

Kiinteistöjen energiaomavaraisuuden parantaminen
pien-CHP-tekniikan avulla

Sami Myllynen

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia tämän työn tekemisessä ja valmistumisessa mukana olleita yrityksiä, yhteisöjä ja ihmisiä. Kiitokset työn ohjauksesta menevät Ari Pikkaraiselle ja Aila Petäjäjärvelle. Kiitän lämpimästi työn aikana kannustaneita ystäviä, erityiset kiitokset työn aikana saamastani tuesta ja kannustuksesta menevät Annalle ja pojille.

Kemissä 25.4.2014

Sami Myllynen

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Sami Myllynen
Opinnäytetyön nimi:	Kiinteistöjen energiaomavaraisuuden parantaminen pien- CHP-tekniikan avulla
Sivuja (joista liitesivuja):	55 (2)
Päiväys:	25.4.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	Insinööri (YAMK) Ari Pikkarainen Insinööri Aila Petäjajarvi
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää, miten kahden teollisuuskiinteistön energiaomavaraisuuden parantaminen onnistuu pienen sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen avulla. Tarkoituksena oli selvittää kiinteistöjen nykyhetken ja tulevaisuuden energiankulutukset ja -kustannukset. Lisäksi tarkoituksena oli tehdä taulukkotyökalu, jonka avulla oman yhteistuotantolaitoksen kannattavuutta voidaan tarkastella tulevaisuudessa.</p> <p>Ajankohta aiheen tutkimiseksi oli sopiva, koska sähkön pientuotantolaitokset ovat kehittyneet ja ne ovat yleistymässä. Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään sähkön pientuotantotekniikat ja yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotantotekniikat. Lisäksi käsitellään pienvoimalaitoksen liittämistä sähköverkkoon ja sähköenergian myyntiä.</p> <p>Työ toteutettiin tutkimus ja selvitystyönä. Energiankulutus- ja kustannuslaskenta, sekä investoinnin kannattavuuslaskenta tehtiin Excel-taulukolla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena todettiin, että yritysten on kannattavaa toteuttaa investointi omaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokseen, jos laitoksen tuottamalle energialle on käyttöä ja siitä saadaan sopiva korvaus. Laitoksen tuottama sähköenergia pystytään myymään yritysten muihin sähkönkäyttöpaikkoihin kaupallisen toimijan välityksellä.</p>	
Asiasanat: sähkön ja lämmön yhteistuotanto, hajautettu energiantuotanto, puukaasu.	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Industry and Natural Resources

Degree programme:	Electrical Engineering
Author(s):	Sami Myllynen
Thesis title:	Improving Energy Self-sufficiency in Real Estates with the Help of Small-scale CHP-Technology
Pages (of which appendixes):	55 (2)
Date:	25 April 2014
Thesis instructors:	Ari Pikkarainen, Meng Petäjajarvi Aila, BEng
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to research and to try to figure out how energy self-sufficiency in buildings can be made better with the help of combined small-scale heat and power technology. The purpose was to find out what the buildings energy consumption is now and what it will be in the future. Additionally, another purpose was to create a table tool which allows to assess the future profitability of the combined heat and power production plants.</p> <p>The time to research the subject was suitable because the small generation systems have been getting better and the number of them has increased. In the theory part, small generation systems and combined heat and power production are studied. Additionally, small-scale electricity production connected to distribution network and power selling were dealt with.</p> <p>Thesis was carried out as a research and report. Energy consumption, costs calculation and economical analysis were made using Excel-spreadsheet.</p> <p>The result of this thesis was that it is profitable to the company to invest in a small-scale combined heat and power production plant of their own, if all energy produced in the production plant is used and sold. Electrical energy generated in the production plant can be sold to the companies in other places with the help of commercial operator.</p>	
Keywords: Combined heat and power, decentralized energy, wood gas.	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO.....	8
2 TOIMEKSIANTAJIEN ESITTELY	9
3 PIENIMUOTOINEN SÄHKÖNTUOTANTO	10
3.1 Pienimuotoiset sähköntuotantotekniikat	11
3.1.1 Tuulivoima.....	11
3.1.2 Vesivoima	12
3.1.3 Aurinkosähkö.....	13
3.1.4 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto	15
3.2 CHP-tuotantotekniikat	16
3.2.1 Kaasu- ja dieselmoottorit	16
3.2.2 Höyryturbiini- ja koneet.....	17
3.2.3 Mikroturbiinit.....	18
3.2.4 ORC-lämpöturbiinit	19
3.2.5 Stirling-moottorit	20
3.3 Pienvoimalaitoksen rakentaminen ja liittäminen sähköverkkoon.....	21
3.3.1 Liittyminen sähköverkkoon	21
3.3.2 Luvat ja ilmoitukset	22
3.3.3 Sähkönsiirto, myynti ja verotus	22
3.3.4 Syöttötariffit ja energiatuki	26
4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	27
4.1 Nykytilanteen esittely	27
4.2 Kiinteistöjen energiankulutus ja kustannukset.....	27
4.2.1 Lämmitysenergia.....	27
4.2.2 Sähköenergia.....	28
4.3 Energiankulutuksen kehitys tulevaisuudessa	30
5 SUUNNITELMA CHP-LAITOKSEN RAKENTAMISESTA	31
5.1 CHP-laitoksen valinta.....	32
5.1.1 Volter 40 -omasähkölaitos	33
5.1.2 Volter 40 -omasähkölaitoksen vuosituotanto.....	37
5.2 Ylimääräisen energian käyttö.....	38

5.3	Laitoksen sijoitus.....	39
5.4	CHP-laitoksen kustannukset	42
5.4.1	Investoinnin kustannukset.....	42
5.4.2	Toimintakustannukset	42
6	INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI	44
6.1	Taulukkotyökalun esittely.....	44
6.2	Investoinnin kannattavuus.....	45
6.2.1	Kannattavuus tilanteessa 1	45
6.2.2	Kannattavuus tilanteessa 2.....	46
6.3	Herkkyystarkastelu	47
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	49
	LÄHTEET	50
	LIITTEET.....	52

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CHP	yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto (Combined heat and power)
MW	megawatti
MWh	megawattitunti
kW	kilowatti
kWh	kilowattitunti
kV	kilovoltti
kVA	kilovoltiampeeri
MVA	megavoltiampeeri
t	tonni
a	vuosi
MJ	megajoule
i-m ³	irtokuutiometri

1 JOHDANTO

Suomen asettamana tavoitteena on jo parinkymmenen vuoden ajan ollut tuottaa sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa niin suuri osa sähköstä kuin mahdollista. Sähkö on kuitenkin pääsääntöisesti tuotettu suurissa voimalaitoksissa ja tehon syöttösuunta on ollut asiakasta kohti. Tulevaisuudessa tilanne voi muuttua, sillä uudet teknologiat mahdollistavat yhä pienempien tuotantolaitteistojen kannattavuuden.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja selvitetään kahden teollisuuskiinteistön energiaomavaraisuuden parantamisen mahdollisuuksia pienen sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen avulla. Mahdollisuudet tutkitaan perehtymällä sähkön pientuotantotekniikoihin ja uuden pientuotantolaitoksen rakentamiseen. Kannattavuuden arviointi tehdään Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on antaa yrityksille tietoa oman sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen kannattavuudesta. Tehtävä opinnäytetyö toimii esiselvityksenä oman voimalaitoksen rakentamisen ja kannattavuuden tarkempia suunnitelmia ja laskelmia varten. Lisäksi työssä tehdään yksinkertainen taulukkotyökalu jolla kannattavuuden arviointia voidaan tehdä tulevaisuudessa olosuhteiden muuttuessa.

Opinnäytetyössä tehtävä tutkimus ja selvitys on rajattu käsittelemään oman sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen rakentamisen ja käytön kannattavuutta. Lisäksi selvitetään nykyhetken energiankulutus ja kustannukset, sekä arvioidaan tulevaisuuden tilanne. Opinnäytetyön alussa käsitellään pienimuotoiset sähköntuotantotekniikat, sähkön- ja lämmön yhteistuotantotekniikat sekä pienvoimalaitoksen rakentamiseen liittyviä asioita. Työssä selvitetään kiinteistöjen nykytilanne ja valitaan sopiva pien-CHP-laitos tarkempaa tutkimusta varten. Työn loppuosassa tehdään alustavat laskelmat oman pien-CHP-laitoksen investoinnin ja käytön kannattavuudesta.

2 TOIMEKSIANTAJIEN ESITTELY

Tämän opinnäytetyöprojektin toimeksiantajat ovat Putaan logistiikkapalvelut Oy ja Hirrex Oy. Yritykset ovat pieniä yrityksiä ja ne toimivat pääsääntöisesti Oulun alueella. Hirrex Oy on keskittynyt kiinteistöjen ja toimitilojen vuokraukseen ja rakentamiseen. Putaan logistiikkapalvelut Oy tarjoaa kiinteistöjen vuokraustoiminnan lisäksi ammatti-liikenteen koulutuspalveluja. Putaan logistiikkapalvelut on Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin hyväksymä ammattipätevyyden jatkokoulutusta antava koulutuskeskus. Yritykset toimivat tiiviissä yhteistyössä keskenään.

Yritykset omistavat Haukiputaan kylän Annalankankaan teollisuusalueella kaksi teollisuuskiinteistöä (kuvassa 1), lisäksi yrityksen ja niiden lähipiirin omistuksessa on useampia sähkölämmitteisiä loma-asuntoja ja omakotitaloja. Nykyisten teollisuuskiinteistöjen laajennuksia ja kolmannen teollisuuskiinteistön rakentamista on suunniteltu. Yrityksillä on halu kehittää omien kiinteistöjen energiankulutusta omavaraisempaan suuntaan. (Myllynen 25.12.2013, haastattelu; Laaksolinna 15.1.2014, haastattelu.)



Kuva 1. Teollisuuskiinteistöt Haukiputaalla

3 PIENIMUOTOINEN SÄHKÖNTUOTANTO

Sähkömarkkina-alaissa pienimuotoisella sähköntuotannolla tarkoitetaan yhtä voimalaitosta tai usean voimalaitoksen muodostamaa kokonaisuutta, jonka teho on enintään kaksi megavolttiampeeria. Mikrotuotannoksi kutsutaan sähköntuotantoa, jonka tarkoituksena on tuottaa sähköä ensisijaisesti vain kohteen omaan käyttöön, ja tuotannon syöttöjake-luverkkoon on estetty tai se on satunnaista ja vähäistä. Mikrotuotanto-standardin SFS-EN 50438 Suomea koskevassa osassa mikrotuotantolaitokseksi katsotaan enintään 30 kilovolttiampeerin laitokset. Näiden laissa ja standardissa määriteltyjen määritelmien lisäksi käytetään paljon erilaisia epävirallisempia määritelmiä. Yleensä ne pohjautuvat voimalan nimellis- tai maksimitehoon, mutta myös liittymäverkon mukaista rajausta käytetään. Hajautetusta energiantuotannosta puhuttaessa tarkoitetaan pientuotantoa, joka sijaitsee käyttökohteiden lähellä ja on tarkoitettu sähköntuotantoon paikallista tarvetta varten. Hajautettu energiantuotanto ei tarvitse välttämättä liityntää yleiseen sähköverkkoon. (Pöyry Energy Oy 2006; Motiva Oy 2012; Finlexin www-sivut 2014, hakupäivä 7.1.2014; Energiategollisuus ry:n www-sivut 2014, hakupäivä 12.3.2014.)

Merkittävämmät pienimuotoiset sähköntuotantotavat Suomessa ovat pienvesivoima, tuulivoima, aurinkosähkö ja erilaiset bioenergiaa hyödyntävät tuotantotavat. Näistä tuotantomuodoista tuulivoimalla, aurinkosähköllä ja vesivoimalla on yhteisiä piirteitä. Sähkön tuotanto näillä tuotantomuodoilla ei edellytä polttoaineen hankintaa. Tästä johtuen polttoainelogistiikkaa ei tarvitse suunnitella ja riskiä polttoaineen hinnasta ei ole. Näiden tuotantomuotojen kustannukset painottuvat voimalaitoksen investointiin ja niiden käyttökustannukset ovat edulliset. Bioenergiaa hyödyntävän sähköntuotannon kustannuksista suurempi osa painottuu myös käytönaikaisiin kustannuksiin. Tuottajan on esimerkiksi hankittava polttoaine ja varauduttava siitä aiheutuviin kustannuksiin ja riskeihin.

Täsmällisiä tietoja sähkön pientuotannon määrästä Suomessa ei ole saatavilla. Suomessa pientuotannon rakentamista ei ole lähdetty tukemaan taloudellisesti yhtä paljon kuin eräissä muissa Euroopan maissa. Tästä johtuen pientuotannon määrä on vielä vähäistä. (Motiva Oy 2012; Finlexin www-sivut 2014, hakupäivä 7.1.2014.)

3.1 Pienimuotoiset sähköntuotantotekniikat

3.1.1 Tuulivoima

Tuulivoima on tuulen eli ilman virtauksen liike-energian muuntamista tuuliturbiinilla sähköksi. Tuulivoima on täysin uusiutuvaa energiaa, ja se on peräisin auringon säteilyenergiasta. Tuulen pyörittämien lapojen liike-energia muutetaan generaattorin avulla sähköksi, joka johdetaan muuntajaan ja edelleen sähköverkkoon. (Motiva Oy 2012.)

Tuulen tehosisältö on verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, joten tuulivoimalan hetkellinen teho kasvaa jyrkästi tuulen nopeuden noustessa. Tästä johtuen tuotanto on suuresti riippuvainen voimalaitoksen sijaintipaikan tuuliolosuhteista. Sopivia tuulivoimalan sijoituspaikkoja löytyy Suomessa rannikkoseuduilta ja tuntureilta. Tuulivoimalan tuotannon käynnistyminen vaatii yleensä noin 3,5 m/s tuulen. Tuulen nopeuden kasvaessa tehoa voidaan joutua rajoittamaan passiivisella sakkaussäädöllä tai aktiivisella lapakulmien säädöllä. Yleensä tuulen nopeuden noustessa yli 25 m/s tuulivoimalaitos pysäytetään laitevaurioiden välttämiseksi. Tuulivoimalaitokset rakennetaan automaattiseksi, joten vain huolto- ja vikatehtävät vaativat paikanpäällä tehtävää työtä. Tuulivoimalan käyttöikä on 20 - 30 vuotta. (Vartiainen, Luoma, Hiltunen & Vanhanen 2002, 8; Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014.)

