



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Iikka Korva

MIKRO-CHP-VOIMALAITOKSEN  
KÄYTÖN TALOUDELLINEN  
OPTIMOINTI

Tekniikka ja liikenne  
2012

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Iikka Korva
Opinnäytetyön nimi	Mikro-CHP-voimalaitoksen taloudellinen optimointi
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	40 + 2 liitettä
Ohjaaja	Olli Tuovinen

---

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutustua hakkeella toimivan mikro-CHP-laitoksen toimintaan ja käyttöön. Tavoitteena oli selvittää asiakkaan voimalaitoksen taloudellisesti paras käyttötapa sekä puukaasuvoimalaitoksen hyötysuhde. Työn toimeksiantajana oli oululainen voimalaitoksen omistaja ja työ tehtiin yhdessä voimalaitoksen valmistaneen Volter Oy:n kanssa.

Teoriaosuudessa perehdyttiin mikro-CHP-laitoksiin yleisesti sekä hieman syvemmin puukaasutuksen historiaan ja teoriaan. Lisäksi teoriaosuudessa esitellään Volterin valmistama puukaasutinvoimalaitos.

Ensimmäisessä osassa tutustuttiin mittausdataan voimalaitoksen aikaisemmasta käytöstä. Dataa analysoimalla saatiin kuvaa voimalaitoksen käytöstä, tuotannosta sekä hakkeen kulutuksesta. Toisessa osassa tehtiin hyötysuhdekoelajo, jossa mitattiin voimalaitoksen kulutusta ja tuotantoa ja laskettiin hyötysuhde eri tehoilla. Lopuksi voimalaitokselle luotiin taloudellinen käyttömalli. Lisäksi työssä pohdittiin mahdollisuutta myydä lämpöä naapurille ja sähköä verkkoon Nord Pool pörssihinnan mukaan.

Asiakkaan voimalaitoskohde osoittautui monessa suhteessa haastavaksi kohteeksi. Selvitys osoitti, että voimalaitoksen aikaisempi käyttö on ollut suhteellisen taloudellista, mutta ei vastaa täysin voimalaitoksen käyttötarkoitusta. Laitoksen taloudellisuutta saadaan kuitenkin parannettua lisäinvestoinneilla ja oikeanlaisella käytöllä.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Iikka Korva
Title	Economical Optimization of Micro-CHP Power Plant
Year	2012
Language	Finnish
Pages	40 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Olli Tuovinen

---

The aim of this thesis was to study the operation and drive of the woodchips micro-CHP-power plant. The objective was to find out the efficiency of the power plant and the most economical driving mode. The employer of this thesis was the owner of the power plant in Oulu. The thesis has been made in co-operation with the power plant manufacturer, Volter Oy.

In the theoretical part micro-CHP-power plants were studied and the history and theory of wood gas in more detail. Moreover, a wood gas micro-CHP-power plant manufactured by Volter Oy was looked into.

In the practical part, first, the measurement data of previous use was studied. From the data analysis information was received on the operation, production and woodchips consumption. In the second part efficiency test drives were made. The consumption of woodchips consumption and production of the electricity and heat with different output were measured and from the measurement results efficiency was calculated. In the last part the most economical driving mode to power plant was created. Moreover, a possibility to sell heat to neighbouring facilities and electricity to the grid for Nord Pool was considered.

The customer's power plant was a very challenging facility. The study showed that the operation before has been economical but has not fully corresponded to purpose of the power plant. With some invests and right drive mode it is possible to decrease costs and make production more economical.

---

Keywords                      Wood gas, micro-CHP, power plant, pyrolysis, bioenergy

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	9
2	MIKRO-CHP-VOIMALA .....	11
	2.1 Miksi pienvoimala?.....	11
	2.2 Biopolttoaineiden hyödyntäminen CHP-laitoksessa.....	11
	2.3 Mikro-CHP:n edut ja haasteet.....	12
3	ENERGIAN TUOTANTO PUUKAASUSTA.....	14
	3.1 Puukaasutuksen historiaa .....	14
	3.2 Nykyaikainen pyrolyysikaasutin.....	14
	3.3 Puukaasuvoimala .....	17
4	KÄYTTÖANALYYSI .....	19
	4.1 Mittausdata.....	19
	4.2 Mittaustavat ja datan tallennus.....	20
	4.3 Mittaustulokset.....	21
	4.3.1 Käyttöaste.....	22
	4.3.2 Sähköenergia ja oma kulutus .....	23
	4.3.3 Lämpöenergia ja hukkalämpö .....	24
	4.3.4 Hakekulutus ja hyötysuhde .....	25
	4.3.5 Ylimääräinen laskentaväli.....	25
	4.4 Toiminnan ja käytön arviointi.....	26
5	KULUTUS- JA TUOTANTOKOEAJO .....	28
	5.1 Mittaussuureet ja laskennalliset arvot.....	28
	5.2 Mittausjärjestelyt.....	29
	5.3 Mittaustulokset.....	29
6	KÄYTÖN OPTIMOINTI.....	32
	6.1 Tuotannon reunaehdot ja määräävät tekijät .....	32
	6.2 Voimalaitoksen eri käyttömallit.....	33
	6.2.1 Jatkuva käyttö ilman akustoa .....	34
	6.2.2 Jaksottainen käyttö ilman akustoa lämmön ohjaamana .....	34

6.2.3	Jaksottainen käyttö akuston kanssa lämmön ohjaamana saarekkeeseen.....	34
6.2.4	Jaksottainen käyttö akuston kanssa sähkön ja lämmön ohjaamana	
	35	
6.3	Optimoitu käyttömalli.....	35
6.4	Lämmön myynti naapurille.....	36
6.5	Sähkön myynti pörssihinnan mukaan .....	37
6.6	Investoinnit ja muutokset.....	38
7	LOPPUSANAT .....	39
	LÄHTEET .....	40
	LIITTEET	

**KÄYTETY LYHENTEET JA MERKINNÄT**

CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
W	watti, tehon yksikkö
kW	kilowatti, tehon yksikkö
kWh	kilowattitunti, energian yksikkö
MWh	megawattitunti, energian yksikkö
h	tunti, ajan yksikkö
m <sup>3</sup>	kuutiometri, tilavuusyksikkö
m <sup>2</sup>	neliömetri, pinta-alayksikkö
t	tonni, tuhat kilogrammaa, massan yksikkö
€	euro, rahan yksikkö
%	prosentti, suhteellinen yksikkö

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuvio 1.</b> Myötävirtakaasutin	s. 15
<b>Kuvio 2.</b> Voimalaitoksen prosessikaavio	s. 17
<b>Kuvio 3.</b> Majbackan voimalaitos	s. 18
<b>Kuvio 4.</b> Koeajon tulokset	s. 31
<b>Taulukko 1.</b> Tuotekaasun palavien aineiden pitoisuudet	s. 17
<b>Taulukko 2.</b> Mittaustiedot	s. 20
<b>Taulukko 3.</b> Mittaustulokset aikajaksolla 2.1.2012-24.2.2012	s. 22
<b>Taulukko 4.</b> Laskentatulokset 3.3.2012-5.3.2012	s. 26
<b>Taulukko 5.</b> Kulutuskoeajon tulokset	s. 30
<b>Taulukko 6.</b> Lähtöarvot ja hinnat	s. 32

**LIITELUETTELO**

LIITE 1: Laskennan tulossivu

LIITE 2: Lämmön tarve ulkolämpötilan mukaan



## 1 JOHDANTO

Myynnissä olevien, energiaa tuottavien tai säästävien laitteiden, esimerkiksi ilmalämpöpumppujen tai pienten voimaloiden kohdalla puhutaan aina kuinka paljon ne pystyvät säästämään energiaa ja rahaa verrattuna esimerkiksi suoraan ostosähköön. Usein kuitenkin ei ole selkeitä ohjeita miten laitteistoa tulee käyttää jotta ilmoitettuihin tuloksiin päästään. Väärin käytettynä laitteet eivät tuota haluttua säästöä ja saattavat jopa lisätä kulutusta ja kustannuksia. Käyttäjän valinnoilla voidaan vaikuttaa siihen minkä verran lopulta säästyy energiaa ja rahaa.

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin oululaisen asiakkaan hankkimaan Volter Oy:n valmistamaan CHP-voimalaitokseen ja sen käyttöön ja suunniteltiin voimalaitokselle taloudelliset käyttömallit eri olosuhteisiin. Työ tehtiin Volter Oy:lle, joka kehittää ja valmistaa puukaasutusvoimaloita. Lähtökohtana työlle oli asiakkaan toivomukset laitteiston käytön optimoinnista ja taloudellisen käyttömallin selvittämisestä. Tarkoitus oli selvittää millaisella käytöllä voimalan käyttäminen on taloudellisempaa kuin sähkön ja lämmön ostaminen. Lisäksi työssä oli tarkoitus selvittää kaukolämmön myymisestä naapurille syntyvät kustannukset ja saatava tuotto. Asiakkaan Majbacka-nimeä kantava rakennuskokonaisuus on monessa suhteessa haastava kohde voimalaitokselle tilankäytön, ympäristön ja kulutuksen osalta.

Lisäksi Volterin tavoite oli selvittää tarkasti voimalan tuottaman sähkön ja lämmön suhde ja hakekulutus eri tehoalueilla sekä selvittää voimalaitoksen taloudellisuus ja erilaisten käyttöolosuhteiden vaikutus. Työn tarkoitus on myös osaltaan kehittää käytännön ratkaisuja hajautettuun sähkön- ja lämmöntuotantoon sekä kotimaisen uusiutuvan energian tuotantoon. Suuntana työssä oli asiakkaan toivomuksesta käyttäjäpainotteinen näkökulma ja tekninen näkökulma jätettiin tarkoituksella vähemmälle.

Volter Oy on vuonna 2008 perustettu Kempeleessä toimiva yritys. Volter kehittää ja valmistaa puuhakkeella toimivia CHP-voimalaitoksia. Yrityksen toimitusjohtaja on Jarno Haapakoski ja työntekijöitä yrityksessä on 3. Volterin

tuotekehitys ja toimistotilat sijaitsevat Kempeleessä Ekokorttelissa. Ekokortteli on Volterin vuosina 2008-2010 rakennuttama kymmenen omakotitalon asuinalue, jossa kaikki sähkö ja lämpö tuotetaan puukaasuvoimalaitoksella. Kortteli on kokonaan erotettu valtakunnan sähkö- ja lämpöverkosta.

