

Hajautettu energiantuotanto
ORC-tekniikalla

Harri Kantola

Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2015

Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Harri Kantola	Vuosi	2015
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Hajautettu energiantuotanto ORC-tekniikalla		
Sivu- ja liitemäärä	52 + 4		

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin bioenergian avulla tapahtuvaan lämmön ja sähkön yhteistuotantoon ORC (Organic Rankine Cycle) -tekniikalla. Työssä tarkasteltiin ORC-tekniikkaa, hajautetun energiantuotannon haasteita sekä tekijöitä, jotka vaikuttavat sen taloudelliseen kannattavuuteen. Työssä luotiin yleiskatsaus olemassa oleviin valmistajiin, laitoksiin ja niissä käytössä oleviin ratkaisuihin. Lisäksi huomioitiin lainsäädännön mukanaan tuomat haasteet kasvihuonekaasujen päästöjen alentamiseksi.

ORC-prosessi soveltuu hyvin esimerkiksi raskaan teollisuuden ylijäämälämpöjen talteenottoon. Kohteissa, jotka sijaitsevat etäällä perusinfrastruktuurista, on ORC-lämpövoimala varteenotettava vaihtoehto silloin, kun on lisäksi tarjolla esimerkiksi edullisia biopolttoainejakeita. Jotta ORC-tekniikka yleistyisi, tulisi sähkön perus- ja siirtohintojen nousta nykytasosta ja investointikustannusten alentua. Tuotekehittelyn tavoitteena on edelleen kehittää ORC-prosessista saatavan sähkön osuutta suuremmaksi. ORC-laitosten kannattavuuteen vaikuttavat lisäksi niihin saatavilla olevat energia- ja syöttötariffituet, laitoksissa käytettävän raaka-aineen hinta ja kuljetusmatka.

Tällä hetkellä ORC-tekniikka edustaa lämmön -ja sähköntuotannon yhteistuotantolaitoksissa (CHP) marginaalista osuutta sekä Suomessa että globaalilla tasolla. Kun huomioidaan ne kansainväliset kestäväan kehitykseen liittyvät sopimukset, joihin Suomi on sitoutunut, on oletettavaa, että ORC-tekniikan osuus kasvaa yhtenä vaihtoehtoisena energian tuotanto- ja hyödyntämismuotona ja sen tuotekehitykseen tullaan panostamaan tulevaisuudessa.

Avainsanat

bioenergia, hajautettu energiantuotanto, sähkön ja lämmön yhteistuotanto

School of Industry and
Natural Resources
Electrical Engineering

Author	Harri Kantola	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Etto MSc (tech.)		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Decentralized Energy Generation by ORC technique		
Number of pages	52 + 4		

This thesis is concerned with the combined heat and electric power production on co-generation by ORC technique with the help of bioenergy. ORC technique, challenges in distributed electricity generation and factor that affect profitability/productivity were observed in this thesis. General overview was made in the existing manufacturers, power plants and the solutions in power plants. Furthermore, the challenges entailed by legislation in reducing of the greenhouse gas emissions were taken into consideration.

ORC process fits for e.g. the recovery of the heat energy surplus in heavy industry. In the power plants, which are located far from basic infrastructure, is ORC power plant a potential choice if there are furthermore biofuel sections available. In order ORC technique to become more common, should basic- and transfer prizes of electricity rise and investment costs decrease from the current level. The aim of R&D is to develop the ORC process so that the electricity account is bigger than at present. The profitability of ORC power plants furthermore is influenced by the financial supports of energy- and tariff supply, raw material prize and transportation distance.

At the moment the ORC technique represents only a marginal in combined heat and electric power production on co-generation plants both in Finland and on global level. Probably the part of ORC technique increases as one of the alternative energy production and utilization methods and in the future it will be invested in R&D in this technique, when those international agreements are taken into account, which Finland has committed.

Key words bioenergy, combined heat and electric power production, decentralized energy generation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ENERGIAN TUOTANTO JA ENERGIAEHOJKUUSDIREKTIIVI	8
3	ORC-TEKNIikka	13
3.1	Historia.....	13
3.2	ORC-tekniikan toimintaperiaate	14
3.3	Suurnopeus ORC	20
3.4	Hyödynnettävät energialähteet	20
3.4.1	Geoterminen energia.....	21
3.4.2	Aurinko	22
3.4.3	Erilaiset hukkalämmöt eli ylijäämälämmöt.....	23
3.4.4	Metaanilähteet.....	23
3.4.5	Puupohjaiset jakeet ja turve sekä torrefioitu pelletti.....	24
3.5	Teknologiat	25
3.6	ORC-tekniikkaa hyödyntävät valmistajat.....	27
3.6.1	Ormat	28
3.6.2	Turboden.....	28
3.6.3	Tri-O-Gen	29
3.6.4	Polytechnik.....	29
3.6.5	Muut alan toimijat	29
4	KOTIMAASSA TOIMIVIA ORC-KOhteita.....	30
4.1	Hämeenkosken ja Lappajärven biovoimalaitokset	30
4.2	Toholampi.....	31
4.3	Posio.....	31
4.4	Ämmässuo.....	32
4.5	HSY Viikinmäki	34
4.6	Hankeselvitys Multian Saha Oy:lle.....	35
4.7	Kannattavuus selvitys sahateollisuudelle.....	35
5	ORC-LAITOKSEN KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVIA ASIOITA	37
5.1	Energia- ja syöttötariffituet	37
5.2	Käytettävän raaka-aineen hankintahinta ja verotus kotimaassa	39
5.3	Kuljetusmatkan merkitys	41
5.4	Uusien innovaatioiden merkitys kannattavuudelle	43

6	ORC-TEKNIIKAN REALISTISIA SOVELLUSKOHTEITA SUOMESSA	44
6.1	Mekaaninen sahateollisuus.....	44
6.2	Teollisuuden ylijäämälämpöjen hyödyntäminen.....	45
7	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET.....	48

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CHP	Combined Heat and Power
KPA	kiinteä polttoaine
LTKK	Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
LUT	Lappeenranta University of Technology
ORC	Organic Rankine Cycle
POK	kevyt polttoöljy
POR	raskas polttoöljy
PV	Photovoltaic
MW	megawatti
MW _e	megawattisähkö
MW _{th}	megawattilämpö
TWh	terawattitunti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa olemassa olevaa ORC-tekniikkaa ja selvittää, kuinka se soveltuu Suomen olosuhteisiin sekä minkälaisiin kohteisiin ORC-laitoksia mahdollisesti kannattaa suunnitella ja toteuttaa. Koska yhteiskuntamme on sitoutunut lainsäädännön kautta edistämään mm. hajautettua energiantuotantoa, pyritään työssä esimerkkien avulla tuomaan esille, millaisia investointitukia tai muita tukia hankkeiden toteuttamiseksi on saatavilla. Olennainen kysymys lienee myös, ovatko laitteet toimintavarmoja ja taloudellisesti järkeviä nykyisillä hinnoilla ja teknologian hyötysuhteilla.

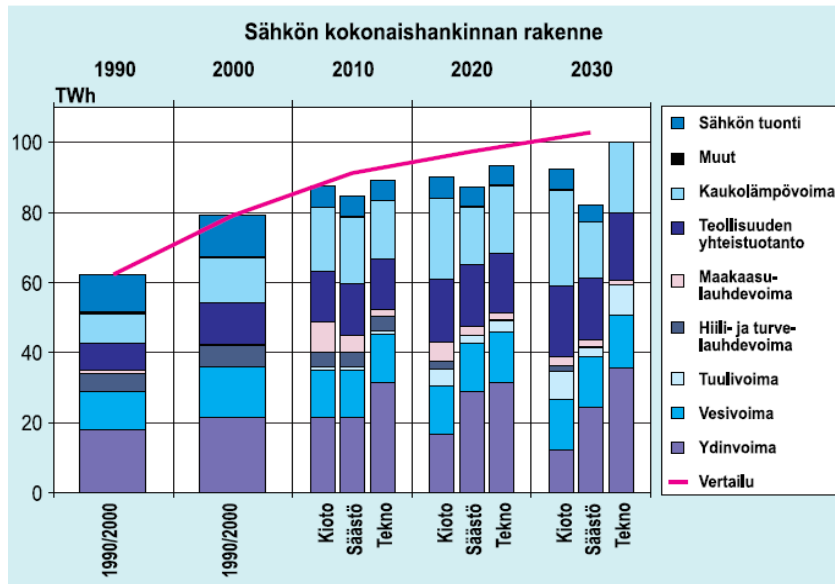
Työssä esitellään ORC-tekniikkaa lyhyesti, sen toimintaperiaate, siinä yleisimmin hyödynnettävät energialähteet ja valmistajat. Työ rajataan käsittelemään ensisijaisesti kotimaisia energiavaihtoehtoja ja niistä ennen kaikkea biopolttoaineita. Aiheesta tehtyjen tutkimusten ja opinnäytetöiden pohjalta yritetään löytää tekijöitä, joilla on keskeinen merkitys toiminnan kannattavuudelle sekä mitä tekijöitä tulisi huomioida ORC-tekniikan soveltamisessa, kun halutaan yhdistää sähkön ja lämmön yhteistuotanto.

2 ENERGIAN TUOTANTO JA ENERGIAEHOJKUUSDIREKTIIVI

Suomessa tuli voimaan vuoden 2015 alussa energiatehokkuusdirektiivi, jonka EU:n parlamentti ja neuvosto antoivat jo vuonna 2012 (Hallituksen esitys 182/2014). Kyseinen laaja-alainen ja moniulotteinen lainsäädäntö säätelee kaukolämmityksen, kaukojäähdytyksen, sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä teollisuuden ylijäämälämpöjen hyödyntämistä (mm. energiatehokkuusdirektiivin artikla 14). Jäsenvaltion tulee tehdä kattava kansallinen kustannushyötyanalyysi edellä mainittujen osa-alueiden osalta. Analyysin päämääränä on arvioida yhteistuotannon (mm. CHP ja ORC) taloudellista hyödyntämismahdollisuutta. Selvitystöiden perusteella jäsenvaltion tulee sitoutua poliittisin päätöksin tehostamalla yhteistuotannon käyttöönottoa. (Maaskola & Kataikko 2014, 11–12.)

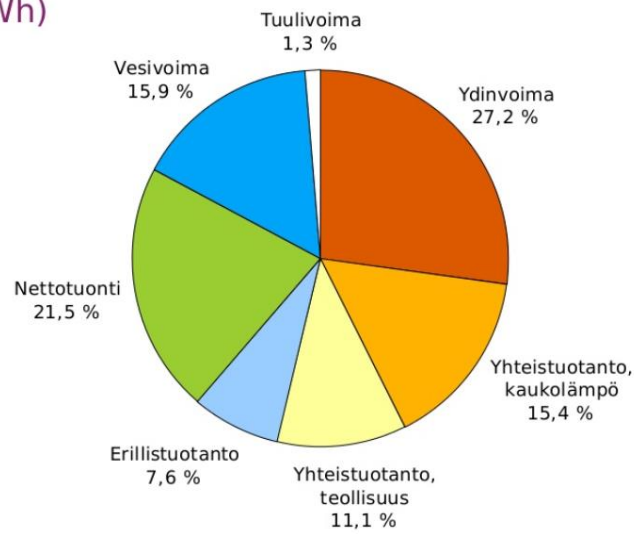
Edellä mainittujen toimenpiteiden tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta, joka tarkoittaa sitä, että kasvihuonekaasujen syntyminen ja sitoutuminen olisivat tasapainossa ja ilmaston lämpeneminen rajoittuisi kahteen asteeseen (Berninger 2013, 7-10). Suomessa ylijäämälämpöjen hyötykäytöllä voidaan vähentää teollisuuden energiakustannuksia 200 m€/v, joka vastaa 200 000 omakotitalon vuotuista energiankulutusta. Teollisuusprosessien mukana menetetään 54 TWh/v ja on arvioitu, että tästä noin 10 % olisi taloudellisesti hyödynnettävissä, mikä suuruusluokaltaan vastaisi noin puolta Loviisan ydinvoimaloiden vuosituotannosta (Motiva 2015b).

Kotimaista sähköenergiaa tuotetaan ydinvoimalla, vesivoimalla, teollisuuden ja kaukolämmön yhteistuotannolla sekä loppuosa korvataan tuontisähköllä. Kuviossa 1 kolmen eri ennustemallin (Kioto, Säästö ja Tekno) perusteella arvioidaan, kuinka eri energiantuotantomenetelmät tulevat kehittymään suhteessa toteutuneeseen. Tällä hetkellä teollisuuden ja kaukolämpövoiman yhteistuotanto on lähes samansuuruinen kuin ydinvoimatuotanto (Kuvio 2). VTT:n ennusteiden mukaan yhteistuotannon merkitys korostuu entisestään tulevaisuudessa (VTT 2015).

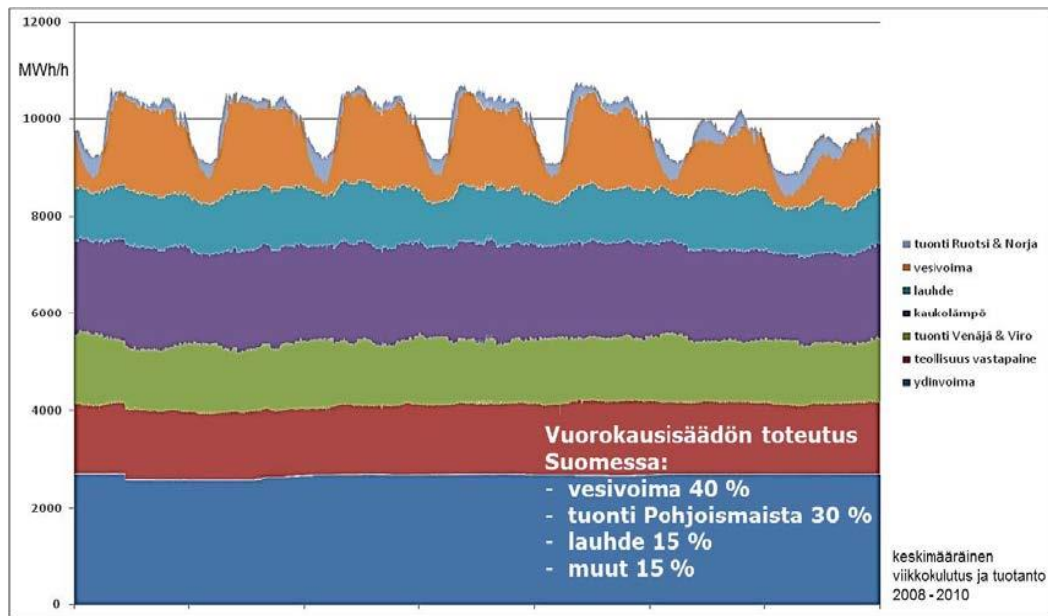


Kuvio 1 Suomen energiantuotanto eri vuosikymmeninä ja ennusteskenaariot (VTT 2015, 25)

(83,4 TWh)



Kuvio 2 Sähkön hankinta vuonna 2014 (Energiateollisuus 2015a)



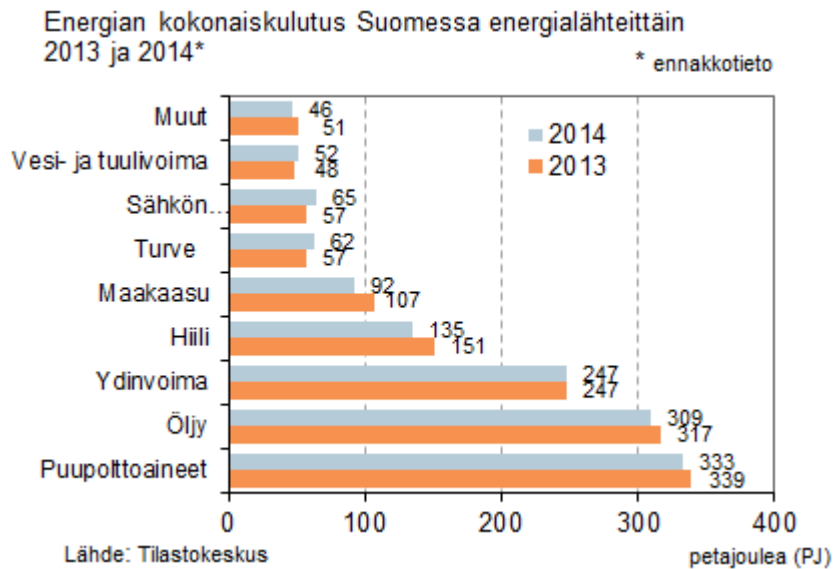
Kuvio 3 Suomen energiahuollon vuorokausisäätö viikon aikana (Fingrid 2015)

Kuviossa 3 kuvataan toimivan sähkönjakeluverkon kulutus- ja tuotantorakenne valtakunnan tasolla keskiarvona yhden viikon aikana vuosina 2008–2010. Kuvioista on havaittavissa, kuinka vesivoimaa käytetään kulutushuippujen tasaukseen ja tarvittaessa vuorokausisäätöä tehdään myös tuontienergialla.