Tuulivoimaloita on saatavissa kaikissa kokoluokissa alkaen pienistä muutaman sadan watin tuulivoimaloista, jopa useiden megawattien kokoihin tuulivoimaloihin asti. Määritelmän mukaan pientuulivoimala on voimala, jonka roottorin pyörähdys pinta-ala on alle 200 m². Käytännössä pientuulivoimalat ovat nimellisteholtaan alle 50 kilowattia. Pientuulivoimaloita käytetään esimerkiksi maataloudessa, laitoksissa, kotitalouksissa ja vapaa-ajan asunnoissa. Pientuulivoimalaa voidaan käyttää esimerkiksi akkujen lataukseen tai rakennuksen lämmitykseen käytettävän vesi- tai massavaraajan lämmittämiseen. Pientuulivoimalalla on myös mahdollista tuottaa sähköä suoraan sähköverkkoon. (Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014.)

Tuulivoimala koostuu lavoista, generaattorin ja vaihteiston sisältämästä konehuoneesta, muuntajasta, tornista ja perustuksista. Pientuulivoimalaitokset ovat nimellisteholtaan yleensä muutaman kilowatin ja napakorkeus on luokkaa 5 - 30 metriä. Suuremman kokoluokan tuulivoimalaitosten napakorkeus vaihtelee voimalaitoksen koosta ja sijoituspaikasta riippuen 50 - 140 metrin välillä. Roottorin halkaisija voi olla 40 - 140 metriä. Tuulivoimalan torni on yleensä putkimainen terästorni, joka on kiinnitetty perustuksiin.

Kuvassa 2 on pientuulivoimalaitos Kempeleen ekokorttelissa. (Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014.)



Kuva 2. Pientuulivoimalaitos Kempeleen ekokorttelissa (Vaihda virtaa www-sivut, hakupäivä 19.4.2014)

3.1.2 Vesivoima

Vesivoimalaitoksessa virtaavan veden potentiaalienergia muutetaan turbiinilla ensin pyöriväksi liike-energiaksi ja sitten generaattorin avulla sähköenergiaksi. Suomessa olevat vesivoimalaitokset ovat joki- tai säännöstelyvoimalaitoksia. Jokivoimalaitoksella veden virtauksen ja tuotannon säätömahdollisuudet laitoksen oman padon avulla ovat pienet. Säännöstelyvoimalaitoksella potentiaalienergiaa on veteen varastoituneena padon yläpuolella ja sen avulla tuotantoa voidaan säädellä jopa vuositasolla. Rakentamisen jälkeen vesivoimasta aiheutuu vain vähän kustannuksia. Nykyaikaisten vesivoimalaitosten automaatioaste on korkea ja niiden ohjaus- ja valvontatyöt tehdään keskitetysti kauko-ohjauksen avulla. (Motiva Oy 2012.)

Vesivoimalaitoksen jaotellaan suur- pien- ja minivesivoimaan. Luokittelu tehdään yleensä voimalan nimellistehon mukaan. Suurvesivoimaa ovat nimellisteholtaan yli 10 megawatin, pienvesivoimaa ovat 1 - 10 megawatin ja minivesivoimaa alle 1 megawatin nimellistehoiset vesivoimalaitokset. Suomessa on 67 minivesivoimalaitosta ja 83 pien-

vesivoimalaitosta. Ympäristövaikutusten ja tarvittavan infrastruktuurin takia uudet pienet kokoluokan vesivoimalaitokset soveltuvat parhaiten jo käytöstä poistettujen vesivoimalaitosten tilalle ja kohteisiin joissa on jo pato. Kannattavaksi arvioituja minivesivoimakohteita Suomessa on noin 350. Vesivoimalaitosten käyttöikä on tyypillisesti 60 - 100 vuotta. (Vartiainen ym. 2002, 10; Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014.)

3.1.3 Aurinkosähkö

Aurinkosähkö tuotetaan aurinkopaneeleilla. Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista, jotka muuntavat auringon säteilyä sähköenergiaksi. Toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Auringon avulla tuotetun sähkön määrä on suoraan verrannollisen auringon säteilyn voimakkuuteen.

Aurinkosähköä voidaan tuottaa suurilla aurinkopaneelikentillä tai pienemmillä hajauteilla yksiköillä. Aurinkovoimala koostuu paneelista tai paneeleista, ohjauksesta, mahdollisesta akustosta ja invertteristä. Kiinteistöjen rakenteisiin voidaan asentaa erillisiä aurinkosähköpaneeleja tai rakenteisiin voidaan integroida esimerkiksi aurinkosähköä tuottavia kalvomaisia kennoja. Kuvassa 3 on noin 3 kilowatin aurinkosähköjärjestelmä asennettuna oppilaitoksen katolle.



Kuva 3. Aurinkopaneelit katolle asennettuna

Etelä-Suomessa jokainen neliömetri ottaa vastaan vuodenaikana noin 1000 kilowattituntia auringonsäteilyä, joten Suomessakin on reilusti auringon energiapotentiaalia. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti suoraan ilman erillisiä laitteita tai aktiivisesti. Aktiivisesti hyödyntämällä aurinkoenergia muunnetaan sähköksi aurinkopaneeleilla tai lämmöksi aurinkokeräimillä. Aurinkopaneeleilla voidaan muuttaa noin 15 prosenttia auringonsäteilyn määrästä sähköksi tai noin 25 - 35 prosenttia lämmöksi.

Aurinkosähköjärjestelmiä on jo pitkään käytetty paikoissa, joissa verkkosähköä ei ole saatavilla. Tyypillisiä kohteita ovat olleet kesämökit, veneet, linkkimastot ja saaristo- ja erämaakohteet. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmiä on kuitenkin otettu käyttöön myös Suomessa. Saksa on maailman johtava aurinkoenergian tuottaja, aurinkoisina päivinä se pystyy tuottamaan jopa 12 % tarvitsemastaan energiasta. (Vartiainen ym. 2002, 10; Kahra 2013; Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014.)

3.1.4 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotantoa kutsutaan myös CHP-tuotannoksi. Lyhenne tulee sanoista Combined Heat and Power, mikä tarkoittaa yhdistettyä sähkön ja lämmön tuotantoa. CHP-laitoksessa sähkö ja lämpö tuotetaan samanaikaisesti samassa prosessissa. Sähkö tuotetaan esimerkiksi höyry- tai kaasuturbiineilla tai moottorikäyttöisillä tuotantokoneistoilla, joista saatava lämpö hyödynnetään joko teollisuuden prosesseissa tai kaukolämpönä. CHP-tuotantoon on saatavilla useita kaupallisia erilaisiin tekniikoihin perustuvia laitteistoja. Laitteiden tekniikkaa parantavaa kehitystyötä tehdään ja niiden toimintaa kehitetään jatkuvasti. (Vartiainen ym. 2002; Tilastokeskuksen www-sivut 2014, hakupäivä 15.3.2014.)

Taulukossa 1 on esitetty tärkeimpien pien-CHP-tekniikoiden tehot ja hyötysuhteet koostusti. CHP-laitoksessa käytettävästä tekniikasta, laitoksen koosta ja lämpöenergian hyödyntämisen tehokkuudesta riippuen päästään 80 - 95 % kokonaishyötysuhteeseen. Silloin sähköhyötysuhde vaihtelee 10 - 40 % välillä. Voimalaitoksen sähköntuotantoa voidaan tarkastella rakennusasteen avulla (Inermo 2013, 15). Rakennusaste lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Rakennusaste = \frac{\text{sähköteho (kW)}}{\text{lämpöteho (kW)}} \quad (1)$$

Taulukko 1. Sähkönpientuotanto ja pien-CHP-tekniikoiden tehot ja hyötysuhteet (Vartiainen ym. 2002)

	Yksikköteho (kW)	Sähköhyötysuhde (%)	Lämpöhyötysuhde (%)	Kokonaishyötysuhde (%)
pien-CHP-tekniikat				
Kaasu- ja dieselmoottorit	3 - 10000	30 - 45	45 - 50	75 - 90
Mikroturbiinit	25 - 250	15 - 35	50 - 60	75 - 85
Stirling-moottorit	0,5 - 25	15 - 35	50 - 60	75 - 85
Höyryturbiinit ja -koneet	0,5 - 10000	15 - 35	40 - 70	75 - 85
ORC	200 - 1500	15 - 20	70 - 80	80 - 90
Tuulivoima	0,1 - 8000	40 - 50	-	40 - 50
Pien- ja minivesivoima	20 - 10000	80 - 85	-	80 - 85
Aurinkosähkö	0,004 - 0,3	n. 4 - 22	-	4 - 22

CHP-laitoksen rakentamisen suunnittelussa on otettava huomioon polttoaineen hankinta ja siitä aiheutuvat kustannukset. Tällä hetkellä pien-CHP-laitoksen tekniikka asettaa

kiinteän polttoaineen laadulle (palakoko, kosteus) tiettyjä laitoskohtaisia vaatimuksia. Polttoaineenlaatu taas määrää pitkälle automatisoiduissa laitoksissa syntyvät käyttökustannukset. (Vartiainen ym. 2002, 10; Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 10.4.2014.)

3.2 CHP-tuotantotekniikat

Kiinteitä biopolttoaineita hyödyntävät sähkön- ja lämmön yhteistuotanto tekniikat voidaan jaotella pääperiaatteiltaan suoraan polttoon ja kaasutukseen perustuviin tekniikoihin. Vaihtoehtoina pien-CHP-tuotannossa ovat esimerkiksi kaasu- ja dieselmoottorit, mikrotubiinit, höyryturbiinit ja -koneet, stirling-moottorit ja ORC-lämpöturbiinit. Edellisten lisäksi innovatiivisen tutkimuksen ja kehityksen kohteena on myös joitakin muita tekniikoita, joilla sähkön- ja lämmön yhteistuotanto on mahdollista. (Vartiainen ym. 2002; Kontinen 2011.)

3.2.1 Kaasu- ja dieselmoottorit

Kaasu- ja dieselmoottoreihin perustuvat voimalaitokset koostuvat mäntämoottorista ja siihen liitetystä generaattorista. Moottorissa palava polttoaine pyörittää moottoria, joka taas pyörittää generaattoria. Polttomoottorin pyörittämällä generaattorilla tuotetaan sähköenergia. Kaasu- tai dieselmoottorikäyttöisessä CHP-laitoksessa lämpöenergiaa syntyy polttoaineen palaessa moottorissa ja se otetaan mahdollisimman tarkasti talteen jäädyttämällä moottoria. Kaasu- ja dieselmoottorien sähköhyötysuhde on koosta riippuen tyypillisesti 30 - 45 prosenttia ja kokonaisyötysuhde 75 - 90 prosenttia.

Jatkuvatoimisissa yhteistuotantosovelluksissa kaasumoottorit ovat kaikkein käytetyimpiä moottoreita. Dieselmoottoreita käytetään lähinnä varavoimasovelluksissa. Sähkön tuotannossa käytettäviä kaasu- ja dieselmoottoreita on saatavilla muutaman kilowatin moottoreista aina megawatti kokoluokan moottoreihin asti. Pienet, alle 200 kW:in moottorit, perustuvat tavallisesti autojen dieselmoottoreihin, joihin on lisätty kipinäsytytys.

Kaasu- ja dieselmoottorit soveltuvat parhaiten tasaista sähkön- ja lämmöntuotantoa vaativiin kohteisiin. Kaasu- ja dieselmoottoreiden etuna on myös hyvä sähköntuotannon

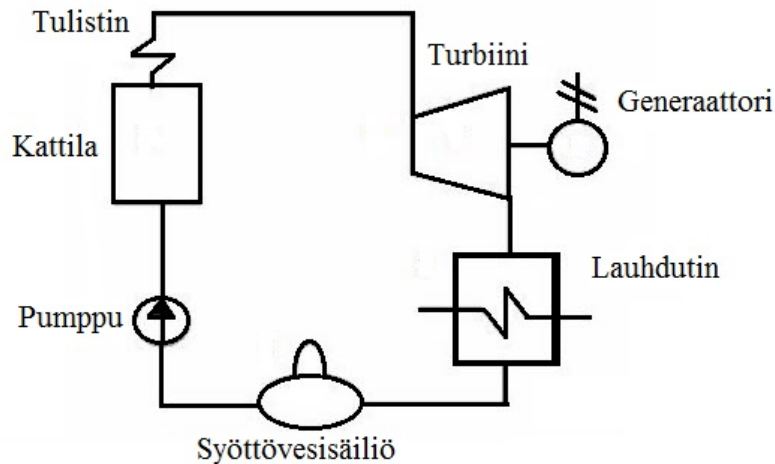
hyötysuhde. Kokoluokan kasvaessa edut paranevat. Pienissä kohteissa ongelmana on moottoreiden huollontarve ja melu. Kuvassa 4 on Volter Oy:n toimittama kaasumoottori ja generaattorin yhdistelmä. (Vartiainen ym. 2002, 17; Motiva Oy 2012.)



Kuva 4. Volter Oy:n toimittama kaasumoottori ja generaattoriyksikkö (Volter Oy 2013)

3.2.2 Höryturbiini- ja koneet

Hörykoneeseen tai -turbiiniin perustuvassa CHP-laitoksessa korkeapaineinen höyry tuotetaan höyrykattilalla. Höyrykattilan polttoaineeksi soveltuu mikä tahansa kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen polttoaine. Yleisimpiä polttoaineita ovat hiili, turve, kierätyspolttoaineet sekä biomassa. Höyrykoneessa korkeapaineinen höyry ohjataan sylinteriin, jossa se liikuttaa mäntää. Mäntä on yhdistetty generaattoria pyörittävään akseliin kampiakselilla. Höryturbiinissa paineistettu höyry pyörittää turbiinin siipiä, joka taas pyörittää generaattoria. Höyryprosessin periaatekaavio ja komponentit on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Höyryprosessin periaate ja komponentit

Pienissä alle yhden megawatin laitoksissa höyrykone on höyryturbiinia taloudellisempi vaihtoehto, koska höyryturbiinin hyötysuhde on alhainen etenkin osakuormilla. Höyryturbiiniin tai -koneeseen perustuvan yhteistuotantovoimalaitoksen sähköhyötysuhde on 15 - 35 prosenttia ja kokonaishyötysuhde 75 - 85 prosenttia. (Vartiainen ym. 2002 17; Motiva Oy 2012.)

3.2.3 Mikroturbiinit

Mikroturbiinit ovat noin 25 - 250 kilowatin kaasuturbiineja. Mikroturbiineissa voidaan käyttää sekä kaasumaisia että useita erilaisia nestemäisiä polttoaineita. Käytettyjä polttoaineita ovat maakaasu, biokaasu, vety sekä kaasutettu kierrätyspolttoaine tai biomassa. Nestemäisistä polttoaineista mikroturbiini voi käyttää dieselöljyä, bensiiniä tai bioöljyä.