Itse työ koostui kolmesta osasta. Ensimmäisenä tehtävänä oli tutustua voimalaitoksen käytöstä kerättyyn mittausdataan ja analysoida laitteiston käyttöä, taloudellisuutta, järkevyyttä sekä hyötysuhdetta sekä tutkia Majbackan kulutustarpeita. Toisena osana oli käyttökoeajo, jossa mitattiin laitoksen tuottama sähkö- ja lämpöenergia sekä hakekulutus eri tehoalueilla. Viimeisenä osana oli suunnitella aikaisemman käytön ja koeajojen pohjalta taloudelliset käyttömallit sähkön ja lämmön tuotantoon erilaisissa olosuhteissa. Teoriaosuudessa on paneuduttu puukaasutuksen käytön historiaan, toimintaperiaatteeseen sekä hyödyntämiseen nykypäivänä.

Työ tehtiin pääasiassa Excel-taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntämällä. Haasteina työssä olivat Majbackan pieni lämmön ja sähkön kulutus verrattuna voimalaitoksen maksimituotantoon, mittausdatan laajuus ja toisaalta ajoittaiset mittausdatan puutteet. Mittauksista kävi kuitenkin hyvin selville voimalaitoksen käyttö, tuotanto ja Majbackan sähkön ja lämmön kulutus. Laskelmat osoittivat, että käyttökustannuksiltaan voimalan nykyinen käyttötapa lämmön ohjaamana on käyttökustannuksien osalta taloudellista, mutta ei vastaa voimalan varsinaista käyttötarkoitusta. Positiivisena asiana voidaan todeta, että itse voimala on toiminut hyvin ja luotettavasti.

Voimalaitoksen tuotantosuhteen selvittämisen jälkeen erilaisista käyttövariaatioista luotiin taulukko, jossa pystyttiin vertailemaan käyttökustannuksia eri käyttötavoille. Akuston hankkimisella sähköenergian varastoksi ja oikeanlaisella käytöllä voimalaitoksella pystytään tuottamaan Majbackan sähkö- ja lämpöenergia edullisemmin kuin ostamalla se suoraan verkosta. Sähkön huonon myyntihinnan sekä pienen oman kulutuksen takia voimalaitokselle ei kuitenkaan ole Majbackan tilanteessa mahdollista saada järkevää takaisinmaksuaikaa, mikä on ollut tiedossa alusta alkaen.

## 2 MIKRO-CHP-VOIMALA

CHP tulee sanoista Combined Heat and Power ja tarkoittaa yhdistettyä sähkön ja lämmön tuotantoa. Mikro-CHP-voimalasta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä pientä, sähköteholtaan alle 50kW kokoluokan voimalaitosta./1, 3/ CHP-voimaloissa tärkeämpänä prioriteettina on mahdollisimman tehokas sähkön tuotanto ja lämpö on sivutuotetta. Kuten tämänkin selvityksen tulokset osoittavat, mikro-CHP-voimalat eivät vielä ole taloudellisia vaihtoehtoja Suomessa ellei lämpöä pystytä hyödyntämään. Seuraavassa keskitytään esittelemään energian tuotantoa pienessä mittakaavassa ja CHP-voimalan ideaa.

### 2.1 Miksi pienvoimala?

Pienessä mittakaavassa sähkö voidaan tuottaa esimerkiksi tuulivoimalla, vesivoimalla tai CHP-voimalaitoksella käyttäen erilaisia polttoaineita. Usein suurin motivaatio omaan sähköntuotantoon on taloudellisuus. Tavoitteena on saada tuotettua oma kulutettu sähkö ja lämpö edullisemmin kuin ostamalla suoraan verkosta. Lisämotivaationa ovat monesti tarjolla oleva ilmainen tai edullinen energia, joka muuten jää käyttämättä. Esimerkkinä tuuliset olosuhteet, virtaava vesi johon on lupa rakentaa pato, maataloilla eläinten ulosteet ja muu mahdollinen biojäte tai omat metsät, jota voidaan hyödyntää.

Tärkeä tekijä on myös mahdollisen tuotannon ympäristöystävällisyys. Ilmastonmuutoksen myötä paine ja motivaatio vähemmän saastuttavan ja vähemmän hiilidioksidia tuottavan energian tuottamiseen kasvaa. Uusiutuvalla energialla toteutettuna CHP-voimala on myös ympäristöystävällinen vaihtoehto, sillä voimalan tuottama hiilidioksidi on sitoutunut biomassaan sen kasvun aikana.

/2/

### 2.2 Biopolttoaineiden hyödyntäminen CHP-laitoksessa

Pienessä mittakaavassa toteutetun CHP-voimalaitoksen toteuttamiseen on periaatteessa monta erilaista mahdollisuutta. Fossiilisten polttoaineiden käyttöön on olemassa toimivia ratkaisuja, mutta polttoaineen hinnan takia ne eivät

oikeastaan ole taloudellisesti järkeviä. Valmiita ja toimivia ratkaisuja biopolttoaineille on myynnissä muutamalla valmistajalla Suomessa. Tässä työssä on keskitytty biopolttoaineilla toimiviin voimalaitoksiin.

Laitteisto ja toimintaperiaate pohjautuvat käytettyyn polttoaineeseen. Biopolttoaineilla ongelma on saada polttoaine mahdollisimman helposti hyödynnettävään muotoon. Vaihtoehtoina ovat biodieselin valmistaminen biomassasta sekä erilaiset kaasutustavat bio- tai puukaasuksi. Tällä hetkellä puun osuus bioenergiälähteistä Suomessa on ylivoimaisesti suurin./2/Pienen mittakaavan sähkövoimalaitoksissa puuta hyödynnetään kaasutustekniikan avulla puukaasuna. Biokaasua voidaan tuottaa esimerkiksi kaatopaikkajätteestä tai maatilojen lietteestä mädättämällä. Tärkkelyspohjaisista kasveista voidaan valmistaa bioetanolia ja esimerkiksi rypsiä voidaan valmistaa esteröintimenetelmällä biodieseliä./3/

Polttoainetta voidaan käyttää erityyppisissä moottoreissa joilla pyöritetään generaattoria. Yleisimmin käytetään mäntämoottoritekniikkaa. Mäntämoottoreiden etuja ovat edullinen hinta, yksinkertainen ja pitkään käytössä ollut tekniikka. Haittapuoloina taas on alhainen hyötysuhde ja lyhyehköt huoltovälit. Lisäksi polttoainetta voidaan käyttää kaasuturbiini- tai stirlingmoottoreissa sekä polttokennoissa. Näillä on mahdollisuus päästä korkeampiin hyötysuhteisiin kuin perinteisillä mäntämoottorilla, mutta käyttöä rajoittavat vielä korkea hinta sekä toimivan tekniikan puuttuminen pienessä mittakaavassa.

### **2.3 Mikro-CHP:n edut ja haasteet**

CHP-voimaloiden etuina ovat alhainen energian hinta sekä ympäristöystävällisyys biopolttoaineilla. Edullisen energiantuotannon edellytys on, että myös lämpö pystytään hyödyntämään. Tehokkaassa käytössä voimalaitoksella pystytään tuottamaan oma energiankulutus edullisemmin kuin ostamalla se suoraan verkosta. Lisäksi polttoaine on usein kotimaista ja se saattaisi jäädä muuten hyödyntämättä.

Pelkkä sähkön tuotanto myyntiin mikro-CHP-voimalaitoksessa ei kuitenkaan ole kannattavaa, koska Suomessa verkkosähkö on suhteellisen edullista. Lisäksi pienoisvoimaloissa syöttötariffin tehoraja on niin korkea, että mikro-CHP-voimalat jäävät vielä sen ulkopuolelle. Tämä tarkoittaa, että oman kulutuksen tulee olla suhteellisen suuri ja voimalalla korvataan omaa tuotantoa.

Syöttötariffi tarkoittaa sähkön takuuhintaa sähköntuottajille. Tuottajille maksetaan määrääjän tukea markkinahinnan tai päästöoikeuden hinnan mukaan tukeen oikeuttavasta tuotannosta. Tariffijärjestelmään voidaan hyväksyä puupolttoainevoimalaitokset joiden generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho on 100kVA. Lisäksi vaaditaan, että voimalassa tuotetaan sähköntuotannon lisäksi lämpöä hyötykäyttöön ja se ei ole aikaisemmin kuulunut tariffijärjestelmään. Suomessa puupolttoainevoimaloiden tavoitehinta sähkölle on 83,50€/MWh ja lämpöpremio 20€/MWh. Maksettava tuki lasketaan vähentämällä sähkön markkinahinnan kolmen kuukauden keskiarvo tavoitehinnasta. /4/

Lisäksi haasteena ovat sähköntuotannon hyötysuhde sekä suhteellisen kallis alkuinvestointi. Sähkön ja lämmön suhde on tällä hetkellä myynnissä olevilla laitteilla noin 30% sähköä ja 70% lämpöä. Tekniikan kehittyessä hyötysuhdetta pystytään parantamaan mm. erityyppisillä moottorivalinnoilla. Investointina CHP-voimalaitos on kallis verrattuna esimerkiksi hakelämpölaitokseen ja ostettuun käyttösähköön. Arttu Lamminmäen selvitys vuonna 2009 osoittaa, että oman energiakulutuksen tulee olla lähellä laitteen tuottamaa energiaa jotta investoinnin takaisinmaksuaika on järkevä. /1, 25/

### **3 ENERGIAN TUOTANTO PUUKAASUSTA**

Puukaasulla tarkoitetaan puusta korkeassa lämpötilassa vähähappisen palamisen avulla tuotettua häkäpitoista kaasua. Sitä voidaan käyttää polttoaineena polttomoottorissa sekä kaasupolttimissa. /1, 10–11/. Puukaasun lämpöarvo on noin 15% maakaasun lämpöarvosta.

#### **3.1 Puukaasutuksen historiaa**

Puukaasutuksen historia ulottuu 1850-luvulle jolloin polttoaineena käytetyn hiilen tilalle alettiin kehittämään muita polttoaineita. Aluksi kehitettiin pienitehoisia kiinteitä kaasugeneraattoreita ja 1920-luvulla italialaiset esittelivät ensimmäisen autoihin ja traktoreihin sopivan kaasuttimen. Tunnetuin puukaasulaitteiden kehittäjä oli Georges Imbert. Nykypäivän kaasutuslaitteistot pohjautuvat pitkälti Impertin patentoimaan tekniikkaan.