Energianhuollon turvaamiseksi tulevaisuudessa tarvitaan vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja. Tekniikan kehittymisen ja kehittämisen myötä tulevat hajautettu lämmön ja sähkön yhteistuotanto (CHP ja ORC) saamaan entistä tukevamman jalansijan energianhuollossamme. Koska Suomi on myös sitoutunut kansainvälisesti kasvihuonepäästöjen alentamissopimukseen, kasvaa hajautetun energiantuotannon merkitys oletettavasti entisestään (Kioton pöytäkirja).

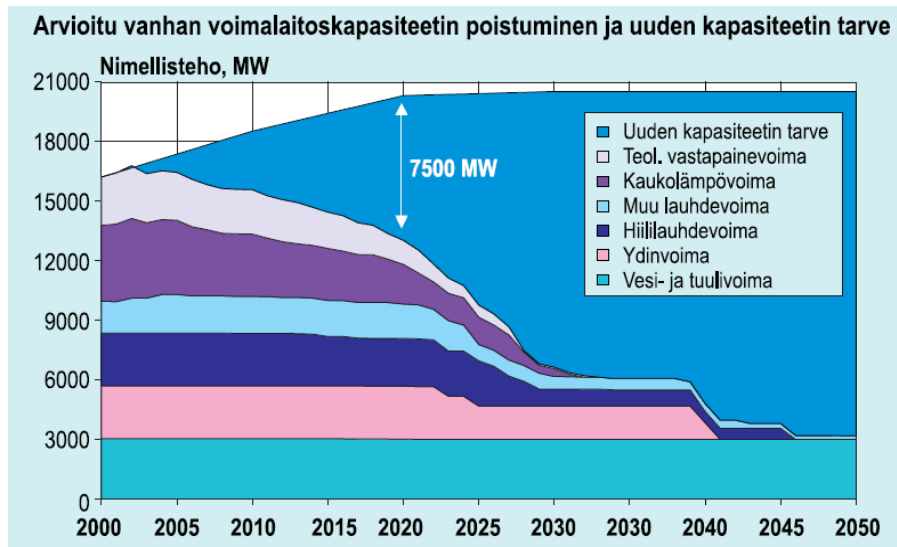
Kuviosta 4 nähdään Suomen kokonaisenergian kulutus vuosina 2012–2013. Kuvioista voidaan nähdä, kuinka merkittäviä osuuksia tuontienergiasta voidaan teoriassa korvata bioenergialla. Tuontienergian korvaamista kotimaisella tuotannolla ei sovi väheksyä, koska sillä olisi positiivinen ja myönteinen aluetaloudellinen merkitys haja-asutusalueiden työllisyyteen. Lisäksi se turvaisi omalta osaltaan mekaanisen metsäklusterimme menestymisen mahdollisuudet myös tulevaisuudessa. Toisin sanoen kasvavien taimikoiden ja nuorten metsien hoitorästit käytettäisiin lämmön- ja sähköntuotantoon, mikä myös parantaisi metsänomistajien

varallisuutta hoidettujen metsien kautta. Tuontienergiassa näyttelevät merkittävää roolia myös taloussuhdanteet ja naapurivaltioidemme valuuttakurssimuutokset suhteessa euron arvoon sekä maailmanmarkkinahintojen kehitys.



Kuvio 4 Suomen kokonaisenergian kulutus (Motiva 2015a)

Kuviosta 5 nähdään energiavoimaloiden uusimistarve suhteessa ydinvoimatuotantoon. Loviisan ydinvoimalayksiköt tuottavat vuositasolla n. 8 TWh ja niiden reaktoreiden tuottama sähköteho on n. 496 MW (Fortum 2015). Olkiluodon yksiköt (1 ja 2) tuottavat n.14 TWh ja reaktoreiden tuottama sähköteho on 880 MW. Olkiluodossa rakenteilla oleva uusin yksikkö on suuruudeltaan 1600 MW ja se on Suomen viides ydinvoimalaitos. Viimeisimpänä ydinvoimalakohteena Fennovoima Oy on aloittanut kiistanalaisen ydinvoimalaitoksen rakennustyöt Pyhäjoella. Yhteenliittymällä on ollut suuria haasteita rahoituksen suhteen. Voimalaitoksen reaktoreiden tuottama sähköteho tulee olemaan 1200 MW. (Fennovoima 2015.)



Kuvio 5 Poistuvan ja uuden voimalaitoskapasiteetin tarve (VTT 2015, 4)

Suomessa joudutaan tulevina vuosikymmeninä yhä kiihtyvällä tahdilla ratkaisemaan isoja energiataloudellisia linjauksia ja uusimaan eri tuotantomenetelmiin perustuvaa kapasiteettia huomattavilla peruskorjaus- ja uusinvestoinneilla. Kuvion 5 perusteella havaitaan eri tuotantomuotojen voimalaitosten elinkaarien pituudet. Se kuvaa myös voimalaitoskapasiteetin ikärakennetta Suomessa.

3 ORC-TEKNIikka

3.1 Historia

ORC-tekniikka on nimetty skotlantilaisen insinöörin ja fyysikko William Rankinen mukaan (1820–1872). Hän kehitti mm. termodynaamisen lämpötila-asteikon, joka tunnetaan Rankine -asteikon nimellä. Nykyään se on vähemmän käytetty ja tunnettu asteikko lämpöopissa. Rankinen mielenkiinto lämpövoimatekniikkaan heräsi jo lapsena hänen isänsä toimiessa höyryvoimatekniikan parissa rauta-teillä. Lopulta hän monien eri vaiherikkaiden elämänvaiheiden jälkeen päätyi mm. tutkimaan lämpöoppia ja kirjoittamaan alan kirjallisuutta insinööreille. (Encyclopedia 2015.)

Suomen ORC-tekniikan historia juontaa juurensa vuoteen 1976, jolloin Jaakko Larjola osallistui Kööpenhaminassa energiakonferenssiin. Konferenssissa luennoi S.S. Wilson Oxfordin yliopistosta ja esitteli ajatuksiaan ORC-tekniikan hyödyntämisestä joka kodin lämmön ja sähkön tuottamisessa. Vuonna 1980 asia konkretisoitui, kun Larjola suunnitteli Pertti Sarkomaan kanssa LTKK:ssa koelaitoksen ja rakensi 30 kW koelaitteen. Olennainen osa tätä projektia oli kaasulaakeritekniikan saloihin perehtyminen Oxfordin yliopistossa. Kyseinen 30 kW (pyörimisnopeus 30 000 rpm) laite valmistui 1982 ja toimi paineilmalla. Uusi tekniikka nimettiin suurnopeustekniikaksi. (Larjola, Arkkio & Pyrhönen 2010, 11–19.)

ORC-tekniikan tutkimustyön parissa on kehitetty seuraavia innovaatioita, joista osa on jo kaupallistettu ja osa on tiiviin tutkimus- ja tuotekehitystyön alla:

- Suurnopeusmoottori, joka on kaasulaakeroitu ja toimiva laite edelleen (DI Pyrhönen Juha, 150 000 rpm)
- 100 kW toimiva ORC-koevoimala vuonna 1985 (Olli Lindgren sähkötekniikka, Jokinen generaattori, Larjola/Vakkilainen turbogeneraattori)
- Vuonna 1989 Kuopion taajuusmuuttajaohjattu ORC-laitos, joka myös kytkettiin verkkoon

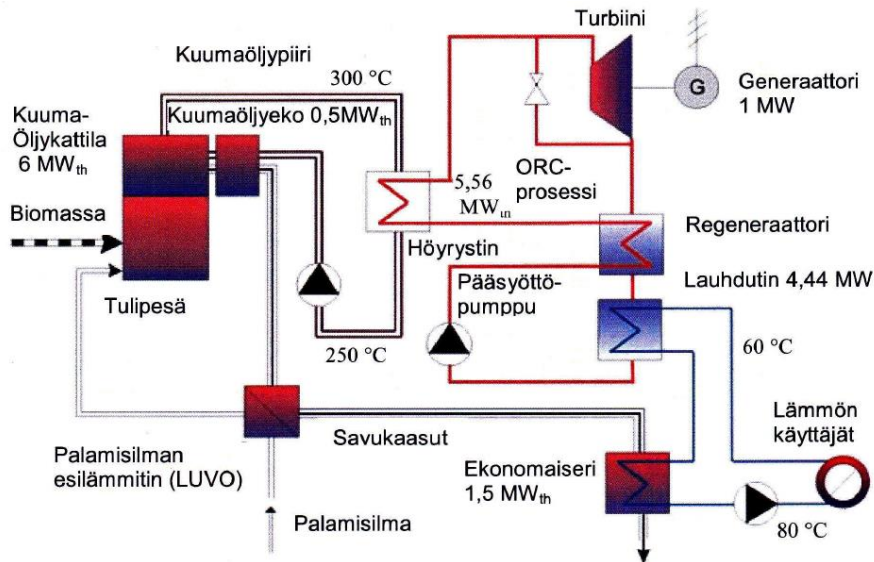
- Kaasu- ja nestelaakereiden magneettilaakereiden voimakasta kehittämistyötä eri toimijoiden taholta
- Roottoriteknologian voimakas kehitystyö useiden eri toimijoiden taholta mm. räjäytyshitsaus/ Pietarin Yliopisto/Viktor Soitu
- Öljyttömät ilmastuskompressorit (jäteveden biologinen puhdistus), korkeapainekompressorit, Brayton prosessi, kuparipinnoitettu massiiviroottori; High Speed Tech Oy, nykyään ABS Group
- IGBT-taajuusmuuttaja 1990-luvulla, Rotatek Oy:n hidaskäyntiset öljyvoidellut massiiviroottorit, joita käytetään mm. paperiteollisuudessa; Vacon Oy on nykyään osa Danfoss-konsernia
- Varsinainen ORC-yksikkö myytiin Hollantilaiselle Tri-O-Gen yhtiölle, mutta laitteiden valmistus tapahtuu edelleen pääosin Suomessa
- Magneettilaakeroitu korkeapainekompressori; Sundyne Oy
- Suuret kaasukompressorit (maakaasun jakelu); MAN Turbo Ag/ The Switch
- Vesihöyryvoimala; SavoniaPower Oy
- Pneumaattinen tavarankuljetus; Hydor Oy/ Sarlin Oy
- ORC-prosessien mallinnusohjelmat
- Mir-sukellusvene, vedenalais-ORC-voimala, polttoaineena on hydratsiini: RaumaRepola Oy/Larjola (Larjola, Suurnopeustekniikka, 9)
- Öljytön ilmakompressori; Tamturbo Oy
(<http://www.tamturbo.fi/liityvallankumoukseen/>).

(Larjola ym. 2010, 20–25.)

3.2 ORC-tekniikan toimintaperiaate

ORC-tekniikkaan perustuvassa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa on perinteinen vesikierto korvattu kuumaöljykerrolla, jossa käytetään esimerkiksi silikoniöljyä (kuviot 6-8). Kuvion 6 höyryvoimaprosessissa öljyn lämpötila on yli 300° C. Kuuman öljyn sisältämä lämpöenergia muunnetaan sähköksi sähkön- tuotantoyksikössä, jossa turbiini ja generaattori on liitetty toisiinsa ilman vaihteistoa. Sähkön ja kaukolämmön lisäksi ORC-laitoksella voidaan tuottaa proses-

sihöyryä teollisuuden käyttöön. Paineettomassa järjestelmässä voidaan saavuttaa noin 340 °C:een lämpötila ja paineistetussa järjestelmässä noin 400 °C:een lämpötila. (Maaskola & Kataikko 2014, 44–45)



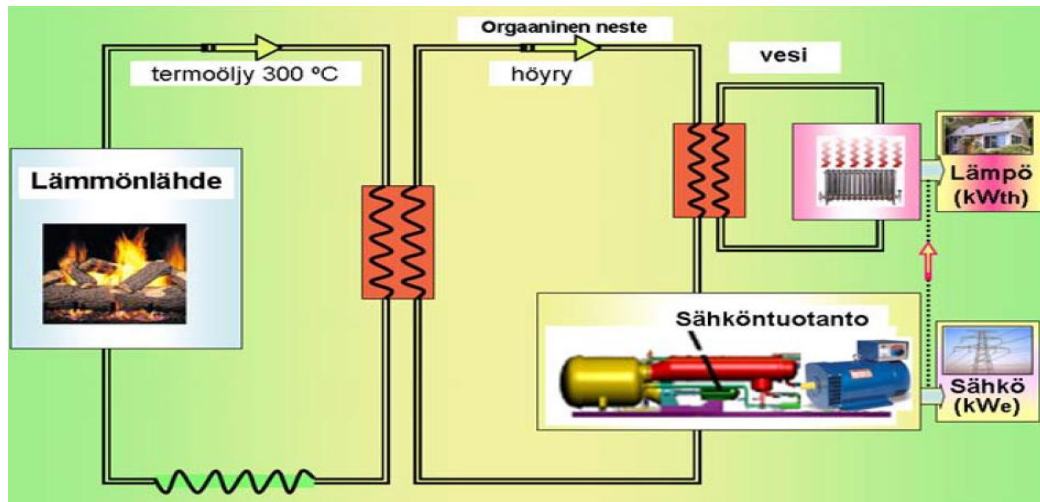
Kuvio 6 Periaatekaavio ORC-prosessista, joka on käytössä Lienzissä Itävallassa (Heinimö & Jäppinen 2005, 27)

Prosessikaavion komponentit kuviossa 6:

- Höyrystinyksikkö (kiertoaineena esimerkiksi silikoniöljy)
- Lämmöntuotanto (tapahtuu esimerkiksi biopolttoaineilla, auringon avulla tai hukkalämmöstä)
- Turbiini (paineistettu höyry muuttuu mekaaniseksi työksi eli generaattorissa sähköksi)
- Sähkö (otetaan ensisijaisesti omaan käyttöön ja loppu jakeluverkkoon)
- Lämmön talteenottoyksikkö
- ORC-lauhdutinyksikkö (osa energiasta otetaan talteen kaukolämpöverkkoon, voidaan myös lauhduttaa vesistöön tai mereen)
- Lämpöpiirit (ORC-prosessissa on yleensä kaksi erillistä lämpöpiiriä)
- LUVO, Luftvorwärmer eli palamisilman esilämmitin.

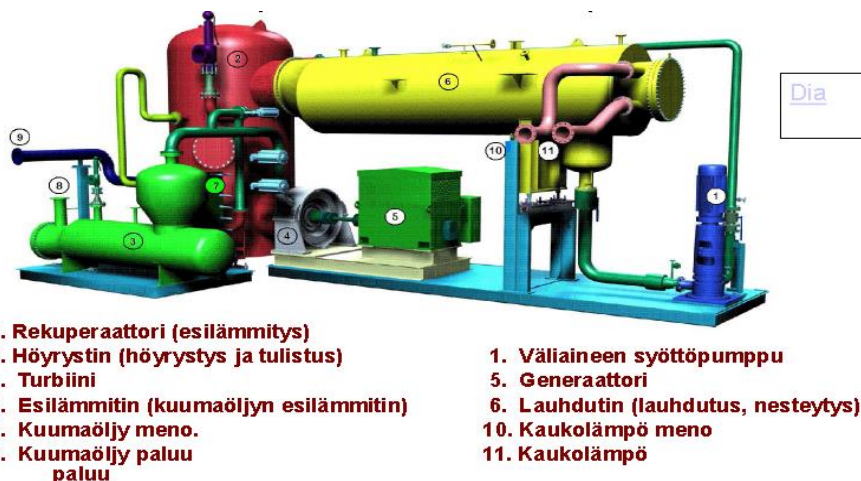
(Heinimö & Jäppinen 2005, 27.)

Kuviossa 7 ORC-prosessi on pelkistettynä ja kuvion avulla voidaan nähdä eri prosessien kytkeytyminen toisiinsa.



Kuvio 7 ORC-kierron periaate CHP:ssa pelkistettynä (Granö 2010, 65)

Sähköntuotanto tapahtuu ORC-yksikössä ja periaatteessa laitteisto on jalaksien päällä oleva oma itsenäinen kokonaisuutensa (kuvio 8). Laitteisto on mahdollista kytkeä eri lämmönlähteiden rinnalle.