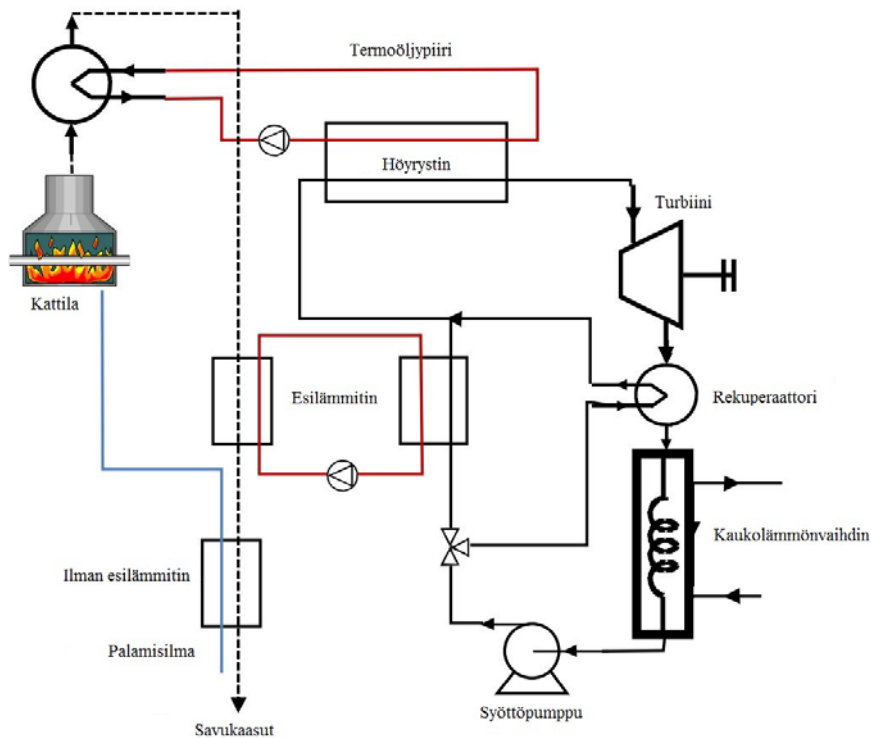
Polttoaine poltetaan polttokammiossa, josta kaasu johdetaan suoraan kaasuturbiiniin. Syöttöilma paineistetaan kompressorilla ennen polttokammioon syöttämistä. Mikroturbiinissa on yleensä yksi akseli, johon kompressorin akseli, turbiinin akseli ja generaattori on laakeroitu. Pyörimisnopeudet ovat suuria, mistä johtuen generaattorin tuottama vaihtovirta on korkeataajuisia. Korkea taajuinen vaihtovirta muutetaan verkkotaajuiseksi taajuusmuuttajalla.

Mikroturbiinien sähköhyötysuhde riippuu voimakkaasti turbiinin koosta ja kuormituksesta. Sähköhyötysuhde liikkuu 15 - 35 prosentin välillä ja kokonaishyötysuhde 75 - 85 prosentin välillä.

Mikroturbiinit soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa tarvitaan korkeaa lämpötilaa tai höyryä. Mikroturbiinista purkautuvan pakokaasun lämpötila on tyypillisesti 450 - 550 °C, joten sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi höyryn tuottamiseen. Teollisuuskohteet ovat tyypillisimpiä sovelluksia pienille kaasuturbiineille. Pieniin kohteisiin mikroturbiinit soveltuvat huonosti, koska niiden tehot ovat liian suuria ja niiden käyttö osatehoilla on epätaloudellista. (Vartiainen ym. 2002, 19 - 20; Motiva Oy 2012.)

3.2.4 ORC-lämpöturbiinit

ORC-prosessi (Organic Rankine Cycle) on Rankine-kiertoprosessi, jossa kuuman kaasun lämpöenergia muutetaan mekaaniseksi energiaksi samantyyppisessä höyryturbiinissa kuin höyryprosessissakin. ORC-prosessissa välittäjäaineena veden sijasta on sopiva orgaaninen hiiliyhdistettä sisältävä neste. ORC-laitoksissa hyödynnetään orgaanisen välitysaineen olomuotojen muutosta nesteen ja kaasun välillä. Välittäjäaine voi olla esimerkiksi öljyä. Käyttämällä orgaanista kieroainetta voidaan saavuttaa lähellä lämmönlähteen lämpötilaa oleva prosessilämpötila. Etua perinteiseen höyryvoimalaan verrattuna saavutetaan, koska järjestelmän matalammat paineet ja lämpötilat mahdollistavat kevyemmät rakenteet.

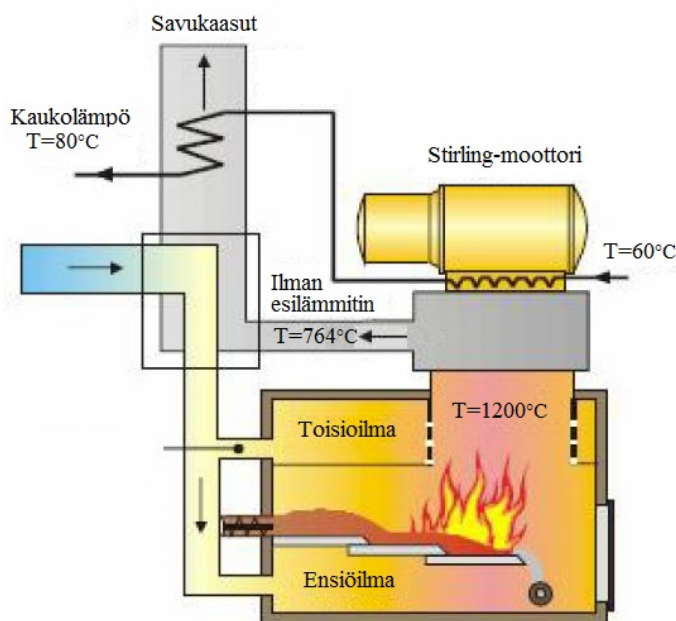


Kuvio 2. ORC-prosessin periaatekuva (Purhonen 2010)

ORC-prosessin sähköhyötysuhde on tyypillisesti noin 15 - 20 prosenttia. ORC-tekniikkaa pidetään taloudellisesti erityisen lupaavana tekniikkana biomassapohjaiseen CHP-tuotantoon kokoluokassa 200 - 1500 kW. (Tanskanen 2012; Motiva Oy:n www-sivut 2013, hakupäivä 19.4.2014.)

3.2.5 Stirling-moottorit

Stirling-moottori on lämpömoottori, joka toimii jonkin kaasun syklisen puristuksen ja laajenemisen avulla eri lämpötiloissa siten, että lämpöenergia muunnetaan liike-energiaksi. Stirling-moottorin toiminta yhteistuotannossa on esitetty kuviossa 3. Stirling-moottori on tunnettu korkeasta hyötysuhteesta verrattuna höyrykoneisiin. Muita etuja on sen hiljainen käyntiäänä ja helppokäyttöisyys. Lämmönlähteenä se voi käyttää lähes mitä tahansa polttoaineita. Stirling-moottorissa lämpö, jota syntyy polttoaineen palamisesta, siirtyy työkaasuun korkeassa lämpötilassa. Ylimääräinen lämpö, jota ei ole muunnettu työksi, siirtyy osaksi jäähdytysvettä.



Kuvio 3. Stirling-moottori yhteistuotannossa (Aaltonen & Ukkonen 2008)

Voimansa stirling-moottori saa kylmän- ja kuumapään välillä olevasta lämpötilaerosta. Stirling-moottorin tehoa voidaan kasvattaa paineistamalla työkaasu. Työkaasuna käytetään esimerkiksi ilmaa, vetyä ja heliumia. Stirling-moottorille tulevan jäähdytysveden lämpötilalla on myös ratkaiseva merkitys saavutettavan sähkötehon kannalta. Stirling-

moottorin sähköhyötysuhde on noin 8 - 22 prosenttia ja kokonaishyötysuhde noin 75 - 85 prosenttia.

Stirling-moottoreita soveltuvat parhaiten pienimpiin 2 - 20 kilowatin kohteisiin. Stirling-moottorin etuja verrattuna samankokoisiin kaasu- ja dieselmoottoreihin ovat alemmat päästöt ja hiljaisempi melutaso. (Vartiainen ym. 2002, 20 - 22; Motiva Oy 2012.)

3.3 Pienvoimalaitoksen rakentaminen ja liittäminen sähköverkkoon

3.3.1 Liittyminen sähköverkkoon

Suomessa sähkön tuottaminen on ydinvoimaa lukuun ottamatta kaikille vapaata toimintaa. Kaikki voimalaitoksen voivat liittyä yleiseen sähköverkkoon ja myydä sähköä avoimilla sähkömarkkinoilla. Voimalaitoksen on täytettävä viranomaisten ja jakeluverkonhaltijoiden voimalaitokselle asettamat vaatimukset. Sähköverkon kannalta pienvoimalaitokset voidaan jakaa käyttötavan mukaan kolmeen ryhmään seuraavasti:

- Voimalaitokset, joita ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon.
- Voimalaitokset, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, mutta joista sähkön syöttö verkkoon on teknisesti estetty.
- Voimalaitokset, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa niin, että tuotanto voidaan siirtää kokonaan tai osittain jakeluverkkoon.

Sähköverkkoon liitettävän pienvoimalaitoksen suunnittelun alkaessa on suositeltavaa ottaa yhteys paikalliseen jakeluverkkoyhtiöön. Jakeluverkkoyhtiöllä on viimeisin tieto lain, asetusten ja määräysten vaatimuksista. Paikallisen jakeluverkkoyhtiön jakeluverkon tekniset vaatimukset on tiedettävä, jotta ne voidaan huomioida sopivaa tuotantolaitosta hankittaessa. (Motiva Oy 2012.)

Jakeluverkonhaltija voi joutua tekemään jakeluverkon vahvistamiseksi verkonvahvistustoimenpiteitä. Alle 2 MVA:n voimalaitoksilta ei peritä verkon vahvistuskuluja. Sähköverkkotoiminta on sähkömarkkinalain mukaan luvanvaraista toimintaa. Luvanvaraista ei kuitenkaan ole sähköverkkotoiminta, jossa yhteisön tai laitoksen hallinnassa olevalla sähköverkolla hoidetaan vain kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäistä sähkönjakelua. Jakeluverkonhaltijalla on yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoa alueelleen. Lainsäädäntö antaa sähköntuottajalle kuitenkin oikeuden rakentaa oma liittymisjohto,

jolla sähköntuotantolaitos liitetään sähköverkkoon. Jakeluverkonhaltija on veloitettu liittämään jakeluverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitokset ja käyttöpaikat kohtuullista korvausta vastaan.

Voimalaitosta hankittaessa tulee varmistaa, että voimalaitos ja kaikki sen sähkölaitteet ovat säännösten, määräysten ja jakeluverkonhaltijoiden asettamien ehtojen mukaisia. Voimalaitoksen haltijan täytyy toimittaa jakeluverkonhaltijalle tarvittavat tiedot voimalaitoksesta. Voimalaitoksen haltijan tulee varmistaa, että laitoksen asentamisen tekee sähköurakoitsija, jolla on tarvittavat sähköurakointioikeudet. Voimalaitoksen haltijan on selvitettävä myös, edellyttääkö voimalaitoksen käyttäminen sähköpätevyysvaatimusten täyttämistä. (Pöyry Energy Oy 2006; Motiva Oy 2012; Energiateollisuus ry 2011; Energiateollisuus ry 2013; Finlexin www-sivut 2013, hakupäivä 7.1.2014.)

3.3.2 Luvat ja ilmoitukset

Pienvoimalaitoshanketta suunnittelevan on hyvä tietää jo aikaisessa vaiheessa, minkälaisia lupia voimalaitoksen rakentaminen vaatii. Vaadittavat luvat vaihtelevat laitostyypeittäin ja ne riippuvat laitoksen ominaisuuksista, kuten koosta ja sijoituspaikasta. Rakennuslupa- ja ympäristölupa-asioissa ensimmäinen tietolähde on pienvoimalaitoksen sijaintikunnan rakennusviranomaisen. Normaalisti pienimuotoinen sähköntuotanto edellyttää toimenpidelupaa tai rakennuslupaa. Energiamarkkinavirastolle ja kantaverkkoyhtiö Fingridille on ilmoitettava voimalaitoksen rakentamisesta ja käyttöönotosta, jos kyseessä on yli yhden megawatin voimalaitos. (Motiva Oy 2012.)

3.3.3 Sähkönsiirto, myynti ja verotus

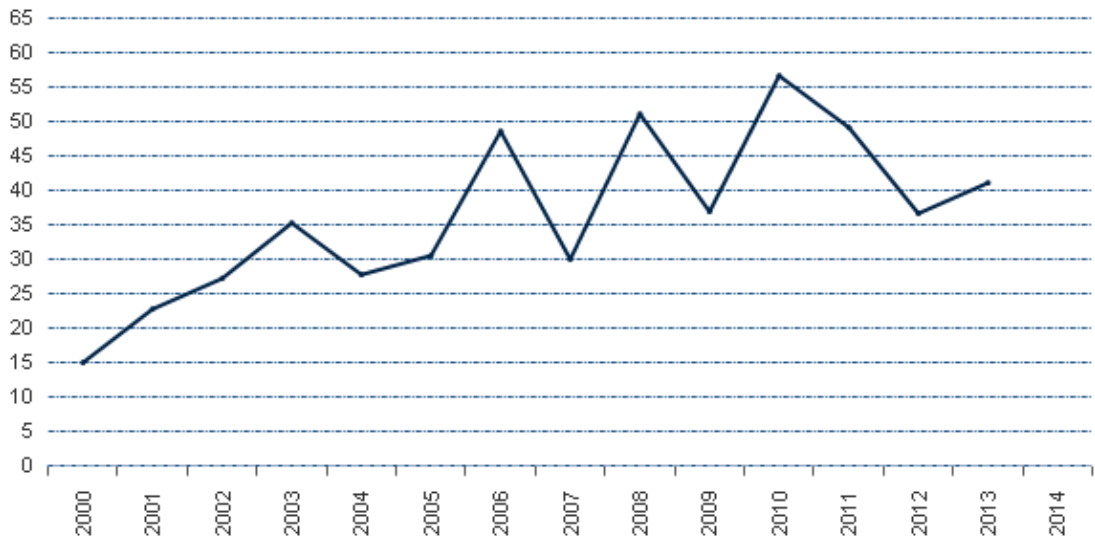
Sähkönsiirto

Jakeluverkonhaltijaa velvoittaa siirtovelvollisuus. Se velvoittaa jakeluverkonhaltijaa myymään sähkön siirtopalveluja niitä tarvitseville kohtuullista korvausta vastaan. Jakeluverkossa sähköntuotantoon sovelletaan energiamäärään perustuvaa siirtomaksua. Jakeluverkonhaltijan yksittäiseen liittymään sijoittuvalta sähköntuotannolta veloittama siirtomaksu ei saa ylittää keskimäärin 0,07 senttiä kilowattitunnilta vuodessa.