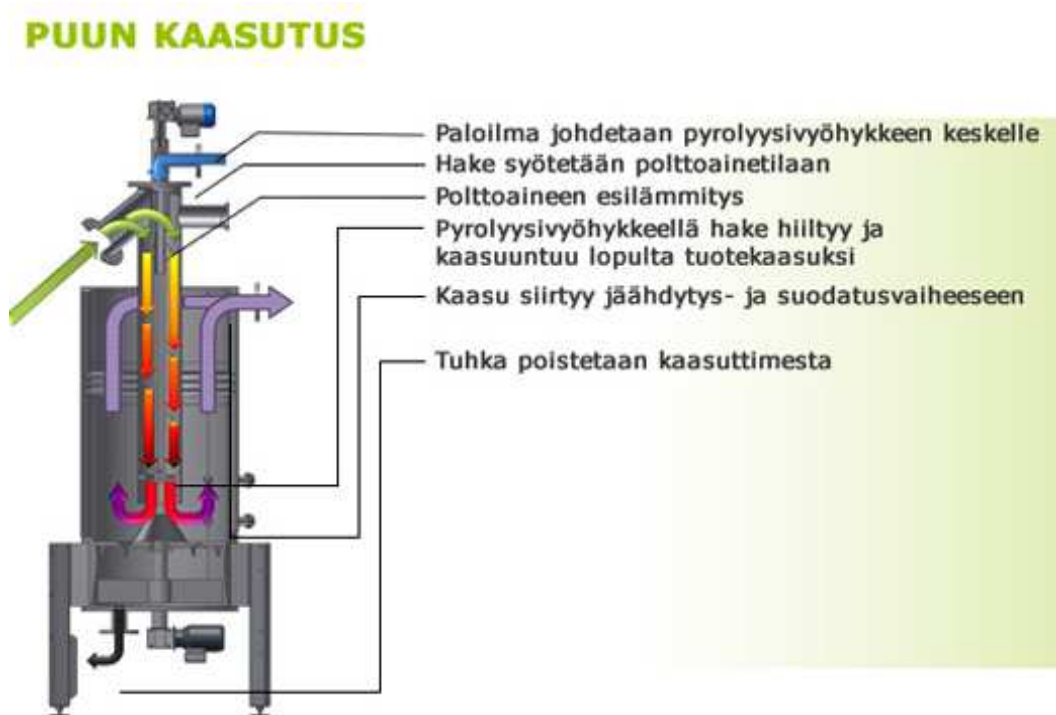
Suomessa ensimmäisiä kaasutuskokeita tehtiin jo 1920-luvulla. Sotien aikana kaasutuslaitteet tulivat tunnetuiksi häkäpönttöautoissa. Esimerkiksi vuoden 1941 lopulla 95% linja-autoista kulki häkäkaasulla. Sotien jälkeen alettiin jälleen siirtyä takaisin nestemäisiin polttoaineisiin ja häkäpönttöautot vähenivät. /6, 4/.

Vanhanmallisissa häkäpönttölaitteistoissa oli ongelmana terva, joka sotki putkistot ja pilasi moottorit. Tervan takia polttoaineena tuli käyttää mm. kuorittua koivupilkettä. Sodan aikana nestemäisistä polttoaineista oli pulaa, joten häkäpönttö mahdollisti liikkumisen kotimaisella polttoaineella. Nykypäivänä puukaasutusta käytetään biojätteen ohella sähkön ja lämmön tuotantoon isossa mittakaavassa sekä pienessä mittakaavassa mikro-CHP-voimaloiden kaasuntuotantoon ja harrastemielessä myös puukaasuautoissa.

#### **3.2 Nykyaikainen pyrolyysikaasutin**

Biomassalle sopivat kaasuttimet jaetaan kiinteäpeti- ja leijupetikaasuttimiin. Leijupetikaasuttimien tehoalue on megawateista satoihin megawatteihin ja isoissa laitoksissa yleisimmin käytetty kaasutintyyppi. Kiinteäpetisissä kaasuttimissa tehoalue on muutamista kilowateista megawatteihin saakka. Kiinteäpetisiä

kaasuttimia on myötävirta- ja vastavirtakaasuttimia. Vastavirtakaasuttimessa polttoaine ja tuotettu kaasu kulkevat vastakkaisiin suuntiin ja myötävirtakaasuttimessa ne kulkevat samaan suuntaan. Käytetyistä kaasuttimista myötävirtakaasuttimet ovat yleisempiä ja esimerkiksi suoraan autoihin asennettavat kaasuttimet ovat olleet myötävirtakaasuttimia. Lisäksi on olemassa ristivirtakaasuttimia, mutta niiden käyttö on vähäistä. Kuviossa 1 on esitettyä myötävirtakaasuttimen rakenne ja toimintaperiaate.



**Kuvio1.** Myötävirtakaasutin /5/.

Mikro-CHP-voimalaitoksissa käytetyt kaasuttimet ovat myötävirtakaasuttimia, joissa kaasutus tapahtuu korkeassa lämpötilassa. Polttoaineena kaasuttimissa käytetään sekapuuhaketta, jonka palakoko on 20-60mm ja kosteus 10-30%:a. Korkean kaasutuslämpötilan ansiosta aikaisemmin haitallinen tervaongelma on saatu ratkaistua. Puu kaasutetaan yli 850 asteen lämpötilassa jolloin terva hajoaa ja kaasua voidaan käyttää paremmin moottoreissa. /7, 286–293/.

Kaasutuksessa hakekuljetin syöttää haketta kaasuttimeen yläosasta. Hake valuu palotilaan jonne ohjataan ilmanavien kautta paloilmua. Palopesässä

paloreaktion seurauksena lämpötila nousee lähelle 1000 astetta ja osa puun kiinteästä massasta muuttuu kaasuiksi. Kaasut kulkeutuvat hehkuvan hiilikerroksen läpi ja korkeassa lämpötilassa pitkät hiilivety-yhdisteet hajoavat lyhyemmiksi. Kaasu imetään ulos kaasuttimen yläosasta suodatettavaksi. /5/.

Yleisimmin kaasutin toimii alipaineperiaatteella eli kaasun virtaus saadaan aikaan alipaineella. Alipaineen suuruus riippuu kaasun tarpeesta ja näin kaasutin säätyy kulutuksen mukaan. Palotilaan päästettävän paloilman määrällä voidaan säädellä kaasuttimen lämpötilaa ja paloilmaa on koko ajan kaasuttimessa reilusti vähemmän mitä puu tarvitsisi palaakseen täydellisesti. On myös olemassa paineistettuja kaasuttimia joissa ilma puhalletaan kaasuttimeen ja kaasutin on ylipaineinen. /5/.

Kaasutuksen tuotteena syntyy tuotekaasuksi kutsuttua kaasua, joka sisältää noin 45% palavia kaasuja. Taulukossa 1 on esitettyä kaasun palavien aineiden pitoisuudet. Tuotettu kaasu on kaasuttimesta tullessaan kuumaa ja se jäädytetään suodatuslämpötilaan. Suodatukseen voidaan käyttää erilaisia tekniikoita, vesipesusta kuivasuodatukseen. Lopputuloksena saadaan puhdasta tuotekaasua, jossa hiukkaspitoisuus on hyvin alhainen ja jota voidaan käyttää moottorissa polttoaineena. /5/.

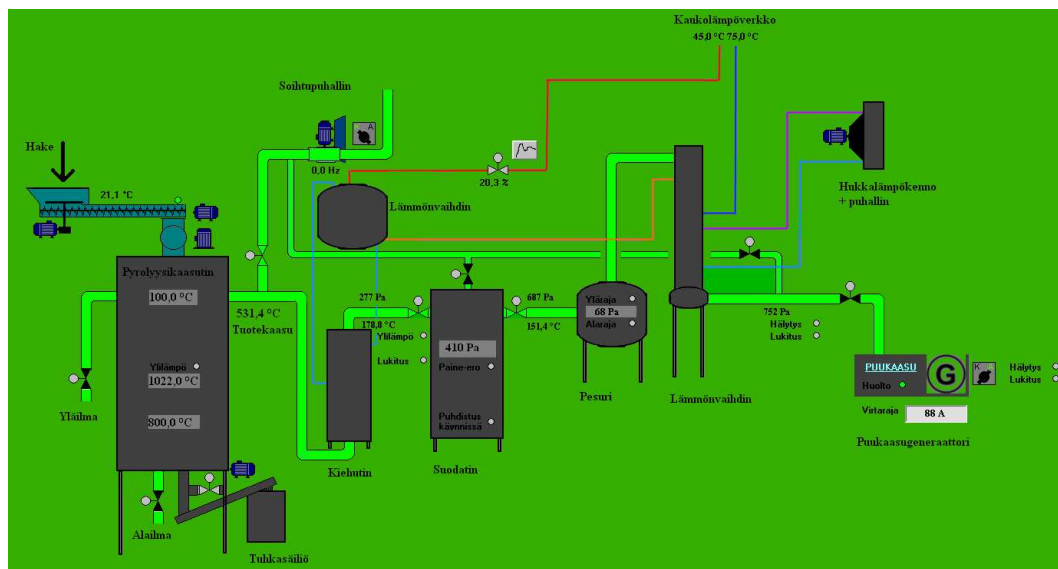


**Taulukko 1.** Tuotekaasun palavien aineiden pitoisuudet /5/.

Kaasu	Tunnus	Pitoisuus %
Hiilimonoksidi (häkä)	CO	25%
Vety	H <sub>2</sub>	18%
Metaani	CH <sub>4</sub>	2%

### 3.3 Puukaasuvoimala

Työssä tutkittiinoululaisen asiakkaan omistamaa Volter Oy:n valmistaman CHP-voimalaitoksen käyttöä. Volterin voimalaitos sisältää hakkeen syöttölaitteen, myötävirtakaasuttimen, kaasun jäähdytys- ja puhdistuslaitteiston, moottorin, generaattorin ja verkkosyöttöyksikön. Koko laitteisto voidaan rakentaa standardikokoiseen konttiin ja toimittaa asiakkaalle yhtenäisenä moduulina. Voimalaitoksen toimintaa havainnollistava prosessikaavio on kuvattu kuviossa 2.

**Kuvio 2.** Voimalaitoksen prosessikaavio

Työssä käytetty voimala on kuitenkin rakennettu asiakkaan toiveista erilliseen rakennukseen, joka on rakennettu ympäristöön sopivaksi (**Kuvio 3.**). Rakennus on kooltaan 54m<sup>2</sup> ja hakesiilon osuus siitä on 21m<sup>2</sup>.



**Kuvio 3.** Majbackan voimalaitos

Kaasutin on Volterin kehittämä ja valmistama ja sen kaasuteho on noin 120kW:a. Tuotekaasun puhdistukseen käytetään kuivasuodatinta, joka suodattaa kaasusta hienon noen ja lentotuhkan. Myös suodatuslaitteisto on Volterin omaa suunnittelua. Moottorina käytetään Sisun 4,9 litran kaasumoottoria ja generaattorina käytetään oikosulkumoottoria. Sähkön syöttö verkkoon hoidetaan verkkoinvertterillä, joka myös katkaisee syötön, jos ulkoinen sähköverkko putoaa pois. Kaikki tuotettu sähkö syötetään suoraan sähköverkkoon eikä järjestelmässä ole akustoa sähkön varastoimiseksi. Voimalaitoksen toiminnasta vastaa Schneiderin ohjelmoitava logiikka. Voimalassa on GSM-hälytysjärjestelmä sekä Internet etävalvontayhteys. Voimalaitoksen nimellinen sähköteho on 30kW:a ja lämpöteho 80kW:a. Lämpöä voidaan ottaa kaasun jäähtytyksestä, moottorin jäähtytysvedestä sekä pakokaasuvaihtimen avulla moottorin pakokaasuista. Lämpövarastona järjestelmässä on voimalaitoksen 5m<sup>3</sup> vesivaraaja sekä päärakennuksessa ja vapaa-ajanrakennuksessa olevat 500 litran varaajat. Varaajissa on itsessään sähkövastukset varalämmittiminä. Ylimääräinen tuotettu lämpö puhalletaan hukkaan erillisen hukkalämpöpuhaltimen avulla.