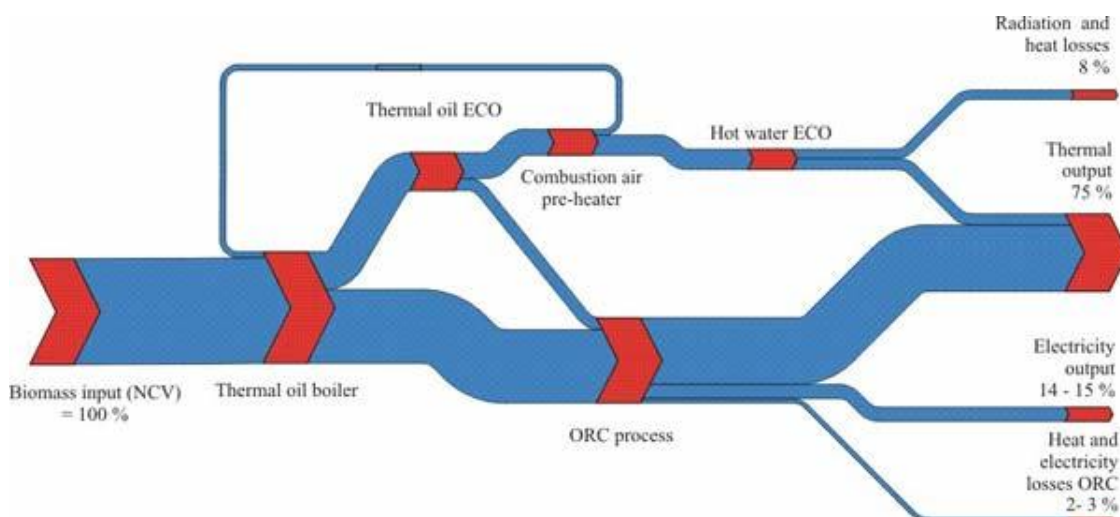


Kuvio 8 Turbodenin valmistama yksikkö (Turboden 2015)

ORC-prosessissa käytetään orgaanista kiertoainetta. Kuuma öljy kierrätetään (kuviot 7 ja 8) vaihtimien kautta ORC-prosessiin (kuvion 8 kohta 8), jossa tuotetaan höyryn avulla turbiinissa sähköä. Lauhtunut öljy palautetaan kiertoon (kuvion

8 kohta 9). Kiertoaine valitaan prosessin mukaan riippuen kulloinkin hyödynnettävästä lämpötila-alueesta. Orgaanisilla kiertoaineilla saavutetaan yksinkertainen laitosrakenne ja helppo säädettävyys sekä kyetään hyödyntämään alhaisempia lämpötiloja ja alhaisempaa painetta. Laitosta pystytään ajamaan jopa 25 %:n osatehoilla. Tämä mahdollistaa hajautetun energiantuotannon ja pienet yksikkökoot. Lisäksi orgaanisen kiertoaineen avulla estetään turbiinissa kostean höyryn aiheuttamat ongelmat eli vähäinen korrosio. (Maaskola & Kataikko 2014, 38–40.) Orgaaninen kiertoaine mahdollistaa alhaisempien lämpötilojen hyödyntämisen taloudellisesti toisin kuin vesihöyryprosessissa (Reunanen ym. 2000, 4).

Kuvio 9 havainnollistaa ORC-prosessin hyötysuhteiden osuudet eri osaprosesseissa. Sähkön kokonaissaanto on noin 18 %:n luokkaa, josta häviöt ovat arviolta noin 2-3 %:n luokkaa. Kaukolämmön osalta ORC-prosessissa on mahdollista saavuttaa 75–85 %:n hyötysuhde. Hukkalämpöjen osuus on noin 8 %:a. Savukaasujen sisältämän lämpöenergian talteenotolla voidaan hyötysuhdetta edelleen parantaa. Tuotekehityksen avulla hyötysuhdetta pyritään edelleen parantamaan.

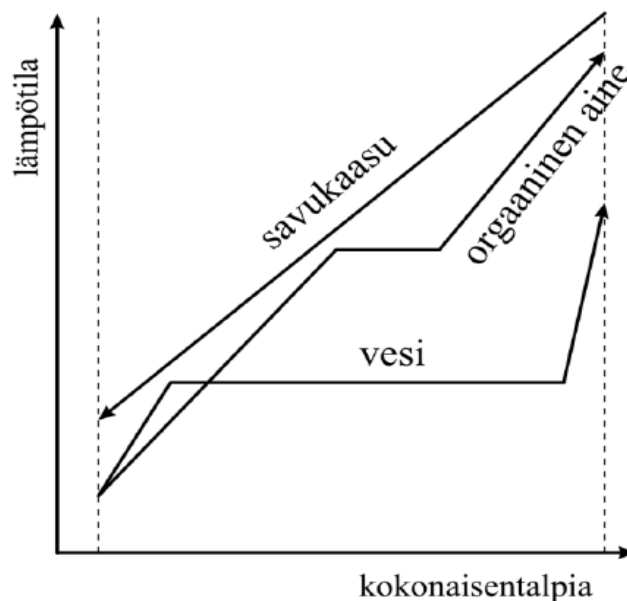


Kuvio 9 ORC-prosessin hyötysuhteet ja häviöt Stadtwaerme lämpövoimalaitoksessa Lienzissä Itävallassa vuonna 2003 (Bios 2015)

Matalammat painetasot mahdollistavat kaukokäytön automaation avulla ilman paikan päällä olevaa miehitystä (Biedermann ym. 2015, 2). Biokattilan tehon säätö tapahtuu vakioimalla paine. Palamisprosessia säädetään polttoainesyötön

nopeudella, määrällä, laadulla sekä palamisilman virtauksen suuruudella (Heinimö & Jäppinen 2005, 10–12).

Lämpöopin peruskäsitteistöön kuuluvat endoterminen ja eksoterminen reaktio. Entalpialla kuvataan luovutetun tai vastaanotetun energian suuruutta. Kuvio 10 nähdään miten vesihöyryprosessi toimii. Veden kiehumisvaihe on huomattavasti pidempi ja sen höyrystymisvaihe on jyrkempi kuin orgaanisilla aineilla. Jotta prosessissa saavutettaisiin mahdollisimman korkea hyötysuhde, tarvitaan sellainen orgaaninen välittäjäaine, joka kulkee lähimpänä savukaasujen lämpötilaa. Tämän ominaisuuden ansiosta eri orgaaniset aineet mahdollistavat alhaisemmat paineet ja ne soveltuvat paremmin eri lämpötilojen hyödyntämiseen sekä korroosion aiheuttamat ongelmat jäävät pois. Suljettu piiri lisäksi säilyttää turbiinin puhtaampana verrattuna vesihöyryprosessiin. (Maaskola & Kataikko 2014, 38–39.)



Kuvio 10 ORC- ja vesihöyryprosessien käyttäytyminen (Reunanen ym. 2000, 7)

Lämpövoimakoneen hyötysuhde lasketaan Carnotin kaavalla:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (1)$$

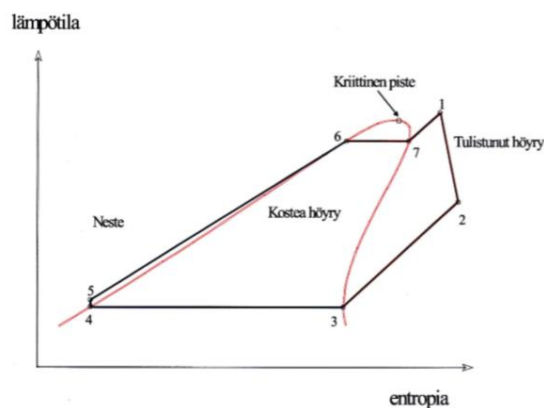
missä

η = hyötysuhde

T_c = prosessin lämpötila kylmällä puolella Kelvineinä

T_h = prosessin lämpötila kuumalla puolella Kelvineinä

Kiertoprosessissa tapahtuvan lauhduttamisen suuruus on hyötysuhteen kannalta olennaisimpia asioita. Hyötysuhde voidaan laskea Carnotin kaavalla. Hyötysuhde on sitä parempi, mitä suurempi tulo- ja menolämpötilan ero on.



Kuvio 11 ORC-kiertoprosessin kuvaus (Heinimö & Jäppinen 2005, 13)

Höyrystymisprosessin kiertoprosessin vaiheet (Kuvio 11):

- 1-2, Höyryn paisunta turbiinissa
- 2-3, Tulistuksen poisto
- 3-4, Lauhduttaminen
- 4-5, Kiertoaineen paineen nosto pumpun avulla
- 5-6, Kiertoaineen esilämmitys
- 6-7, höyrystyminen
- 7-8, Tulistuminen.

(Heinimö & Jäppinen 2005, 13.)

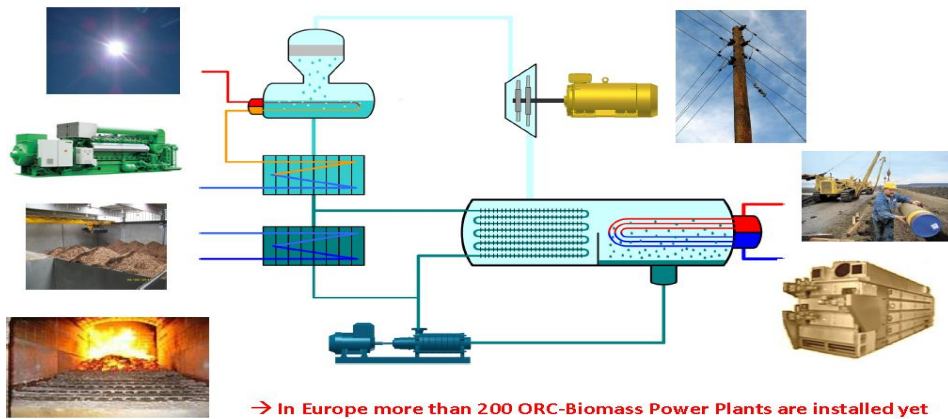
3.3 Suurnopeus ORC

Perinteiset 50 Hz:n vaihtovirtasähkömoottorit ovat pyörimisnopeudeltaan enintään 3000 rpm ja suurnopeustekniikkaan perustuvat sähkömoottorit ovat yli 10 000 rpm. Suurnopeustekniikassa moottori tai generaattori ja toimilaite (esimerkiksi turbiini) ovat kytkettynä toisiinsa ilman vaihteistoa. Laakerit ovat usein öljyttömiä kaasu- tai magneettilaakereita tai mekaanisesti kiertoainevoideltuja laakereita. Suurnopeusteknologian onnistuneessa hyödyntämisessä eräs olennaisimpia asioita on ollut Vaconin kehittämä taajuusmuuttajateknologia. Räjätystekniikalla on mahdollista liittää kaksi täysin erilaista metalliseosta toisiinsa, mikä on mahdollistanut entistä vaativimpien laakereiden valmistamisen. (Larjola ym. 2010, 7.)

Jotta suurnopeusvoimalalla saavutetaan hyvä hyötysuhde, vaatii se taajuusmuuttaja ohjattuna turbiinilta n. 20–30 000 rpm nopeuden. Suurnopeus ORC-voimalan etuja on myös sen pienempi koko verrattuna perinteiseen ORC-voimalaan. (Larjola 1995, 234; Larjola 2011, 159.) Tuotekehitystyön haastavuudesta kertoo mm. SavoniaPower Oy:n konkurssi. Alihankkija ei kyennyt toimittamaan heidän suurnopeusvoimalaitokseen toimivaa laakerointia, jonka turbiinin normaalia korkeampi nopeus olisi vaatinut. (SavoniaPower Oy)

3.4 Hyödynnettävät energialähteet

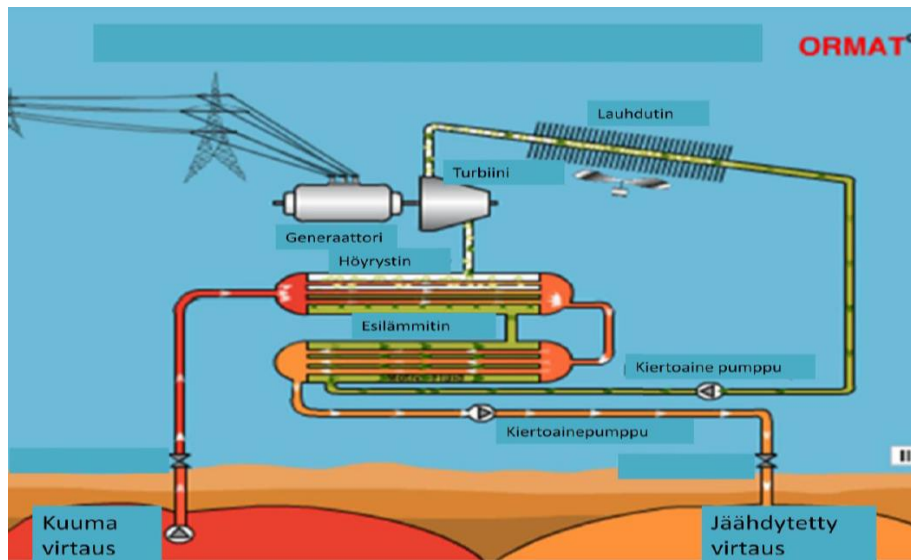
Tässä opinnäytetyössä pääpaino on kotimaisten energialähteiden hyödyntämisessä ORC-tekniikan avulla. Globaalilla tasolla ORC-tekniikan avulla hyödynnettävistä energialähteistä käydään läpi vain perusasiat (kuviot 12 ja 13). Liitteessä 1 on yhteenveto vuoteen 2003 mennessä toimitetuista (yhteensä n. 60 MW) geotermisistä kohteista. Kuviossa 12 kuvataan yleisellä tasolla missä ja miten ORC-tekniikan avulla voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä (mm. geotermisen lämpö, aurinkoenergia, biopolttoaineet, raskaan teollisuuden ylijäämälämmöt).



Kuvio 12 Hyödynnettävissä olevia energiakohteita (Turboden 2015)

3.4.1 Geoterminen energia

Geoterminen eli maansisäinen lämpö on päästötöntä energiaa. Kyseistä energiamuotoa hyödynnetään eri puolilla maailmaa, missä sijaitsee tuliperäisiä alueita lähellä maanpintaa. Geotermistä energiaa (kuvio 13) on jo vuosikymmenien ajan hyödynnetty mm. Ormat-yhtiön toimesta ja se on alan merkittävin toimija tällä hetkellä. Yrityksen toimittamien yksiköiden kokonaisteho on tällä hetkellä n. 2500 MW. (Legmann 2015.) Haasteita hyödyntämisessä aiheuttavat mm. rikki- ja typidioksidit ja korkeat porauskustannukset (Ormat 2015). Riippumatta hyödynnettävästä energiasta toimiva kiertoprosessi vaatii aina lämpöopin perusteiden mukaisesti lämpönielun, johon kiertoaine välillisesti jäähdytetään (Maaskola & Kataikko 2014, 48).



Kuvio 13 Geoterminen voimala ja periaatekuva (Ormat 2015)

3.4.2 Aurinko

Aurinkokeräimet tulevat kysymykseen lähinnä päiväntasaajalla, kun hyödynnetään ORC-tekniikkaa. Sähköntuotannon hyötysuhde vaihtelee n. 10–20 %:n luokassa. Lämpövarastojen avulla vuorokautinen käyttöaika on mahdollista kasvat-
taa 8 tunnista aina 24 tuntiin. (Facção ym. 2008, 260.) Toisaalta tekninen kehitys etenee ja tuotekehityksen tuloksena mm. kotimainen Savo-Solar on kehittänyt oman aurinkokeräimensä, joka on tuotettua kilowattia kohden 20 %:a tehokkaampi kuin kilpailijoiden vastaavat tuotteet. Yhtiön tavoitteena on pyrkiä markkinoilla läpimurtoon lähiaikoina. (Länsi-Savo 2015.)

Maailmalla useat eri toimijat kehittävät kuumeisesti parempaa akkuteknologiaa. Akkuteknologia mahdollistaisi kuormitus -ja tuotantohuippujen tasauksen kulu-
tusta vastaavaksi. Sillä olisi hyvin laajat ja positiiviset vaikutukset globaalille ener-
giahuollolle aurinkoenergia mukaan lukien. Mm. BASF:n tutkijat ilmoittivat keksi-
neensä, kuinka perinteinen nikkelimetallihybridiaakun energiatiheys saadaan jopa
10-kertaiseksi. (Vänskä 2015.)

3.4.3 Erilaiset hukkalämmöt eli ylijäämälämmöt

Toiminnassa olevat ORC-yksiköt ovat usein betoni-, lasi-, kemian-, valu-, metalli- ja sahateollisuuden hukkalämpöjen hyödyntämiseen rakennettuja kokonaisuuksia. Kyseisiä laitoksia on rakennettu jo useita satoja eri ORC-valmistajien toimesta. Useimmat niistä sijaitsevat Keski-Euroopassa, koska siellä yhteiskunnat ovat tukeneet syöttötariffien avulla voimakkaasti kyseessä olevia investointeja ja tutkimustoimintaa.

3.4.4 Metaanilähteet

Yleisimmin hyödynnettävät lähteet ovat yhdyskuntajäte, kaatopaikkajäte, elintarviketeollisuuden jätteet ja karjanlanta. Suomeen on rakennettu yksi Euroopan moderneimmista ORC-laitoksista pääkaupunkiseudun yhteiskaatopaikalle Ämmäsuolle. Suomesta löytyy jonkin verran biokaasua tuottavia maatiloja. Suurimpia toimijoita tällä hetkellä metaanilähteiden hyödyntämisessä ovat ST1, Fortum ja NesteOil. Lisäksi heillä on tarjota valmis jakeluverkosto. Taaleritehdas on rakentanut jo neljännen biokaasua tuottavan yksikkönsä, joista viimeisimmän Ouluun, mutta näissä laitoksissa ei tuoteta sähköä. Lisäksi mm. KSS Energia Kouvolassa on jalostanut vuodesta 2011 lähtien biokaasusta sähköä ja lämpöä, jonka lisäksi yhtiö toimittaa biokaasua Gasumin maakaasuverkkoon. (Niskanen 2014, 23.)