Sähkömarkkinalaki velvoittaa verkonhaltijaa järjestämään toimitetun sähkön mittauksen. Sähköntuottaja maksaa mittauksesta aiheutuneet kohtuulliset kustannukset jakeluverkonhaltijalle. Enintään 3 x 63 ampeerin sähköliittymän omaavissa kohteissa sähkön tuotanto ja kulutus voidaan mitata samalla mittarilla sähkökäyttöpaikan liittymässä. Suuremmissa kohteissa oman tuotannon kulutus on mitattava erikseen. (Valtioneuvoston asetus sähköntuotannon siirtomaksuista sähköjakeluverkossa 691/2007 3§; Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

Myynti

Sähkönmyynti ei edellytä toimilupaa. Sähkökauppaa voidaan käydä joko kahdenvälisenä kauppana tai tukkukauppana sähköpörssin välityksellä. Suomessa yleisesti käytettävä sähköpörssi on Nord Pool Spot. Se on Pohjoismaiden ja Baltian maiden kantaverkkoyhtiöiden omistama raaka-ainepörssi. Mukana ovat Tanska, Norja, Ruotsi, Suomi ja Viro. Sähköpörssissä kauppaa voivat käydä vain sen jäsenet. Jäseninä on sähköntuottajia, vähittäismyymiä ja suuria sähkökäyttäjiä. Pörssissä käydään sähkön tukkukauppaa ja siellä määräytyvät tuotetun sähkön määrä ja tukkumarkkinahinta. Nord Pool Spotin Elspot-markkinoilla muodostuvat seuraavan päivän tuntihinnat sähkölle. Markkinoiden osapuolet tekevät päivittäin osto- ja myyntitarjoukset sähköpörssiin. Tarjouksissa ilmoitetaan, millä hinnalla ja kuinka suuren määrän ne ovat valmiita ostamaan tai myymään sähköä seuraavana päivänä. Osto- ja myyntitarjousten perusteella muodostuu sähkön spot-hinta. Sähkön markkinahinta vaihtelee paljon. Vuosien aikana hinta on kuitenkin jatkuvasti ollut nousemaan päin, kuten kuviosta 4 nähdään.



Kuvio 4. Sähkön Elspot-hinnan (€/MWh) kehittyminen (Nord Pool Spot:n www-sivut 2014, hakupäivä 23.4.2014)

Pienet sähköenergiamäärät myydään yleensä kahdenvälisellä kaupalla. Sähköntuottaja voi myydä sähköä joko sähköpörssikauppaa käyvälle sähköyhtiölle, sähkömarkkinameklarille tai toiselle pienkäyttäjälle. Kuitenkin verkkoon sähköä siirtävällä sähköntuottajalla on oltava niin sanottu avoin sähköntoimittaja, koska jokaisen sähkömarkkinoilla toimivan on huolehdittava sähkötaseestaan. Kaikkien sähkömarkkinoilla toimivien on ylläpidettävä sähköntuotannon ja hankinnan sekä kulutuksen ja myynnin välinen teho-
tasapaino. Käytännössä sähkömarkkinoiden osapuolet eivät tähän pysty. Tästä syystä, sähköntuottaja tarvitsee avoimen toimijan, joka tasapainottaa tuottajan sähkötaseen. Oulun Sähkönmyynti Oy lanseerasi vuoden 2013 lopulla tuotteen nimeltä Farmivirta. Farmivirta tuotteen avulla sähkönpientuottaja voi myydä tuottamansa sähkö. Tuottaja saa itse määritellä myytävälle sähkölle hinnan. (Motiva Oy 2012; Oulun Sähkönmyynti Oy 15.4.2014, haastattelu; Energiateollisuus ry www-sivut, hakupäivä 22.4.2014.)

Sähkön myyntisopimus on laadittavissa vapaasti myyjän ja ostajan välillä. Kiinteistönhaltijan on järjestettävä asetusten ja säädösten mukainen toimitettavan sähkön mittaus, jos sähkö myydään sähkönkäyttäjälle kiinteistön tai sitä vastaavan kiinteistöryhmän sisäisen sähköverkon kautta. (Motiva Oy 2012.)

Verotus

Sähköverovelvollisia ovat yleensä verkonhaltijat ja sähköntuottajat. Sähköntuottaja, joka siirtää sähköä myös yleiseen sähköverkkoon, on velvollinen maksamaan sähkövero omaan käyttöön tuotetusta sähköstä. Verovelvollisuus koskee myös toiselle käyttäjälle luovutettua sähköä, jos sähköä ei siirretä jakeluverkon kautta. Sähköveron lisäksi peritään huoltovarmuusmaksua. Sähköveroa ja huoltovarmuusmaksua ei tarvitse suorittaa, jos tuottaa:

- sähköä enintään 50 kVA:n tehoisella generaattorilla tai useiden sähköntuotantolaitteistojen muodostamalla kokonaisuudella
- sähköä yli 50 kVA:n mutta alle 2000 kVA:n tehoisessa generaattorissa siirtämättä sitä sähköverkkoon.
- sähköä aluksessa, autossa, junassa tai muussa kuljetusvälineessä kulkuneuvon omiin tarpeisiin.

Sähköveroa ja huoltovarmuusmaksua ei myöskään makseta sähköntuotannon tai yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon omakäyttölaitteissa kulutetusta sähköstä. Omakäyttölaitteet on esitetty Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa voimalaitosten omakäyttölaitteista (309/2003).

Suomen energiaverolainsäädännön periaatteena on, että sähköntuotannossa käytetyt polttoaineet ovat verottomia ja lämmöntuotannossa käytetyt polttoaineet ovat verollisia. Polttoainevero muodostuu energiansisältöverosta ja hiilidioksidiverosta. Verotuksellisesti ratkaisevaa on, mitä laitos verokauden aikana tuottaa. Yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotantolaitoksen lämmöntuotannon polttoaineet määritellään kulutukseen luovutetun lämmön perusteella. Yhdistetyn tuotannon polttoaineiden verot määrätään sen lämpömäärän perusteella, joka saadaan kertomalla kulutukseen luovutettu lämpömäärä kertoimella 0.9. (Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 1260/1996; Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus voimalaitosten omakäyttölaitteista 309/2003 1 §; Laki eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta 1132/2013; Motiva Oy 2012; Suomen Tulli 2014.)

3.3.4 Syöttötariffit ja energiatuki

Eduskunnan päätöksen mukaisesti vuonna 2010 säädettiin laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. Lain tarkoituksena on edistää sähköntuottamista uusiutuvilla energialähteillä, näiden energialähteiden kilpailukykyä sekä monipuolistaa sähköntuotantoa. Lisäksi lain tarkoituksena on parantaa Suomen omavaraisuutta energiantuotannossa. Syöttötariffijärjestelmään hyväksytään tietyin edellytyksin metsähake- ja puupolttainevoimaloita, tuulivoimaloita ja biokaasuvoima. Lain määrittelemät edellytykset liittyvät esimerkiksi voimalan rahoitukseen, kokoon ja hyötysuhteeseen. Metsähakevoimala voidaan hyväksyä syöttötariffijärjestelmään vain, jos sen generaattoreiden nimellisteho on vähintään 100 kilovolttiampeeria. (Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 1396/2010.)

Työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille energiatukea. Työ- ja elinkeinoministeriön verkkosivujen mukaan energiatuki voidaan myöntää investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät:

- uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä,
- energiansäästöä, tai energiantuotannon tai käytön tehostamista,
- vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.

Energiatuen tavoitteena on vaikuttaa investoinnin käynnistymiseen parantamalla sen taloudellista kannattavuutta. Tarkoituksena on myös pienentää uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä riskejä. Ohjeelliset tukiprosentit vuodelle 2014 ovat 10 - 30 prosenttia. Työ- ja elinkeinoministeriö ilmoittaa, että metsähakkeen tuotantokaluston ja -koneiden osalta tukea myönnetään vain uuden teknologian hankkeille. (Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivut 2014, hakupäivä 22.4.2014.)

4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

4.1 Nykytilanteen esittely

Tämän opinnäytetyön kohteena ovat teollisuuskiinteistöt, jotka sijaitsevat Haukiputaan kylän Annalankankaan teollisuusalueella. Molemmat rakennukset sijaitsevat omilla vierekkäisillä tonteilla, siten että rakennukset ovat samassa linjassa. Ensimmäinen kiinteistö on valmistunut vuonna 2006 ja toinen vuonna 2007.

Rakennukset ovat teknisesti lähes samanlaisia. Molempien pinta-ala on 600 m^2 ja sisätilojen korkeus on noin 4,5 metriä. Yhden kiinteistön kokonaistilavuus on $2\,700 \text{ m}^3$. Eroja kiinteistöissä on esimerkiksi sisätilojen sijoituksissa ja isojen ulko-ovien määrässä. Rakennusten lämmitys on toteutettu vesikiertoisella lattialämmityksellä, vesi lämmitetään lämmityskattilalla jossa poltetaan pellettiä. Molemmissa kiinteistöissä on omat lämmityslaitteet. Omaa sähköntuotantoa ei ole, joten kaikki sähkö ostetaan verkosta. (Myllynen 21.1.2014, sähköpostiviesti.)

4.2 Kiinteistöjen energiankulutus ja kustannukset

4.2.1 Lämmitysenergia

Tällä hetkellä molemmissa kiinteistöissä on omat lämmitysjärjestelmät. Lämmityskattiloissa poltetaan puupellettiä, joka ostetaan ulkopuoliselta toimittajalta. Kiinteistöjen hallitilojen lämpötila on säädetty lämmityskaudella noin $+17 \text{ }^\circ\text{C}$. Toimisto ja sosiaali-tilojen lämpötilat ovat olleet hieman korkeampia. Pelletin kulutus yhdessä kiinteistössä vuosien 2007 - 2013 aikana on asettunut noin 11 tonniin vuodessa. Puupelletin lämpöarvo on noin $16,8 \text{ MJ/kg}$. Tästä laskemalla saadaan, että yksi tonni pellettiä sisältää $4\,700 \text{ kWh}$:a energiaa. Joten yhden kiinteistön vuotuiseksi lämmitysenergian kulutukseksi saadaan $51\,700 \text{ kWh}$:a. Molemmat kiinteistöt kuluttavat lämmitysenergiaa vuosittain laskennallisesti yhtä paljon, joten lämmitysenergian kokonaiskulutukseksi saadaan $103\,400 \text{ kWh}$:a. Pelletin hinta yritysten käyttämällä pelletin toimittajalla on 220 €/1000 kg . Hinta sisältää kuljetuskustannukset. Polttoaineen hankinnan lisäksi nykyisiin lämmityskustannuksiin on huomioitava pakollisista huolto- ja korjaustoimenpiteistä aiheutuneita kustannuksia. Yhden pellettilämmityslaitteiston arvioidut huoltokustannukset ovat 400 euroa vuodessa. Tällöin pelletillä tuotetun lämmitysenergian hinnaksi saadaan noin $0,0549 \text{ €/kWh}$. Yhteenvedo lasketuista arvoista on esitetty taulukossa 2. (Myllynen

23.1.2014, sähköpostiviesti; Motiva Oy: www-sivut 2013, hakupäivä 21.1.2014; 2; Hi-lakivi Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 11.3.2014.)

Taulukko 2. Nykyiset lämmitysenergian kustannukset

Pelletin energiasisältö	
1000 kg	4 700 kWh
Pelletin hankinta kustannukset	
1000 kg	222 €
Yhden kiinteistön kulutus ja kustannukset / vuosi	
pellettiä	11 000 Kg
pelletin sis. energia	51 700 kWh
pelletin kustannukset	2 437 €
huoltokustannukset	400 €
Kahden kiinteistön kulutus / vuosi	
pellettiä	22000 Kg
pelletin sis. energia	103400 kWh
pelletin kustannukset	4873 €
huoltokustannukset	800 €
Nykyisen lämmitysenergian kustannukset	
1 kWh	0,0549 €

4.2.2 Sähköenergia

Sähköenergian kulutus on kiinteistöissä vaihtelevaa. Kiinteistöjen tiloja on vuokrattu erilaisille käyttäjille. Tiloissa tehdään esimerkiksi korjaamo-, varasto- ja toimistotyypisiä töitä. Talven kylmimpinä ajankohtina sosiaalituloja ja toimistoja on lämmitetty sähköpattereilla. Tiedot kiinteistöjen aikaisempien vuosien toteutuneista sähkönkulutuksista saatiin sähköntoimittajalta. Sähkönkulutustilastoista tehtiin taulukko, johon laskettiin painotetut keskiarvot molempien kiinteistöjen vuosittaisesta sähkönkulutuksesta.

Sähkönkulutuksen painotettu keskiarvo (M_w) saadaan seuraavalla kaavalla (2), jossa w on yhden ajanjakson aikana kulunut kuukausittainen sähköenergian määrä (kWh) ja x on yhden ajanjakson kuukausien lukumäärä (kpl):

$$M_w = \frac{w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (2)$$

Sähköenergiankulutusten painotetut keskiarvot laskettiin Excel-taulukolla. Kiinteistön A toteutunut sähkönkulutus on ollut 17 460 kWh:a vuodessa ja kiinteistön B sähkönkulutus on ollut 43 320 kWh:a vuodessa. Tässä huomataan kuinka selkeitä erot kiinteistöjen sähkökäyttäjien välillä voivat olla. Yhteenveto kiinteistöjen toteutuneista sähkönkulutuksista on taulukossa 3.

Taulukko 3. Kiinteistöjen toteutuneet sähköenergian kulutukset

Kiinteistö A		
Aika	Sähkönkulutus / aika	Kuukaudet / aika
8.4.2009 - 30.1.2011	40 590 kWh	22 kpl
1.5.2011 - 2.5.2012	16 210 kWh	12 kpl
3.5.2012 - 31.12.2012	11 782 kWh	8 kpl
1.1.2013 - 31.12.2013	10 000 kWh	12 kpl
painotettu keskiarvo kuukausittaisesta sähkönkuluksesta		1 455 kWh
keskiarvon mukaan laskettu vuotuinen sähkönkulutus		17 460 kWh
Kiinteistö B		
Aika	Sähkönkulutus / aika	Kuukaudet / aika
1.1.2010 - 31.12.2010	40 058 kWh	12 kpl
1.1.2011 - 31.12.2011	44 355 kWh	12 kpl
1.1.2012 - 31.12.2012	46 570 kWh	12 kpl
1.1.2013 - 31.12.2013	42 303 kWh	12 kpl
painotettu keskiarvo kuukausittaisesta sähkönkuluksesta		3 610 kWh
keskiarvon mukaan laskettu vuotuinen sähkönkulutus		43 320 kWh

Yritysten kiinteistöjen käyttämä sähköenergia ostetaan verkosta. Yritykset ovat kilpailuttaneet kaikkien hallinnoimiensa kiinteistöjen sähköenergian hankinnan. Tällä hetkellä sähköenergian toimittaa Oulun Sähkönmyynti Oy. Vuodessa kiinteistöissä sähköenergiaa kuluu yhteensä 60 780 kWh:a. Tällä hetkellä kiinteistöjen sähköenergian siirron keskihinta on 4,374 snt/kWh ja sähköenergian myynnin hinta on 4,992 snt/kWh. Sähköenergian hankinnasta syntyy vuodessa yhteensä 5 674 euron kustannukset. Yhteenveto sähköenergian hankintakustannuksista on taulukossa 4. (Laaksolinna 15.4.2014, haastattelu; Myllynen 16.4.2014, sähköpostiviesti.)