## 4 KÄYTTÖANALYYSI

Voimalaitos on käynnistetty ensimmäisen kerran 11.12.2011. Laitetta on käytetty noin 30%:n teho-ohjeella talven ja kevään ajan. Käyntiohjeena on käytetty lämminvesivaraajan lämpötilaa ja varaajan ollessa täynnä käyttösähkö on ostettu verkosta. Voimalaitoksen käyttö on siten ollut lämpölaitostyyppistä, jossa sähköä saadaan varaajan lämmitysaikana. Voimalaitoksessa ja kiinteistöissä olevien sähkö- ja lämpöenergiamittareiden lukemat on tallennettu alusta lähtien verkossa olevaan tietokantaan. Mittausdatasta puuttui kolmesta kohtaa mittausdata muutaman päivän ajalta. Laskentatarkastelut suoritettiin aikavälillä 2.1.2012-24.4.2012 sekä lisäksi hyödynnettiin käyttäjän tekemiä laskelmia ja mittausten ylöskirjaamisia tätä aikaisemmin.

### 4.1 Mittausdata

Prosessista tallennetaan koko ajan tärkeät mittaustiedot pilvitietokantaan verkkopalvelimelle. Mittauksia on kaiken kaikkiaan 16 eri mittausta ja ne on esiteltynä taulukossa 2. Tietokantaa ylläpitää Admino Technologies ja sieltä saatiin tekstitiedostona tulosteet mittausdatasta aikavälillä 2.1-24.4. Mittausdata sisälsi aikaleiman ja arvon viiden minuutin aikaväleihin. Exceliin ajettuna yhden mittauksen taulukko sisälsi 29000 riviä, joten aluksi dataa oli tiivistettävä ja jäsenneltävä jotta sitä pystyttäisiin järkevästi analysoimaan. Työn kannalta oli todellinen helpotus, että mittausdata saatiin nopeasti yksinkertaiseen muotoon ja sitä oli helppo analysoida Excel-tilukkolaskentaohjelmassa.

**Taulukko 2.** Mittaustiedot

Mittauksen nimi	Selite	Yksikkö
LASKURI_TOT	Tuotannon käyttötunnit	h
Tuotanto_teho	Tuotannon hetkellinen sähköteho	kW
Tuotanto_energia	Tuotettu sähköenergia	MWh
TEHO_1	Tuotannon hetkellinen lämpöteho	kW
ENERGIA_1	Tuotettu lämpöenergia	MWh
r11736	Myynti/ osto hetkellinen sähköteho	kW
r11800	Myyty sähköenergia	MWh
r11804	Ostettu sähköenergia	MWh
Kulutus_teho	Sähkön hetkellinen kulutusteho	kW
Kulutus_energia	Kulutettu sähköenergia	MWh
TEHO_2	Päärakennuksen hetkellinen lämpöteho	kW
ENERGIA_2	Päärakennuksen lämpöenergia	MWh
TEHO_3	Vapaa-ajan rakennuksen lämpöteho	kW
ENERGIA_3	Vapaa-ajan rakennuksen lämpöenergia	MWh
TEHO_4	Venevajan hetkellinen lämpöteho	kW
ENERGIA_4	Venevaja lämpöenergia	MWh

#### 4.2 Mittaustavat ja datan tallennus

Prosessissa on useita mittareita ja täten kokonaisprosessia on helppo seurata. Lämpöenergiamittauksissa käytetään Kamstrupin MULTICAL 601-energiamittareita jotka mittaavat putkistoissa olevan lämpötilaeron ja virtauksen ja laskevat tästä energian. Sama mittari mittaa myös hetkellistä lämpötehoa. Sähköenergian mittauksissa käytetään Schneiderin PowerLogic PM750-mittareita jotka mittaavat hetkellisen tehon sekä kulutetun tai tuotetun energian. Mittareiden

ilmoittamat arvot luetaan TCP/IP-modbus liikennöinnillä ohjelmitavaan logiikkaan. Logiikasta tiedot välitetään OPC-protokollalla serveritietokoneelle, joka lähettää ne pilvipalvelimelle.

### **4.3 Mittaustulokset**

Mittaustulokset kasattiin yhteen taulukkoon, josta näkyy tuotannot ja kulutukset mittausajalta. Lisäksi taulukossa on laskettu kustannukset mittausajalta ja vertailuna samat kulutukset tuotettuna suoralla sähkölämmityksellä, ostosähköllä ja maalämmöllä sekä tuotanto voimalalla, jos mukana olisi ollut akusto. Samaan taulukkoon on laskettu myös erilaisten käyttötapojen vuosikustannukset sekä mahdollinen lämmön myynti naapuriin (LIITE1).

Mittausaikaväliltä laskettiin taulukon 3 mukaisia arvoja, jotka kertovat laitteen käytöstä. Lisäksi mittausjaksolta otettiin toinen kolmen päivän jakso, josta laskettiin taulukon 4 mukaiset arvot. Tämä laskentaväli otettiin sellaiselta alueelta jolloin voimalaitos on käynyt ideaalisesti korkealla käyttöasteella. Lyhyemmästä tarkastelujaksosta saadaan kuvaa voimalan käytöstä ideaalitulanteessa.

**Taulukko 3.** Mittaustulokset aikajaksolla 2.1.2012-24.2.2012

Kokonaisaika 2.1-24.4	2736,00
Käyttöaika h	1766,00
Käyttöaste %	64,55
Käyttöaste (väh. 15 päivän huollot) %	72,85
Sähkö- ja lämpöenergia yhteensä kWh	60540,00
Tuotettu lämpöenergia kWh	50183,00
Tuotettu sähköenergia kWh	10474,00
Kulutettu sähköenergia kWh	26434,00
Myyty sähköenergia kWh	2799,00
Ostettu sähköenergia kWh	18759,00
Keskimäärinen lämmöntuotantoteho kW	27,02
Keskimääräinen lämmitysteho kW	16,67
Sähkönkulutus tehon keskiarvo kW	9,78
Sähköntuotantotehon keskiarvo kW	5,93
Hakkeen kulutus mittausaikana m3	137,00
Hakkeen keskimääräinen kulutus m3/vrk	1,20
Tuotettu sähkö mittausajalta kWh/m3	76,57
Tuotettu lämpö kWh/m3	365,65
Sähkön osuus %	17,31
Lämmön osuus %	82,69
Hukkalämpöpuhaltimen keskiteho kW	1,90
Hakkeen hinta €/m3	25,00
Sähkön tuotantohinta, lämpöä ei huomioitu €/kWh	0,33
Kokonaishyötysuhde %	52,03
<b>Kustannukset</b>	
Hakekustannukset €	-3430
Ostosähkön kustannukset €	-2250
Myydyn sähkön tuotto €	139,95
Kokonaiskustannukset ajalta €	-5540
<b>Vertailuna käyttökustannukset samalta ajalta</b>	
Suoran sähkölämmityksen hinta €	8580
Ostosähkö ja maalämmitys, hinta €	4790

#### 4.3.1 Käyttöaste

Taulukosta 3 nähdään, että voimalaitos on toiminut ajallisesti kohtuullisen korkealla käyttösuhteella. Kun kokonaisajasta vähentää noin 15 vuorokautta päivitys- ja huoltokatkot, käyttöaste on lähes 73%:a. Voimalan käyttöastetta laskee myös käyttötapa, sillä laitosta ei ole ollut tarkoitukseen ajaa jatkuvatoimisesti. Periaatteessa voimalaitoksella pystytään ajamaan 94%:n

käyttöasteella. Pakollisia pysähdyksiä voimalaitokseen aiheuttaa suodattimen puhdistus ja tuhkanpoisto, joka vie noin 1,5 tuntia viikossa.

#### **4.3.2 Sähköenergia ja oma kulutus**

Tuotetusta energiasta sähkön osuus on ollut 17,3%:a ja lämmön 82,7%:a. Tuotetusta sähköstä 26,7%:a on myyty tuotantohetkellä verkkoon ja 73,3%:a on voitu käyttää itse. Sähkönkulutuksesta 29%:a on pystytty kompensoimaan omalla tuotannolla ja loput sähköstä on ostettu verkosta. Luvut kertovat, että vaikka käyttöaste on ollut suhteellisen hyvä, ostosähköä on mennyt paljon. Tähän on syynä ensisijaisesti se, että kaksi huolto- ja päivitystaukoa sattui kovimpien pakkasten aikaan ja silloin on lämmitetty suoraan sähköllä. Sähkönkulutus on kovimmillaan ollut 50kW luokkaa lämmityksen ollessa päällä. Ajoittainen suora sähkölämmitys myös nostaa sähkön kulutuksen keskitehoa. Toinen syy on se, että voimalassa ei tällä hetkellä ole minkäänlaista akustoa, joten aina kun laitos on pysähdyksissä, joudutaan käyttämään verkkosähköä. Sähköä on myös myyty verkkoon tappiollisesti sillä voimalaitoksen ohjaus ei ole seurannut kulutusta vaan tuottanut käydessään lähes koko ajan ylimääräistä sähköä verkkoon.

Voimalaitoksen oma kulutus koostuu verkkoonsyöttöyksikön kulutuksesta, kiertovesipumpuista ja apulaitteista sekä hukkalämpöpuhaltimesta. Verkkoonsyöttöyksikön teho on aikalailla vakio 1kW:a, samoin pumppujen ja apulaitteiden teho, joka on reilu 1kW:a. Hukkalämpöpuhaltimen teho on ollut arviolta 1,9kW:a. Puhallin on taajuusmuuttajakäyttöinen ja sen teho riippuu jäähdystarpeesta. Kokonaisuudessaan omakulutus on noin 4kW:a, kun lämpöä joudutaan hukkaamaan. Oman kulutuksen suhde tuotantoon on ollut pienellä teholla ajettuna todella suuri kokonaistuotantoon verrattuna. Mikäli hukkalämpöpuhallinta ei tarvita, oma kulutus on huomattavasti pienempi.

Tällä hetkellä alle tariffirajan olevalle sähköntuotannolle maksetaan vain nimellinen hinta, mikä on puukaasuvoimalassa alle tuotantokustannusten. Mittausajanjaksolla on siis myyty sähköä halvalla verkkoon ja ostettu sitä kalliilla takaisin. Asiakkaan tämänhetkinen myyntihinta noudattaa Nord Poolin

sähköpörssihintaa ja myytävän sähkön hinta on 90%:a tästä hinnasta. Neljän kuukauden aikana hinta on keskimäärin ollut noin 4snt/kWh.