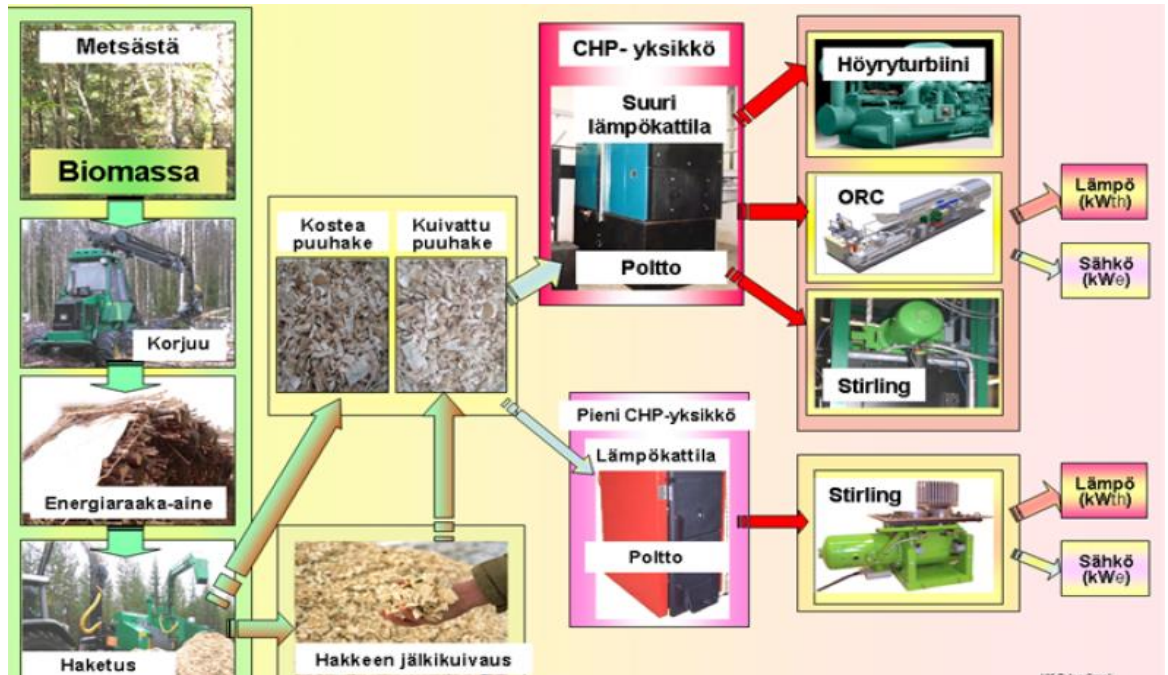
Vuonna 2011 Suomessa toimi yhteensä 37 biokaasulaitosta, joista 16 jätevesilaitoksilla, 10 maataloudessa, 3 teollisuudessa ja 8 yhdyskuntajätteiden käsittelyssä. Reaktorilaitoksilla tuotettiin biokaasua 43,6 miljoonaa kuutiometriä. Tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana sekä mekaanisena energiana yhteensä 203,4 GWh. (Lipponen 2014.) Lisäksi mm. Vaasan Yliopiston Levo`n Instituutti on tutkinut ja tehnyt laajat selvitystyöt hajautetusta energiatuotannosta ja he jatkavat edelleen työtä asian tiimoilta (Peura 2007).

3.4.5 Puupohjaiset jakeet ja turve sekä torrefioitu pelletti

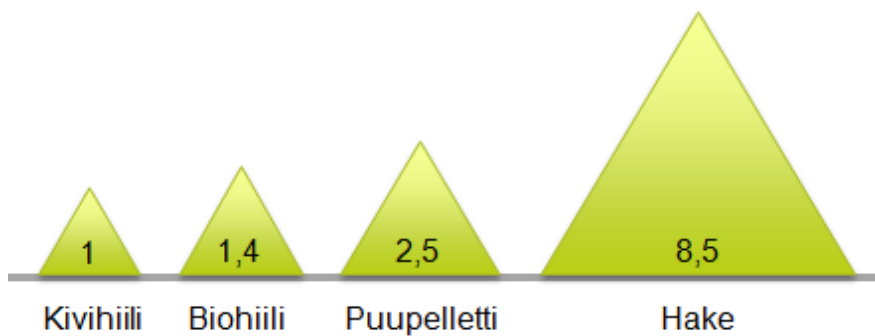
Merkittävin osuus CHP- ja ORC-tuotantoon käytetyissä polttoaineissa (kuviot 14 ja 15) on hakkeella, sahateollisuuden jakeilla, turpeella ja pelletillä. Uusimpana tuotteena on tuotekehitystyön alla torrefioitu eli paahdettu pelletti. Edellä mainitut puupohjaiset tuotteet luetaan hiilineutraaleihin polttoaineisiin. (Kuittinen 2013, 7-31.) Kuvioista 14 nähdään, miten biomassaa voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotannossa (Granö 2010, 28). Selvittämisen arvoinen asia olisi myös onko taloudellisesti järkevää hyödyntää lämmitys prosessissa vapautuva lauhdusenergia esimerkiksi biopolttoaineiden kuivaukseen tai jopa pellettien paahtamiseen.

Biomassan hyödyntämisen ensisijainen päämäärä on lämmöntuotanto (60–70 %) ja sivutuotteena ORC-tekniikalla tuotetaan sähköä (10–20 %) (Heinimö & Jäppinen 2005, 27). Eri biomassajakeiden hyödyntämisessä olennaisinta on raaka-aineen hintataso, toimitusvarmuus, teknologian helppo käytettävyys ja toimintavarmuus, valtion veropolitiikka, logistiikan hallinta ja jatkuva käyttötarve lämmölle, jota kautta käyttöasteet saadaan korkeammiksi. Lisäksi olennaisin tekijä kannattavuustarkastelussa on, että ketjun tuotantokustannukset olisivat alhaisemmat kuin ulkopuoliselta toimijalta ostetun korvaavan energian hankinta.

Eräs keino parantaa hakkeen tai pellettien kilpailukykyä on niiden paahtaminen eli torrefiointi. Toimenpiteen ansiosta raaka-aineen tilavuus pienenee kolmasosaan. Yhdessä kuutiossa kivihiiltä on 7 MWh energiaa ja energiamäärältään sama määrä haketta vie tilaa 8,5 kuutiota (Kuvio 15). Toimenpiteellä olisi merkittävät vaikutukset muuan muassa kuljetuskustannuksiin ja myös varastointitilojen tarve olisi pienempi. Jos esimerkiksi otetaan kilo puuta, jonka lähtökosteus on 50 %:a ja jonka lämpöarvo on prosessin alussa 8,3 MJ/kg, on paahtamisen jälkeen puun lämpöarvo 21,7 MJ/kg. Lämpöarvo 2,6-kertaistuu lähtötalanteeseen nähden. (Jukola, Järvinen, Kiel, Sipilä, Verhoeff & Wilén 2013, 11.)



Kuvio 14 Bioenergian hyödyntäminen ja sähköntuotanto mahdollisuudet eri tuotantomenetelmillä (Granö 2010, 28)



Kuvio 15 Vertailutaulukko biohiilen osalta suhteessa muihin (Helsingin energia 2015)

3.5 Teknologiat

Taulukossa 1 ja kuviossa 16 kuvataan erityyppisten teknologioiden soveltuvuutta yhdistettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon. Taulukosta 1 voidaan nähdä eri tek-

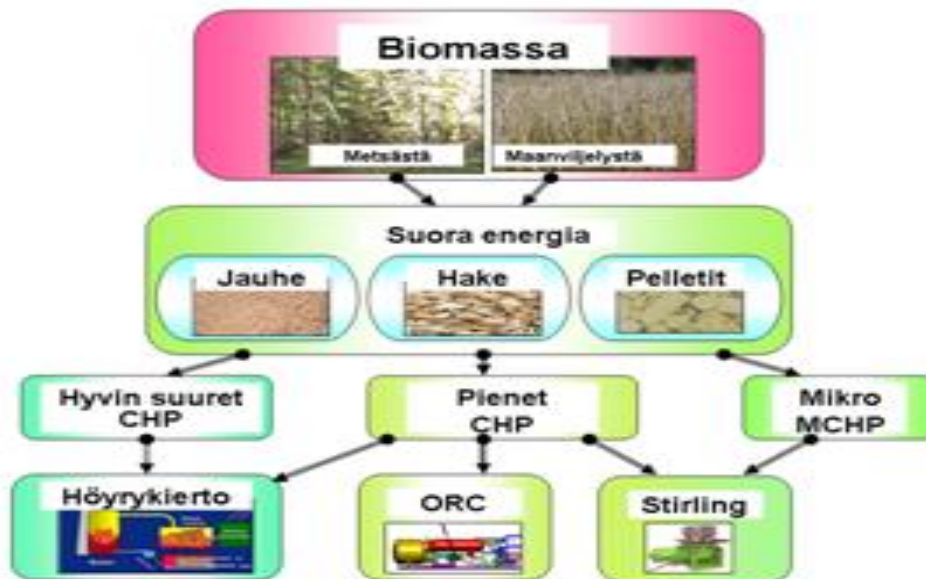
nologioiden kehityskaari, soveltuva tuotantotehoalue, tehon ja lämmön hyötysuhteen suuruus, tekninen kehitysaste sekä menetelmän vahvuudet ja heikkoudet. Taulukosta nähdään, että polttomoottoritekniologia on laajasti käytössä ja sen vahvuutena on korkea hyötysuhde, mutta heikkoutena suuri huollon ja valvonnan tarve. Mikroturbiinit ovat vasta tuotekehityksen alkuvaiheessa. Stirling- ja polttokennotekniologiat ovat vielä esisuunnitteluvaiheessa eli niitä ei ole vielä kaupallisina sovelluksina. Höyrykoneet ja -turbiinit ovat laajasti käytössä ja ne ovat koeltua tekniikka. Niissä on hyvä tehosuhte osakuormillakin. ORC-tekniikka on esikaupallisessa vaiheessa. Niissä on hyvä hyötysuhde myös osakuormilla. Heikkoutena on rajallinen tehon hyödyntäminen. Huomioitavaa on myös se, että ORC-tekniikan elinkaari on muita pidempi eli yli 20 vuotta, kun elinkaari muilla tekniikoilla on maksimissaan 15 vuotta. (Taulukko 1)

Taulukko 1 CHP:en soveltuvien teknologioiden ominaisuuksia (Konttinen 2015, 20)

Technique	Combustion engines	Micro turbine	Stirling engine	Fuel cells	Steam engine and turbine	ORC-process
Size	1 kW _e – 1000 kW _e	25 kW _e – 250 kW _e	10 kW _e – 150 kW _e	1 kW _e – 50 kW _e	Engines > 100 kW _e Turbines > 500 kW _e	150 kW _e – 1 MW _e
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

Hyvin suurissa CHP-laitoksissa voidaan käyttää laajalla skaalalla eri biopolttoaineita. ORC-tekniikka hyödynnetään 1-50 MW:n laitoksissa (Motiva 2015b). Mikro-CHP-laitoksiin soveltuu stirling-tekniikka. (Kuvio 16)

Biomassa ⇔ suora poltto ⇔ CHP



Kuvio 16 Havainnekuva eri kokoluokkiin soveltuvista tekniikoista (Granö 2010, 46)

3.6 ORC-tekniikkaa hyödyntävät valmistajat

Eri vaihtoehtoisia energialähteitä käyttäviä valmistajia ja toimittajia löytyy laaja joukko. Taulukosta 2 nähdään valmistajan/ toimittajan kotimaa, kokoluokka mihin käytetty tekniikka soveltuu sekä mikä on soveliaain polttoaine ko. tekniikassa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään esitetyistä seuraavana lähinnä kokeneimpia ja suurimpia toimijoita.

Taulukko 2 Yhteenvetoa eri valmistajista ja teholuokista (Karjalainen 2010, 12)

Gasek Oy	www.gasek.fi	Hake, pelletti	Suomi	Kaasutus	50/100
Spanner	http://www.holz-kraft.de/de	Hake	Saksa	Kaasutus	30 - 50/70 - 100
Burkhardt	http://www.burkhardt-gmbh.de/	Puu	Saksa		180/220
Talbotts Biomass energy	http://www.biomassgenerators.com/	Hake, pelletti, biomassa	Englanti	Mikro-turbiini	25/80
Stirling.dk	http://www.stirling.dk	Hake	Tanska	Stirling	35 - 140/140 - 560
Tri-O-Gen	http://www.triogen.nl	Jätelämpö, HAKE	Hollanti	ORC	60 - 165/
Vortel Oy	http://www.volter.fi/	Metsähake	Suomi	Kaasutus	30/80
Energiprojekt AB	http://www.energiprojekt.com	Puu, biomassa	Ruotsi	Höyrykone	500/3000
Ekogen Oy	http://www.ekogen.fi	Metsähake, pelletti	Suomi	Mikro-turbiini	100/300
Turboden	http://www.turboden.eu	Metsähake, jätelämpö	Italia	ORC	200/n. 800
Ormat	www.ormat.com	Geoterminen ja aurinko-energia	USA	ORC	250/
Adoratec	www.adoratec.com	Biomassa (Hake)	Saksa	ORC	300
Calnetix (GE energy)	www.geheatrecovery.com	Jätelämpö	USA	ORC	125
GMK	www.gmk.info	Jätelämpö Biomassa	Saksa	ORC	35 - 60/ 500-2000/3000 - 8000
Electraterm	www.electraterm.com	Jätelämpö, aurinkoenergia Jätepuu	USA	ORC	30 - 65/
Infinity turbine	www.infinityturbine.com		USA	ORC	
Freepower	www.freepower.co.uk	Jätelämpö Biomassa	Englanti	ORC	130/
Alfagy Ltd	http://alfagy.com	Biomassa, hake	Englanti	Kaasutus	250/
Schmitt Enertec	http://www.schmitt-enertec.com	Hake, kaasut	Saksa	Kaasutus	250/
Polytechnic	http://www.polytechnik.com	Hake, (Lämpö)	Itävalta	Höyry-turbiini/ORC	200/
Maxxtec AG	http://en.maxxtec.net	Hake, (Lämpö)	Saksa	ORC	300/
Entimos Oy	http://www.entimos.fi	Biomassa, hake	Suomi	Kaasutus	min n. 300/
Kohlbach Group	http://www.kohlbach.at/	Hake. (Lämpö)	Itävalta	ORC	200/
GMK	http://www.gmk.info	Biomassa	Saksa	ORC	500

3.6.1 Ormat

Ormat on globaali markkinajohtaja, joka on toiminut alalla jo yli 40 vuotta. Heidän päämarkkinansa on geotermisten ja erilaisten hukkalämpöjen hyödyntämisessä. He ovat toimittaneet yli 70 eri maahan voimalaitoksiaan ja toimitettu kokonaisteho vuonna 2000 oli n.260 MW ja vuonna 2015 2 500 MW. (Ormat 2015.)

3.6.2 Turboden

Turboden on nykyään osa A Pratt & Whitney Co. konsernia. Se oli alun perin italialainen yhtiö, jossa ORC-tekniikkaan liittyvä turbiiniteknologia on kehitetty. Se on toiminut alalla yli 30 vuotta. Suomessa tällä hetkellä toiminnassa olevat ORC-

laitokset ovat ottaneet kyseisen laitevalmistajan ORC-yksiköt käyttöönsä. (Turboden 2015.)

3.6.3 Tri-O-Gen

Tri-O-Gen:n historia juontaa juurensa Hollantiin ja vuoteen 2001, jolloin professori Van Buijitenen perusti yhtiön kehittämään kaupallistettavaa ORC-tekniikkaa. Yhtiö on tehnyt alusta lähtien läheistä yhteistyötä Lappeenrannan Yliopiston kanssa (LUT). Yhtiö on viime vuosien varrella toimittanut biokaasuvoimaloita niin yhdyskuntajätteelle, maatalouteen, kaatopaikoille kuin biovoimaloille. Toimitusten teho on vaihdellut 96-160 kW välillä. Lisäksi laitteita on asennettu öljynporausteollisuuden soihduenergian hyödyntämiseen ja teollisuuden ylijäämlämpöjen talteenottoon. Omilla nettisivuillaan he arvioivat investoinnin takaisinmaksuajoiksi n. 2-5 vuotta. (Triogen 2015.)

3.6.4 Polytechnik

Itävaltalainen Polytechnik on yksi maailman johtavista kokonaisten biolämpövoimalaitos (CHP) toimitusten toteuttajista. Yhtiö on varsinaisesti kattilateknologian osaaja ja valmistaja. Toimitettujen laitteistojen määrä on yli 3 000 kattilaa ympäri maailman. Sähköntuotantolaitteisto eli ORC-yksikkö tulee Turboden-yhtiöltä. (Polytechnik 2015.) Polytechnik on toimittamassa Tanskaan 25 MW ORC-biovoimalan (Enerec 2015a).