Taulukko 4. Nykyiset sähköenergian hankinta kustannukset

Kiinteistö A	
Sähköenergian kulutus vuodessa	17 460 kWh
Energian hinta	0,09336 €/kWh
Sähköenergian hankintakustannukset vuodessa	1 630 €
Kiinteistö B	
Sähköenergian kulutus vuodessa	43 320 kWh
Energian hinta	0,09336 €/kWh
Sähköenergian hankintakustannukset vuodessa	4 044 €
Kustannukset yhteensä	5 674 €

4.3 Energiankulutuksen kehitys tulevaisuudessa

Kiinteistöjen yhteisen energiankulutuksen kasvua tapahtuu tulevaisuudessa. Kolmannen rakennuksen rakentamista ja nykyisten tilojen laajennuksia on suunniteltu. Uusia tiloja on suunniteltu rakennettavan saman verran, kuin nyt on olemassa. Tulevaisuuden energiankulutuksia arvioitaessa on siis huomioitu tilojen kokonaispinta-alaksi 2 400 m² ja tilavuudeksi 10 800 m³. Tällä hetkellä kahden kiinteistön lämmitys ja käyttö kuluttavat lämpöenergiaa 103 400 kWh:a ja sähköenergiaa 60 780 kWh:a. Tulevaisuudessa, jos alueelle suunnitellun kolmannen rakennuksen rakentaminen ja suunnitellut laajennukset toteutuvat voidaan olettaa, että energian kulutus kaksinkertaistuu. Silloin lämpöenergiaa kuluisi 206 800 kWh:a ja sähköenergiaa 121 560 kWh:a. (Laaksolinna 15.4.2014, haastattelu.)

5 SUUNNITELMA CHP-LAITOKSEN RAKENTAMISESTA

Kohteen energiaomavaraisuuden parantamisen suunnittelu lähti työn tilaajien halusta selvittää, olisiko omien kiinteistöjen kasvavaa energiankulutusta mahdollista pienentää omista metsistä saatavan energiapuun avulla. Joissakin tilanteissa tilaajat pitävät energianomavaraisuutta tärkeämpänä asiana kuin energian hintaa. Tilaajien omistamien teollisuuskiinteistöjen lämmitykseen tarvitaan tulevaisuudessa enemmän lämpöenergiaa, koska vanhojen kiinteistön laajennuksia ja yhden uuden kiinteistön rakentamista on suunniteltu. Sähköenergian kulutus teollisuuskiinteistöissä on vaihtelevaa, koska tiloissa toimii erilaisia käyttäjiä. Aluksi mietittiin mahdollisuutta tuottaa kesäajan käyttösähköä aurinkopaneelilla. Nopeasti huomattiin, että aurinkopaneelien tuotto on aika olematon kustannuksiin nähden. Esimerkiksi 2,5 kilowatin aurinkosähköjärjestelmän tuotto voisi olla parhaimmillaan 2 150 kWh. Kyseinen järjestelmä maksaa 4 590 euroa, joten 0,09 €/kWh sähköhinnalla takaisinmaksuaika olisi yli 23 vuotta. Aurinkosähköjärjestelmä jätettiin suunnitelmista pois. Ajateltiin, että CHP-laitoksella voidaan tuottaa myös kesäajan sähkö, jos ylimääräisellä lämpöenergialla kuivataan haketta. (Myllynen 25.12.2013, haastattelu; Laaksolinna 15.4.2014, haastattelu; Finnwind Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 15.1.2014.)

Tilaajat omistavat myös muita kiinteistöjä, joihin omalla voimalaitoksella tuotettua sähköenergiaa olisi mahdollista myydä. Sähkö- ja lämpöenergianmyynti yksinkertaistuisi, jos laitoksen omistaisi esimerkiksi erillinen yhtiö. Voimalaitoksen omistava yhtiö voisi laskuttaa muille yrityksille luovutetun energian erikseen sovitulla hinnoilla. Tämä sen takia, koska nykyiset kiinteistöt ovat eri yritysten omistuksissa. Lisäksi kiinteistöissä toimii muita toimijoita, jotka vastaavat itse energiakustannuksista. (Myllynen 25.12.2013, haastattelu; Laaksolinna 15.4.2014, haastattelu.)

Erilaisia pienimuotoiseen sähköntuotantoon soveltuvia ratkaisuja on paljon. Kaikilla tekniikoilla on omat hyvät ja huonot puolet. Aurinkosähkö ja tuulivoima ovat ainakin jossakin määrin riippuvaisia säästä. Vesivoimaa ei voi rakentaa ilman virtaavaa vettä. Osa tekniikoista on vielä tutkimus ja kehitysvaiheessa, eivätkä ole yleisesti käytössä. Taulukossa 5 on esitetty pien-CHP-käyttöön soveltuvien tekniikoiden ominaisuuksia. Tässä työssä tutkittavaksi voimalaitostyyppiä valittiin puun kaasutukseen perustuva pien-CHP-tekniikka. Valintaan vaikuttivat seuraavat asiat:

- Pien-CHP-voimalaitos voi tuottaa kaiken tarvittavan lämpö- ja sähköenergian säästä riippumatta ja vuoden ympäri.

- Käytettävä polttoaine voidaan hankkia itse omista metsistä.
- Puun kaasutukseen ja kaasumoottoriin perustuvaa tekniikkaa on laajasti käytössä.
- Suomestakin löytyy valmistajia, joilla on hyviä referenssejä.

Taulukko 5. Pien-CHP-teknologioiden ominaisuuksia (Konttinen 2011)

Tekniikka	Tyypillinen käyttöikä (v)	Kehitysaste	Tärkein vahvuus pien-CHP-käytössä	Suurin heikkous pien-CHP-käytössä
Mikroturbiini	15	Varhaiskaupallisessa vaiheessa	Pieni huoltotarve	Polttoaineen oltava kaasumainen tai nestemäinen
Kaasu- ja dieselmoottori	15	Laajasti käytössä	Korkea sähköhyötysuhde	Verrattain suuri huollon tarve
Strirlingmoottori	15	Pilot-vaiheessa	Pieni huoltotarve	Rajallinen sähköhyötysuhde
Höyryturbiini- ja kone	15	Laajasti käytössä	Tekniikan toimivuus todettu	Sähköhyötysuhde osakuormalla
Polttokennot	1 - 5	Kehitysvaiheessa	Korkea sähköhyötysuhde	Lyhyt kestoikä
ORC-prosessi	>20	Varhaiskaupallisessa vaiheessa	Hyvä sähköhyötysuhde myös osakuormalla	Rajallinen sähköhyötysuhde

5.1 CHP-laitoksen valinta

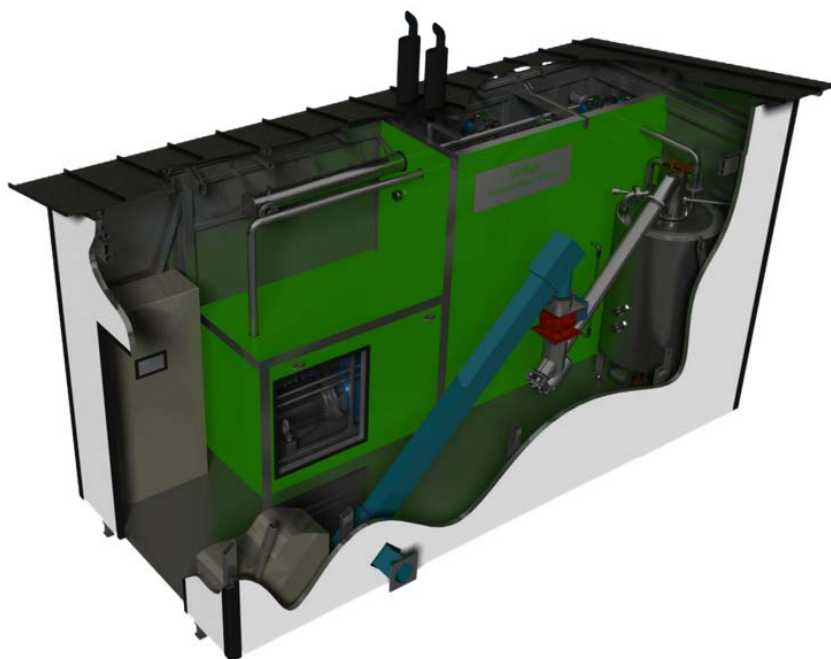
Suomen markkinoilla on tällä hetkellä vain joitakin valmistajia, joilla on referenssejä pien-CHP-laitosten toimittamisesta. Yksi näistä yrityksistä on kempeläinen Volter Oy. Volter Oy on tehnyt paljon kehitystyötä ja toimittanut vajaan kymmenen puun kaasutukseen perustuvaa pien-CHP-laitosta Suomeen ja ulkomaille. Volter Oy on tehnyt yhteistyötä Oulun alueella toimivan Oulun Sähkönmyynti Oy:n kanssa ja heidän kautta Volterin valmistamilla laiteilla valmistettua sähköä on myynnissä suoraan kuluttajille. Lähinnä näistä syistä johtuen työn tilaajat esittivät, että tässä työssä tutkittaisiin Volterin voimalaitoksen rakentamista. Volter Oy:n mallistossa on tällä hetkellä pienempi Volter 30 ja suurempi Volter 40 -omasähkölaitos. Tässä työssä tehtävien tarkempien tutkimusten kohteeksi valittiin Volter 40 -omasähkölaitos. Valinta tehtiin, koska suuremman voimalaitoksen rakennusaste on parempi ja laitoksen tehoon suhteutetut investointikustannukset on edullisemmat. Kaikki työssä tehdyt laskelmat sopivat muidenkin valmista-

jien saman kokoluokan pien-CHP-laitoksille. (Volter Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 7.4.2014; Oulun Sähkönmyynti Oy: www-sivut 2014, hakupäivä 21.1.2014.)

5.1.1 Volter 40 -omasähkölaitos

Volter 40 on konttiin rakennettu omasähkölaitos, joka tuottaa puuhakkeesta sähkö- ja lämpöenergiaa. Sähkö tuotetaan puhtaasti puuhaketta kaasuttamalla. Tätä tekniikkaa käyttämällä kahdesta kilosta kuivaa puuta on mahdollista saada yhtä paljon energiaa kuin kilosta öljyä.

Kaikki Volter 40 -omasähkölaitoksen laitteet, lukuun ottamatta polttoaineen syöttölaitteita on rakennettu yhteen noin 10 000 kg painavaan konttiin. Kontin pituus on 6 metriä, leveys on 2,5 metriä ja korkeus on 3 metriä. Kontissa on teräsrunko, ja se on päällystetty seinäelementeillä. Kontti asennetaan betonialustalle. Kuva Volterin omasähkölaitoksesta on esitetty kuviossa 5. (Volter Oy 2013; Volter Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 7.4.2014.)



Kuvio 5. Volter -omasähkölaitos (Volter Oy 9.4.2014)

Käyttö

Volter 40 -omasähkölaitoksella on tarkoitus tuottaa sähkö- ja lämpöenergiaa omaan käyttöön. Valmistaja esittää omasähkölaitoksen käyttöön neljä erilaista sähkötekniistä perusratkaisua. Erilaiset ratkaisut ja niiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Volter 40 -omasähkölaitoksen käyttötavat (Volter Oy 2014)

	Käyttötapa	Yhteys sähköverkkoon	Akusto	varavoimageraattori
1.	Omasähkölaitos	kyllä	ei	ei
2.	Itsenäinen saareke ja varavoima	ei	kyllä	kyllä
3.	Omasähkölaitos ja varavoima	kyllä	ei	kyllä
4.	Omasähkölaitos tai itsenäinen saareke	kyllä/ei	kyllä	ei

Yleiseen sähköverkkoon liitetyistä omasähkölaitoksista vain tavalla 1 toteutettu omasähkölaitos pysähtyy, jos yleisessä sähköverkossa tapahtuu sähkökatko. Tapa 2 on normaali saarekekäyttö. Ratkaisu on täysin yleisestä sähköverkosta erikseen toimiva saareke. Ratkaisu 3 toimii sähköverkon rinnalla, mutta muuttuu sähkökatkon sattuessa itsenäiseksi saarekkeeksi diesel-generaattorin avulla. Ratkaisussa 4 on liitäntä yleiseen sähköverkkoon, mutta akuston avulla sähkönsyöttö ei ole riippuvainen yleisen sähköverkon tilasta. (Volter Oy 2013.)

Tekninen kuvaus

Volter 40 -omasähkölaitoksen toiminta perustuu puuhakkeen kaasutukseen myötävirta-kaasuttimessa, puukaasu käytetään polttoaineena kaasumoottorissa, joka pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Lämpöä saadaan kaasumoottorin jäädytyksestä ja pakokaasuista. Volter 40 -omasähkölaitos tuottaa sähköä 40 kilowatin teholla ja lämpöä 100 kilowatin teholla, joten kaavalla 1 rakennusasteeksi saadaan 0.4.

Polttoaine

Volter 40 -omasähkölaitoksen kaasuttimen polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi rangoista tehtyä sekapuuhaketta. Polttoaineen on oltava laadultaan tasakokoista ja sen kosteuden on oltava alle 18 %. Volter Oy:n antamien tietojen mukaan polttoaineen laadun merkitys korostuu pienissä laitoksissa. Hyvälaatuisella polttoaineella saavutetaan puhdas kaasu ja yksinkertainen prosessi. Käytettävän polttoaineen kuivaukseen on mahdollista käyttää laitoksen itse tuottamaa lämpöenergiaa. Volter 40 -

omasähkölaitoksen hakkeen kulutus täydellä teholla on noin 4,5 irtokuutiometriä vuorokaudessa, kun hakkeen kosteusprosentti on 18 %. Polttoaineen syöttö kaasutukseen toteutetaan kontin ulkopuolisesta varastosiihosta jousipurkaimen-, ruuvin-, ketjukuljetin tai lokerosyöttimen avulla. (Volter Oy 2013.)

