh	3000
Laitoskoko – ORC, kW	600
Muutostyöt sähkönsyöttöön ja kattilaan, €	250000
<b>Investoinnin arvo, €</b>	<b>2050000</b>
Korkokanta, %	6 %
Investointiaika, a	15
<b>Investoinnin rahoituskustannus, annuiteetti</b>	<b>-199 126,10 €</b>
<b>Vuosikustannus sähköntuotannosta cnt/kWh</b>	<b>1</b>
Vuosikustannukset sähköntuotannosta, €/a	-29484
Vuosituotot, €/a (korvattu sähkö+siirto+verot)	315530
Jäännösarvo, €	0
<b>Menoannuiteetti, €/a</b>	<b>-228 610,10 €</b>
<b>Tuloannuiteetti, €/a</b>	<b>315530</b>
<b>Tulos, €/a</b>	<b>86 919,41 €</b>

Toista investointivaihtoehtoa annuiteettimenetelmällä tarkasteltaessa nähdään miten ratkaisevasti kalliimman vaihtoehdon rahoituskustannus vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. Pienemmän sähkötehon investointi ei ollut taloudellisesti kannattava nykyarvo- tai takaisinmaksumenetelmää käyttämällä, ja annuiteettimenetelmällä nähdään vuotuinen rahoituskustannuksen aiheuttama selvästi tappiollinen tulos. Kalliimpi investointi on alttiimpi myös korkokustannusten muutoksille ja siitä pahimmassa tapauksessa aiheutuvalle rajulle ja yllättävälle rahoituskustannuksen nousulle.

### Laitosinvestointi ja toiminnan kannattavuuden arviointi annuiteettimenetelmällä, 400 kW:n sähköteho

Investointikustannus €/kWh	2500
Laitoskoko kW	2000
Muutostyöt sähkönsyöttöön €	100000
<hr/>	
Investoinnin arvo, €	5100000
Korkokanta, %	6 %
Investointiaika, a	15
<hr/>	
Investoinnin rahoituskustannus, annuiteetti	-495 386,88 €
Vuosikustannus sähköntuotannosta cnt/kWh	1
<hr/>	
Vuosikustannukset sähköntuotannosta, €/a	-29484
Vuosituotot, €/a (korvattu sähkö+siirto+vero)	315530
Jäännösarvo, €	0
<hr/>	
Menoannuiteetti, €/a	-524 870,88 €
Tuloannuiteetti, €/a	315530
<hr/>	
Tulos, €/a	-209 341,37 €

### 6.5 Riski- ja herkkyysanalyysi

Investointi energiantuotantoon on aina pitkävaikutteinen ja – kestoinen investointi. Pitkälle aikavälille kohdentuvaa investointia tutkittaessa täytyy muistaa se, että tulevaisuuteen liittyy väistämättä sekä epävarmuustekijöitä sekä erilaisia riskejä jotka voivat olla tiedostettuja tai tiedostamattomia. Riski ja epävarmuustekijät voidaan suunnitteluvaiheessa erottaa toisistaan, sillä riski on yleensä aina jollain mittarilla mitattavissa oleva muuttuja. Toisin kuin epävarmuustekijä, mikä on puolestaan aina tuntematon ja ennalta arvaamaton tekijä jonka esiintymiseen tai esiintymisen ajankohtaan ei voida historiatiedon varassa varautua. Lähtökohtaisesti investointiehdotuksen perusteluissa lähdetään liikkeelle olettamuksesta jossa toiminnassa ei tapahdu olennaisia ja merkittäviä muutoksia.

Tutkimuksen kohteena olevaan energiantuotantoinvestointiin liittyy nyt käytettävissä olevan tiedon perusteella sekä positiivisia että negatiivisia riskejä. Ennustettavissa oleva positiivinen riskitekijä on esimerkiksi vuosittain kallistuva sähköenergian hinta, sillä investoinnin kannattavuus paranee sitä mukaa mitä kalliimpaa ostoenergiaa omalla sähköntuotannolla voidaan korvata. Teollisuuden käyttämän sähköenergian hinta saattaa tulevaisuudessa jopa kaksinkertaistua, joten vaikutus toimintamallin taloudelliseen lopputulokseen on suuri. Tuotantomäärissä ei odoteta tapahtuvan merkittävää muutosta, sillä perustiedot sähköntuotannon potentiaaliksi on kerätty kaksi vuotta kestäneiden sopeutustoimien ja vähennysten jälkeen.

Työssä esitetty investointiehdotus perustuu yleistettävyyden vuoksi tilanteeseen missä investointi tehdään täysimääräisesti vieraalla pääomalla. Vaikka yritysten lainansaanti onkin viimeisten vuosien aikana merkittävästi vaikeutunut, korkotaso on silti edelleen matala, eikä suurta ja yllättävää korkotason nousua ole näköpiirissä lähivuosina. Korkotason ja sen vuosittaisen nousun merkitys investoinnin kannattavuuteen ei kuitenkaan ole niin merkittävässä asemassa kuin varsinainen investointikulun €/kWh, mikä määrittelee suoraan investoinnin kannattavuuden.

## **8 Johtopäätökset**

Uutta toimintamallia ja sen taloudellista kannattavuutta tutkittaessa havaittiin, että olemassa olevaa laitekantaa sekä lämpökeskuksen kahta biokattilaa hyödyntämällä, investointi ORC teknologiaan olisi selvästi kannattava. Nykyisen sivuvirran massa ja energiapotentiaali riittää teholtaan maksimissaan 600kW:n suuruisen ORC- yksikön raaka-aineeksi ja vuotuiset käyttötunnit saadaan helposti optimoitua. Tilanteessa jossa ORC-tuotantoa voidaan ajaa maksimaalista sähköntuottoa tavoitellen, raaka-ainepotentiaali riittää 5000 käyttötuntiin, mikä on realistinen käyttöaika kesäkuukausien loma- ja huoltokaudet huomioiden.

Tilanteessa jossa tutkittavan toimintamallin vaatiman investoinnin laskennassa otetaan huomioon myös mahdollinen investointituki, uusi toimintamalli ja investointi osoittautuvat taloudellisesti entistäkin kannattavammaksi. 25 %:n investointituen avulla 600kW:n tehoisen ORC- yksikön kannattavuus paranee entisestään, vuosituloksen ollessa jo yli 130 000€ positiivinen. Tilanteessa jossa yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotannon investointi vaatii myös uuden lämpölaitosinvestoinnin, lopputulos muuttuu negatiiviseksi. Investointi nykyisen suuruiseen biokattilaan sekä sähköä tuottavaan ORC-yksikköön muuttaa tuloksen yli 100 000€ tappiolliseksi mahdollisesta investointituesta huolimatta. Tarkempaa tekniikan tason selvitystä oman sähkönkäytön vaatimista taajuusmuuttajista sekä sähkönsyötön muutoksista ei tässä työssä käsitelty, sillä aiheesta on tehty aiemmin jo useita hintatiedot sisältäviä töitä ja tutkimuksia.

Tutkimuksen aikana tehdyn selvityksen perusteella voidaan todeta että energiantuotannon teknologinen kehitys mahdollistaa tänä päivänä myös aiemmin käyttämättä jääneiden sivutuotteiden käytön yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon. Vaikka sähköntuotanto ei olisi vielä tänä päivänä hinnaltaan täysin kilpailukykyistä ostosähköön verrattuna, uusilla toimintamalleilla ja omaan sähköntuotantoon tehtävillä investoinneilla on silti mahdollista parantaa toiminnan kannattavuutta aiempiin toimintamalleihin verrattuna, varsinkin jos arviointikriteereihin lisätään kestävä kehityksen ekologiset näkökulmat. Hajautetut sähköntuotantolaitokset tulevat lähivuosina varmasti yleistymään siinä mittakaavassa mikä ei ole aiemmin ollut taloudellisesti tai ekologisesti kiinnostava alue, ja ORC- teknologia on yksi varteenotettavimmista vaihtoehdoista.