### 4.3.3 Lämpöenergia ja hukkalämpö

Kokonaisuudessaan lämpöenergiaa on tuotettu enemmän mitä on kulutettu. Tämä kertoo siitä, että voimalaitos tuottaa pienelläkin teho-ohjeella helposti enemmän lämpöä kuin iso omakotitalo kuluttaa. Mittauksissa on kuitenkin virhettä sen osalta, että laitoksen pidempien pysäytysten aikana on voimalaitoksen varaajaa lämmitetty sähköllä. Samoin rakennusten varaajia on lämmitetty sähköllä ja lämmitysjärjestelmän ohjausjärjestelmän käyttövirheiden vuoksi sähkölämmitys on ajoittain ollut rakennuksien varaajissa päällä voimalaitoksen käydessä. Ison varaajan lämmitys näkyy energiamittareissa, mutta rakennuksissa olevien pienten varaajien energia ei näy. Voimalaitoksen pakokaasuvaihdin on pääsääntöisesti ollut ohitettuna jotta lämpöä ei tulisi niin paljoa.

Voimalaitoksen käydessä lämpöenergiaa on pääsääntöisesti tullut kuitenkin enemmän kuin on kulutettu ja lämpöä on jouduttu ajamaan hukkaan erillisen hukkalämpökennon kautta. Samalla lämmitysjärjestelmän paluuvesi on saatu riittävän viileäksi kaasun jäähdystystä varten. Keskimääräinen jäähdystysteho hukkalämpökennossa on ollut noin 7kW:a ja arvioitu hukkalämpöpuhaltimen teho on ollut 1,9kW:a. Hukkalämmön hyötysuhde on ollut todella huono.

Vuoden 2011 joulukuussa tehtyjen lyhyiden mittausten aikana on huomattu, että taajuusmuuttajakäyttöinen hukkalämpöpuhallin on pyörinyt lähes täydellä teholla aina kun jäähdystystä tarvitaan. Hyötysuhteita vertaamalla ja käyttäjien seurannan mukaan puhallin on pyörinyt mittausjaksolla edellä mainitulla teholla aina kun laitos käy. Huonoon hyötysuhteeseen on syynä putkistoratkaisu sillä sama puhallin imee ilmaa hukkalämpökennon läpi sekä jäähdytysilmaa moottorinkotelosta. Näiden välillä ei ole säätöä, joten puhallin pyörii isolla teholla riittävän virtauksen saamiseksi kennolle.



#### 4.3.4 Hakekulutus ja hyötysuhde

Haketta on mittausvälillä kulunut noin  $137\text{m}^3$ :ä. Vuorokausikulutus on ollut n.  $1,2\text{m}^3$ :ä vuorokaudessa. Vuorokausikulutus ei kuitenkaan kerro suoraan voimalaitoksen kulutuksesta, koska käyttö on ollut hieman epäsäännöllistä. Käyttöasteella kompensoituna kulutus on  $1,9\text{m}^3$ :ä vuorokaudessa kun laitos käy koko ajan. Yhdestä hakekuutiosta on keskimäärin saatu energiaa  $442\text{kWh}$ :a ja voimalan kokonaishyötysuhteeksi saadaan tällöin noin 52%:a. Kokonaisenergiämääräksi hakekuutiolle on arvioitu  $850\text{kWh}/\text{m}^3$  kosteuden ollessa 11-18%:a. /8/. Hyötysuhdetta laskee olennaisesti korkea omakulutus suhteessa tuotantoon ja pakokaasuvaihtimen ohitus. Myös alhainen teho-ohje laskee hyötysuhdetta sillä kaasutin toimii paremmin ja kaasun laatu on parempi kun sitä kuormitetaan enemmän.

#### 4.3.5 Ylimääräinen laskentaväli

Verrannoksi laskettiin lyhyemmältä kolmen vuorokauden ajalta taulukon 4 mukaisia arvoja. Väli on tarkoituksella valittu siten, että laitos käy lähes koko ajan eikä esimerkiksi sähkölämmitystä ole tarvittu. Laskenta osoittaa, että ideaalitulanteessa käyttöaste on todella korkea. Laitoksen käydessä sähköä ei ole tarvinnut ostaa vaan sitä on koko ajan myyty verkkoon. Käyttökatkon aikana on käytetty ostosähköä. Sähkön ja lämmön suhde on ollut lähellä pidemmän aikavälin tuloksia mikä kertoo, että voimalan oma kulutus on ollut sama verrattuna pidempään laskentaväliin. Taulukosta näemme, että rakennusten sähkökulutusteho on keskimäärin ollut reilu  $4\text{kW}$ :a, mikä vastaa aika hyvin kiinteistön kulutusta normaalitulanteessa. Useampi laskenta päivinä, jolloin sähkölämmitystä ei ole tarvittu, osoittaa rakennustenkeskimääräiseksi tehontarpeeksi noin  $4,5\text{kW}$ :a.

Taulukko 4 osoittaa myös, että lämpöä on mittausaikana tuotettu noin 15%:a enemmän kuin on kulutettu. Ulkolämpötila on mittausaikana ollut keskimäärin  $-8^\circ\text{C}$  ja vuorokauden lämmitystarve on ollut n.  $550\text{kWh}$ :a. Hukkalämpöpuhallin on käynyt osateholla jäädyttäen osin voimalaitosrakennusta ja välillä myös

hukkalämpökennoa. Lämpölaitostarkoituksessa voimalaitos on toiminut ideaalisesti, mutta voimalaitoksen päätarkoitus on kuitenkin sähkön tuotanto.

**Taulukko 4.** Laskentatulokset 3.3.2012-5.3.2012

Kokonaisaika 3.2-5.2 h	72,00
Käyttöaika h	65,00
Seisonta-aika h	7,00
Käyttöaste ajallisesti %	90,28
Tuotettu sähköenergia kWh	398,81
Tuotettu lämpöenergia kWh	1928,00
Keskimääräinen sähköntuotantoteho kW	6,14
Keskimääräinen lämmöntuotantoteho kW	29,66
Hakekulutus m <sup>3</sup>	4,50
Sähköä kWh/m <sup>3</sup>	88,62
Lämpöä kWh/m <sup>3</sup>	428,44
Sähkön osuus %	17,14
Lämmön osuus %	82,86
Sähkön kulutus kWh	291,07
Lämmön kulutus kWh	1654,00
Keskim. Sähkökulutus teho kW	4,04
Keskim. Lämmitysteho kW	22,97
Myyty sähkö kWh	144,17
Ostettu sähkö kWh	36,43
Hukattu lämpö kWh	274,00
Keskimääräinen hukkalämpöteho kW	4,22
Kokonaishyötysuhde %	60,83

#### 4.4 Toiminnan ja käytön arviointi

Pitkä mittausväli ja hyvät mittaustiedot antavat paljon tietoa voimalaitoksen toiminnasta ja sen käytöstä. Yleisesti voidaan todeta, että voimalaitos on toiminut luotettavasti käyttöaikana. Päivitys ja huoltokatkoja lukuun ottamatta, voimalaitos on toiminut halutulla tavalla. Mittausdatasta selviää hyvin miten laitetta on käytetty ja mitä sen käyttäminen on maksanut.

Seuranta osoittaa, että voimalaitoksen käyttäminen lämmön kulutuksen ohjaamana on suhteellisen taloudellista, mutta ei vastaa laitoksen alkuperäistä käyttötarkoitusta. Verrattuna suoraan sähkölämmitykseen laitos on ollut huomattavasti parempi vaihtoehto, mutta esimerkiksi maalämpö ja ostosähkö olisivat tulleet noin 750 euroa halvemmaksi. Mittausajan kustannuksia nostaa

oleellisesti talven lähes kylmimpään hetkeen osunut huoltokatko jolloin piti käyttää paljon suoraa sähkölämmitystä. Lisäksi huonoon taloudellisuuteen vaikuttavat myydyn sähkön alhainen hinta, korkea voimalan oma kulutus, käyttö pienellä teho-ohjeella ja sähkön varastoinnin puute eli akuston puute ja pieni oma sähkön ja lämmön kulutus suhteessa voimalaitoksen kokoon.

## 5 KULUTUS- JA TUOTANTOKOEAJO

Kulutuskoeajossa laitosta ajettiin eri tehoalueilla vuorokauden mittainen koeajo jonka ajalta mitattiin kulutukset ja tuotanto. Tavoitteena koeajolle oli selvittää voimalaitoksen todellinen lämmön ja sähkön tuotanto eri tehoalueilla sekä hakkeen kulutus. Mittausten pohjalta laskettiin myös hyötysuhde eri tehoalueilla. Saaduilla tuloksilla on vaikutusta myös käytön optimointiin. Olennainen kysymys on, että kannattaako voimalaitosta ajaa täydellä teholla vai osateholla.

Tarvittavaa dataa lämmön ja sähkön suhteesta ei ollut eikä myöskään hakekulutuksesta eri tehoilla.

### 5.1 Mittaussuureet ja laskennalliset arvot

Koeajon aikana voimalaitoksesta mitattiin seuraavat suureet:

- tuotettu sähköenergia /kWh
- tuotettu lämpöenergia /kWh
- hakkeen kulutus /kg
- hakkeen kosteus /%.

Mittareina käytettiin voimalaitoksen omia sähkö- ja lämpöenergiamittareita. Hakekulutus mitattiin punnitsemalla hake säkkitavarana ja syöttämällä se suoraan kuljetusruuviin.

Mitatuista arvoista laskettiin lisäksi seuraavat suureet:

- keskimääräinen voimalaitoksen sähköteho /kW
- keskimääräinen lämpöteho /kW
- hyötysuhde eri tehoilla /%
- hakekuutiosta saatavan lämmön ja sähkön suhde /%
- sähkön suhteellinen saanti koko energiasta /%.

## 5.2 Mittausjärjestelyt

Koeajo suoritettiin Volterin konttivoimalaitoksessa Kempeleessä. Voimalaitos on kaasuttimen, suodatuksen ja moottorin osalta identtinen verrattuna Majbackan voimalaitokseen. Majbackan voimalaitoksen oma sähkönkulutus on hieman suurempi kuin konttivoimalassa johtuen hukkalämpöpuhaltimesta. Tämä näkyy erona tuotannossa.

Majbackan voimalaitoksessa hukkalämpökennon teho ei maksimiteholla riittänyt kesäaikaan voimalaitoksen jäähdyttämiseen, mutta konttivoimalaitoksessa ylimääräinen lämpö saatiin ajettua hakekuivuriin. Tällöin jäähdytysvesi oli prosessille riittävän viileää. Lisäksi konttivoimalaan oli helpompi järjestää hakkeen punnitus ja väliaikainen hakkeensyöttöjärjestelmä.

Laitosta ajettiin 30%:n, 50%:n, 75%:n sekä 100%:n teho-ohjeella täydestä tehosta. Aina ennen jokaista koeajoa suodatin ja kiehutin puhdistettiin, jotta voimalaitos kävisi yhtäjaksoisesti koko mittausajan. Ennen mittausta laitosta käytettiin tunti tasaisella teholla jotta käynnistyksen aiheuttamat lämmitykset eivät vaikuttaisi tuloksiin.

Hakekulutusta varten hakesiilosta irrotettiin nivelvarsipurkain jolloin haketta pystyttiin syöttämään suoraan kuljetusruuviin. Ruuvien päälle rakennettiin väliaikainen suppilo johon hake oli punnituksen jälkeen helppo syöttää ja sen kulumista oli helppo seurata. Mittauksen alussa hakekuljettimet olivat täynnä haketta ja mittauksen lopuksi kuljettimet jäivät täyteen. Oletettiin, että kuljettimissa olevan hakkeen määrä on suunnilleen sama eikä se vaikuta mittaustuloksiin olennaisesti.

## 5.3 Mittaustulokset

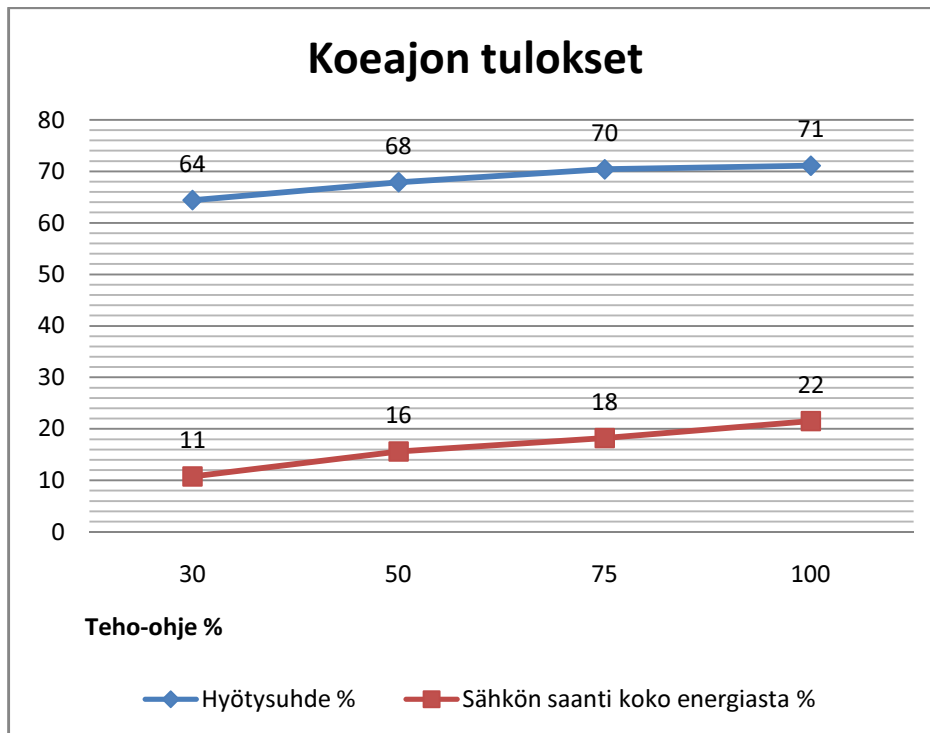
Taulukossa 5 on esitettyä kulutuskoeajojen tulokset. Tuloksista nähdään, että kokonaishyötysuhde ja sähkön saanti paranevat mitä suuremmalla teholla ajetaan. Syynä tähän on se, että voimalaitoksen lämpöhäviöt ja sähköhäviöt ovat likimäärin samat huolimatta kuormasta. Laskennassa hakkeen kuiva-aineen energiasisältönä on käytetty 5,28 kWh/kg.

**Taulukko 5.** Kulutuskoeajon tulokset

Teho-ohje	%	30	50	75	100
Tuotettu sähkö	kWh	191	336	489	664
Tuotettu lämpö	kWh	953	1125	1399	1530
Hakkeen kulutus	kg	378	458	571	657
Hakkeen kosteus	%	11	11	11	11
Sähköteho	kW	8	14	20	28
Lämpöteho	kW	40	47	58	64
Hyötysuhde	%	65	69	71	72
Kompensoitu hyötysuhde	%	69	73	77	<b>80</b>
Sähkön osuus tuotannosta	%	17	23	26	30
Lämmön osuus tuotannosta	%	83	77	74	70
Sähkön saanti koko energiasta	%	11	16	18	22

Suurimpia lämpöhäviöitä aiheuttavat moottori, eristämättömät kaasuputket sekä kaasulinjan viimeinen jäähdytyskenno jolla puhalletaan lämpöä hukkaan. Moottorin pintalämpö on sama riippumatta kuormasta ja siitä tulevista suurimmista häviöistä. Lisäksi Kempeleen konttivoimalaitos on testivoimala, jossa lämmön talteenotto ei ole tehokkain mahdollinen. Puuttuvien putkieristeiden takia laitoksen sisäilmaa piti jäädyttää voimakkaasti. Hukkalämmön tehoksi arvioitiin noin 10-15 kW:a, joka siirtyi tilan jäähdytyksen mukana hukkaan. Tällä oli suuri merkitys hyötysuhteen kannalta. Volterin myöhemmässä voimalaitosversiossa lämmön talteenottoon on kiinnitetty enemmän huomiota ja lämpö saadaan paremmin talteen. Huomioimalla häviöt laskettiin kompensoitu hyötysuhde, joka on 80%:a Tämä kuvaa hyvin tuotannossa olevan voimalaitoksen tehokkuutta

Sähköntuotannon häviöitä aiheuttavat generaattoria kuormittava taajuusmuuttaja, verkkoinvertteri sekä verkkosuodattimet. Näiden laitteiden häviöt ovat reilun yhden kilowatin luokkaa. Suuremmalla teholla ajettaessa häviöiden osuus on pienempi ja siten hyötysuhde parempi. Hyötysuhteen ja sähkön saannin suhde tuotantotehoon on esitettyinä kuviossa 4. Sähkön saanti hakkeen laskennalliseen energiasisältöön kasvaa voimakkaasti tehon kasvaessa. Sähkön saantiin vaikuttaa laskevasti se, ettei moottorissa ole turboahdinta. Turbo nostaisi moottorin hyötysuhdetta ja sitä kautta sähkön saantia.



**Kuvio 4.** Koeajon tulokset

Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että voimalaitos toimii kokonaisuudessaan hyvällä hyötysuhteella. Koeajojen perusteella ja aikaisemman käyttökokemuksen perusteella voidaan todeta, että Majbackan voimalaitokselle kannattaa asettaa 75%:n teho-ohje jaksottaiselle käytölle. Sillä ohjeella kaasutin toimii hyvin, moottorin käyttöikä on mahdollisimman pitkä ja sähkön ja lämmön suhde on hyvä ajatellen kulutusta ja akkujen kapasiteettia.

## 6 KÄYTÖN OPTIMOINTI

Käytön optimoinnissa tavoitteena oli löytää järkevät ajomallit erilaisiin sähkön ja lämmön tarpeisiin jotta oma energiankulutus voitaisiin tuottaa ostoenergiaa halvemmalla. Vertailuna laskelmassa on käytetty verkosta ostetun sähkön hintaa ja lämmön tuotantoa maalämmöllä. Ensisijaisesti pohdittiin miten käytön valinnoilla taloudellisuutta voidaan parantaa. Optimoidussa ajomallissa taloudellisuuden rinnalla toinen tekijä on ollut käyttöasteen parantaminen. Lisäksi pohdittiin mahdollisia teknisiä investointeja.

Laskennoissa pohdittiin onko järkevää tuottaa sähköä myyntiin vai vain omaan käyttöön. Lisäksi pohdittiin jatkuvan käytön ja syklisen käytön kustannuksia, lämmön ja sähkön ehdoilla ajamisen rajoja ja kustannuksia. Sykliseen käyttöön mietittiin myös sopivaa akustoa ja sen tuomia etuja. Ajatuksena on myös mahdollinen sähkön ja lämmön myynti naapurille ja selvityksessä mietittiin myös tätä mahdollisuutta.

Asiakkaalla oli myös toiveena, että tilanteessa, jossa lämmöntarve on ohjaava tekijä ja sähköä myydään verkkoon, sähkön myyntihetki saataisiin seuraamaan vuorokauden korkeimpia sähkön pörssihintoja. Nord Pool antaa aina seuraavalle päivällä ennusteen tuntikohtaisista sähkönhinnoista ja tätä olisi tarkoitus käyttää hyväksi tuotannon taloudellisuutta parannettaessa.

### 6.1 Tuotannon reunaehdot ja määräävät tekijät

Voimalaitoksessa ei alun perin ole akustoa ollenkaan vaan sähkö tuotetaan suoraan verkkoon. Mittarit mittaavat oman kulutuksen, tuotetun sähkön sekä mahdollisen sähkön myynnin tai oston. Sähkölle ei siis alun perin ollut minkäänlaista varastoa tai tuotantopuskuria. Nykyisessä ratkaisussa sähkön tuotanto on katkaistava myös silloin kun verkon puolella on vika ja verkkoon tulee sähkökatko.

Lämpövarastoa voimalaitoksessa ja koko lämmitysjärjestelmässä on noin  $5\text{m}^3$ :ä. Varaajien lisäksi järjestelmään kuuluu rakennusten väliset lämpökanaalit ja



rakennusten lämmityslaitoverkko. Energiavarastoa on tällöin noin 120kWh:a20°C:n lämpötilaerolla. Kaikki lämmin vesi on yhtä piiriä eikä järjestelmässä ole lämmönvaihtimia.

Jatkuvassa käytössä voimalaitos käy 22-23h vuorokaudessa ja taukoja aiheuttaa ainoastaan suodattimen puhdistus. Tällöin voimalaitos tuottaa vuorokaudessa täydellä teholla noin 570kWh sähköä ja 1400kWh lämpöä. Osateholla ajettaessa voimalaitos voidaan asettaa seuraamaan kulutusta niin lämmön kuin sähkön osalta. Majbackan tapauksessa kulutus on kuitenkin keskimäärin niin pientä, että laitoksen minimiraja tulee vastaan. Kaasutin toimii vakaasti vielä 30%:n teholla ajettaessa jolloin sähköteho on 5,1kW:a ja lämpöteho 17kW:a. Majbackan keskipulutus vuorokaudessa on noin 4,5kW:a. Laskennassa käytetyt lähtöarvot ja hinnat näkyvät taulukossa 6.

**Taulukko 6.** Lähtöarvot ja hinnat

Nimike	Yksikkö	Arvo
Normitettu lämmönkulutus	kWh/vuosi	97000
Sähkönkulutus	kWh/vuosi	40000
Maksimi käyttöaste	%	90
Maksimi lämmöntuotanto	kWh/vuosi	503800
Maksimi sähköntuotanto	kWh/vuosi	205800
Mahdollinen akkukapasiteetti	kWh	100
Akuston purkaushyötysuhde	%	85
Sähköntarve keskim.	kWh/vrk	110
Sähkön ostohinta	€/kWh	0,12
Sähkön myyntihinta	€/kWh	0,047-0,072
Hakkeen hinta	€/m <sup>3</sup>	24,6

## 6.2 Voimalaitoksen eri käyttömallit

Aluksi selvitettiin millaisilla erilaisilla ohjaustavoilla sähköä ja lämpöä voidaan tuottaa. Tuotantotavat voidaan jakaa käyttöön akuston kanssa tai ilman sekä sen mukaan tuotetaanko kaikki kulutus itse vai ostetaanko osa valtakunnan verkosta.

### **6.2.1 Jatkuva käyttö ilman akustoa**

Jatkuvassa käytössä ideana on, että voimalaitos käy jatkuvasti seuraten kiinteistön kulutusta, mutta kuitenkin vähintään 30 %:n minimiteholla. Katkoja käyttöön syntyy suodattimen puhdistuksesta sekä voimalaitoksen huolloista.

Ylimääräinen tuotettu sähkö myydään verkkoon hinnalla joka on 90 %:a tuntikohtaisesta pörssisähkön hinnasta. Ylimääräinen lämpö puhalletaan taivaalle hukkalämpökennon kautta. Tällainen käyttö ei kuitenkaan ole taloudellista, sillä jatkuvalla käytöllä vuosittaiset kustannukset ovat noin 14 000 euroa.

### **6.2.2 Jaksottainen käyttö ilman akustoa lämmön ohjaamana**

Voimalaitoksen ajaminen jaksottaisesti varaajan lämmön mukaan ilman akustoja on suhteellisen taloudellinen vaihtoehto. Voimalaitosta ajetaan 30%:n minimiteholla ja tuotanto seuraa tarvittaessa kulutusta. Alhaisella teho-ohjeella lämpöä saadaan paljon suhteessa sähkөөn ja pitkä varaajan lämmitysaika mahdollistaa sen, että mahdollisimman suuri osa omasta sähkönkulutuksesta tuotetaan voimalaitoksessa. Vuosittaiseksi kulutetun hakkeen ja ostetun sähkön hinnaksi tulee noin 8800 euroa. Tämäntyyppinen käyttö vaatii lämmönjakojärjestelmältä tehokasta toimintaa jotta lämpöä ei tarvitse ajaa hukkaan.

### **6.2.3 Jaksottainen käyttö akuston kanssa lämmön ohjaamana saarekkeeseen**

Jaksottainen käyttö vain lämmityksen ohjaamana akuston kanssa on edullisin tuotantotapa. Tällöin voimalaitoksen käynti seuraa varaajan lämpötiloja ja laitosta ajetaan 75% teho-ohjeella ja hyvällä hyötysuhteella. Tuotettu sähkö ladataan akkuihin ja saarekeyksikkö syöttää sähköä saarekkeeseen kulutuksen mukaan. Mikäli akkujen varaus laskee liikaa eikä puukaasugeneraattori käy, ylimääräinen sähkö ostetaan verkosta. Akuston lataus-purkaus-hyötysuhde lyijyakuilla on 85%:a. Vuosittaiset kustannukset lämmön ohjaamana akuston kanssa ovat noin 7200 euroa. Laskenta on tehty suunnitellulle laitteistolle, jossa kaikki kulutus tulee saarekeverkkoon ja valtakunnan sähköverkko on tässä vain rinnalla.

#### **6.2.4 Jaksottainen käyttö akuston kanssa sähkön ja lämmön ohjaamana**

Jaksottaisessa käytössä akuston kanssa sähkönkulutuksen ohjaamana voimala käy vakio teho-ohjeella ladaten akuttäyteen ja jää sen jälkeen valmiustilaan. Kulutuskoeajojen perusteella sekä moottorin toiminnan kannalta järkevintä on käyttää laitosta 75 %:n teho-ohjeella. Akkujen verkkoonsyöttöyksikkö seuraa kulutusta ja syöttää sähköä saarekeverkkoon oman kulutuksen verran. Tällöin voimalaitos olisi käynnissä noin 7tuntia vuorokaudesta. Tällöin sähköä ladattaisiin akkuihin vuorokaudessa keskimäärin 110kWh:a ja lämpöä tuotettaisiin 350kWh:a. Mikäli lämmön kulutus vuorokaudessa ylittää 350 kWh:a generaattorin käynti seuraa lämminvesivaraajan lämpötilarajoja ja käy pidempään. Kun kaikki sähkö ja lämpö tuotetaan voimalassa, tuotantokustannukset jaksottaisessa käytössä ovat noin 8200 euroa vuodessa. Tämä toimintamalli vastaa hyvin voimalaitoksen käyttöideaa, jossa kaikki tarvittu energia tuotetaan ympäristöystävällisesti hakkeesta.

### **6.3 Optimoitu käyttömalli**

Voimalaitoksen optimaaliseksi käyttötavaksi osoittautui lämmityksen mukaan tapahtuva jaksottainen käyttö yhdistettynä sähkön varaamisella akustoon sekä osan vuodesta tuottamalla kaikki sähkö itse. Akuston lisäämistä järjestelmään puoltavat sekä taloudellisuus käytössä, että järjestelmään suunniteltu saarekekäyttö. Saarekekäytössä kulutukseen saadaan katkoton syöttö huolimatta valtakunnan verkon vioista tai voimalaitoksen käynnistä. Saarekekäyttöyksikkö sisältää energiavarastona 100kWh akuston.

Lämmitykseen perustuvassa käytössä ohjaus tulee jatkuvasti lämminvesivaraajan lämpötiloista. Puukaasugeneraattori lämmittää varaajan täyteen syklisesti ja samalla tuotettu sähkö varastoidaan akkuihin. Saarekeverkkoyksikkö syöttää sähköä verkkoon kulutuksen mukaan joko akustosta tai valtakunnan verkosta. Käytännössä kesän lämpiminä kuukausina, kun lämpöä ei tarvita, osa sähköstä otetaan valtakunnan verkosta. Laskennassa arvioitiin, että kesä-, heinä- ja elokuussa sähköä ostetaan verkosta ja muina kuukausina tuotetaan kaikki oma kulutus. Tällaisella käytöllä vuosittaiset kustannukset ovat n. 7600 €.

Jos valtakunnan verkossa on vika, generaattorin käynnistyskäsky tulee akuston varauksen alarajasta. Näin saarekeverkossa säilyy syöttö katkeamatta huolimatta verkon tilasta.

Majbackan pienen kulutuksen takia taloudelliseksi käytöksi osoittautui tilanne, jossa lämpö on määräävä tuote ja sähkö sivutuote. Sähköä ei ole taloudellista tuottaa, jos lämpöä ei saada käytettyä järkevästi mihinkään. Akusto tuo joustoa aikaisempaan tilanteeseen jolloin sähköä ei tarvitse turhaan myydä vaan tuotettu sähkö voidaan käyttää itse ja vasta ylimääräinen sähkö myydä verkkoon. Akusto parantaa myös ympäristöystävällisyyttä, sillä suurin osa omasta sähkön kulutuksesta on tuotettu ympäristöystävällisesti biopolttoaineella.

#### **6.4 Lämmön myynti naapurille**

Tehokkaan käytön ja taloudellisuuden lisäämiseksi ajatuksena on ollut myös rakentaa lämpökanaali Majbackan naapuritaloon ja lämmittää myös naapuritalo voimalaitoksen tuottamalla lämmöllä. Kohteena olevassa paritalossa on lämmintä tilaa noin 230m<sup>2</sup>:ä ja suora sähkölämmitys avustettuna ilmalämpöpumpuilla. Keskimääräiseksi lämmönkulutukseksi vuodessa arvioitiin 57000kWh:a, mikä tarkoittaa noin 6,6kW:n jatkuvaa tehoa. Lämmitys kuitenkin jakaantuu epätasaisesti vuoden ympäri (LIITE 2).

Vanhalle puutalolle arvioitiin -30°C:n lämpötilassa tehonkulutukseksi 80W/m<sup>2</sup>, mikä tarkoittaa 18,4kW:n lämmitystehoa. Majbackan ja naapurin yhteenlaskettu lämmitystehon tarve kylmimpinä hetkinä on noin 63kW:a jonka voimalaitos pystyy tuottamaan. Varalle voimalaitoksessa sekä naapuritalossa on sähkövastukset varaajissa, joilla lämmitystä pystytään lisäämään, ellei voimalan lämpö riitä.

Arvioinnissa verrattiin lisälämmityksen tuomia kustannuksia, lämmön myynnistä saatavaa tuottoa sekä naapurin säästöä vuositasolla verrattuna sähkölämmitykseen. Oletuksena käytettiin edellä kerrottua toimintamallia, jossa käyttötapa riippuu ulkolämpötilasta ja lämmön ja sähkön tarpeesta. Arvioinnissa tuotetun ylimääräisen sähkön myyntihinnaksi arvioitiin 5 snt/kWh ja naapurin

ostaman kaukolämmön hinnaksi 5 snt/kWh. Ostosähkön hintana on käytetty 12 snt/kWh.

Suoralla sähköllä lämmitettynä naapurin lämmityslasku vuodessa on noin 6900 euroa. Majbackan voimalaitoksesta ostamalla lämmityslasku on noin 2900 euroa, joten säästö on huomattava. Majbackan hakekustannukset kasvavat tällöin vuodessa noin 2400 euroa ja tuottoa lämmitykselle saadaan noin 500 euroa.

Lämpökanaalin investointikustannukset ja takaisinmaksu vaativat oman selvityksen johon tässä ei syvennytty kovin tarkasti. Jotta lämmön myynti naapurille on kuitenkin kannattavaa, on ylimääräisen myydyn sähkön sekä naapurille myydyn lämmön yhteishinta ylitettävä tuotantohinta.

### **6.5 Sähkön myynti pörssihinnan mukaan**

Sähkön pörssihinta vaihtelee voimakkaasti riippuen vuorokaudenajasta. Tarkoituksena oli myös optimoida sähkön myyntiä korkeiden hintahuippujen ajalle. Toteutuneita hintoja seuraamalla nähdään, että korkeimmat hinnat ajoittuvat vuodenaajoista talven kylmimmille päiville ja vuorokaudenaajoista aamuun ja iltapäivään.

Myynnin optimointia voidaan tehdä luomalla ohjelma, joka seuraa Nord Poolin seuraavan vuorokauden sähkönhintaennustetta ja luo sen pohjalta ohjeen jokaista tuntia kohden. Jos sähkön kilowattituntihinta alittaa tuotantokustannukset, ohjelmaan ei tule muutosta. Jos hinta ylittää tuotantokustannukset ohjelma antaa käskyn logiikalle sähkön myynnistä. Tällöin teho-ohje nousee 100 %:iin ja verkkoonsyöttöyksikkö syöttää kaiken omasta kulutuksesta ylijäävän tuotannon sekä akkujen kapasiteetin verkkoon hyvällä hinnalla.

Kilowattitunnin tuotantohinta puukaasuvoimalassa 100%:n teho-ohjeella on noin 17 snt/kWh. Lämmölle ei ole laskettu arvoa ollenkaan. Parhaimmillaan sähkön tuntikohtainen myyntihinta voi olla moninkertainen tuotantohintaan nähden ja silloin myynnillä saadaan katettua vuosikustannuksia.

## 6.6 Investoinnit ja muutokset

Järkevän käytön kannalta voimalaitokseen on hankittava akusto, joka mahdollistaa jaksottaisen käytön ja siitä huolimatta tasaisen sähköntuoton kulutuksen mukaan. Voimalaitokseen on suunniteltu asennettavaksi saarekeverkkoyksikkö, joka takaisi katkottoman sähkönsyötön voimalan käynnistä tai valtakunnan verkon vioista riippumatta. Suunniteltu investointi sisältää tässä tapauksessa akuston, uuden verkkoonsyöttöyksikön ja akustonhallintalaitteiston.

Taloudellisessa toiminnassa myös lämmönjakojärjestelmän ja sähköjärjestelmän on toimittava tehokkaasti. Kulutuspuolella lämmönjaosta huolehtii Oumanin automatiikka ja sähköjärjestelmästä Findelix-taloautomaatiojärjestelmä. Voimalaitosrakennuksen jäähdytystä, konekotelon jäähdytystä ja hukkalämpöpuhaltimen toimintaa piti kehittää ja säätää. Konekoteloon asennettiin säätöpelti jolla saatiin säädettyä konekotelon jäähdytysilman virtaus sopivaksi. Konekotelossa kriittinen tekijä on oikosulkumoottorin ympäristö, joka tulisi olla alle 40 °C:tta. Säätöpellin asennuksen ansiosta, hukkalämpöpuhaltimen virtaus kasvoi ja jäähdytysteho parani.

Lämminvesivaraajan käynnistys ja pysäytysrajat aseteltiin siten, että varaajan kapasiteetista saataisiin käyttöön mahdollisimman suuri osa ilman hukkalämpöpuhaltimen käyttöä. Varaajan lämmityksen pysäytysrajaksi aseteltiin alalämmöstä 57 °C:tta jolloin varaajassa oleva vesi myös kerrostuu hyvin lämpötilan mukaan. Sähkön myynnin optimoinnin vuoksi vaihtoehtoiseksi alemmaksi pysäytysrajaksi asetettiin 50 °C:sta. Näillä rajoilla lämpöä ei tarvitse ajaa hukkaan, sillä prosessin menovedeksi riittää 50 °C jäähdytysvesi.

Akuston sykliseksi käyttörajaksi aseteltiin 40 kWh kapasiteetti. Sähköohjeella ajettaessa voimalaitos lataa akuston täyteen vajaan neljässä tunnissa. Akkujen ollessa täynnä laitos asetettiin syöttämään kulutuksen ja tuotannon välinen erotus valtakunnanverkkoon. Sähkön myyntitilanteessa hyvällä hinnalla pörssihintaa seuraava ohjelma antaa käskyn, joka ajaa voimalaitokseen ja verkkoonsyöttöyksikköön sähkön myyntiin sopivat parametrit.

## 7 LOPPUSANAT

Tämän opinnäytetyön tekeminen osoittautui mielenkiintoiseksi ja haastavaksi. Työssä sain tutustua uusiin osa-alueisiin ja olla mukana kehittämässä mahdollista ratkaisua tulevaisuuden sähkötuotantoon. Työtä tehdessä sai soveltaa koulussa opittuja asioita, mutta oli myös paljon asioita joista piti ottaa selvää ja opiskella syvemmin.

Haastavimpana työssä koin Majbackan voimalaitoksen haasteellisuuden ja kompromissit. Voimalaitosta rakennettaessa on jouduttu vastaamaan ympäristön haasteisiin ja tekemään kompromisseja tilan, melun ja ulkonäön suhteen. Nämä ovat vaikuttaneet laitevalintoihin ja optimointia tehdessä piti ottaa huomioon paljon eri asioita. Näiden vaikuttavien asioiden löytäminen ja niiden vaikutusten sisäistäminen tuotti eniten päänvaivaa.

Positiivista työssä oli innostava työympäristö, hyvät työvälineet ja mahdollisuus olla kehittämässä jotain uutta. Koin, että opin paljon uutta sähkötekniikasta, energiantuotannosta, bioenergiasta sekä sain myös kehittää omia sosiaalisia taitojani. Onnistumista koin kun vaikeisiinkin kysymyksiin löytyi ratkaisuja kun vain osasi oikein etsiä.

## LÄHTEET

/8/ Biomas, bioenergiaa maaseudulle. 2012. Hake. Verkkojulkaisu. Viitattu 23.5.2012. <http://www.biomass.fi/energianlahteet/hake/>

/4/ Finlex, Valtion säädöstietopankki. 2012. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta 30.12.2010/1396. Viitattu 21.5.2012. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101396>.

/5/ Haapakoski, J. Kaaresto, J. Ylikoski, I. Volter Oy. Haastattelut 3.5.2012-3.8.2012.

/6/ Jarva, K & Niskanen, M. 2011. Stirling-moottori puukaasukäytössä. Opinnäytetyö. Ylivieskan ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.5.2012. [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33120/niskanen\\_mauri.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33120/niskanen_mauri.pdf?sequence=1)

/1/ Lamminmäki, A. 2009. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto biomassasta maatilayrityksessä. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.5.2012. [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3412/Lamminmaki\\_Arttu.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3412/Lamminmaki_Arttu.pdf?sequence=1)

/7/ Lampinen, A. 2009. Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Verkkojulkaisu. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.5.2012. [http://www.pkamk.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17\\_verkkojulkaisu.pdf](http://www.pkamk.fi/julkaisut/sahkoinenjulkaisu/B17_verkkojulkaisu.pdf).

/3/ Motiva Oy. 2011. Peltoenergia. Viitattu 18.5.2012. Verkkojulkaisu. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/peltoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/peltoenergia)

/2/ Motiva Oy. 2012. Bioenergia. Viitattu 18.5.2012. Verkkojulkaisu. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia)

/9/ Savon Voima. 2012. Nord Pool –sähköpörssin toteutuneet spot-hinnat Suomen hinta-alueella. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.5.2012. [http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/Myynti/Spot\\_kuukausihinnat.pdf](http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/Myynti/Spot_kuukausihinnat.pdf)



## Kevään aikainen käyttö 2.1-24.4

Käyttöaika h	1766
Käyttöaste ajallisesti %	65
Kokonaishyötysuhde %	52
Hakkeen kulutus m <sup>3</sup>	137

Sähkön tuotanto kWh	10482
Lämmön tuotanto kWh	50058
Tuotettu energia yhteensä kWh	60540

Sähkön kulutus kWh	26434
Lämmön kulutus kWh	45073
Myyty sähkö kWh	2799
Ostettu sähkö kWh	18759

Hakekustannukset € (25€/m <sup>3</sup> )	3430
Ostosähkön kustannukset € (12snt/kWh)	2250
Myydyn sähkön tuotto € (5snt/kWh)	140
Kokonaiskustannukset ajalta €	5540

Eri käyttötapojen kustannukset  
vuodessa

1. Jatkuva käyttö €	14000
2. Käyttö vain lämmitykseen ilman akkuja €	8800
3. Käyttö vain lämmitykseen akuston kanssa €	7200
4. Käyttö akuston kanssa €	8200
5. Käyttömoodi 1, €	7600

<b>Vertailuna</b>	
Suora sähkölämmitys €/vuosi	16500
Ostosähkö ja maalämmitys €/vuosi	8300

## Lämmön myynti naapuritaloon

Naapurin lämmityslasku sähköllä €	6900
Naapurin lämmityslasku voimalalla €	2900
Juhan kustannukset lisälämmitykselle €	2300
Juhan saama tuotto lisälämmitykselle €	600

Käyttöön oletettu n. 40000kWh  
sähkönkulutus vuodessa sekä arvioitu  
lämmitystarve 97000kWh vuodessa.

1. Jatkuva käyttö: 30% minimiteho,  
käyttö tarvittaessa korkeammalla  
teholla mikäli lämmitys tai  
sähkönkulutus nousee.

2. Käyttö lämmitykseen ilman akkuja:  
Voimalaitos käy ainoastaan lämmön  
ohjaamana 30% teho-ohjeella ja  
pysäytyksen aikana sähkö ostetaan  
verkosta.

3. Käyttö lämmitykseen akuston  
kanssa: Laitos käy varaajan lämpötilan  
mukaan 75% teho-ohjeella ja loppu  
tarvittava sähkö ostetaan verkosta.

4. Käyttö akuston kanssa: Voimalaitos  
käy 75% teho-ohjeella seuraten akun  
varausta tai varaajan lämpötilaa  
ympäri vuoden.

5. Käyttömoodi 1: Voimalaitos on vain  
lämmityskäytössä kesä-, heinä- ja  
elokuun ja loppu tarvittava sähkö  
ostetaan verkosta. Muutoin käyttö  
akuston kanssa lämmön tai sähkön  
ohjaamana.

Naapurin lämmitysenergiaksi oletettu  
vuodessa 57500kWh. Naapuri maksaa  
lämmöstään kaukolämmön hinnan  
5snt/kWh.

Oletuksena ajateltu että voimalaitos on  
vain lämmöntuotantokäytössä kesä-,  
heinä- ja elokuun.

<b>Lämmitystarvelaskelmat Majbacka</b>			
Ulkolämpötila	Lämmitysenergia	Kesk. lämmitysteho kW	Lämmitysteho/m <sup>2</sup>
10	117	4,88	9,75
8	145	6,04	12,08
6	176	7,33	14,67
4	210	8,75	17,50
2	247	10,29	20,58
0	287	11,96	23,92
-2	330	13,75	27,50
-4	376	15,67	31,33
-6	425	17,71	35,42
-8	476,55	19,86	39,71
-10	532	22,17	44,33
-12	590	24,58	49,17
-14	638,6	26,61	53,22
-16	689	28,71	57,42
-18	741,2	30,88	61,77
-20	795,2	33,13	66,27
-22	851	35,46	70,92
-24	908,6	37,86	75,72
-26	968	40,33	80,67
-28	1029,2	42,88	85,77
-30	1092,2	45,51	91,02
-32	1157	48,21	96,42
-34	1223,6	50,98	101,97