Kaasutus

Kaasutuksessa puuhake muunnetaan korkeassa lämpötilassa vähähappisissa olosuhteissa kaasuseokseksi, jota kutsutaan tuotekaasuksi. Kaasutettava polttoaine syötetään reaktorin yläosaan, jossa se esilämmitetään ja syötetään polttoainetilaan. Samalla pyrolyysivyöhykkeen keskelle johdetaan paloilmaa. Pyrolyysivyöhykkeellä lämpötila liikkuu 900 °C ja 1200 °C välillä. Hake hiiltuu ja kaasuuntuu lopulta tuotekaasuksi. Volter 40 omasähkölaitoksen kaasuttimessa muodostuva tuotekaasu sisältää noin 45 % palavia kaasuja. Syntyneen kaasun pitoisuudet ovat noin 25 % hiilimonoksidia, 18 % vetyä ja 2 % metaania. Kaasutuksessa syntynyt tuhka poistetaan kaasuttimen alaosasta. (Korva 2012, 16 - 17; Volter 2014.)

Kaasuttimessa syntyneen tuotekaasun lämpötila on noin 500 °C. Kaasu jäähdytetään suodatuslämpötilaan, joka on 200 °C. Jäähdytyksen jälkeen kaasusta suodatetaan pois hieno noki ja muut hiukkaset. Kaasun suodatuksessa käytetään kangassuodatinta. Kangassuodatin on huollettava noin kerran viikossa. Volter Oy:n teettämän tutkimuksen mukaan kaasun tervapitoisuudet ovat erittäin alhaisia. Tutkimuksen teki VTT vuonna 2012. Suodatuksen jälkeen kaasu jäähdytetään toisen kerran. Kaasua jäähdytettäessä syntyvä lämpöenergia otetaan talteen lämmöntalteenotolla edelleen hyödynnettäväksi. Kaasutuksen lopputuloksena saatavan puhtaan tuotekaasun lämpötila on noin 50 °C.

Sähkön- ja lämmöntuotanto

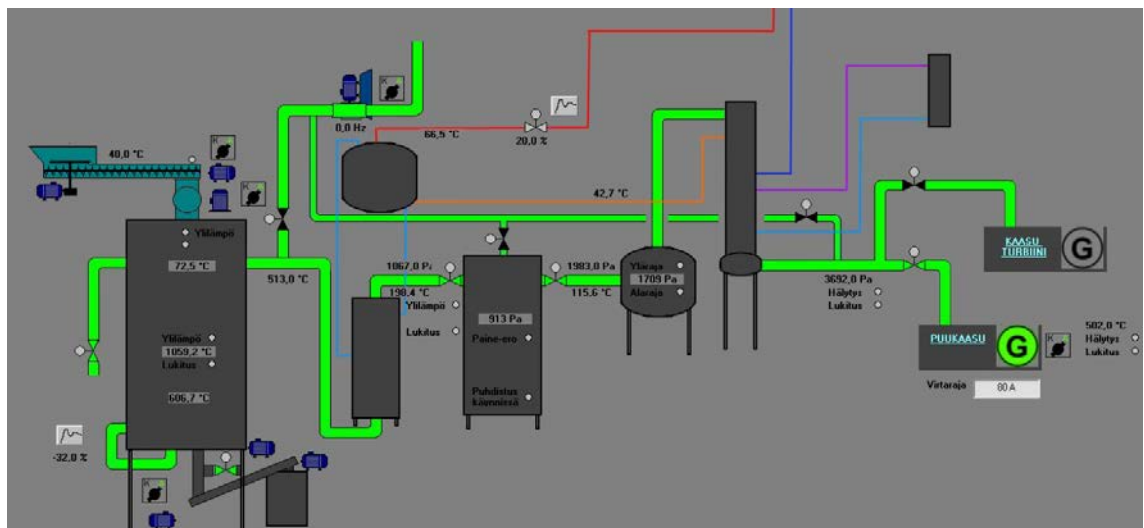
Volter 40 -omasähkölaitoksessa valmistettu puukaasu käytetään 6-sylinterisen Agco Sisu Power -kaasumoottorin polttoaineena. Moottori pyörittää generaattorina toimivaa oikosulkumoottoria. Oikosulkumoottori tuottaa sähköenergian, joka syötetään verkkoon erillisen verkkoonsyöttöyksikön avulla. Verkkoonsyöttöyksikkö katkaisee sähkönsyötön, jos verkossa tai voimalaitoksessa tapahtuu häiriöitä. Sähköverkkoon syötetyn ja

verkosta mahdollisesti käytetyn sähköenergianmittaukset tehdään nykyaikaisella älykällä mittarilla. (Korva 2012, 18; Volter Oy 2014.)

Omasähkölaitoksen automaatio

Volter 40 omasähkölaitoksen toimintaa ohjaa Schneider electricin valmistama ohjelmoitava logiikka. Normaali tilanteessa omasähkölaitoksen toiminta on automaattista. Häiriötilanteissa laitoksen automaatio voi antaa hälytyksen GSM-yhteyden avulla. Laitoksen etävalvontaa voidaan suorittaa Internet-yhteyden avulla.

Volter omasähkölaitoksen prosessikaavio on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Prosessikaavio (Volter Oy 2014)

Liitännät

Volter 40 omasähkölaitosta asennettaessa siihen kytketään seuraavat liitännät:

- sähkökaapeli
- lämpökanaali
- laajakaista
- GSM-liittymä.

Sähkökaapelia käytetään omasähkölaitoksen käyttöön tarvittavan ja laitoksella tuotetun sähköenergian siirtämiseen. Sähkökaapelin ja sen asennusten on oltava asetusten mukainen ja sen on pystyttävä siirtämään laitoksen tuottama sähköenergia kokonaan. Lämpökanaali tarkoittaa sitä putkistoa, jolla laitoksen tuottama lämpöenergia siirretään

energian käyttöpaikoille. Lämpökanaalin on pystyttävä siirtämään kaikki laitoksen tuottama lämpöenergia. Omasähkölaitoksen automaatio tarvitsee laajakaista- ja GSM-liittymiä. (Volter Oy 2013; Volter Oy 2014.)

Yhteenvedona Volter 40 -omasähkölaitoksen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Volter 40:n teknisiä tietoja (Volter Oy 2014)

Malli	Volter 40
Polttoaine	Puuhake (koivu, mänty, kuusi, haapa)
Kosteus	<18%
Partikkelikoko:	8 mm ≤ P ≤ 50 mm, hienoaines (<3,15mm) <1%, all <63 mm
Laitoksen rakenne	Teräsrunko, verhous pelti-villa-pelti -elementeillä
Väri	Runko harmaa, verhous sopimuksen mukaan
Polttoaineen syöttö	Jousipurkain, ruuvi- ja ketjukuljettimet, lokerosyötin
Moottori:	Agco Sisu Power, 6-cyl
Teho:	Generaattoriteho 40 kW, lämpöteho 100 kW
Oma sähkönkulutus	Oma sähkönkulutus n. 1,5 - 2,5 kW
Polttoaineen kulutus	n. 4,5 m ³ haketta/24h 100 %:n teholla
Automaatio:	Schneider electric PLC, GSM -hälytykset, etävalvonta
Liitännät:	Sähkökaapeli, lämpökanaali, Internet-yhteys, GSM-liittymä
Asennus:	Betoni tms. routimaton alusta
Tuhkanpoisto:	Automaattinen tuhkanpoisto
Max. Käyttöaste/a	7 000h
Huolto:	1,5 h/viikko
Muuta:	Tyypillinen lämpöverkon menolämpötila +65 - +75 °C, paluu +35 - +45 °C

5.1.2 Volter 40 -omasähkölaitoksen vuosituotanto

Voimalaitoksen vuosituotannon selvittämiseksi tehtiin Excel-tilaus (taulukko 8), jolla voidaan helposti tutkia voimalaitoksen tuottamia vuotuisia lämpö- ja sähköenergiämääriä erilaisilla käyttöasteilla. Taulukon alkuarvoiksi on määriteltävä voimalaitoksen nimellinen kokonaisteho (kW), sähkön- ja lämmöntuotanto tehot (kW), vuotuinen käyttöaste (%) ja vuotuinen keskiteho (%).

Taulukkoon laskettiin Volter 40 -omasähkölaitoksen tuottama energia yhden vuoden aikana. Volter 40 -omasähkölaitoksen sähköntuotantoteho on 40 kilowattia ja lämmöntuotantoteho 100 kilowattia, keskitehona käytettiin 80 prosenttia ja vuotuisesti käyntiasteeksi oletettiin 83 prosenttia, mikä vastaa noin 10 kuukautta vuodesta. Näillä tiedoilla Volter 40 -omasähkölaitos tuottaisi yhteensä 581 664 kWh:a lämpöenergiaa ja

232 666 kWh:a sähköenergiaa yhden vuoden aikana. Nämä energiamäärät ovat karkeasti kaksi kertaa suurempia, kuin aikaisemmin tässä työssä arvioidut kiinteistöjen tulevaisuuden energian kulutusmäärät.

Taulukko 8. Volter -omasähkölaitoksen vuosittainen tuotanto

Volter 40 omasähkölaitoksen tehot		
Teho (kW)	Sähkäteho (kW)	Lämpöteho (kW)
140	40	100
Käyttö vuoden aikana		
käyttöaika (h)	käyttöaste (%)	keskiteho (%)
7 271	83 %	80 %
Volter 40 laitoksen tuottama energia vuoden aikana		
Sähkö (kWh)	Lämpö (kWh)	
232 666	581 664	

5.2 Ylimääräisen energian käyttö

Edellisten laskutoimenpiteiden jälkeen tehtiin taulukko 9. Taulukossa laskettiin yhteen kaikki tulevaisuuden vuotuiset energiankulutukset ja vähennettiin ne CHP-laitoksen vuotuisesta energiantuotannosta. Tulokseksi saatiin, että Volter 40 -omasähkölaitos tuottaisi 107 864 kWh:a ylimääräistä lämpöenergiaa ja 96 564 kWh:a ylimääräistä sähköenergiaa. Taulukossa on huomioitu, että omasähkölaitoksen tuottamalla lämpöenergialla kuivattaisiin haketta. Hakkeen kuivatus tehtäisiin erillisellä hakekuivurilla. Volter 40 omasähkölaitoksen vuodessa käyttämän hakemäärän kuivaukseen tarvitaan lämpöenergiaa 250 000 kWh:a. Yritysten tulevaisuuden visioissa kiinteistöjen alueelle voitaisiin hankkia runsaasti lämpöenergiaa kuluttavaa toimintaa, jotta sähköenergiaa pystytäisiin tuottamaan jatkuvasti vuoden ympäri. (Huikuri & Okkonen 2012, 12; Laaksolinna 15.4.2014, haastattelu; Myllynen 16.4.2014, haastattelu.)

Taulukko 9. Vuotuinen energiankulutus ja -tuotanto

	Sähköenergia (kWh)	Lämpöenergia (kWh)
Kiinteistö A	17 460	51 700
Kiinteistö B	43 320	51 700
Laajennukset	60 780	103 400
Putkistojen häviöt		17 000
Hakkeen kuivaus		250 000
Volter 40 kulutus	14 542	
Kulutus yhteensä	136 102	473 800
Volter 40 tuotanto	232 666	581 664
Ylimääräinen energia- tuotanto yhteensä	96 564	107 864

5.3 Laitoksen sijoitus

Lämpö- ja sähköenergian siirtoon tarvittavien putkitusten ja kaapelointien takia CHP-voimalaitoksen sijoituspaikaksi valittiin paikka toisen jo olemassa olevan rakennuksen takana. Sijoituspaikka on esitetty kuvassa 5. Alueelle tulevaisuudessa rakennettava kolmas rakennus sijoittuisi nykyisten kiinteistöjen viereiselle vielä rakentamattomalle tontille.



Kuva 5. Laitoksen suunniteltu sijoituspaikka (Retkikartan www-sivut 2014; hakupäivä 22.4.2014.)

Lämmönjakoputkistot

Lämpöenergian jakelu chp-laitokselta kiinteistöille tehdään maahan upotetuilla lämmönjakoputkilla. Lämmönjakoputkea asennetaan yhteensä 200 metriä. Lämmönjakoputkena voidaan käyttää esimerkiksi yhtä meno- ja paluuvirtausputket sisältävää lämpöeristettyä muoviputkea. Lämmönjakoputkien vuotuiset lämpöhäviöt arvioitiin ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelman D5 taulukon 6.1 (kuvio 7) ohjearvojen mukaan. Rakennuksen lämmönjakoputken vuotuinen ominaislämpöhäviö ulos on 85 kWh/m a, kun käytetään eristettyä putkea ja se on asennettu maahan. Yhteensä 200 metrin matkalla lämpöenergiaa kuluu häviöihin 17 000 kWh. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012)

Taulukko 6.1 Lämmittämättömässä tilassa olevien lämmönjakoputkien ominaislämpöhäviön ohjearvoja.

Rakennustyyppi	Jakoputkien sijoitus	Vuotuinen ominaislämpöhäviö ¹⁾
		$Q_{\text{jakeluhäviöt, ulos}}$ kWh/(m a)
Pientalo ²⁾	Jakoputket maassa	
	-eristetty	60
	Jakoputket puolilämpimässä tilassa⁴⁾	
	-eristämätön	150
	-eristetty	25
	Jakoputket ulkoilmassa	
	-eristetty	35
Muu rakennus ³⁾	Jakoputket maassa	
	-eristetty	85
	Jakoputket puolilämpimässä tilassa⁴⁾	
	-eristämätön	250
	-eristetty	30
	Jakoputket ulkoilmassa	
	-eristetty	50

¹⁾ Määritetty lämmönjakoverkoston mitoituslämpötiloilla 70/40 °C.

²⁾ Määritetty putkikoolla DN20.

³⁾ Määritetty putkikoolla DN40.

⁴⁾ Puolilämpimän tilan lämpötila 15 °C.

Kuvio 7. Rakentamismääräyskokoelman D5 taulukko 6.1 (D5 suomen rakentamismääräys kokoelma 2012)

Liityntä sähkönjakeluverkkoon

Alueen sähkönjakeluverkon omistaa Haukiputaan Sähköosuuskunta. Jakeluverkkoyhtiön edustajan arvion mukaan tämän kokoluokan CHP-laitoksen sijoittamiseksi kyseiseen paikkaan ei ole esteitä. CHP-laitoksen lopullisen sijoituspaikan varmistuessa liittymisjohdon sopivuus on kuitenkin tarkistettava. Kiinteistön liittymisjohto on tällä hetkellä

tyypiltään AXMK 4x50S. Liittymisjohdon pituus on 109 metriä. Liittymisjohdon päästä muuntajalle kaapelia on 96 metriä. Kiinteistöjä syöttää 0,4/20 kV:n jakelumuuntaja, jonka teho on 315 kVA. Kyseisen jakelumuuntajan takana ei ole muita sähkökuluttajia, kuin nämä kaksi kiinteistöä. Tästä johtuen mahdollisissa voimalaitoksen vikatilanteissa sähkönlaadussa tapahtuvat muutokset eivät välity kauas. (Ikonen 2014.)