Sähkön hinnan odotetaan edelleen jatkavan kallistumistaan lähivuosina, joten omaan käyttöön tarkoitetun sähköntuotannon kannattavuus tulee tulevaisuudessa edelleen parantumaan. Nykyisillä ostosähkön hinnalla ja yhdistelmätuotannon investointikustannuksilla parkettitehtaan tuottama sivuvirta ei ole riittävän suuri jotta investoinnista saataisiin paras ja taloudellinen hyöty. Sivuvirran tulisi olla vähintään kaksinkertainen, eli lähes 10 000 000kg, jotta investointiin olisi riskianalyysin jälkeen mahdollisuuksia ryhtyä.

Tutkimustyön aikana tuotettiin uutta tietoa ekologisesta, ja joillain esimerkeillä myös taloudelliseksi osoittautuneesta toimintamallista. Nykytila-analyysin avulla saatiin ajan-

tasaista tietoa briketinvalmistuksen kannattavuudesta, ja analyysin tulosta tullaan hyödyntämään toimintojen ohjauksessa tulevaisuudessa. Vaikka investointiprosessin viimeiset vaiheet jäävät tämän esiselvityksen jälkeen toteutumatta, yrityksen hiljainen tieto on kasvanut ja sisäiseen keskusteluun on saatu täysin uusia näkökulmia toimintojen tulevaa, kestävän kehityksen mukaista suunnittelua ja edelleen kehittämistä varten.

## Lähteet

- Aaltonen, J. Ukkonen, J. 2008. Pienet alle 4 MW yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto mahdollisuudet. Lappeenrannan Teknillinen yliopisto.
- <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/39675/Pienet%20chp%20laitokset.pdf?sequence=1>
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. ISBN 951-38-5699-2
- Alakangas, E. Polttokelpoisten muovien tunnistaminen, VTT Prosessit
- [http://base.jenergialehti.fi/ebase\\_filebank/64-Muovin\\_poltto-ohje.pdf](http://base.jenergialehti.fi/ebase_filebank/64-Muovin_poltto-ohje.pdf)
- Alakangas, E. Flyktman, M. 2001. Bio Mass CHP Technologies, VTT Energy
- [http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/ENE\\_Alakangas.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/ENE_Alakangas.pdf)
- Luettu 11.3.2013
- Hirsjärvi, S. Remes, P. Sajavaara, P. 2009. Tuki ja kirjoita, 15-17 painos, Kustannusosakeyhtiö Tammi ISBN 978-951-31-4836-2
- Hirvonen, R. VTT Prosessit, Suomen Energiavisio 2030
- [http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_tiivistelma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf)
- Luettu 2.2.2013
- Jalonen, P. (Toim) 2013. Ensimmäinen ORC-voimala Toholammelle. Bioenergia lehti 1/2013, Bioenergia ry, ISSN 1459-1820
- Kansallinen metsäohjelma. 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä. Maa- ja metsätalousministeriö 2011. ISBN 978-952-453-630-1
- Gard, K. O. 2008. Biomass based small scale combined heat on power technologies. Master of science programme, Mechanical engineering. Luleå University of Technology. ISSN:1402\_1617 – ISRN:LTU – EX –08/122 – SE
- <http://epubl.ltu.se/1402-1617/2008/122/LTU-EX-08122-SE.pdf>
- Konttinen, J. Pien CHP:n teknologiset ratkaisut, Jyväskylän Yliopisto, kemian laitos.
- <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=pien%20chp%3An%20teknologiset%20ratkaisut&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.forestenergy.org%2Fopenfile%2F378%3FPHPSESSID%3D007d1ce6028c9f7a94089e1581d3928d&ei=GTFAUcqqBses4AS8qoG4Aw&usq=AFQjCNG9LxuwykIMrmRmyaUg5cP1UJ4ccw&bvm=bv.43287494,d.bGE>
- Pätäri, S. 2009. ON VALUE CREATION AT AN INDUSTRIAL INTERSECTION – BIOENERGY IN THE FOREST AND ENERGY SECTORS. Lappeenrannan teknillinen Yliopisto. ISBN 978-952-214-866-7



- Reunanen, A. Honkatukia, J. Hannu, E. Pitkänen, H. Lattu, J. Larjola, J. 1998. ORC-voimalan soveltuvuus hyödyntämään dieselvoimalan hukkalämpöä. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Tekes DrNo 1549/401/98. Loppuraportti. ISBN 951-764- 437
- Motiva. 2012. Opas sähkön pientuottajalle 04/12, rahoittanut työ- ja elinkeinoministeriö.  
[http://www.motiva.fi/files/5724/Opas\\_sahkon\\_pientuottajalle\\_2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf)  
Luettu 2.4
- Miettinen, M. Experiences of CHP plants at sawmills, VAPO OY  
<http://ebookbrowse.com/miettinen-ppt-d123663865>  
Luettu 10.2.2013
- Neilimo, K. Uusi-Rauva E. 2012. Johdon laskentatoimi, Edita Publishing  
ISBN:978-951-37-4109-9
- Niskanen, J. Niskanen, M. 2012. Yritysrahoitus, 5-6 painos. Edita Publishing ISBN 978-951-374-895-1
- Obernberger, I. Thornhofer, P. Reisenhofer, E. 2002. Report on Lienz ORC-plant. Turboden  
[http://www.turboden.eu/en/public/downloads/report\\_on\\_lienz\\_plant.pdf](http://www.turboden.eu/en/public/downloads/report_on_lienz_plant.pdf)
- Bini, R. Di Prima, M. Guercio, A. Organic Rankine Cycle in Biomass plants:an overview on different applications. Turboden presentation.  
[http://www.turboden.eu/en/public/downloads/10A02943\\_paper\\_marco.pdf](http://www.turboden.eu/en/public/downloads/10A02943_paper_marco.pdf)
- Sipilä, K. Pursiheimo, E. Savola, T. Fogelholm, C. Keppo, I. Ahtila, P. 2005. SmallScale Biomass CHP Plant and District Heating, VTT Research Notes 2301, ISBN 951.38.6722
- Suvanto, T. Autio, S. Huovari, N. Mars, H. 2012. Hajautettu energiantuotanto. Etelä-Pohjanmaan energiatoimisto, Thermopolis Oy. I Print Seinäjoki  
<http://www.thermopolis.fi/UserData/doc/Hankkeet/Eetuuma.pdf>  
Luettu 3.2.2013
- Sähkön hinnat 1.4.2013 alkaen, Savon Voima  
[http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/SV\\_kokonaishinnasto\\_netti\\_01042013.pdf](http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/SV_kokonaishinnasto_netti_01042013.pdf)
- Säilä, A. Lehtonen, M. 2010. Puutuoteklusterin tutkimusstrategia, Metsäteollisuus ry.  
<http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/puutuoteklusterintutkimusstrategia/Sivut/default.aspx>  
Luettu 11.2.2013
- Turboden 2012, Turboden Biomass Solutions, Presentation.

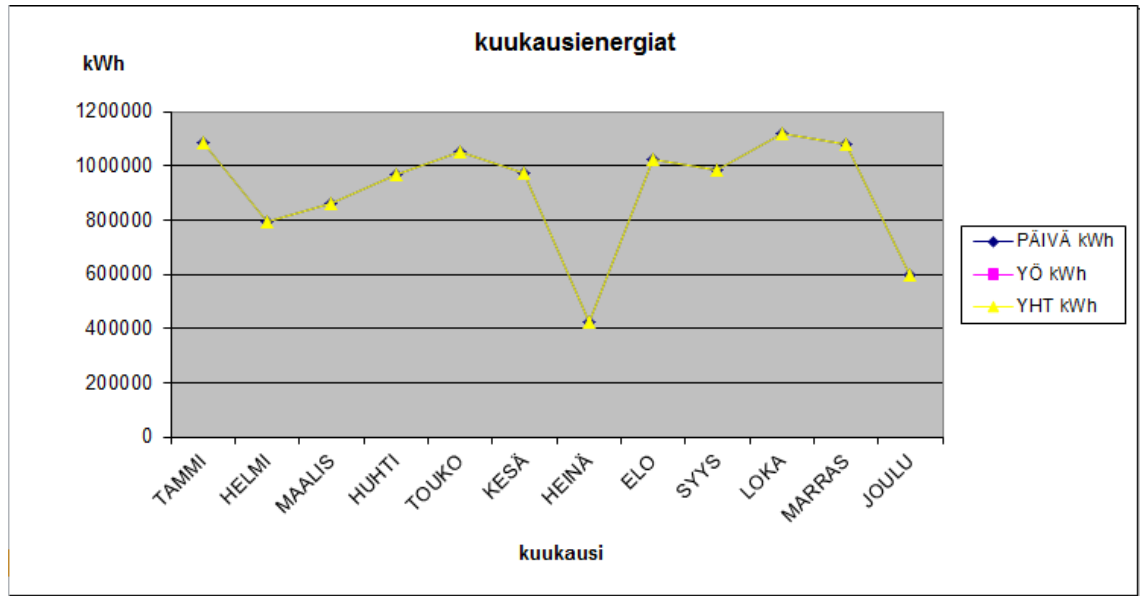
[http://www.turboden.eu/en/public/downloads/09A06513\\_e.pdf](http://www.turboden.eu/en/public/downloads/09A06513_e.pdf)

Luettu 1.3.2013

Orispää, Y. 2000. How to design and realise profitable wood fire CHP-plants for mechanical forest industries, Protemo Oy

[http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/The\\_use\\_of\\_wood\\_fuelled\\_CHP\\_in\\_the\\_Finnish\\_forestry\\_industry.pdf](http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/The_use_of_wood_fuelled_CHP_in_the_Finnish_forestry_industry.pdf)

Vilkuna, V. (Toim) 2013. Maaseudun tulevaisuus, 27.2.2013. Toholammin kuumaöljyvoimala uranuurtajana.

**Parkettitehtaan toteutunut sähkönkäyttö 2012**

(Pohjois-Karjalan sähkö, 2013)

**Pommikalorimetritestin tulos havupuulle (Yletyinen 2013)**

H5

DETERMINATION OF THE HEAT OF COMBUSTION

TEST REPORT

TEMPRISE (DEG C): 2.98  
MAXTEMP (DEG C): 28.76  
BASETEMP (DEG C): 25.79  
ADJUSTED TEMPRISE (DEG C): 3.03  
WATER EQUIVALENCE USED (J/K): 10177.85  
GROSS ENERGY RELEASE (J): 30799.74  
ENERGY OF COTTON (J): 143.50  
ENERGY OF WIRE (J): 13.19  
ENERGY OF PAPER (J): 0  
ENERGY OF FUEL (J): 0  
SAMPLE MASS (G): 1.59  
ENERGY OF SAMPLE (J): 30643.06  
HEAT OF COMBUSTION (MJ/KG): 19.26

**Pommikalorimetritestin tulos kovapuulle (Yletyinen 2013)**

M1

TEMPTISE (DEG C): 2.92  
MAXTEMP (DEG C): 28.68  
BASETEMP (DEG C): 25.77  
ADJUSTED TEMPTISE (DEG C): 2.96  
WATER EQUIVALENCE USED (J/K): 10177.85  
GROSS ENERGY RELEASE (J): 30090.19  
ENERGY OF COTTON (J): 152.25  
ENERGY OF WIRE (J): 13.33  
ENERGY OF PAPER (J): 0  
ENERGY OF FUEL (J): 0  
SAMPLE MASS (G): 1.59  
ENERGY OF SAMPLE (J): 29924.62  
HEAT OF COMBUSTION (MJ/KG): 18.80