3.6.5 Muut alan toimijat

ORC-tekniikan kehittäjiä ja toimittajia löytyy iso joukko ympäri maailmaa. Kotimaiset valmistajat/ toimittajat näyttävät olevan enemmän tai vähemmän pieniä toimijoita, joiden tiedolliset ja taloudelliset voimavarat ovat vajavaiset ja tuloksen teko-kyky on heikko. Useat niistä näyttävät olevan taloudellisesti heikossa tilanteessa ja osa yrityksistä oli tehnyt konkurssin. (Asiakastieto 2015.)

4 KOTIMAASSA TOIMIVIA ORC-KOhteITA

Maassamme on tutkittu eri tutkimuslaitoksissa, yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa lämmön- ja sähkönyhteistuotannon (CHP) problematiikkaa hyvinkin laajasti. Lisäksi eri yritykset ovat olleet vahvasti mukana selvitystyöissä, joiden perusteella on päästy tekemään kannattavuuslaskelmia sekä suorittamaan tuotekehitystyötä. ORC-tekniikka on suhteellisen tuntematon ja toistaiseksi vielä marginaalinen teknologia hyödynnettäessä lämmön ja sähkön yhteistuotantoa. Varsinaisia ORC-kohteita meillä on rakennettuna 3 ja niissä tuotetaan myös sähköä. Hämeenkosken ja Lappajärven laitokset ovat kuumavesikattilalaitoksia.

4.1 Hämeenkosken ja Lappajärven biovoimalaitokset

Vuonna 2010 rakennettiin Hämeenkoskelle 1,8 MW biolämpövoimala, jonka ensisijaisena polttoaineena on puuhake ja toissijaisena turve. Yksikkö on rakennettu kaukolämmön tuotantoon ja se on kuumavesikattilalaitos. Laitteiston toimitti Itävaltalainen Polytechnik. Investoinnin arvo oli 1,6 m€. Laitteisto otettiin käyttöön vuonna 2011. (Penope 2015.) Polytechnik on toiminut Suomessa vuodesta 2010 lähtien ja se on Hämeenkosken laitoksen lisäksi toimittanut myös hakkeella ja palaturpeella toimivan höyrykattilalaitoksen kaukolämmön ja prosessihöyryn tuotantoon Lappajärvellä (Enerec 2015b). Yhteinen tekijä näissä laitoksissa on kaukolämmön tarve ja pieni väestöpohja (Hämeenkoskella 2 000 asukasta ja Lappajärvellä 3 200 asukasta).

Laitteistot ovat toimineet molemmissa kohteissa moitteettomasti, mutta lämpökuorman tarve on molemmilla pieni ja toisessa kohteessa kaukolämpöverkko oli osittain vasta rakenteilla. Hämeenkosken biovoimalaa on kunta joutunut pääomittamaan 330 000 eurolla yhtiön talouden vakauttamiseksi (Etelä-Suomen Sanomat 2014). Hämeenkosken ja Lappajärven laitoksia verrataan tässä opinnäytetyössä, koska niissä on käytössä vastaavat lämpövoimakattilat kuin tässä työssä arvioitavina olevissa ORC-kohteissa. Lisäksi niiden avulla saadaan vertailupohjaa kannattavuuden tarkasteluun. Tässä työssä on tavoitteena hahmottaa myös

sitä, mitä pelkän kattilatoimituksen osalta tulisi huomioida ORC-kokonaisuutta arvioitaessa. Molempien kohteiden osalta arviointi perustuu julkisiin aineistoihin tai pöytäkirjoihin sekä julkisiin tilinpäätösanalyysihin, sillä kumpikaan kohteista ei reagoinut yhteydenottopyyntöihin tarkempien lisätietojen saamiseksi.

4.2 Toholampi

Toholampi on pieni noin 3 300 ihmisen kunta Keski-Pohjanmaalla. Energian tarvisijoita ovat kaukolämpöasiakkaat sekä kaksi meijerilaitosta ja jonkin verran muuta teollisuutta. Voimalaitoksen teho kattilan osalta 8,2 MW_{th} ja sähkön osuus 1,3 MW_{el}. Laitos on otettu käyttöön vuonna 2013. Toimittajana ovat olleet Polyteknik ja lahtelainen Enerec, jonka vastuulla on ollut projektin läpivienti sekä huoltopalvelut ja tekninen tuki. ORC-yksikkö on Turboden valmistama. (Niskanen 2014, 46–48.) Sähköntuotanto on sivuseikka heidän kokonaisprosessissaan, koska sähkön hinta on liian alhainen. Lisäksi heiltä puuttui ORC:n osalta oma raportointisysteemi, joka on käytössä mm. Posiolla. (Ylitalo 2015.)

4.3 Posio

Posio on noin 3 600 asukkaan kunta Koillismaalla. Energiayhtiön asiakkaita ovat pääasiassa kaukolämpöasiakkaat. Posion ORC-laitos on aloittanut toimintansa vuonna 2013. Biovoimalan kapasiteetti 4 MW_{th} lämpöä ja 0,73 MW_{el} sähköä. Laitos on osa vanhempaa lämpölaitoskokonaisuutta, jonka teho on biovoimalan osalta 3 MW ja varalla kaksi POR-kattilaa. Kaukolämmön tarve on vuositasolla 13 000 MWh. Yksikön ovat toimittaneet itävaltalainen Polyteknik ja kotimainen Penope/tytäryhtiö Enerec on toimittajan yhteiskumppani käytännön tasolla. Sähköntuotantoyksikkö on Turboden yhtiön valmistama. (Enerec 2013)

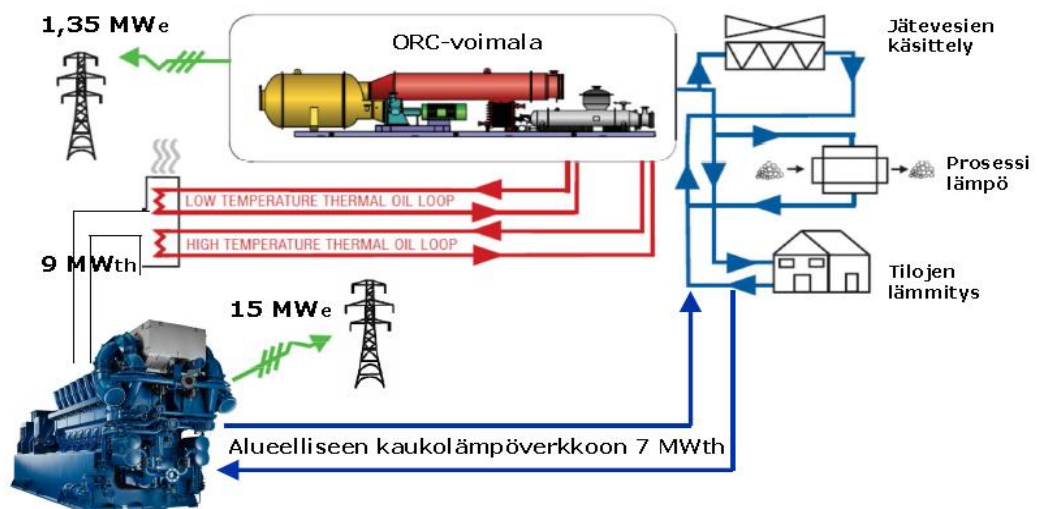
Posion laitoksen alkuperäiset investointilaskelmat ovat perustuneet kaukolämmön osalta n.14,7 MWh ja sähköntuotannon osalta n.4 MWh laskelmiin sekä kokonaishyötysuhteeksi on arvioitu n. 90 %. Laskelmissa ei ollut huomioitu oman käytön osuutta sähkön osalta. Tällä hetkellä oman käytön osuus on n. 21–24 %:n luokkaa. Tuotetun kaukolämmön suuruus oli n.13,6 MWh ja verkkoon myydyn

sähkön osuus n.1,13 MWh vuonna 2014. Lämpölaitos ei ole saavuttanut sille asetettuja tuotannollisia tavoitteita ja yhtiötä on jouduttu pääomittamaan. Laitos on toiminut moitteettomasti, mutta käyttöasteen tulisi olla korkeampi, jotta sen käyttö olisi taloudellisesti kannattavampaa ja takaisin maksuaika olisi järkevällä tasolla. (Ylisirniö 2015.)

4.4 Ämmässuo

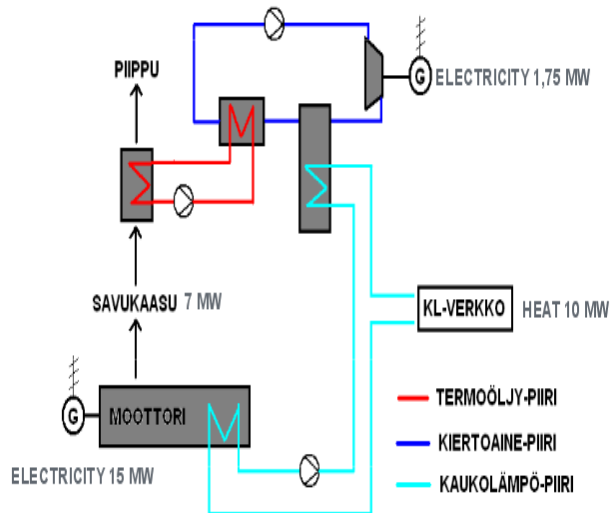
Pääkaupunkiseudulle Ämmässuon kaatopaikalle on rakennettu HSY:n toimesta 1,35 MW ORC-laitos (kuviot 17–19). Työ- ja elinkeinoministeriö myönsi kaasuvoimalahankkeelle 3,4 miljoonan euron investointituen ja hankkeen kokonaisinvestointi oli 15 miljoonaa euroa. Voimala tuottaa sähköä noin 90 GWh vuodessa. Määrä riittää esimerkiksi noin 5 000 sähkölämmitteisen omakotitalon tarpeisiin. Savukaasujen hyödyntämisyjärjestelmän käyttöönotto syksyllä 2011 lisäsi sähköntuotantotehoa noin 1 megawatin verran. (Ilmasto-opas 2015.)

Kuvio 17 kuvaa kuinka metaani hyödynnetään aluksi polttomoottorien avulla kaukolämmöksi 7 MW_{th} ja sähköksi 15 MW_{e} . Jäljelle jäävästä n. 9 MW_{th} suuruisesta osuudesta (savukaasut ja lauhdutuslämpö) kytetään ORC-tekniikan avulla vielä tuottamaan sähköä n. $1,35 \text{ MW}_{\text{e}}$. Lauhdutuslämpöä hyödynnetään lisäksi jätevesien käsittelyprosessissa, tilojen lämmitykseen ja eri prosessien lämmittämiseen.



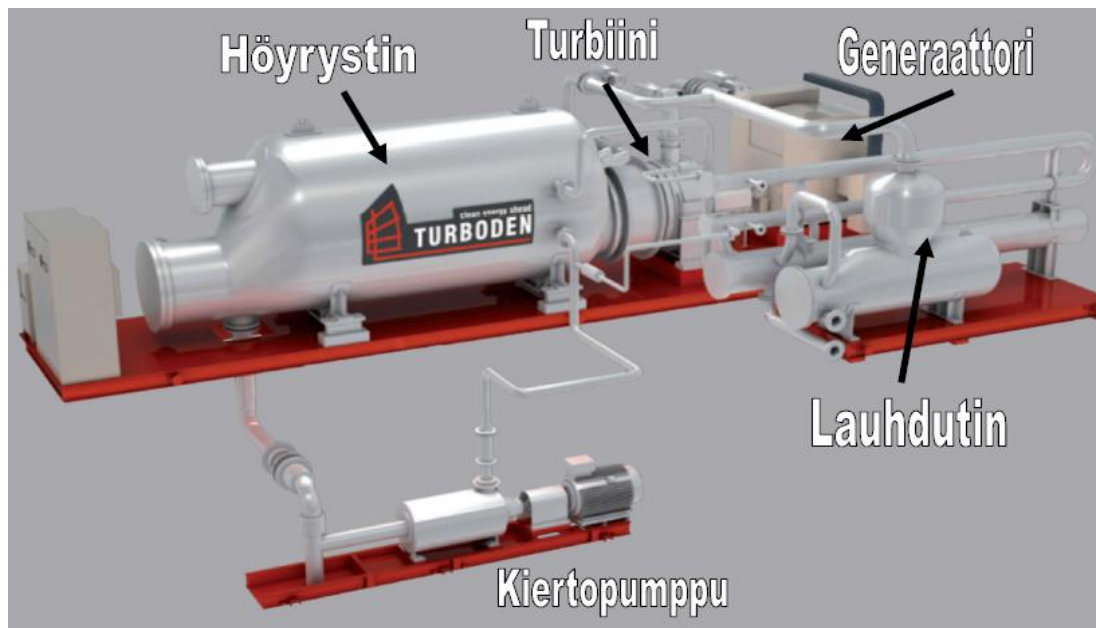
Kuvio 17 Prosessikaavio Ämmässuon ORC-laitokselta (HSY 2015)

Waste heat utilisation process: orc- process



Kuvio 18 Tuotantokaavio (HSY 2015)

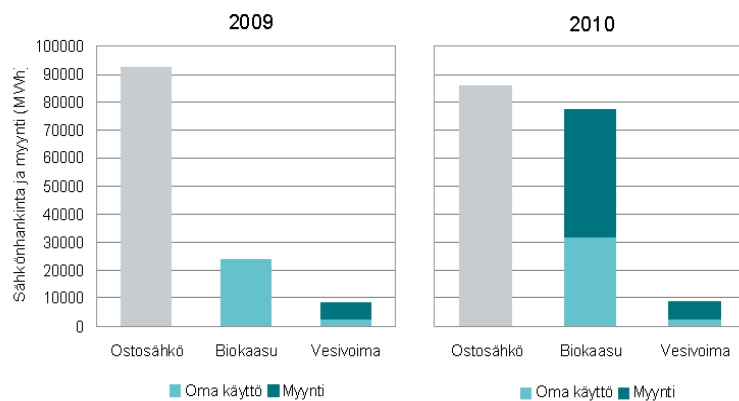
Kuviossa 18 on periaatekaavio Ämmässuolle rakennetusta prosessista. Kauko-
lämpöverkkoon tuotettavan kokonaisenergian suuruus on 10 MW_{th} (7 MW_{th} muo-
dostuu polttomoottorilla ja loppu 3 MW_{th} ORC-prosessin lauhdutuslämmöistä)



ORC-voimala (1,35 MWe)
Käyttöön otettu lokakuussa 2011

Kuvio 19 Turbodenin ORC- ja turbiiniyksikkö (HSY 2015)

Kuviossa 19 kuvataan ORC-prosessin laitteistoa, joka liittyy kokonaisuuteen osaprosessina. Kiertopumppuyksikön kautta polttomoottorin savukaasut ja lauhdutuslämpö muunnetaan sähköksi ORC-yksikön avulla. Generaattorin jälkeisen lauhdutinyksikön jälkeen prosessilämpö lauhdutetaan kaukolämmöksi.



Kuva 2. HSY:n sähkönhankinta ja myynti 2009–2010.

”HSY:n energiatase ja kasvihuonekaasujen päästöt 2010”

Kuvio 20 ORC laitoksen tuoma hyöty v.2009–2010 (HSY 2015)

Kuvion 20 perusteella ostosähkön osuutta on vuonna 2010 kyetty pienentämään n. 6-7 000 MWh ja biokaasun oma käyttö on kasvanut n. 8-9 000MWh ja ulos myytävän metaanin osuus on kasvanut merkittävästi 45–46 000 MWh:n. Yhtiö ei reagoanut yhteydenottoopyyntöihin tarkempien lisätietojen saamiseksi.

4.5 HSY Viikinmäki

Triogen on toimittanut oman ORC (125 kW) laitoksen suomalaiselle kaatopaikalle vuonna 2014 hyödyntämään metaanikaasua. Laitos sijaitsee HSY Viikinmäen vedenpuhdistamolla. (Saarinen 2015.)

4.6 Hankeselvitys Multian Saha Oy:lle

Selvitystyössään Asko Ojaniemi kartoitti ORC-tekniikan soveltuvuutta ja kannattavuutta yksikössä, jossa toimii jo paikallinen kaukolämpölaitos (energian kulutus 40 %) sekä paikallinen saha (60 %). Energian tarve tuotetaan sahan sivutuotteista ja öljykattila on varavoimana. Vertailu tapahtui 2 MW (kustannus 0,8-0,9 m€) ja 6 MW (kustannus n.1,6–1,8 m€) sekä ORC-tekniikkaan perustuvan kattila investointien välillä (6 MW lämpö, 1 MW sähköä, kustannus n. 3 m€). ORC-tekniikan osalta hän päätyi laskelmissaan 66 €/MWh. Jos laitokseen olisi valittu syöttötariffi, olisi 105,3 € tariffihinnalla investointi maksanut itsensä takaisin 8 vuoden aikana. Tariffisopimus on voimassa 12 vuotta. Ojaniemi arvioi, että jos sähköntuotanto on alle 1 MW, niin suurella omakäytöllä investointiavustus olisi vielä kannattavampi vaihtoehto. Polttoainevaihtoehtoista öljy olisi edullisin aina 350 MWh/v asti. Noin 700–800 MWh/v sähköntuotannolla pelletistä ja hakkeesta tulee kilpailukykyisempi vaihtoehto verrattuna öljyyn. Yli 1600 MWh/v kulutuksen jälkeen hake olisi edullisin. (Ojaniemi 2014.) Öljyn hintana laskelmissa on käytetty n.100 €/MWh (Ojaniemi 2015).

4.7 Kannattavuusselvitys sahatönteollisuudelle

Kannattavuusselvityksiä ovat tehneet myös vuonna 2005 ilmestyneessä opinnäytetyössään Heinimö ja Jäppinen. Työssään he selvittivät eri ORC-vaihtoehtoja mm. mekaaniselle puunjalostusteollisuudelle. Laskelmissaan he päätyivät noin 8-8,6 vuoden takaisin maksuaikaan ilman korkoa ja 5 %:n korkokannan myötä takaisinmaksuajaksi he saivat 10,4–11,5 vuotta. Avustuksen osuudeksi he arvioivat 35 %:a kokonaiskustannuksista. Vertailtavana heillä oli toiminnassa oleva 8 MW_{th} kuumavesikattilalla varustettu lämpökeskus ja ORC-voimalaitos, jonka tehon tarve olisi lämmöntuotannon osalta 6 MW_{th} ja sähköntuotannon osalta 0,34 MW_{el}. Laskelmissa käyttöasteeksi arvioitiin n.3900 h/v eli 45 % maksimikapasiteetistä (liite 2, esimerkki 1). Sähkön tuotannon suuruudeksi ORC-prosessissa arvioitiin n.2 470 €/kW_{el}. Käyttöaste arvioitiin n.7000 h/v eli 80 %:a maksimikapasiteetistä (liite 3, esimerkki 2). (Heinimö & Jäppinen 2005, 34–55)

Kyseisenä ajankohtana vuonna 2005 maailmalle oli toimitettu vähän yli kymmenen ORC-biovoimalaa, joista yksikään ei ollut Suomessa. Potentiaalisina ja toteuttamiskelpoisina rakennuskohteina he päätyivät yhteistuotantolaitoksiin, joissa voidaan toteuttaa esim. kuivaamotarpeet sekä paikallisen asutuskeskuk- sen kaukolämpötarve. Sen lisäksi kannattavuutta voidaan parantaa, jos toisar- voista sahausjätettä on runsaasti saatavilla. Omalla sähköntuotannolla kyetään korvaamaan ostosähköä ja sillä on merkittävä vaikutus kokonaisinvestoinnin kan- nattavuudelle koska välttyään sähkönsiirtomaksuilta.(Heinimö & Jäppinen 2005, 34–55)

5 ORC-LAITOKSEN KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVIA ASIOITA

5.1 Energia- ja syöttötariffituet

Suomi pyrkii helpottamaan ja keventämään uuden teknologian käyttöönottamista ja edesauttamaan kotimaisten biopolttoaineiden hyödyntämistä. Yritys voi tällaisessa tilanteessa hakea joko energia- tai syöttötariffitukea. Energiaviraston sivuilta löytyy julkinen tuotantotukirekisteri (SATU) niiden toimijoiden osalta, jotka ovat valinneet syöttötariffituen tukimuodokseen.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2015a) ohjeistaa energiatuesta seuraavasti:

”Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiatukea sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät

- 1) uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä
- 2) energiansäästöä tai energiantuotannon tai käytön tehostamista
- 3) vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.

Energiatuella pyritään erityisesti edistämään uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattamista.

Energiatuen myöntämiseen sovelletaan yleislakina valtionavustuslakia (688/2001). Tuen talousarvion mukaisesta myöntämisestä, maksamisesta ja käytöstä säädetään tarkemmin energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista annetulla valtioneuvoston asetuksella (1063/2012). Asetuksessa määritellään muun muassa tuen hakemisesta, hyväksyttävistä kustannuksista ja tuen maksamisesta.

Tukipäätökset käsitellään pääsääntöisesti paikallisissa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksissa. Investointikustannuksiltaan yli 5 miljoonan euron hankkeet sekä hankkeet, joihin sisältyy uutta teknologiaa, käsitellään työ- ja elinkeinoministeriön energiaosastolla.

Tuen ensisijaisena tavoitteena on vaikuttaa investoinnin käynnistymiseen parantamalla sen taloudellista kannattavuutta ja pienentämällä uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä taloudellisia riskejä. ” (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015a.)

Työ- ja elinkeinoministeriö (2015b) ohjeistaa syöttötariffituesta seuraavasti: ”Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta annetussa laissa (1396/2010) säädetään syöttötariffijärjestelmästä, johon voidaan hyväksyä säädetty edellytykset täyttävät tuulivoimalat, biokaasuvoimalat, metsähakevoimalat ja puupolttoainevoimalat. Syöttötariffijärjestelmässä sähkön tuottajalle, jonka voimalaitos on hyväksytty järjestelmään, maksetaan enintään kahdentoista vuoden ajan kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan tai päästöoikeuden markkinahinnan mukaan muuttuvaa tukea (syöttötariffi).

Sähkön tuottajalle maksetaan syöttötariffina tavoitehinnan ja kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan erotus syöttötariffijärjestelmään hyväksytyssä tuulivoimalassa, biokaasuvoimalassa ja puupolttoainevoimalassa tuotetun sähkön määrän mukaisesti. Puupolttoainevoimalassa ja biokaasuvoimalassa tuotetusta sähköstä maksetaan syöttötariffin korotuksena vakiona pysyvää lämpöpreemiota, jos lämpöä tuotetaan hyötykäyttöön ja voimalan kokonaishyötysuhde on vaaditun mukainen. Kyseisen tuen tarkoitus on edistää tuulivoimala-, biokaasuvoimala- ja puupolttoaine voimala investointeja, ja se on mitoitettu siten, että voimalaitokselle syöttötariffijaksoilta maksettavien tukien kokonaismäärä kompensoi investointi kustannuksia. Syöttötariffijärjestelmään kuuluvassa metsähakevoimalassa tuotetusta sähköstä maksetaan syöttötariffia siten, että metsähakkeen käyttö polttoaineena yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa säilyy kilpailukykyisenä. Kyseisen tuen tarkoitus on edistää turpeen korvaamista metsähakkeella. Energiavirasto hyväksyy voimalaitoksen syöttötariffijärjestelmään ja maksaa hakemuksesta syöttötariffin sekä hoitaa muut syöttötariffijärjestelmän viranomaistehtävät” (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015b.)

Syöttötariffi- eli takuuhintajärjestelmä on otettu käyttöön Suomessa vuonna 2011. Syöttötariffituen taso on tällä hetkellä 105,3 €/MWh ORC-laitoksille ja tuulivoimaloille. Normaali tavoitehintataso muille hankkeille on 83,5 €/MWh. (Motiva 2015c.)

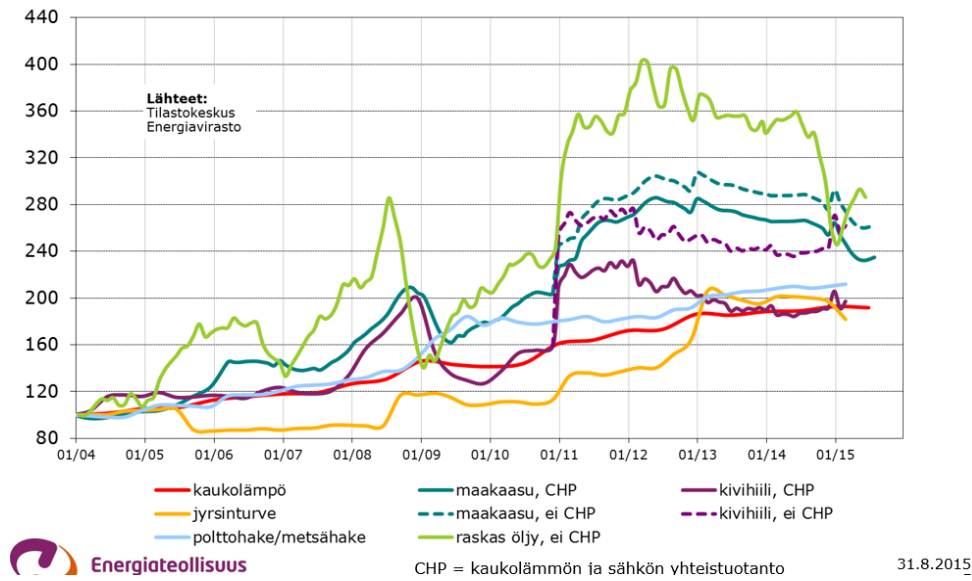
Taulukosta 3 voidaan nähdä EU:n alueella käytössä olevat syöttötariffit eri energiamuotojen tukemiseen. Syöttötariffien avulla pyritään ohjaamaan vaihtoehtoisten energiantuotantomuotojen kehittämistä. Taulukosta nähdään, että eri EU-mailla on eri intressejä ja painopisteitä vaihtoehtoisissa energiamuodoissa.

Taulukko 3 Voimassa olevat syöttötariffit EU:ssa v. 2006 ja tukiaika (Haavisto 2010)

EU:n syöttötariffit 2006 ^[13]							
Maa	Tuuli	PV	Vesi	Biomassa	Biokaasu	Geo	Huom.
Espanja	0,086-0,103	0,476	0,083	0,083		0,097	15-25 v.
Alankomaat	0,127d	0,147	0,1	0,12 – 0,147	0,071-0,147		10 v.
Irlanti	0,058		0,072	0,072	0,072	0,07	15 v.
Italia		0,49					20 v.
Itävalta	0,078	0,47-0,6	0,038	0,24	0,10-0,16	0,073	13 v.
Kreikka	0,073-0,085a	0,4-0,5	0,073-0,085	0,073-0,085	0,073-0,085	0,073-0,085	12 v.
Kypros	0,095	0,21-0,40	0,065	0,065	0,065		15 v.
Liettua	0,064		0,058	0,058	0,058		10 v.
Luxemburg	0,079-0,103	0,28-0,56	0,079-0,103	0,104-0,128	0,104-0,128		10 v.
Portugali	0,074	0,31-0,45	0,075	0,11	0,102		15 v.
Ranska	0,082c	0,3-0,55	0,055-0,076	0,049-0,061	0,09	0,12	15-20 v.
Saksa	0,084b	0,41-0,57	0,067	0,038	0,06-0,21	0,072-0,15	20 v.
Slovenia	0,06	0,375	0,061	0,068-0,07	0,06-0,121	0,059	10 v.
Slovakia	0,074	0,212	0,061	0,072	0,066	0,093	
Tanska	0,072	0,08		0,08	0,08	0,069	20 v.
Tsekki	0,085	0,455	0,081	0,079-0,1	0,077-0,1	0,155	15 v.
Unkari	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	0,094	
Viro	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	7-15 v.

5.2 Käytettävän raaka-aineen hankintahinta ja verotus kotimaassa

Kuviosta 21 nähdään indeksiin sidottu vertailupohja ja se, miten eri raaka-aineiden käyttö vaikuttaa myytävän kaukolämmön kuluttajahintoihin. Kaukolämmön keskihinta vuonna 2014 oli 73 €/MWh. 1.7.2015 keskihinnasta oli valmisteveron ja arvonlisäveron osuus 29 %. (Energiateollisuus 2015b.) Kuvion perusteella pystytään arvioimaan ja saamaan vertailupohjaa sille, millainen kilpailukyky ORC- tai CHP- laitoksilla on sähkön- ja lämmöntuotannossa. Tällä hetkellä kivihiihi on jyrksinturpeen kanssa edullisin vaihtoehto. Biopolttoaineiden hintataso on noin 10 prosenttia korkeampi kuin kivihiihellä ja turpeella.



Kuvio 21 Kaukolämmön ja lämmön tuotannon polttoaineiden hintojen kehittymisen (Tilastokeskus 2015)

Taulukosta 4 nähdään tavalliselle kuluttajalle yleisimmin käytössä olevat energia- vaihtoehdot. Taulukon hinnat ovat kuluttajahintoja, joissa on arvonlisävero mukana. Puupelletin arvonlisäveroton hinta on 46,80 €/MWh eli se on 10 % alempi kuin kaukolämmön keskihinta.

Taulukko 4 Kuluttajahintoja 03/2015 (Tilastokeskus 2015)

Energia	¹⁾ Hinta €/MWh	Vuosimuutos -%
Kevyt polttoöljy (alv 24 %)	92,1	-9,8
Kotitaloussähkö, L2 (alv 24 %)	121,0	1,0
Puupelletti (alv 24 %)	58	-3,5
Kaukolämpö, rivitalo / pienkerrostalo (alv 24 %)	77,67	2,2

1) Puupelletin hinta helmikuulta ja kaukolämpö tammikuulta 2015.

Taulukko 5 kuvaa eri energiamuotojen kokonaisveroastetta. Taulukosta nähdään kuinka eri aikakausina on haluttu ohjata eri energiamuotojen käyttöä verotuksellisesti. Fossiiliset polttoaineet ovat rankimmin verotettuja. POR:n eli raskaan polttoöljyn valmistevero on yli 5-kertainen turpeeseen verrattuna.

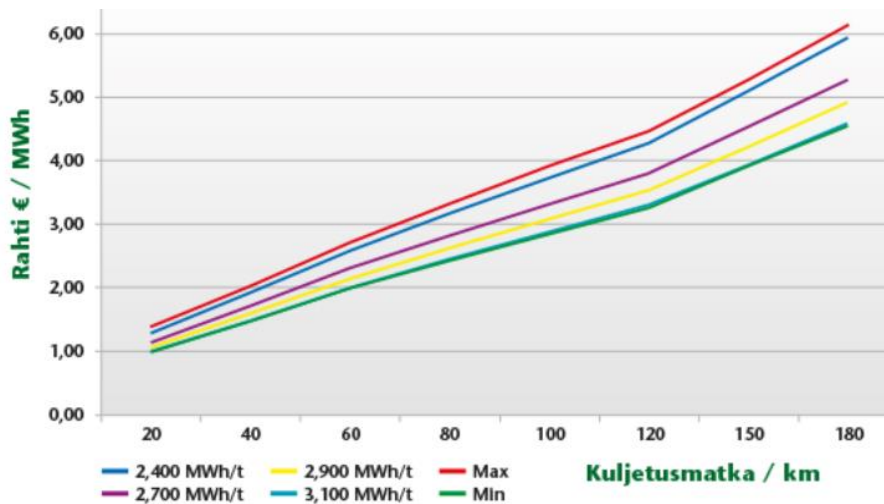
Taulukko 5 Voimassa olevat energiaverot (Tilastokeskus 2015)

	Moottori- benssiini, lyijytön ²⁾	Diesel- öjy ³⁾	Kevyt polttoöljy ¹²⁾	Raskas polttoöljy	¹¹⁾ Kivi- hiili	Maa- kaasu	Turve	Sähkö, I ⁴⁾	Sähkö, II ⁵⁾	Ydinvoima	Vesivoima	Tuonti
	snt/l			snt/kg	€/t	€/MWh	€/MWh	snt/kWh				
Valmisteverot¹⁰⁾												
1.1.1990	21,53	16,82	0,34	0,34	2,69	0,17	0,34	-	-	-	-	-
1.1.1991	26,57	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35	-	-	-	-	-
1.1.1992	28,26	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35	-	-	-	-	-
1.8.1992	31,62	17,49	0,35	0,35	2,83	0,18	0,35	-	-	-	-	-
1.1.1993	39,52	19,17	1,41	1,12	5,61	0,35	0,70	0,25	0,25	0,10	-	0,10
1.7.1993	39,52	16,65	1,41	1,12	5,61	0,35	0,70	0,25	0,25	0,10	-	0,10
1.1.1994	40,05	17,29	2,05	1,98	11,30	1,09	0,35	-	-	0,35	0,03	0,22
1.1.1995	45,12	27,50	3,02	3,12	19,53	0,94	0,59	-	-	0,40	0,07	0,37
1.1.1996	51,85	27,50	3,02	3,12	19,53	0,94	0,59	-	-	0,40	0,07	0,37
1.1.1997	51,85	27,50	4,88	3,72	28,42	1,19	0,71	0,40	0,40	-	-	-
1.4.1997	51,85	27,50	4,88	3,72	28,42	1,19	0,71	0,56	0,24	-	-	-
1.1.1998	55,22	30,02	5,50	4,34	33,40	1,40	0,82	0,56	0,34	-	-	-
1.9.1998	55,22	30,02	6,37	5,40	41,37	1,73	1,51	0,69	0,42	-	-	-
1.1.2003	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	1,59	0,73	0,44	-	-	-
1.7.2005	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	-	0,73	0,44	-	-	-
1.1.2007	58,08	31,59	6,71	5,68	43,52	1,82	-	0,73	0,22	-	-	-
1.1.2008	62,02	36,05	8,35	6,42	49,32	2,016	-	0,87	0,25	-	-	-
1.1.2011	62,02	36,05	15,70	18,51	126,91	8,94	1,90	1,69	0,69	-	-	-
1.1.2012	64,36	46,60	15,70	18,51	126,91	8,940	1,90	1,69	0,69	-	-	-
1.1.2013	64,36	46,60	15,99	18,93	131,53	11,38	4,90	1,69	0,69	-	-	-
1.1.2014	66,61	49,31	15,99	18,93	131,53	11,38	4,90	1,89	0,69	-	-	-
1.1.2015	66,61	49,31	15,99	18,93	153,24	15,36	3,40	2,24	0,69	-	-	-
Energiasäätövero⁸⁾												
1.1.2011	50,36	-	7,70	8,79	54,54	3,00	-	-	-	-	-	-
1.1.2012	50,36	30,70	7,70	8,79	54,54	3,00	-	-	-	-	-	-
1.1.2013	50,36	30,70	6,65	7,59	47,10	4,45	-	-	-	-	-	-
1.1.2015	50,36	30,70	6,65	7,59	47,10	6,65	-	-	-	-	-	-
Energiavero⁷⁾												
1.1.2011	-	-	-	-	-	-	1,90	1,69	0,69	-	-	-
1.1.2013	-	-	-	-	-	-	4,90	1,69	0,69	-	-	-
1.1.2014	-	-	-	-	-	-	4,90	1,89	0,69	-	-	-
1.1.2015	-	-	-	-	-	-	3,40	2,24	0,69	-	-	-
Hilidioksidivero⁹⁾												
1.1.2011	11,66	-	8,00	9,72	72,37	5,94	-	-	-	-	-	-
1.1.2012	14,00	15,90	8,00	9,72	72,37	5,94	-	-	-	-	-	-
1.1.2013	14,00	15,90	9,34	11,34	84,43	6,93	-	-	-	-	-	-
1.1.2014	16,25	18,61	9,34	11,34	84,43	6,93	-	-	-	-	-	-
1.1.2015	16,25	18,61	9,34	11,34	106,14	8,71	-	-	-	-	-	-
Huoltovarmuusmaksut												
1.7.1984	0,72	0,39	0,39	0,32	1,48	-	-	-	-	-	-	-
1.1.1997	0,68	0,35	0,35	0,28	1,18	0,084	-	0,013	0,013	-	-	-
Öljysuojamaksut⁶⁾												
1.1.1990	0,28	0,031	0,031	0,037	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.2005	0,038	0,042	0,042	0,050	-	-	-	-	-	-	-	-
1.1.2010	0,113	0,126	0,126	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-

5.3 Kuljetusmatkan merkitys

Kuviossa 22 nähdään turpeen osalta rahtikustannuksen suuruus €/MWh alle 180 km kuljetusmatkalla. Hinnoittelumekanismia voidaan soveltaa vastaavalla tavalla metsähakkeen osalta, totesi Rovaniemen Energian toimitusjohtaja, kun selvitet-

tiin hakkeen kuljetuskustannuksia (Tykkyläinen 2015). Lyhyillä etäisyyksillä rahtikustannuksen ero minimin ja maksimin välillä on noin 50 %. Kuivim tavara on halvin kuljettaa ja silloin sen rahtikustannus lyhyellä etäisyydellä on 1 €/tn, kun tonnissa on 3,1 MWh. Kun tonnissa on 2,4 MWh, on sen rahtikustannus noin 1,5 €/tn. 180 km:n kuljetusmatkalla minimin ja maksimin ero on noin 35 %. Kuivimman tavaran rahtikustannus on 4,5 €/tn pitkällä etäisyydellä. Kun tonnissa on 2,4 MWh, on sen rahtikustannus noin 6 €/tn.



Kuvio 22 Vapon ilmoittamat kuljetuskustannukset turpeelle (Vapo Oy 2015)

Taulukko 6 Rahtikustannus (Puolukanaho 2007, 54)

Yhdistelmäajoneuvo 32 t/ 120 m ³	50 km		75 km		100 km		125 km		150 km	
	€/t	€/m ³	€/t	€/m ³	€/t	€/m ³	€/t	€/m ³	€/t	€/m ³
Hake	34,85	1,57	44,4	2,00	53,95	2,43	63,5	2,86	73,05	3,29
Pelletti	5,88	3,82	7,49	4,87	9,1	5,92	10,72	6,97	12,33	8,02

Taulukko 6 vuodelta 2007 kuvaa hakkeen ja pelletin osalta tonni- ja kuutiohintoja. Tonnihinnoitteluun vaikuttaa eniten se, kuinka märkää hake on.

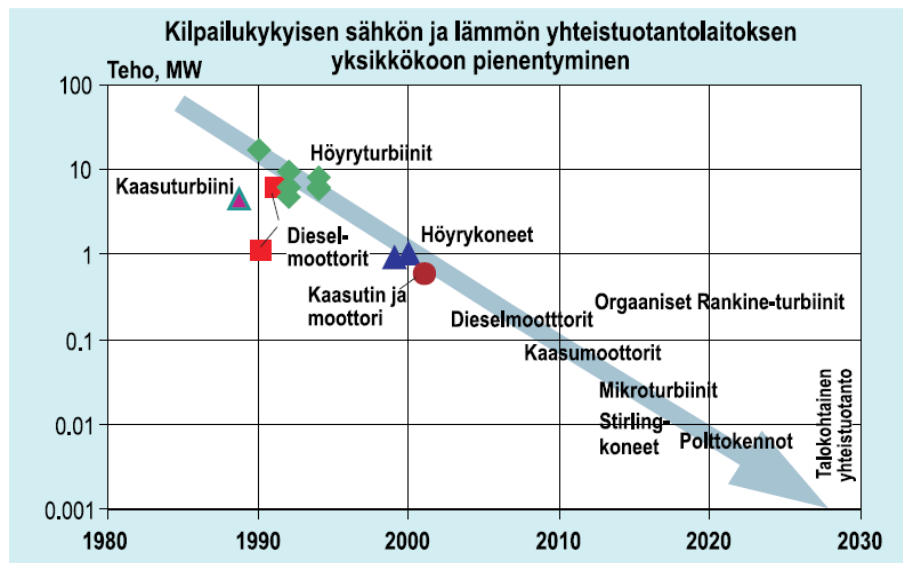
5.4 Uusien innovaatioiden merkitys kannattavuudelle

Eräs mielenkiintoisimpia tutkimus- ja tuotekehitystyön alla olevista keksinnöistä on torrefioidun pelletin tuotanto. Torrefioidun pelletin avulla saavutetaan korkeampi lämpöarvo ja pienempi tilavuus suhteessa lämpöarvoon. Se mahdollistaa pitemmät kuljetusmatkat ja varastointitilojen tarve on pienempi verrattuna muun muassa hakkeeseen. (Kuittinen 2013, 44.) Toisaalta ORC-prosessin käyttöä pystyttäisiin kohentamaan biopolttoaineiden kuivausprosesseissa (Motiva 2015b).

Tällä hetkellä sähköntuotannon hyötysuhde on ORC-tekniikalla n.10–20 %:n luokkaa. Jotta saavutettaisiin parempi hyötysuhde, pyritään tuotekehityksen ja tutkimustyön avulla saavuttamaan 10 %:n lisähyöty savukaasujen paremmalla talteenotolla. (Obernberger & Thek 2008, 4.) Alan messut ASME ORC pidetään vuosittain Belgiassa, jossa on mahdollisuus perehtyä viimeisimpään teknologiaan ja asiantuntijoihin (Asme orc 2015).

6 ORC-TEKNIIKAN REALISTISIA SOVELLUSKOHTEITA SUOMESSA

Kuviossa 23 on arvioitu skenaarioita, kuinka tekniikan ja tuotekehityksen myötä erilaisten yhteistuotantolaitosten kilpailukyky paranee. Kun valmistusmäärät ja eri valmistajien kilpailu keskenään kasvaa riittävän suureksi, on oletettavaa, että tuotantolaitosten hinnat laskevat nykytasosta.



Kuvio 23 Teknologian kehittymisen merkitys kannattavuuteen (VTT 2015, 11)

6.1 Mekaaninen sahaiteollisuus

Potentiaalisimpia sovelluskohteita voisivat olla sahalaitokset, joilla on jatkuva puutavaran kuivaustarve puutavarakuivaamoissaan. Ylijäämälämpö voitaisiin huippukuormituksen aikana siirtää paikallisen kaukolämpöverkon kautta kuluttajille. Sen lisäksi ORC-tuotannon ja -tekniikan avulla sahalaitokset voisivat hyödyntää niiden tuottamaa sähköenergiaa ja näin korvataa ostoenergian osuutta pienemmäksi. Tällöin myös sähköverot pienenisivät ja suurin hyöty tulisi sähkönsiirtomaksujen poisjäämisestä.

Mekaaniselle sahaiteollisuudelle aiheutuu suuret kuljetuskustannukset toisarvoisten jakeiden kuljettamisesta sellutehtaille ja eri lämpölaitoksille. Purun, kuoren ja hakkeen omalla käytöllä olisi saavutettavissa kustannushyötyjä verrattuna siihen,

että jakeet joudutaan rahtaamaan usein satojenkin kilometrien päähän. Yksi ratkaisu tähän voisi olla näiden jakeiden jalostaminen torrefioituksi pelletiksi. ORC-laitoksen lauhde-energia soveltuisi myös mainiosti biopolttopaineiden esikuivaukseen. Tätä kautta sahalaitoksille saataisiin korkeampi käyttöaste ja toisarvoisten biojakeiden energia-arvo korkeammaksi sekä saavutettaisiin huomattavia kuljetus- ja varastointikustannussäästöjä. (Peretti 2015.) Yksi tärkeimmistä tekijöistä kannattavuutta tarkasteltaessa on korkea käyttöaste. Jos käyttöaste on esimerkiksi 40–45 % ja saavutetaankin 85–90 %:n käyttöaste eli käyttöaste kaksinkertaistuu, on takaisinmaksuaika kolme kertaa lyhempi (Heinimö & Jäppinen 2005, 70).

6.2 Teollisuuden ylijäämälämpöjen hyödyntäminen

Eräs kehittämis- ja tuotekehityskohde voisi olla energiantensiivisen teollisuuden hukkalämpöjen hyödyntäminen ORC-tekniikalla. Hukkaenergian määräksi arvioidaan 54 TWh suomalaisessa teollisuudessa. Motivan mukaan Suomessa olisi saavutettavissa noin 200 milj.€ säästöt vuositasona, jos hukkalämmöt otettaisiin hyötykäyttöön. Hukkalämpöjen suuruudeksi on arvioitu noin 4 TWh. Tämä energian määrä riittäisi 200 000 sähkölämmitteisen omakotitalon lämmittämiseen vuositasona. (Motiva 2015b.)

7 POHDINTA

Suomessa toimii tällä hetkellä kolme ORC-laitosta eli Posion, Toholammin ja Ämmässuon laitokset, jotka ovat osoittautuneet toimintavarmiksi. Olemassa olevista ORC-laitoksista oli haasteellista saada ja löytää tarkempaa tietoa, jonka pohjalta olisi voinut arvioida, millä osa-alueilla toiminnassa olevat laitokset ovat onnistuneet tai epäonnistuneet. Toisaalta aiheesta löytyi laadukkaita kansainvälisiä luentomateriaaleja Internetistä ja paljon muuta aiheeseen liittyvää tietoa.

Selvitystyön perusteella ORC-prosessi soveltuu hyvin esim. raskaan teollisuuden ylijäämälämpöjen talteenottoon myös taloudellisessa mielessä. ORC-tekniikka tarjoaa yhden lisävaihtoehdon, jonka avulla Suomen on mahdollista täyttää kansainväliset sitoumuksensa hiilineutraaliin yhteiskuntaan liittyen. Kohteissa, jotka sijaitsevat etäällä perusinfrastrasta, on ORC-lämpövoimala varteen otettava vaihtoehto silloin, kun on lisäksi tarjolla esimerkiksi edullisia biopolttoainejakeita. Kansainvälisiä markkinoita ajatellen ORC-tekniikka on eräs vaihtoehto olla osana luotaessa sähköjakaiverkkojen ulkopuolisille alueille omaa nykyaikaista perusinfrastruktuuria.

Jotta ORC-tekniikka yleistyisi, tulisi sähkön perus- ja siirtohintojen nousta nykytasosta ja investointikustannusten alentua. Näin takaisinmaksuaikaa saataisiin lyhemmäksi ja riskiä alemmalle tasolle. Tuotekehittelyn tavoitteena on edelleen kehittää ORC-prosessista saatavan sähkön osuutta suuremmaksi. Uuden teknologian kehittäminen on aina riskialtista ja pääomia vaativaa toimintaa, joten olisi toivottavaa, että jokin vahva globaali toimija panostaisi ORC-tekniikan tuotekehittelytyöhön. Kotimaisista toimijoista voisi olettaa esim. Wärtsilän olevan sen kokoluokan toimija, jolla olisi riittävän suuret resurssit. Heillä olisi valmiit kontaktit potentiaaliin asiakasryhmiin ja vuosikymmenien aikana hankittua tietotaitoa niistä osatekijöistä, joiden pohjalle kannattavaa liiketoimintaa voisi rakentaa. Lisäksi sen voisi olettaa tukevan heidän nykyistä liiketoimintaansa dieselveimalatoimintuksissa.

Torrefioidun pelletin myötä on oletettavaa, että pellettilämmitys tulee yleistymään yksityistalouksissa sekä teollisuuskiinteistöissä, koska kuljetuskustannukset tulevat olemaan alhaisemmat ja varastointitilojen tarve on pienempi kuin tavallisella pelletillä. Jos pellettilämmitys yleistyy, tullaan tarvitsemaan muitakin raaka-aineita kuin kutteria (pääasiallisesti pelletin raaka-aine) eli esimerkiksi muhaa ja haketta. Jotta näiden käyttöönotto olisi taloudellisesti järkevää, tulee ne esikuivata ennen torrefiointia. Yksi vaihtoehto esikuivaamiseen on hukkalämpöjen hyötykäyttö. ORC-laitoksissa syntyy hukkalämpöä kuten muissakin lauhdevoimaloissa. Muhan ja hakkeen kuivaaminen ORC-laitoksissa syntyvällä hukkalämmöllä nostaisi laitosten käyttöastetta ja parantaisi niiden kannattavuutta.

ORC-laitoksiin on mahdollista saada energia- tai syöttötariffitukea. Energiatuella edistetään uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattamista. Jos on kyse alle 5 milj.€ hankkeesta, tuki haetaan ELY-keskukselta. Jos hanke on yli 5 milj.€, tuki haetaan työ- ja elinkeinoministeriöstä. Syöttötariffituella edistetään tuuli-, biokaasu- ja puupolttoainevoimaloihin liittyviä investointeja. Voimalaitokselle, joka on hyväksytty syöttötariffijärjestelmään, maksetaan enintään kahdentoista vuoden ajan kolmen kuukauden sähkön markkinahinnan tai päästöoikeuden markkinahinnan mukaan muuttuvaa tukea.

Tällä hetkellä ORC-tekniikka edustaa lämmön -ja sähköntuotannon yhteistuotantolaitoksissa (CHP) marginaalista osuutta sekä Suomessa että globaalilla tasolla. Kun huomioidaan ne kansainväliset kestäväan kehitykseen liittyvät sopimukset, joihin Suomi on sitoutunut, on oletettavaa, että ORC-tekniikan osuus kasvaa yhtenä vaihtoehtoisena energian tuotanto- ja hyödyntämismuotona ja sen tuotekehitykseen tullaan panostamaan tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Asiakastieto. 2015. Kaikki asiakkaastasi. Viitattu 28.2.2015. <http://www.asiakastieto.fi/web/fi>.
- Asme orc. 2015. Messut. Viitattu 3.6.2015. www.asme-orc2015.be.
- Berninger, K. 2013. Muutos vähähiiliseen yhteiskuntaan EU:n rakennerahastojen avulla 2014–2020. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Biedermann, F., Carlsen, H. & Obernberger, I. 2015. State-of-the-art and future developments regarding small scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and stirling engine technologies. Viitattu 2.6.2015. <http://bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-SmallScaleCHP-NordicConference-2003-10-27.pdf>.
- Bios. 2015. Description of the ORC technology for biomass Combined Heat and Power plants as well as further possibilities for process integration. Viitattu 3.10.2015. <http://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/orc-process.html>.
- Encyclopedia. 2015. Viitattu 13.10.2015. http://www.encyclopedia.com/topic/William_John_Macquorn_Rankine.aspx.
- Enerec. 2015a. Polytechik toimittaa 25 MW:n biovoimalan Tanskaan. Viitattu 17.2.2015. <http://www.enerec.fi/suomeksi/Uutiset/Uutinen/tabid/8455/ArticleId/2980/language/fi-FI/Default.aspx?Return=8388>.
- Enerec.2015b. Lappajärvellä tuotetaan lämpöä Polytechnikin laitteilla. Viitattu 28.2.2015. <http://www.enerec.fi/suomeksi/Uutiset/Uutisarkisto/tabid/8926/ArticleId/2369/language/fi-FI/Default.aspx?Return=8926>.
- Enerec. 2013. Posiolle valmistuu puuhakkeella toimiva ORC-laitos syksyllä 2013. Viitattu 28.2.2015. <http://enerec.fi/suomeksi/Uutiset/Uutisarkisto/tabid/8926/ArticleId/2500/language/fi-FI/Default.aspx?Return=8926>.
- Energiateollisuus.2015a. Sähkötillastot. Viitattu 13.10.2015. <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotillastot>.
- Energiateollisuus.2015b. Kaukolämmön hinta. Viitattu 5.12.2015. <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/kaukolammon-hinta>.
- Etelä-Suomen Sanomat. 2014. Kunnan pumpattava lisää rahaa Hämeenkosken biolämpöön. Viitattu 30.5.2015. <http://www.ess.fi/uutiset/talous/2014/05/30/kunnan-pumpattava-lisaa-rahaa-hameenkosken-biolampon>.

- Facão, J., Palmero-Marrero, A. & Oliveira, A.C. 2008. Analysis of a solar assisted micro-cogeneration ORC system. Viitattu 3.3.2015. <http://paginas.fe.up.pt/~jfacao/IJLCT6.pdf>.
- Fennovoima. 2015. Fennovoiman ydinvoimalahanke. Viitattu 13.10.2015. <http://www.fennovoima.fi/hanke>.
- Fingrid. 2015. Kysyntäjousto Fingridin näkökulmasta. Viitattu 13.10.2015. http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista%20liitteet/Tapahtumat/Tasevastaavapaiva20_11/05_Kysynt%C3%A4jousto%20Fingridin%20n%C3%A4k%C3%B6kulmasta.pdf.
- Fortum. 2015. Loviisan ydinvoimalaitos. Viitattu 13.10.2015. https://www.fortum.fi/fi/energiantuotanto/ydinvoima/loviisan_voimalaitos/pages/default.aspx.
- Granö, U-P. 2010. Hajautettu energiantuotanto. Biomassan kaasutus. Viitattu 2.9.2015. <http://www.scribd.com/doc/49586467/Hajautettu-energiantuotanto-2010-FI-Ulf-Peter-Grano>.
- Haavisto, T. 2010. Puupoltaneisiin perustuvat pien-CHP tekniikat. Viitattu 30.05.2015. http://www.karelia.fi/biostuli/materiaalit/Pien-CHP-katsaus_raportti_v11.pdf
- Hallituksen esitys eduskunnalle energiatehokkuuslaiksi ja eräiksi siihen liittyviksi laeiksi 182/2014.
- Heinimö, J. & Jäppinen, E. 2005. ORC-teknologia hajautetussa sähköntuotannossa. Tutkimusraportti EN B-160.
- Helsingin energia. 2015. Viitattu 20.2.2015. www.helen.fi.
- HSY. 2015. HSY:n biojätteen mädätyslaitoksen biokaasu hyödynnetään sähköksi ja lämmöksi. Viitattu 14.5.2015. https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/uutishuone/2014/Sivut/madatyslaitoksen_biokaasu_hyodynnetaan.aspx.
- Ilmasto-opas. 2015. Ämmässuon kaasuvoimala Espoossa tuottaa jätteestä energiaa. Viitattu 14.5.2015. <https://ilmasto-opas.fi/fi/kunnat/ratkaisuja/toimialan/-/artikkeli/c/70d90815-bec3-4e0b-b4b4-74b45bfb984d/a/6e382d58-7f28-46f0-a8d8-f0e56539fca9/ammassuon-kaasuvoimala-espoossa-tuottaa-jatteesta-energiaa.html>.
- Jukola, P., Järvinen, T., Kiel, J., Sipilä, K., Verhoeff, F., Wilén, C. 2013. Wood torrefaction – pilot tests and utilisation prospects. VTT technology. Viitattu 5.2.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T122.pdf>
- Jäppinen, E. 2013. The effects of location, feedstock availability, and supply-chain logistics on the greenhouse gas emissions of forest-biomass energy utilization in Finland.

- Karjalainen, T. 2010. Pien CHP raportti. Viitattu 2.5.2015.
<http://www.oulu.fi/sites/default/files/content/files/Pien%20CHP%20raportti.pdf>
- Kiotoon pöytäkirja. 2015. Viitattu 18.11.2015. http://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ymparisto/Ilmasto_ ja_ ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kiotoon_poytakirja.
- Konttinen, J. 2015. Pien-CHP:en teknologiset ratkaisut, Jyväskylän yliopisto kemianlaitos(Uusiutuvan energian ohjelma v.2003–2011) .Viitattu 04.05.2015
<http://www.forestenergy.org/openfile/378?PHPSESSID=007d1ce6028c9f7a94089e1581d3928d>
- Kuittinen, S. 2013. Torrefioidun raaka-aineen pelletointi. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Larjola, J. 1995. Electricity from industrial waste heat using high - speed organic Rankine cycle (ORC). International Journal of Production Economics. Volyymi 41.
- Larjola, J. 2011. Larjola Jaakko. 2011. Organic Rankine cycle (ORC) based waste heat/waste fuel recovery systems for small combined heat and power (CHP) applications.
- Larjola, J., Arkkio, A. & Pyrhönen, J. (toim.) 2010. Suurnopeustekniikka. High speed technology in Finland. Helsinki: Yliopistopaino.
- Legmann, H. 2015. Ormatin toimittaman kokonaistehon määrä. Kantola. 2.2.2015. Tulostettu 2.2.2015.
- Lipponen, M. 2014. Biokaasun tuotannossa valtavat mahdollisuudet. Mittari - bioenergia lehti 01/2014.
- Länsi-Savo. 2015. Savosolarin tehtaalla aurinkoenergiapäivä perjantaina. Viitattu 3.2.2015. <http://www.lansi-savo.fi/uutiset/l%C3%A4hell%C3%A4/savosolarin-tehtaalla-aurinkoenergiap%C3%A4iv%C3%A4-perjantaina-201150>.
- Maaskola, I. & Kataikko M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen, Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Motivan julkaisu.
- Motiva 2015a. Energian kokonaiskulutus. Viitattu 12.9.2015. http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus.
- Motiva 2015b. Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. Viitattu 30.11.2015.
http://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf.
- Motiva 2015c. Syöttötariffi eli takuuhintajärjestelmä. Viitattu 4.12.2015.
http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/syottotariffi_eli_takuuhintajarjestelma.

- Niskanen, M. 2014. Lämpöä ja sähköä pienen kunnan tarpeisiin. *EnergiaUutiset* 4/2014.
- Obernberger, I. & Thek, G. 2008. Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe – State-of-the-art and relevant future developments. <http://www.biosbioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-CHP-Overview-2008-03-18.pdf>. 20.2.2015.
- Ojaniemi, A. 2014. Multian Saha Oy:n biolämpölaitoksen tehonnosto. Viitattu 14.5.2015. www.ylapirkanmaa.fi/attachments/filebank/218.pdf.
- Ojaniemi, A. 2015. Multian saha. Email harri.kantola@edu.lapinamk.fi 23.2.2015. Tulostettu 23.2.2015.
- Penope. 2015. Polytechnik toimittaa biolämpölaitoksen Hämeenkoskelle. Viitattu 28.2.2015. <http://www.penope.fi/suomeksi/Uutiset/Polytechnikin-biol%C3%A4mp%C3%B6laitosH%C3%A4meenkoskelle/tabid/11195/language/fi-FI/Default.aspx>.
- Peretti, I. 2015. ORC. Email harri.kantola@edu.lapinamk.fi 13.4.2015. Tulostettu 13.4.2015.
- Peura, P. (toim.) 2007. MAASEUDUN VOIMA. Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa. Vaasan yliopisto. Levón-instituutin julkaisuja. Viitattu 3.9.2015. <http://docplayer.fi/2343699-Maaseudun-voima-liiketoiminta-hajautetussa-energiantuotannossa.html>.
- Polytechnik. 2015. Polytechnik, your expert for biomass. Viitattu 28.2.2015. <http://www.polytechnik.com/ENG/>.
- Reunanen, A., Honkatukia, J., Esa H., Pitkänen, H. & Larjola J. 2000. ORC-voimalan soveltuvuus hyödyntämään dieselvoimalan hukkalämpöä. Loppuraportti. Tekes DrNro 1549/401/98.
- Saarinen, V. 2015. HSY Viikinmäki. Email harri.kantola@edu.lapinamk.fi 29.4.2015. Tulostettu 29.4.2015.
- SavoniaPower. 2015. PSK-Standardisointi. Viitattu 20.2.2015. www.psk-standardisointi.fi/Alasivut/Tiedotteet/.../5Case2Huttunen.pptx
- Tilastokeskus. 2015. Energiatilastot. Viitattu 3.6.2015. www.tilastokeskus.fi.
- Triogen. 2015. Power of heat. Viitattu 28.2.2015. <http://www.triogen.nl/references/reference-overview>.

- Turboden. 2015. Organic rankine cycle technology. Viitattu 2.9.2015.
<http://www.turboden.eu/en/public/downloads/NEW%20-%20ORC%20Brochure%20leaflet%20LR.pdf>.
- TVO. 2015. Voimalaitokset. Viitattu 13.9.2015. <http://www.tvo.fi/wwwroot>.
- Tykkyläinen, M. 2015. Rahtikustannukset hakkeella. Email harri.kantola@edu.lapinamk.fi 23.2.2015. Tulostettu 23.2.2015.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015a. Energiatuki. Viitattu 31.7.2015.
<http://www.tem.fi/energia/energiatuki>.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015b. Uusiutuvan energian syöttötariffi. Viitattu 31.7.2015. <http://www.tem.fi/index.phtml?s=3256>.
- Vapo Oy. 2015. Rahtikustannukset. Viitattu 23.2.2015. www.vapo.fi.
- VTT. 2015. Suomen Energiavisio 2030, Suomenkielinen tiivistelmä. Viitattu 18.9.2015 http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf.
- Vänskä, O. 2015. Uutta potkua vanhaan akkutekniikkaan. Tekniikkatalous. 21.02.2015.
- Ylisirniö, K. 2015. Posion Lämpö ja Vesi Oy. Toimitusjohtaja. Haastattelu. 13.5.2015.
- Ylitalo, L. 2015. Toholammin Energia Oy. Toimitusjohtaja. Puhelinkeskustelu. 20.4.2015.

LIITTEET

- Liite 1. Geotermistä lämpöä hyödyntäviä ORC-voimalaitoksia. Vuoden 2004 tilanne.
- Liite 2. Saha 1 kannattavuus laskelma
- Liite 3. Saha 2

Liite 1. Geotermistä lämpöä hyödyntäviä ORC- voimalaitoksia. Vuoden 2004 tilanne (Heinimö, Jäppinen 2005)

1. Geotermistä lämpöä hyödyntäviä ORC-voimalaitoksia

	Paikkakunta/laitos	Maa	Valm. vuosi	Teho, [MW _e]	Lämmönlähteen lämpötila, [°C]	Kiertoaaine	Toimittaja
1	Patunka, Kamchatka	Venäjä	1967	0,68	81	-	-
2	Huailai, Hebei	Kiina	1971	0,2	85	-	-
3	Wentang, Jianxi	Kiina	1971	0,05	67	-	-
4	Dengwu	Kiina	1977	0,2	91	-	-
5	Yinkou, Liaoning	Kiina	1977	0,1	75	-	-
6	Lakeview, Oregon	USA	1984, 85	0,9	96	pentaani	Ormat
7	TAD's Enterprises Wabuska	USA	1984, 87	1,75	104	pentaani	Ormat
8	Wineagle Developers, Susanville	USA	1985	0,6	110	-	Barber-Nichols
9	Cove Fort, Sulphudale	USA	1985	4,8	138	pentaani	Ormat
10	Mulka	Australia	1986	0,02	-	-	-
11	Tu Chang	Taiwan	1987	0,3	130	pentaani	Ormat
12	Soda Lake, Fallon	USA	1988	3,8	188	pentaani	Ormat
13	Amedee Geothermal Vent., Susanville	USA	1988	1,5	104	R-114	Barber-Nichols
14	Aluto Langano	Etiopia	1988	8,5	151-188	pentaani	Ormat
15	Copahue, Neugen	Argentiina	1988	0,67	166-171	-	Ormat
16	Fang, Chang Mai	Thaimaa	1989	0,3	116	pentaani	Ormat
17	Radicondoli	Italia	1991	0,7	115	pentaani	Ormat
18	Los Zufires, Michoacan	Meksiko	1993	3,0	175	pentaani	Ormat
19	Kawerau	Uusi Seelanti	1993	3,5	172	pentaani	Ormat
20	Nagque, Tiibet	Kiina	1993	1,3	110	pentaani	Ormat
21	CGRG phase A, Azorit	Portugali	1994	2,0	149	pentaani	Ormat
22	CGRG phase B, Azorit	Portugali	1998	9,0	-	pentaani	Ormat
23	Birdville	Australia	1999	0,15	99	pentaani	-
24	Altheim	Itävalta	2000	1,0	106	pentaani	Turboden
25	Blumau	Itävalta	2000	0,5	-	-	Ormat
26	Empire Energy, Empire	USA	2002	5,2	114-152	pentaani	Ormat
27	Neustadt-Glewe	Saksa	2003	0,2	98	pentaani	GET
28	Speyer	Saksa	2003	5,4	-	pentaani	Ormat
29	Ormat/LDG, Cotton city	USA	-	1,3	148-176	pentaani	Ormat
30	Vulcan Power Co., Las Cruces	USA	-	0,75-1,0	106	pentaani	Ormat

Liite 2 Saha 1 kannattavuus laskelma (Heinimö & Jäppinen 2005)

Lähtötiedot		
Laskentakorko	5 %	
Sähköenergian hinta, €/MWh	29	
Puupolttoaineen hinta, €/MWh	6	
Öljyn hinta (POR), €/MWh	19,7	
	Nykylaitteet lämpökeskus 8 MW_{th}	ORC-voimalaitos 2 turbogeneraattoria 340 kW_e
Energijatase		
Puulla tuotettava lämpö, MWh/v	31 088	31 115
Öljyllä tuotettava lämpö, MWh/v	53	26
Lämmöntuotanto yhteensä, MWh/v	31 141	31 141
Sähköntuotanto, MWh/v	0	2 510
Polttoaineen kulutus (puu), MWh/v	36 711	41 022
Polttoaineen kulutus (POR), MWh/v	59	29
Sähkön ostu ulkoa, MWh/v	9 221	6 712
Sähkönhankinnan kustannukset		
Sähkösäilytys, €/v	136 572	108 832
Sähkövero, €/v	40 572	29 533
Huoltovarmuusmaksu, €/v	1 199	873
Sähköenergian ostu, €/v	267 409	194 648
Yhteensä, €/v	445 752	333 885
Investointi		
Bruttoinvestointi, €		840 000
Avustus, % kokonaisinvestoinnista		40 %
Nettoinvestointi, €		504 000
Nettokustannukset		
Sähkösäilytys, €/v	136 572	108 832
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksut, €/v	41 771	30 405
Sähköenergian ostu, €/v	267 409	194 648
Polttoainekustannukset, €/v	221 426	246 701
Huolto- ja korjauskustannusten lisäys, €/v		23 400
Nettokustannukset yhteensä, €/v	667 179	603 986
Nettokustannusten ero vertailuenergianhankintaan verrattuna, €/v		63 192
Takaisinmaksuaika		
Koroton, v		8,0
Korollinen (5 %), v		10,4

Liite 3 Saha 2 (Heinimö & Jäppinen 2005)

Lähtötiedot		
Laskentakorko	5,0 %	
Sähköenergia hinta, €/MWh	29	
Polttoaineen hinta, €/MWh	6,0 puu	
Polttoaineen hinta, €/MWh	19,7 POR	
	Vertailuenergianhankinta	ORC-voimalaitos
	4 MW_{th} lämpökeskus	3,7 MW_{th}/0,6 MW_e
Energiatase		
Puulla tuotettava lämpö, MWh/v	26 570	26 230
Öljyllä tuotettava lämpö, MWh/v	190	530
Lämmönlautanto yhteensä, MWh/v	26 760	26 760
Sähköntuotanto (netto), MWh/v	0	2 530
Polttoaineen kulutus (puu), MWh/v	30 380	34 410
Polttoaineen kulutus (POR), MWh/v	210	590
Sähkön osto ulkoa, MWh/v	7 744	4 680
Energian(sähkö) osto ulkoa		
Sähkön siirto, €/v	96 159	69 561
Sähkövero, €/v	34 074	20 592
Huoltovarmuusmaksu, €/v	1 007	608
Sähköenergian osto, €/v	224 576	135 720
Yhteensä, €/v	355 815	226 481
Investointi		
Bruttoinvestointi, €	1 230 000	2 490 000
Avustus, % kokonaisinvestoinnista	11,5 %	35 %
Nettoinvestointi, €	1 088 550	1 618 500
Nettokustannukset, €/v		
Sähkön siirto	96 159	69 561
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksut	35 080	21 200
Sähköenergian osto, €/v	224 576	135 720
Polttoainekustannukset, €/v	186 417	218 083
Huollot- ja korjaukset, €/v	33 000	69 000
Käyttökäytökunnan palkat, €/v	22 000	22 000
Nettokustannukset yhteensä, €/v	597 232	535 564
Nettokustannusten ero		
vertailuenergianhankintaan verrattuna, €/v	-	61 668
Sähköntuotannon vaatima lisäinvestointi, €		529 950
Takaisinmaksuaika		
Koroton, v		8,6
Korollinen, v		11,5