Jakeluverkkoyhtiön edustajan muistin mukaan Haukiputaan alueella ei ole vielä vastaavia sähkönpientuottajia. Jakeluverkkoyhtiö toimitti pyynnöstä materiaalia, joka liittyi pien- ja mikrotuotannon sähköverkkoon liittämiseen. Sähköntuotantolaitoksen sähköverkkoon liittämässä ja sähkön syötössä valtakunnanverkkoon on toimittava lakien, asetusten ja säännösten mukaisesti. Jakeluverkkoyhtiö toimitti seuraavat Energiateollisuus ry:n suosittelemat ohjeet, ehdot ja suositukset:

- Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09
- Mikrotuotantolaitoksen liittäminen verkkoon, yleistietolomake
- Sähköntuotannon liittämisehdot TLE11
- Sähköntuotannon verkkopalveluehdot TVPE11
- Verkkopalveluehdot VPE 2010
- Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, nimellisteholtaan alle 50 kVA laitoksen liittäminen.

Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon on kattava opas. Oppaassa käsitellään esimerkiksi laitoksen erottaminen ja työturvallisuus, sähkönlaatu, laitoksen kytkeytyminen verkkoon ja sen irtoaminen verkon vikatilanteissa. Mikrotuotannon yleistietolomakkeella jakeluverkkoyhtiö kerää tuotantolaitoksesta tarvittavaa tietoa. Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho. Yleistietolomakkeessa on kerrottava, minkä teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset verkkoonliittä-laitteen suojausasettelut ja irtikykytymisajat tuotantolaitteisto täyttää. Yleistietolomakkeessa on vakuutettava, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon jakeluverkonhaltijalla on esteetön pääsy. Lisäksi allekirjoittanut takaa, että liittymän sähkökeskuksilla on varoituskylyt takasyöttövaarasta ja opastus irtikytkemiselle. Yleistietolomake on liitteenä tässä opinnäytetyössä. (Energiateollisuus ry 2011; Liite 1; Kiviaho 2014.)

Kiinteistöille asennetaan uudet voimalaitokselta tulevat sähkön syöttökaapelit. Kaapelit asennetaan lämpöjohdon kanssa samaan kaivantoon. Kiinteistöjen sähköpääkeskukset sijaitsevat kiinteistöjen etuosissa, joten sähkökaapelia tarvitaan yhteensä 240 metriä.

5.4 CHP-laitoksen kustannukset

5.4.1 Investoinnin kustannukset

Volter Oy on ilmoittanut 4.12.2013 Volter 40 -omasähkölaitoksen hinnaksi 179 000 euroa. Hinta sisältää voimalaitoksen yhtenä konttina, ilman ulkovuorausta. Vaadittavista maanrakennus-, sähköistys- ja putkitustyöstä pyydettiin tarjous 15.4.2014 Molarum Oy:ltä. Tarjous pyydettiin seuraavilla tiedoilla:

- perustukset ja betonilaatta (6m x 2,5m)
- tarvittavat maat ja maatyöt
- aluelämpöputket asennettuna (200 metriä)
- sähkökaapelit asennettuna (240 metriä).

Molarum Oy antoi tarjouksen CHP-laitoksen vaatimista maanrakennus-, sähköistys- ja putkitustyöstä. Tämä tarjous oli 8 650 euroa. Betonilaatasta antoi tarjouksen Pohjois-Suomen perustuspalvelu Oy. Tarjous betonilaatasta oli 1 900 euroa. Molempien yritysten tarjoukset hinnat sisälsivät arvonlisäeron, joten verot vähennettiin laskennassa. Omasähkölaitoksen investoinnin kustannukset ovat yhteensä 187 018 euroa (taulukko 10). Kustannuksissa ei ole huomioitu hakkeen säilytykseen tarvittavaa siiloa tai muuta rakennusta. (Haapakoski 2013; Molarum Oy 2014.)

Taulukko 10. Investoinnin kustannukset

Volter 40 -omasähkölaitos	179 000
Maanrakennus-, sähköistys ja putkitustyöt	6 574
Betonilaatta	1 444
Yhteensä	187 018

5.4.2 Toimintakustannukset

Toimintakustannukset koostuvat investoinnin lainan lyhennyksistä, polttoaineen hankintakustannuksista sekä huolto-, korjaus- ja käyttökustannuksista Tietoa Volter 40 -omasähkölaitoksen huollontarpeesta ja niiden kustannuksista pyydettiin laitoksen valmistajalta. Valmistaja ilmoitti vuotuisiksi huollontarpeeksi 100 tuntia. Viikoittain tehtäviin huoltoihin tarvitaan aikaa noin 1,5 tuntia. Vuotuisiksi huolto- ja korjauskustannuksiksi arvioitiin 2000 euroa. (Haapakoski 7.4.2014, sähköpostiviesti.)

Laitoksen käyttöön hankittavan polttoaine ostetaan aluksi sopivalta toimittajalta. Valmistajan mukaan Volter 40 -omasähkölaitoksen hakkeenkulutus täydellä teholla ajettaessa on 4,5 i-m³, kun hakkeen kosteus on 18 %. Hakkeen kosteusprosentti vaikuttaa polttoaineen kulutukseen, koska hakkeen energiasisältö kasvaa kosteuden pienentyessä. Taulukosta 11 nähdään, miten kosteuden muutos vaikuttaa hakkeen energiasisältöön. Taulukossa on esitetty saapumistilanteisen polttoaineen teholliset lämpöarvot eri kosteuksissa. Taulukossa hakkeen tehollisena lämpöarvona on käytetty 19,6 MJ/kg, joka vastaa harvennusten kokopuuhakkeen arvoa männylle. (Hakonen & Laurila 2011, 11.)

Taulukko 11. Hakkeen energiasisältö ja kosteus (Hakonen & Laurila 2011)

Polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa (%)	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (kWh/kg)
55	7,48	2,08
50	8,58	2,38
45	9,68	2,69
40	10,78	3,00
35	11,89	3,30
30	12,99	3,61
25	14,09	3,92
20	15,19	4,22
15	16,29	4,53
10	17,40	4,83
5	18,50	5,14
0	19,90	5,44

Puun kosteusprosentti on usein jopa 40 prosenttia. Aurinkoa käyttäen voidaan puun kosteus laskea noin 25 prosenttiin. Sen jälkeen kuivatusta on tehtävä koneellisesti, että sopiva kosteus saavutetaan. Hakkeen kuivatus vie paljon lämpöenergiaa, mutta hakkeen energiasisällön kasvun ansiosta haketta poltettaessa vapautuu enemmän energiaa. (Hakonen & Laurila 2011; Huikuri & Okkonen 2012, 12.)

Tarjouspyyntö sopivan metsähakkeen toimituksesta jätettiin L&T Biowatti Oy:lle. Suoraa tarjousta ei kuitenkaan saatu, joten ostettavan polttoaineen hinnaksi arvioitiin 20 €/i-m³. Myöhemmässä vaiheessa polttoaine on tarkoitus tehdä itse käyttämällä omista metsistä saatavaa energiapuuta. Omista metsistä tehtävä hake voidaan tehdä edullisesti. (Laaksolinna 15.4.2011, haastattelu.)

6 INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

6.1 Taulukkotyökalun esittely

CHP-laitoksen kannattavuuden arvioimiseksi tehtiin Excel-tilaukkotyökalu. Työkalu on tarkoitettu työn tilaajien käyttöön tulevaisuutta varten. Taulukkotyökalun avulla voidaan tutkia investoinnin kannattavuutta erilaisissa tilanteissa. Kaikki taulukossa olevat hinnat ja kustannukset ovat verottomia. Taulukkoon määritellään investoinnin hankinta- ja toimintakustannukset. Taulukkoon määriteltävät muuttujat on korostettu tummalla värillä, taulukon käytön helpottamiseksi.

Investointikustannuksissa määritellään investoinnin rahoitus. Taulukkoon määritellään pankkilainan, oman pääoman ja mahdollisen energiatuen määrät. Taulukko olettaa, että pankkilainan tyyppi on tasaerä- eli annuiteetilaina. Tasaerälainaa maksetaan takaisin aina samansuuruisina maksuerinä, jotka sisältävät sekä lainapääoman lyhennyksen, että korkokulut. Koron muuttuessa laina-aikana maksuerä pysyy samana, mutta maksuaika muuttuu. Tasaerän eli annuiteetin laskeminen tehdään seuraavalla kaavalla:

$$A = \frac{\left(\frac{p}{100 \cdot m}\right)^n \cdot \frac{p}{100 \cdot m}}{\left(\left(1 + \frac{p}{100 \cdot m}\right)^n - 1\right)} * N \quad (3)$$

missä A = tasaerä eli annuiteetti

N = lainan suuruus

p = vuotuinen korkokanta

n = maksuerien lukumäärä

m = maksuerien määrä vuodessa. (Häkkinen 2002; Finanssivalvonta 2014).

Taulukkoon määritellään investoinnin kokonaismäärä, mahdollinen omapääoma ja energiatuki, vuotuinen korkoprosentti, lainan takaisinmaksuaika ja vuotuinen maksuerien määrä.

Taulukkoon määritellään voimalaitoksen keskiteho ja vuotuinen käyttöaika, niistä taulukko laskee vuodessa tuotetut sähkö- ja lämpöenergiämäärät. Keskiteho määritellään prosentteina ja käyttöaika kuukausina. Taulukkoon määritellään myös polttoaineen hinta ja vuotuiset huolto- ja korjauskustannukset. Vuotuinen polttoaineen kulutus määräytyy voimalaitoksen tehon, käyttöajan ja polttoaineen kosteuden perusteella. Lisäksi taulukkoon määritellään itse käytetty ja myyty sähkö- ja lämpöenergia, sekä niistä saatavat hinnat. Kaikki kustannukset ja hinnat ilmoitetaan ilman arvonlisä- ja sähköveroa.

6.2 Investoinnin kannattavuus

Aikaisemmassa kohdassa määriteltiin oman pien-CHP-voimalaitoksen investoinnissa syntyvät kustannukset. Kustannukset olivat yhteensä 187 018 euroa. Tässä raportissa esitellään kaksi erilaista oman pientuotantolaitoksen käyttötilannetta. Molemmissa tilanteissa oma energiankulutus vastaa taulukossa 9 esitettyjä vuosikulutuksia.

6.2.1 Kannattavuus tilanteessa 1

Ensimmäisessä tilanteessa taulukkoon määriteltiin, että investoinnin kustannukset kateetaan kokonaan pankkilainalla. Lainaa otetaan 187 018 euroa, laina-aika on 10 vuotta ja vuotuinen korko on 4 prosenttia. Voimalaitoksen vuotuiseksi keskitehoksi määriteltiin 80 prosenttia ja käyttöajaksi 10 kuukautta. Hakkeen hinnaksi määriteltiin 20 €/m³. Taulukkoon määriteltiin, että omasta sähkönkulutuksesta maksetaan 0,09 €/kWh ja lämmönkulutuksesta 0,04 €/kWh. Lisäksi määriteltiin, että verkkoon syötetystä sähköenergiasta saataisiin 0,035 €/kWh. Ylimääräiselle lämmölle ei määritelty käyttökohdetta tai hintaa. Tämän laskelman tuloksena on, että voimalaitoksen tulos jää vuodessa 11 953 euroa miinukselle. Toiminta määritellyillä arvoilla ei ole taloudellisesti kannattavaa. Taulukkotyökalu määritellyillä arvoilla täytettynä on taulukossa 12. (Pietarila 14.4.2014, sähköpostiviesti.)

Taulukko 12. Kannattavuus tilanteessa 1

Investoinnin rahoitus		Energiankulutus ja -myynti	
Investoinnin kokonaiskustannukset	187 018 €	Itse käytetty energia	
Pankkilaina	187 018 €	Sähköenergia	136 102 kWh/a
Omapääoma	0 %	Sähköenergianhinta	0,090 €/kWh
Tuet (esim. energiatuki)	0 %	Lämpöenergia	473 800 kWh/a
		Lämpöenergian hinta	0,040 €/kWh
Tasaeläina			
		Ylimääräinen energia	
Lainan määrä (N)	187 018 €	Sähköenergia	96 564 kWh/a
Vuosikorko (p)	4 %	Sähköenergianhinta	0,035 €/kWh
Maksuaika	10 vuotta	Lämpöenergia	107 864 kWh/a
Maksuerää vuodessa (m)	12 kpl	Lämpöenergian hinta	0,000 €/kWh
Maksuerät yhteensä (n)	120 kpl		
Maksuerän suuruus (A)	1 893 €	Toimintakustannukset	
Korot yhteensä	40 198 €		
Laina korkoinen	227 216 €	Kustannukset	
		Lainan lyhennykset	22 722 €
Volter 40 omasähkölaitoksen käyttö		Polttoaineen hankinta	21 812 €
		Huolto, korjaus ja käyttö	2 000 €
Vuotuinen keskiteho	80 %	Kulut yhteensä	46 534 €
Vuotuinen käyttöaika	10 kk/a		
	7 271 h/a	Saatavat tulot	
		Sähköenergian myynti	15 629 €
Käytetty polttoaine määrä	1 091 i-m ³	Lämpöenergian myynti	18 952 €
Polttoaineen hinta	20,0 €/i-m ³	Tulot yhteensä	34 581 €
Vuotuiset huolto-, korjaus- ja käynnissäpitokustannukset	2 000 €/a	Tulos menojen jälkeen	-11 953 €
Volter 40 omasähkölaitoksen tuotanto			
Sähköenergian tuotto	232 666 kWh/a		
Lämpöenergian tuotto	581 664 kWh/a		

6.2.2 Kannattavuus tilanteessa 2

Toisessakin tilanteessa taulukkoon määriteltiin, että investoinnin kustannukset katetaan kokonaan pankkilainalla. Lainaa otetaan 187 018 euroa, laina-aika on 10 vuotta ja vuotuinen korko on 4 prosenttia. Voimalaitoksen vuotuiseksi keskitehoksi määriteltiin 90 prosenttia ja käyttöajaksi 12 kuukautta. Ajateltiin, että hake tehdään itse omista metsistä joten se on edullisempaa. Itse tehdyn metsähakkeen hinnaksi määriteltiin 12 €/i-m³. Hinta sisältää sopivan energiapuun hankinnan omista metsistä, haketuksen, varastoinnin ja kuljetukset. Määriteltiin, että omasta sähkökulutuksesta maksetaan 0,09 €/kWh ja lämmönkulutuksesta 0,04 €/kWh. Lisäksi määriteltiin, että verkkoon syötetystä sähköenergiasta saataisiin 0,035 €/kWh ja ylimääräinen lämpöenergia myytäisiin esimerkiksi

naapuriin hintaan 0,04 €/kWh. Tämän laskelman tuloksena on, että voimalaitoksen tulos vuodessa on 7 599 euroa. Tuloksesta voidaan päätellä, että omasähkölaitoksen toiminta on kannattavaa alusta lähtien, jos hake tehdään itse ja ylimääräinen lämpöenergia voidaan myydä. Taulukkotyökalu määritellyillä arvoilla täytettynä on taulukossa 13. (Huihuri & Okkonen 2012, 15.)

Taulukko 13. Kannattavuus tilanteessa 2

Investoinnin rahoitus		Energiankulutus ja -myynti	
Investoinnin kokonaiskustannukset	187 018 €	Itse käytetty energia	
Pankkilaina	187 018 €	Sähköenergia	136 102 kWh/a
Omapääoma	0 %	Sähköenergianhinta	0,090 €/kWh
Tuet (esim. energiatuki)	0 %	Lämpöenergia	473 800 kWh/a
		Lämpöenergian hinta	0,040 €/kWh
Tasaeläina			
		Ylimääräinen energia	
Lainan määrä (N)	187 018 €	Sähköenergia	179 258 kWh/a
Vuosikorko (p)	4 %	Sähköenergianhinta	0,035 €/kWh
Maksuaika	10 vuotta	Lämpöenergia	314 600 kWh/a
Maksueriä vuodessa (m)	12 kpl	Lämpöenergian hinta	0,040 €/kWh
Maksuerät yhteensä (n)	120 kpl		
Maksuerän suuruus (A)	1 893 €	Toimintakustannukset	
Korot yhteensä	40 198 €		
Laina korkoinen	227 216 €	Kustannukset	
		Lainan lyhennykset	22 722 €
Volter 40 omasähkölaitoksen käyttö		Polttoaineen hankinta	17 739 €
		Huolto, korjaus ja käyttö	2 000 €
Vuotuinen keskiteho	90 %	Kulut yhteensä	42 461 €
Vuotuinen käyttöaika	12 kk/a		
	8 760 h/a	Saatavat tulot	
		Sähköenergian myynti	18 523 €
Käytetty polttoaine määrä	1 478 i-m ³	Lämpöenergian myynti	31 536 €
Polttoaineen hinta	12,0 €/i-m ³	Tulot yhteensä	50 059 €
Vuotuiset huolto-, korjaus- ja käynnissäpitokustannukset	2 000 €/a	Tulos menojen jälkeen	7 599 €
Volter 40 omasähkölaitoksen tuotanto			
Sähköenergian tuotto	315 360 kWh/a		
Lämpöenergian tuotto	788 400 kWh/a		

6.3 Herkkyystarkastelu

Taulukkotyökalun avulla tutkittiin lukuisia erilaisia investoinnin takaisinmaksu- ja käyttötilanteita. Kannattavuuteen vaikuttaa monta erilaista muuttujaa. Rahoitus ja sen hinta vaikuttavat merkittäväksi siihen, milloin toiminta muuttuu kannattavaksi vuosittain tarkasteltuna. Valmistaja ilmoittaa Volter 40 -omasähkölaitoksen laskennalliseksi käyt-

töiäksi 15 vuotta, joten esimerkiksi 10 vuoden laina-ajan jälkeen on voimalaitoksella vielä viisi vuotta aikaa tehdä tulosta.

Voimalaitoksen toimintakustannuksiin vaikuttaa suoraan voimalaitoksen vuotuinen keskiteho ja käyttöaika. Jos voimalaitos ei käy ollenkaan, niin polttoainetta ei kulu. Myöskään energiantuotantoa ei ole ja toiminta on vain rahoituskulujen verran tappiollista. Kustannuksia alkaa muodostua heti, kun laitoksen käyttö aloitetaan. Tämä johtuu polttoaineen hankintakustannuksista. Sen jälkeen, kun energiantuotantoa alkaa syntyä, voidaan investoinnin rahoitus- ja toimintakustannuksia kattaa myymällä tuotettua energiaa. Energian myynnistä saatava tulos riippuu energiasta saatavasta hinnasta. Tätä sähkö- ja lämpöenergian myyntihintojen raja-arvoa tutkittiin energiantuotannon kannattavuuden näkökulmasta taulukkotyökalun avulla.

Tilanteessa, jossa omasähkölaitosta ajetaan noin 12 kuukauden ajan 80 prosentin keskiteholla, laitos tuottaa sähköenergiaa 280 310 kWh:a ja lämpöenergiaa 700 800 kWh:a. Toimintakulut on määritelty 15 vuoden laina-ajalla, 4 prosentin vuosikorolla ja hakkeen hinnan ollessa 20 €/m³. Tässä tilanteessa kannattavaan vuosittaiseen tulokseen päästään, jos kaikesta tuotetusta sähkö- ja lämpöenergiasta saadaan keskiarvona 0,046 €/kWh. Tällä hetkellä sähköenergiaa ostavat yhtiöt maksavat sähköenergiasta noin 0,035 €/kWh. Huomioitavaa on, että yrityksen maksavat tällä hetkellä käytetystä sähköenergiasta 0,09 €/kWh ja lämpöenergiasta 0,0549 €/kWh, kuten tässä työssä aikaisemmin esitettiin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Suomen pohjoinen sijainti vaatii, että erilaisen tilojen lämmitykseen tarvitaan paljon energiaa. Usein pelkän lämmityksen vaatima lämmöntarve jakautuu kuitenkin epätasaisesti vuoden ympäri. CHP-tuotannon kannalta olisi tärkeää, että energiankulutus olisi tasaista, jotta laitoksella voidaan tuottaa mahdollisimman paljon energiaa. Suuri käyttöaste takaa investoinnille järkevän takaisinmaksuajan.

Putaan logistiikkapalvelut Oy:n ja Hirrex Oy:n on taloudellisesti kannattavaa investoida omaan pien-CHP-laitokseen, jos tuotetulle sähkö- ja lämpöenergialle on käyttöä ja käytöstä saadaan riittävä korvaus. Kannattavuuden saavuttamiseksi vaadittu korvaus muuttuu laitoksen ajomallin ja toimintakustannusten mukaisesti. Laitoksella tuotettu sähköenergia pystytään myymään yritysten muihin kohteisiin esimerkiksi Oulun Sähkönmyynti Oy:n tarjoaman Farmivirta tuotteen avulla. Farmivirta tuotteen avulla myytävän sähköenergian myyntihinta pystytään määrittelemään itse. Yritysten energiaomavaraisuus paranee merkittävästi, jos oman pien-CHP-laitoksen polttoaineena voidaan käyttää itse tehtyä metsähaketta.

Tavoitteeni oli antaa yrityksille tietoa oman sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen rakentamisesta ja investoinnin kannattavuudesta. Työn tavoitteet saavutettiin ja tehtyjen tutkimusten, selvitysten ja laskentatyökalun avulla tilannetta on helppo arvioida myöhemmin uudelleen. Tulevaisuudessa olosuhteet ja tilanteet kuitenkin muuttuvat. Sähkön markkinahinta voi nousta, mikä parantaa välittömästi laitoksen kannattavuutta. Uskoisin, että tämä opinnäytetyö auttaa tulevaisuudessa, kun yritykset tekevät päätöksiä esimerkiksi uusien tilojen rakentamisesta ja niiden energiahuollosta.

LÄHTEET

- Aaltonen, Jenni & Ukkonen, Juuso 2008. Pienet alle 4 MW yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto mahdollisuudet. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta.
- D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Ympäristöministeriön ohjeet rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto
- Energiateollisuus ry 2011. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon, Verkostosuositus YA9:09.
- Energiateollisuus ry 2014. Mikrotuotannon yleistietolomake verkonhaltijoiden käyttöön Energiateollisuus ry:n www-sivut, 2014. Hajautettu pientuotanto, hakupäivä 12.3.2014. <<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>>
- Finlexin www-sivut 2014. Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588, hakupäivä 7.1.2014. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588?search%5btype%5d=pika&search%5bpika%5d=s%C3%A4hk%C3%B6markkinalaki#L4>>
- Finanssivalvonnan www-sivut 2014. Hakupäivä 25.4.2014. <http://www.finanssivalvonta.fi/fi/Finanssiasiakas/Tuotteita/Lainat/Asuntolainat/Lyhyennystapa/Pages/Annuiteettilaina.aspx#.U1qEK1V_tg0>
- Finnwind Oy:n www-sivut 2014. Hakupäivä 15.1.2014. <<http://finnwind.fi/aurinkosahko>>
- Haapakoski, Jarno, toimitusjohtaja, Volter Oy. Tietoa Volter 40. Sähköpostiviesti jarno.haapakoski@volter.fi 7.4.2014.
- Haapakoski, Jarno 2013. Volter Oy esitys 4.12.2013. Kemi Tornion ammattikorkeakoulu, Kemi.
- Haapakoski, Jarno. Volter Oy. Esitys Kemissä 13.12.2013.
- Hakonen, Tuomas & Laurila Jussi 2011. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Seinäjoki.
- Hilakivi Oy:n www-sivut 2014. Hakupäivä 11.3.2014. <<http://www.hilakivi.fi/tuotteet.html>>
- Huikuri, Niina & Oikonen, Lasse 2012. Pielisen Karjalan bioenergiaverkostot ja -virrat osana Pohjois-Karjalan energiaomavaraisuutta –hankkeen vuosiraportti 2012. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Joensuu.
- Häkkinen, Kaija 2002. Matematiikan peruskurssi, talousmatematiikan osio.
- Ikonen, Sakari, jakeluverkkoinsinööri, Haukiputaan sähköosuuskunta. Puhelinhaastattelu 22.4.2014.
- Inermo, Antti 2013. Hajautetut energiantuotantoratkaisut logistiikka-alueen suunnittelussa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- Kahra, Matti 2013. Energiäkäännö - aurinko rikkoo valtasuhteita. Sitra 4.6.2013.
- Kiviaho, Pauliina, palveluinsinööri, Oulun Haukiputaan sähköosuuskunta. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon. Sähköpostiviesti pauliina.kiviaho@hso.fi.
- Konttinen, Jukka 2011. Pien-CHP:stä voimaa vientiin ja maakuntaan. Esitys 2.2.2011. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.
- Korva, Iikka 2012. Mikro-CHP-voimalaitoksen taloudellinen optimointi. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu, Vaasa.
- Laaksolinna, Markus, hallituksen puheenjohtaja, Hirrex Oy. Keskustelut 9.1.2011-19.4.2014.
- Molarum Oy, tarjous. Sähköpostiviesti sauli.myllynen@molarum.fi 16.4.2014.
- Motiva Oy. 2012, Opas sähkön pientuottajalle. <http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf>

- Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 21.1.2014. Biopolttoaineiden lämpöarvoja.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja>
- Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014. Pientuulivoima.
<www.motiva.fi/pientuulivoima>
- Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014. Tuulivoimateknologia.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia>
- Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014. Aurinkosähkö.
< http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko>
- Motiva Oy:n www-sivut 2014, hakupäivä 19.4.2014. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto.<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampo_ ja_ voimalaitokset/yhdistetty_sahkon_ ja_ lammontuotanto>
- Myllynen, Sauli, toimitusjohtaja, Putaan logistiikkapalvelut Oy. Keskustelut 25.12.2013 -17.4.2014.
- Myllynen, Sauli, toimitusjohtaja, Putaan logistiikkapalvelut Oy. Sähkökulutustietoja. Sähköpostiviestit sauli.myllynen@molarum.fi 21.1.2014 - 7.4.2014.
- Nord Pool Spot:n www-sivut 2014. Nord Pool Spot AS. Hakupäivä 23.4.2014.
< <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>>
- Oulun sähkönmyynti Oy:n www-sivut 2014, Hakupäivä 16.4.2014.
<<http://www.pohjoistavoimaa.fi/sahkosopimus/farmivirta>>
- Pietarila, Leena, asiakkuuspäällikkö, Oulun Sähkönmyynti Oy. Farmivirtaan liittyviä kysymyksiä. Sähköpostiviesti myynti@oulunsahkonmyynti.fi 16.4.2014.
- Purhonen, Mikko 2010. ORC- prosessin käyttö sähköntuotannossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta.
- Pöyry Energy Oy 2006. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon. Helsinki: Motiva Oy.
- Retkikartan www-sivut 2014. Metsähallitus & Maanmittauslaitos & Logica. Hakupäivä 22.4.2014
<<http://www.retkikartta.fi/>>
- Suomen Tullin www-sivut 2014. Tullin asiakasohje nro 21. Hakupäivä 22.4.2014
<http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ ja_ esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf>
- Tanskanen, Joni 2012. Kiinteitä biopolttoaineita hyödyntävän pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannon kannattavuuden haasteet. Opinnäytetyö. Pohjois-karjalan ammattikorkeakoulu, Joensuu.
- Tilastokeskuksen www-sivut 2014. Käsitteet ja määritelmät. Hakupäivä 15.3.2014.
<https://www.tilastokeskus.fi/meta/kas/sahko_lampo_tuo.html>
- Työ- ja elinkeinoministeriön www-sivut, 2014. Hakupäivä 22.4.2014.
<<http://www.tem.fi/energia/energiatuki/>>
- Volter Oy 2014. Esitys Omaa sähköä puusta.
- Volter Oy:n www-sivut 2014. Volter Oy. Hakupäivä 7.4.2014.
< <http://volter.fi/etusivu> >
- Vaihda virtaa www-sivut 2014, Käpylehto, Janne. Hakupäivä 19.4.2014.
<<http://www.vaihdavirtaa.net/page/show/id/pientuulivoima>>
- Vartiainen, Eero & Luoma, Päivi & Hiltunen, Jari & Vanhanen, Juha 2002. Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. Helsinki: Gaia Group Oy.

LIITTEET

Liite 1. Mikrotuotannon yleistietolomake

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Biokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja	Verkkoonliitännälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) määrä ja malli				
Tuotantolaitteiston nimellisteho	kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta			A
(laitoksen suurin mahdollinen virta)					
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe	<input type="checkbox"/> L1	<input type="checkbox"/> L2	<input type="checkbox"/> L3

3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehdoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytketymisajat

<input type="checkbox"/> Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
<i>HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä</i>	<i>HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 7.</i>

3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/> Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)
Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
<input type="checkbox"/> Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskyttilä takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle

4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on pyydettyäessä toimitettava verkonhaltijalle.

5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat verkkoyhtiöltäsi.

6. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija

7. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat*HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Jokin muu*

Verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:					
Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*		
* jos on					
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palaututtua _____ s					
Saarekekäytönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika _____					
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty					