

Johanna Arola

KESKITETYN  
BIOKAASULAITOKSEN  
ENERGIATASE

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniologia, YAMK


Syyskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>				
<b>Tekijä(t)</b> Johanna Arola	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniologia, kestävä energiatalous				
<b>Nimeke</b> Keskitetyn biokaasulaitoksen energiatase					
<b>Tiivistelmä</b> <p>Uusiutuvan energian käyttöä tulee tulevaisuudessa lisätä. Tähän tähtäävät sekä EU:n ilmasto- ja energia-paketti, joka velvoittaa jäsenmaitaan vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä, että uusiutuvaa energiaa koskeva EU-direktiivi, joka velvoittaa jäsenmaita nostamaan uusiutuvan energian käytön osuutta energian kokonaiskulutuksesta. Suomessa uusiutuvan energian osuus oli vuonna 2010 noin 26 %, josta alle 1 % oli tuotettu biokaasusta. Biokaasua tuotetaan kaatopaikoilla, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla, mautiloilla ja usean maatilan yhteismädätyslaitoksilla.</p> <p>Tämän työn tavoite oli selvittää Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksen energiatase. Energiatasetta laskettaessa huomioitiin prosessin vaiheet syötteiden kuljetuksesta biokaasun muuntamiseksi sähkö- ja lämpöenergiaksi. Energiataselaskentaa varten laitoksen toimintaa seurattiin neljän viipymän (21 vuorokautta / viipymä) ajan.</p> <p>Laitos tuotti prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 75 - 86 % syötteiden sisältämästä laskennallisesta energiasta. Laitoksen oma energian kulutus oli 35 - 41 % laitoksen tuottamasta kokonaisenergiasta. Myyntiin tuotetusta energiasta laitos kulutti 52 - 65 %. Laitoksen myyntiin tuottamasta energiasta syötteiden kuljetukseen kului noin 6 - 13 %.</p> <p>Tulokset osoittavat, että laitoksen energiatase on positiivinen eli laitos tuottaa energiaa enemmän kuin kuluttaa. Laitoksen energiatehokkuuden parantamiseksi laitos tulisi saada toimimaan täydellä kapasiteetilla. Tällä hetkellä laitoksen oma energian kulutus on aiemmin liiketoimintasuunnitelmassa arvioidun mukaista, mutta laitoksen tuottaman biokaasun ja sitä kautta energian määrä ovat arvioitua alhaisempia.</p> <p>Laitoksen energiatehokkuutta voidaan parantaa hankkimalla laitokselle nykyistä enemmän korkean biokaasupotentiaaloin omaavia syötemateriaaleja. Kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla, joissa glyserolia käytettiin enemmän (1,3 - 2,2 % syötemäärästä), biokaasua syntyi 31,0 - 47,9 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>, kun taas kahdella jälkimmäisellä seurantajaksolla, joissa glyserolia käytettiin vähän (0,4 % syötemäärästä) tai ei lainkaan, biokaasua syntyi 21,1 - 25,2 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>. Biokaasun metaanipitoisuus oli noin 5 % -yksikköä korkeampi kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla verrattuna kahteen jälkimmäiseen seurantajaksoon. Glyserolin käyttö paransi laitoksen energiatehokkuutta, joten sen käyttöä jatkossa tulee harkita. Laitoksen energiatehokkuuden parantamiseksi voidaan laitoksen omaa energiankulutusta hieman pienentää optimimalla laitoksen käyttöä. Jotta laitoksen energiatehokkuutta voidaan tulevaisuudessa seurata paremmin, tulisi energian kulutuksen ja tuotannon mittaukset olla nykyistä kattavampia ja helpommin luettavissa olevia.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Bioenergia, biokaasu, biokaasulaitos, metaani, energiatase					
<b>Sivumäärä</b> 57 + liitteet (6 kpl)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Veuro Hanne Soininen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Juvan Bioson Oy				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the master's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Johanna Arola		<b>Degree programme and option</b> Environmental technology, sustainable energy	
<b>Name of the master's thesis</b> Energy balance of farm-scale biogas plant			
<b>Abstract</b>			
<p>Use of renewable energy will increase in the future. This target has been set in EU's climate- and energy package that obligates member countries to reduce greenhouse gas emissions. The target has been set also in Eu directive concern the renewable energy. The directive obliges member countries to increase the use of renewable energy share of total energy consumption. In the year 2010 the share of renewable energy was about 26 %. Less than 1 % of that was produced from biogas. Biogas is produced in landfills, municipal and industrial wastewater treatment plants, on farms and digestion plants of number of farms.</p> <p>The target of this master's thesis was to determine the energy balance of Juvan Bioson Ltd's biogas plant. In calculation of energy balance all steps from transporting the feeds to changing the biogas to electricity and thermal energy were taken into account. Because of calculate the energy balance the operating of biogas plant was followed during four retention (21 days / retention).</p> <p>The biogas plant produced about 75 - 86 % energy from the calculated count of energy of the feeds that were input to the process. The biogas plant consumed 35 - 41 % of the total energy produced in the biogas plant. From the energy that was produced to the sale the biogas plant consumed 52 - 65 %. Transporting the feeds took about 6 - 13 % of the energy produced to the sale.</p> <p>The results show that the energy balance of the biogas plant was positive. The biogas plant produced more energy than it consumed. In order to enhance the energy performance of the biogas plant should it operate at full capacity. At this moment the biogas plant consume energy as it was estimated in the business plan. Production of the biogas and energy are lower than were estimated.</p> <p>By purchasing more feed with a high biogas potential could the energy efficiency of the biogas plant improved. Biogas production was 31,0 - 47,9 m<sup>3</sup>/feed-m<sup>3</sup> on those periods when the amount of glycerol was higher (1,3-2,2 % of the feed). When the use of glycerol was lower (0,4 % of the feed) or it wasn't used the biogas production was 21,1 - 25,2 m<sup>3</sup>/feed-m<sup>3</sup>. Also the methane content of the biogas was about 5 %-units higher on the periods when the amount of glycerol was higher. The use of glycerol improved the energy efficiency of the biogas plant so it is worth of consider to use it also in the future. To improve the energy efficiency could the biogas plant slightly reduce it's own energy consumption by optimizing the use of the plant. In order that plant's energy efficiency can be achieved the better monitor in the future the measurement of energy consumption and production should be more comprehensive and easier to read.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>			
Bioenergy, biogas, biogas plant, methane, energy balance			
<b>Pages</b>	<b>Language</b>	<b>URN</b>	
57 + annex (6 pieces)	Finnish		
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Martti Veuro Hanne Soininen		<b>Master's thesis assigned by</b> Juvan Bioson Ltd	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TYÖN TAVOITE JA RAJAUS.....	2
3	BIOKAASUN TUOTANTO JA BIOKAASU ENERGIALÄHTEENÄ .....	3
3.1	Biokaasun tuotanto .....	3
3.1.1	Biokaasun tuotanto Suomessa.....	3
3.1.2	Biokaasun tuotanto muualla.....	6
3.2	Biokaasuprosessi.....	7
3.2.1	Biokaasun muodostuminen ja ominaisuudet .....	7
3.2.2	Biokaasuprosessin hallinta.....	9
3.2.3	Energiantuotanto biokaasusta .....	11
3.2.4	Biokaasuprosessin hyödyt.....	13
3.3	Energiataseen laskeminen.....	13
3.4	Aikaisemmat tutkimukset .....	14
4	JUVAN BIOSON OY .....	15
4.1	Biokaasulaitoksen laitteisto ja toiminta .....	16
4.2	Laitoksen energiantuotanto.....	18
5	TYÖN TOTEUTUS JA MENETELMÄT .....	19
5.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	20
5.2	Laitokselle tuodun syötemateriaalin energiasisältö .....	20
5.3	Biokaasulaitoksen oma energiankulutus.....	21
5.3.1	Sähköenergia.....	21
5.3.2	Lämpöenergia .....	23
5.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia.....	23
5.5	Energiataseen laskeminen.....	24
6	TYÖN TULOKSET .....	25
6.1	Ensimmäinen seurantajakso.....	25
6.1.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	25
6.1.2	Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali .....	26
6.1.3	Laitoksen oma energiankulutus .....	27

6.1.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia .....	28
6.2	Toinen seurantajakso .....	29
6.2.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	29
6.2.2	Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali .....	30
6.2.3	Laitoksen oma energiankulutus .....	31
6.2.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia .....	32
6.3	Kolmas seurantajakso .....	33
6.3.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	33
6.3.2	Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali .....	34
6.3.3	Laitoksen oma energiankulutus .....	35
6.3.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia .....	36
6.4	Neljäs seurantajakso .....	37
6.4.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	37
6.4.2	Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali .....	38
6.4.3	Laitoksen oma energiankulutus .....	39
6.4.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia .....	40
6.5	Laitoksen energiatase.....	41
7	TULOSTEN TARKASTELU .....	45
7.1	Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia.....	45
7.2	Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali.....	45
7.3	Laitoksen oma energiankulutus .....	47
7.4	Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia.....	48
7.5	Laitoksen energiatase.....	51
8	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
	LÄHTEET .....	55

## LIITTEET

Liite 1: Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia seurantajaksoilla

Liite 2: Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen biokaasun ja metaanin tuotto

Liite 3: Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen energiasisältö

Liite 4: Laitoksen oma sähkö- ja lämpöenergian kulutus

Liite 5: CHP-yksikön biokaasusta tuottaman energian määrä sekä CHP-yksikön hyötysuhde

Liite 6: Laitoksen biokaasusta tuottama sähkö- ja lämpöenergia

## 1 JOHDANTO

Euroopan unionin hyväksymä ilmasto- ja energiapaketti tulee voimaan vuonna 2013, ja se velvoittaa jäsenmaita vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä vuoteen 1990 verrattuna (Ympäristöministeriö 2012). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen lisäksi vuonna 2009 voimaan tullut uusiutuvaa energiaa koskeva EU-direktiivi velvoittaa jäsenmaita nostamaan uusiutuvan energian osuuden energian kokonaiskulutuksesta EU-tasolla 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä (EU-direktiivi 2009). Suomen osuudeksi on asetettu nostaa uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta 38 %:iin (Ympäristöministeriö 2012).

Suomen kokonaisenergian kulutus oli vuonna 2010 yhteensä 1 460 PJ, josta uusiutuvan energian osuus oli noin 26 % (Motiva 2012). Biokaasusta tuotetun energian osuus Suomessa tuotetun uusiutuvan energian määrästä oli alle 1 %. Suomen biokaasun tuotanto oli vuonna 2010 yhteensä 139,1 milj. m<sup>3</sup>, josta hyödynnettiin noin 66 %. Hyödynnetyistä biokaasusta tuotettiin energiaa yhteensä 421,4 GWh, josta lämpöä 314,5 GWh ja sähköä 107,0 GWh. (Huttunen & Kuittinen 2011.)

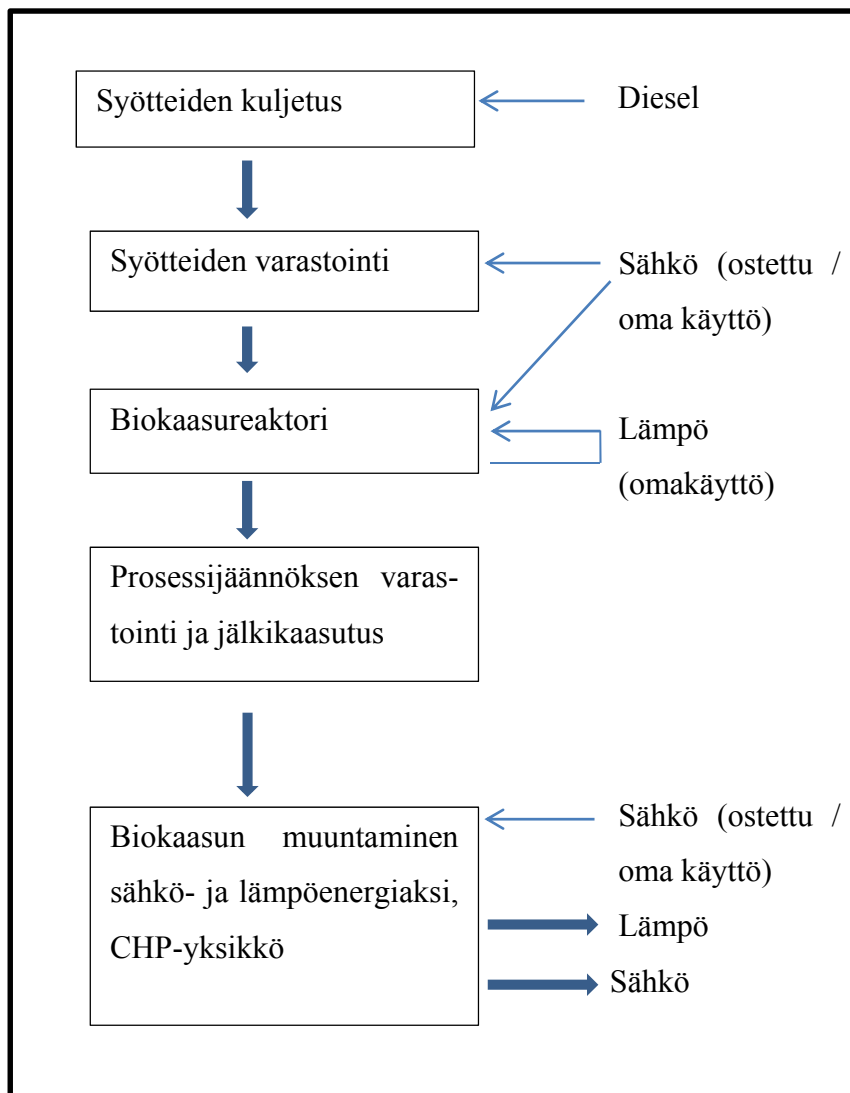
Biokaasua tuotetaan Suomessa kaatopaikoilla, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla, maataloilla ja usean maatilan yhteismädätyslaitoksilla. Vuonna 2010 yhteismädätyslaitoksia oli 6 kappaletta ja ne tuottivat biokaasua yhteensä 9,511 milj. m<sup>3</sup>, josta hyödynnettiin 7,428 milj. m<sup>3</sup>. Tuotetusta biokaasusta tuotettiin sähköä 10,1 GWh ja lämpöä 31,6 GWh. Lisäksi vuonna 2010 oli rakenteilla tai suunnitteilla yhteensä 19 yhteismädättämöä, muun muassa Juvan Bioson Oy. (Huttunen & Kuittinen 2011; Kuittinen ym. 2010.)

Tämän työn tavoitteena on määrittää Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksen energiataase. Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitos on vuonna 2011 käyttöönotettu usean maatilan yhteismädätyslaitos, joka käsittelee vuosittain alle 20 000 m<sup>3</sup> maatilan sivutuotteita, kuten naudan liettelantaa, kananlantaa ja viherjätettä. Energiataselaskennassa huomioidaan prosessin vaiheet syötteiden kuljetuksesta biokaasun muuntamiseksi sähkö- ja lämpöenergiaksi. Tuotantoprosessin energiataase on positiivinen, jos prosessi tuottaa energiaa enemmän kuin kuluttaa, eli suhdeluku on pienempi kuin yksi. Energiataase kertoo prosessin hyötysuhteesta sekä myös prosessin taloudellisuudesta.

## 2 TYÖN TAVOITE JA RAJAUS

Työssä selvitetään Juvan Bioson Oy:n omistaman biokaasulaitoksen energiatase. Energiataseen selvittämiseksi prosessin kuluttamaa ja tuottamaa sähkö- ja lämpöenergian määrää seurataan neljään otteeseen yhden viipymän (21 vrk) ajan. Saatuja tuloksia verrataan kirjallisuusarvoihin sekä laitoksen materiaalivirtojen teoreettisiin, laskennallisiin arvoihin. Saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida laitoksen energiatehokkuutta.

Energiatasetta laskettaessa huomioidaan prosessin vaiheet syötteiden kuljetuksesta biokaasun muuntamiseksi sähkö- ja lämpöenergiaksi. Työn rajaus on esitetty kuvassa 1.



**KUVA 1. Biokaasuprosessin tuotantoketju ja tarkasteltavan systeemin rajaus**



### **3 BIOKAASUN TUOTANTO JA BIOKAASU ENERGIALÄHTEENÄ**

#### **3.1 Biokaasun tuotanto**

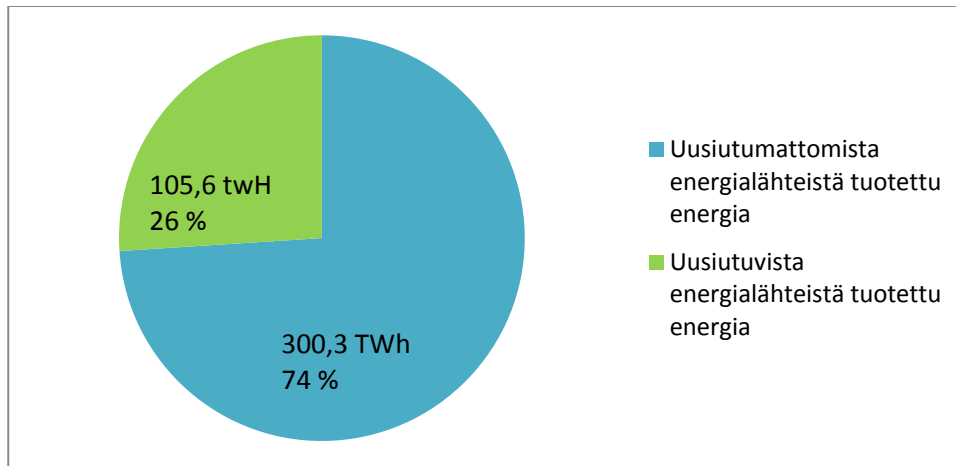
Euroopan unioni hyväksyi vuoden 2008 joulukuussa ilmasto- ja energiapaketin, joka tulee voimaan Kioton kauden jälkeen vuonna 2013. Ilmasto- ja energiapaketissa sovitettiin kaikkia jäsenmaita koskeva velvoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä vuoteen 1990 verrattuna. (Ympäristöministeriö 2012.)

Uusiutuvaa energiaa koskeva EU-direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä on tullut voimaan huhtikuussa 2009. Direktiivi velvoittaa EU:n jäsenmaita nostamaan uusiutuvan energian osuuden kokonaiskulutuksesta EU-tasolla 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. (EU-direktiivi 2009.) Direktiivin tarkoittama uusiutuva energia tarkoittaa muista kuin fossiilisista lähteistä peräisin olevaa energiaa, kuten aurinkoenergiaa, vesivoimaa, biomassaa sekä kaatopaikoilla ja jätevedenpuhdistamoilla syntyvää biokaasua. Direktiivi velvoittaa jokaista jäsenmaata tekemään suunnitelman, jolla direktiivin velvoitteet saadaan täytettyä. (Marja-Aho 2011.) Suomen osuudeksi on asetettu nostaa uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta 38 %:iin nykyisestä 28,5 %:sta (Ympäristöministeriö 2012).

##### **3.1.1 Biokaasun tuotanto Suomessa**

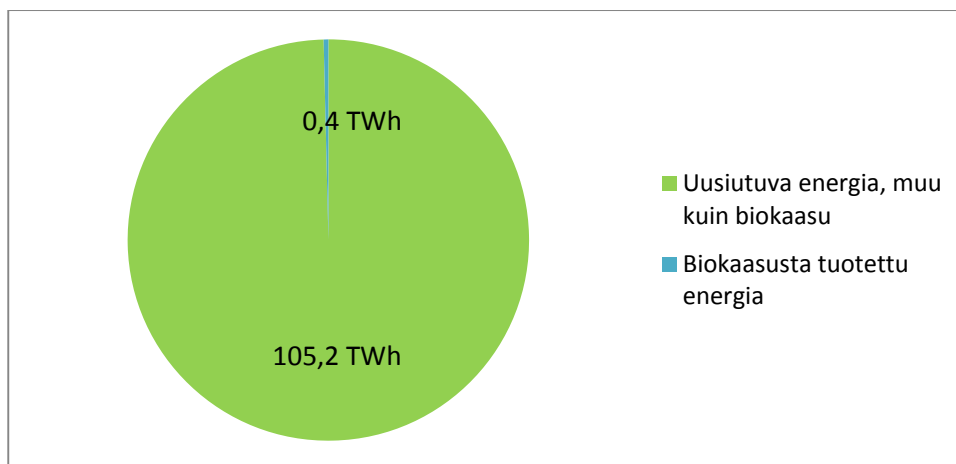
Suomessa olevat biokaasulaitokset ovat joko reaktorilaitoksia tai kaatopaikkalaitoksia. Reaktorilaitoksiin luetaan yhdyskuntien ja teollisuuden jäteveden puhdistamot, maatalouden biokaasulaitokset sekä yhteismädätyslaitokset. Yhteismädätyslaitokset käsittelevät biojätteitä, lantoja sekä puhdistamolietteitä. (Huttunen & Kuittinen 2011.)

Suomessa käytettiin vuonna 2010 energiaa yhteensä 405,9 TWh (1 460 PJ, 1 PJ=278 GWh). Uusiutuvaa energiaa Suomessa tuotettiin samana vuonna yhteensä 105,6 TWh (380 PJ). (Motiva 2012.) Kuvassa 2 on esitetty, kuinka suuri osa Suomen kokonaisenergian kulutuksesta on peräisin uusiutumattomista ja uusiutuvista lähteistä.



**KUVA 2. Suomen kokonaisenergian kulutus vuonna 2010 oli yhteensä 405,9 TWh (Huttunen & Kuittinen 2011)**

Vuonna 2010 biokaasusta tuotetun energian osuus tuotetusta uusiutuvan energian määrästä oli alle 1 % (Huttunen & Kuittinen 2011). Kuvassa 3 on esitetty biokaasusta tuotetun energian osuus uusiutuvasta energiasta.

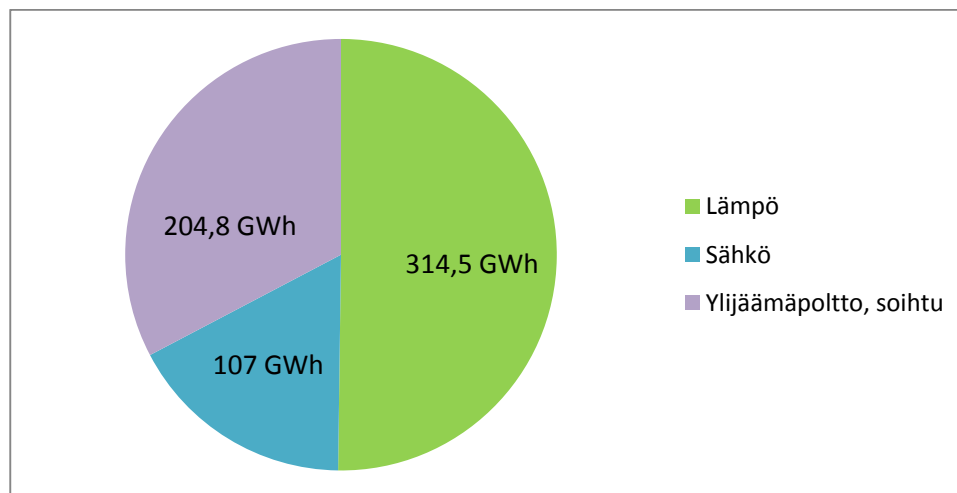


**KUVA 3. Biokaasusta tuotetun energian osuus uusiutuvasta energiasta Suomessa vuonna 2010 (Huttunen & Kuittinen 2011; Motiva 2012)**

Vuonna 2010 Suomessa tuotettiin biokaasua yhteensä 139,1 milj. m<sup>3</sup> (144,49 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2009). Tuotetusta biokaasusta hyödynnettiin vuonna 2010 noin 66 % (67 %). Hyödynnetyistä biokaasusta tuotettiin energiaa yhteensä 421,4 GWh (436,4 GWh), josta lämpöä 314,5 GWh (378,3 GWh) ja sähköä 107,0 GWh (58,1 GWh). (Huttunen & Kuittinen 2011.) Biokaasun energiasisältö riippuu sen metaanipitoisuudesta. Metaanipitoisuuden ollessa 50 % on biokaasun energiasisältö 5 kWh/m<sup>3</sup> ja 75 %:n me-

taanipitoisuudella 7,5 kWh/m<sup>3</sup>. Metaanin energiasisältö on 10 kWh/Nm<sup>3</sup>. (Vilkkilä 2007.)

Hyödyntämätön biokaasu poltettiin soihtupolttona (Huttunen & Kuittinen 2011). Hyödyntämättä jäävä biokaasu tulee polttaa soihdussa eikä laskea suoraan ilmakehään, sillä metaani on noin 20 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Vuonna 2010 biokaasua poltettiin soihdussa 204,8 GWh. Biokaasua poltetaan soihdussa lähinnä silloin, kun generaattoreita ja lämpökattiloita huolletaan tai, kun laitoksessa on häiriötilanne. Biokaasun hyödyntämisprosentti on liian alhainen. Minimivaikutteena olisi saada hyödynnettävyys vähintään 75 %:iin. (Huttunen & Kuittinen 2011; Kuittinen ym. 2010.) Kuvassa 4 on esitetty biokaasusta tuotetun energian jakautuminen lämmöksi, sähköksi ja ylijäämä- eli soihtupoltoksi.



**KUVA 4. Biokaasusta tuotetun energian käyttö Suomessa vuonna 2010 (Huttunen & Kuittinen 2011)**

Kaatopaikkalaitosten tuottama biokaasumäärä oli vuonna 2010 yhteensä 101,6 milj. m<sup>3</sup> (110,9 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2009), josta tuotettiin energiaa 242,4 GWh (286,8 GWh). Reaktorilaitokset tuottivat biokaasua vuonna 2010 yhteensä 37,5 milj. m<sup>3</sup> (33,6 milj. m<sup>3</sup>) ja tuottivat siitä energiaa 179,0 GWh (149,7 GWh). Reaktorilaitoksiin kuuluvilla yhteismädätyslaitoksilla biokaasua tuotettiin vuonna 2010 yhteensä 9,511 milj. m<sup>3</sup>, josta hyödynnettiin 7,428 milj. m<sup>3</sup>. Tuotetusta biokaasusta tuotettiin sähköä 10,1 GWh ja lämpöä 31,6 GWh. Laitosten tuottaman biokaasun metaanipitoisuus vaihteli 55 %:sta 66 %:iin. Vuonna 2010 yhteismädätyslaitoksia oli Suomessa 6 kappaletta. Li-

säksi rakenteilla tai suunnitteilla oli yhteensä 19 laitosta, muun muassa Juvan Bioson Oy. (Huttunen & Kuittinen 2011; Kuittinen ym. 2010.)

Maatilalaitoksilla biokaasua tuotettiin vuonna 2010 yhteensä 0,767 milj. m<sup>3</sup> (0,815 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2009), josta hyödynnettiin 0,762 m<sup>3</sup> (0,810 milj. m<sup>3</sup>). Maatilalaitosten tuottamasta biokaasusta tuotettiin sähköä 0,79 GWh (1,0 GWh) ja lämpöä 3,2 GWh (3 1 GWh). Maatilalaitoksilla biokaasun metaanipitoisuus vaihteli 55 %:sta 67 %:iin. Suomessa oli vuonna 2010 yhteensä 10 käytössä olevaa maatilamittakaavan biokaasulaitosta. Lisäksi rakenteilla tai suunnitteilla oli yhteensä 14 maatilalaitosta. (Huttunen & Kuittinen 2011; Kuittinen ym. 2010.)

Arvion mukaan Suomessa voitaisiin tuottaa biokaasusta energiaa vuonna 2015 yhteensä 6,7 - 17,6 TWh. Tästä mm. lanan ja oljen osuudeksi on arvioitu 3,1 - 13,6 TWh, energiakasvien 2,1 TWh ja yhdyskuntajätteen 0,5 - 0,8 TWh. Hallitus on asettanut tavoitteeksi lisätä biokaasun tuotantoa 1 TWh vuosina 2005 - 2020. Suomen bioenergiayhdistyksen tavoite on lisätä biokaasun tuotantoa 3 TWh vuoteen 2020 mennessä. (Lehtomäki 2011.)

### **3.1.2 Biokaasun tuotanto muualla**

Ruotsissa oli vuonna 2009 yhteensä 230 biokaasua tuottavaa laitosta, joissa tuotettiin energiaa yhteensä 1,363 TWh. Eniten energiaa (0,711 TWh) tuotettiin yhteiskunnan ja teollisuuden jäteveden puhdistamoilla (140 kpl). Kaatopaikat (57 kpl) tuottivat energiaa 0,335 TWh, yhteismädättämöt (21 kpl) 0,299 TWh ja maatilalaitokset (12 kpl) 0,018 TWh. (Pettersson 2011.) Tutkimusten mukaan Ruotsissa voitaisiin tulevaisuudessa tuottaa energiaa biokaasusta noin 14 TWh / vuosi. Tämä tarkoittaisi, että noin 10 % maatalouden käytöstä olevasta maasta käytettäisiin energiakasvien kasvattamiseen. (Held ym. 2008.)

Isossa-Britanniassa biokaasulaitoksia oli vuonna 2010 jätevedenpuhdistamoilla 65 kappaletta ja mautiloilla sekä elintarviketeollisuudessa yhteensä 65 kappaletta. Lisäksi biokaasua tuotettiin kaatopaikoilla. Biokaasulaitokset tuottivat yhteensä 6 518 GWh energiaa, josta sähköä 3 452 GWh ja lämpöä 3 066 GWh. Suurin energiantuotantokapasiteetti oli kaatopaikoilla, 1 054,6 MW. Jäteveden puhdistamoiden energiantuotanto-

kapasiteetti oli 189,2 MW ja maatalouden ja elintarviketeollisuuden 51 MW. (Harwood 2011.)

Saksa on Euroopan johtava maa uusiutuvan energian tuotannossa. Biokaasun tuotantoa tuetaan Saksassa usein eri tavoin. (Rutz ym. 2010.) Saksassa oli vuoden 2011 ke-säkuussa yhteensä 7 090 biokaasua tuottavaa laitosta. Näistä maataloudessa oli 5 905, yhdyskunnan puhdistamolietettä käsitteleviä laitoksia 780, yhdyskunnan jätevesiä käsitteleviä laitoksia 200 ja teollisuuden jätevesiä käsitteleviä laitoksia 205 kappaletta. Maatalouden biokaasulaitosten asennettu sähköteho oli 2 291 MW ja yhdyskunnan puhdistamolietettä käsittelevien laitosten 103 MW. (Linke 2011.) Biokaasulaitoksen koko oli Saksassa vuonna 2009 keskimäärin 500 kWe ja vuonna 2010 keskimäärin 430 kWe (Rutz ym. 2010).

Sveitsissä tuotettiin bioenergiaa vuonna 2010 noin 860 GWh. Maatalouden biokaasulaitoksia oli noin 70 kappaletta, ja ne tuottivat energiaa noin 140 GWh. Teollisuuden jäteveden puhdistamoita oli noin 20, ja niiden tuottama energiamäärä oli noin 55 GWh. Biojätteen käsittelylaitoksia oli noin 20 ja energiantuotanto noin 145 GWh. Yhteiskunnan jätevesiä käsiteltiin noin 460 laitoksella, ja niissä tuotettiin noin 520 GWh bioenergiaa. (Bachmann 2011.)

## **3.2 Biokaasuprosessi**

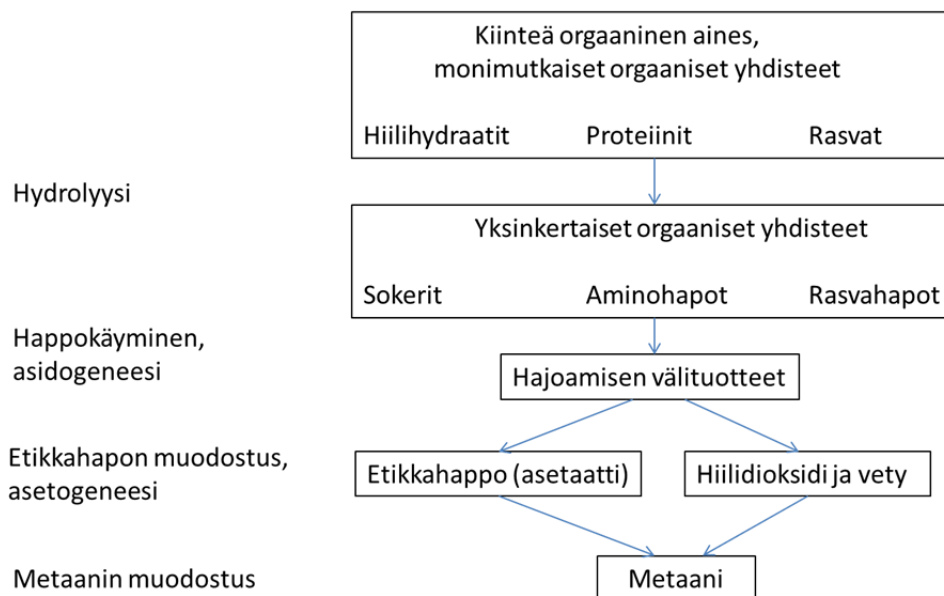
### **3.2.1 Biokaasun muodostuminen ja ominaisuudet**

Biokaasua muodostuu mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa. Syntynyt biokaasu sisältää metaania 55 - 75 %, hiilidioksidia 30 - 45 % sekä pieniä määriä muita yhdisteitä, kuten rikkivetyä, vetyä, typpeä ja hiilimonoksidia. (Soininen ym. 2007.) Taulukossa 1 on esitetty biokaasun ominaisuudet. Biokaasun ominaisuudet, kuten metaanipitoisuus, riippuvat käytetystä raaka-aineesta.

**TAULUKKO 1. Biokaasun ominaisuuksia (Vilkkilä 2007, AEBIOM 2009)**

Metaanipitoisuus, %	55 – 75
Hiilidioksidi, %	30 – 45
Hiilimonoksidi, %	0 - 0,3
Typpi, %	1 – 5
Vety, %	0 – 3
Rikkivety, %	0,1 - 0,5
Happi	jäämiä

Biokaasun muodostuminen tapahtuu neljässä eri vaiheessa: hydrolyysi, happokäyminen eli asidogeneesi, etikkahaponmuodostus eli asetogeneesi ja metaanin muodostus (Soininen ym. 2007; Lehtomäki ym. 2007). Hydrolyysissa käsiteltävän materiaalin sisältämät yhdisteet kuten hiilihydraatit ja rasvat hajoavat yksinkertaisemmiksi ja liukoisiksi yhdisteiksi. Happokäymisessä eli asidogeenisissä nämä yhdisteet hajoavat edelleen haihtuviksi rasvahapoiksi. Asetogeenisissä rasvahapot hajoavat vetyä tuottavien bakteerien ansiosta etikkahapoksi eli asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Viimeisessä eli metaanin muodostusvaiheessa metanogeenit eli metaaninmuodostajabakteerit tuottavat asetaatista tai vedystä ja hiilidioksidista metaania. (Lehtomäki ym. 2007.) Kuvassa 5 on esitetty anaerobisen hajoamisen eri vaiheet.

**KUVA 5. Anaerobisen hajoaminen vaiheet (Soininen ym. 2007; Lehtomäki ym. 2007)**

### 3.2.2 Biokaasuprosessin hallinta

Biokaasuprosessiin ja sen hallintaan vaikuttavat useat eri tekijät. Seuraavassa on esitetty tarkemmin joitakin prosessiin oleellisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten prosessin lämpötila, kuormitus, viipymäaika ja metaanin tuotannon tehokkuus.

#### Lämpötila

Suomalaiset biokaasuprosessit toimivat yleensä mesofiilillä lämpötila-alueella eli reaktorin lämpötila pidetään noin 35 – 37 °C:ssa (Latvala 2009). Biokaasuprosessi voi olla myös termofiilinen (lämpötila-alue 50 – 57 °C) tai psykrofiilinen (lämpötila noin 25 °C (Finkemeyer 2007)). Mesofiilisen prosessin etuna termofiiliseen prosessiin on sen parempi lämpötilavaihteluiden kestävyys sekä alhaisempi lisälämmityksen tarve. Toisaalta hygienisoiva vaikutus syötteeseen on mesofiilissä prosessissa termofiilistä heikompi. (Latvala 2009.) Biokaasuprosessiin tulee syöttää lämpöä prosessin ulkopuolelta, koska anaerobinen prosessi itsessään tuottaa vain vähän lämpöä (Soininen ym. 2007).

#### Märkä- ja kuivaprosessi

Biokaasuprosessi voidaan jakaa joko märkä- tai kuivaprosessiin syötteen kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Märkäprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on 5 - 15 % ja kuivaprosessissa yli 30 %. (Soininen ym. 2007.) Märkäprosessi on usein kuivaprosessia helpompi hallita, mutta se vaatii enemmän energiaa ja suuremman reaktoritilavuuden kuin kuivaprosessi. Märkäprosessin metaanintuotantoa voidaan parantaa lisäämällä lietelannan joukkoon kuivempia materiaaleja. (Lehtomäki ym. 2007.)

#### Viipymäaika (hydraulic retention time, HRT)

Biokaasuprosessin viipymäaika on aika, jonka reaktoriin syötetty syötemateriaali keskimäärin viipyy reaktorissa. Biokaasulaitosten viipymäaika on tavallisesti 15 - 30 vuorokautta. (Soininen ym. 2007.) Viipymäaikaan vaikuttavat prosessin lämpötila, reaktorin tilavuus, syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus (TS), syöteseoksen orgaanisen aineen määrä (VS) sekä syötemateriaalin homogeenisuus. Kun biokaasun tuotannossa ei

esiinny merkittäviä muutoksia, ja käsittelyjäännöksen eli mädätteen orgaaninen aines hajoaa riittävästi (noin 50 - 60 %), on viipymäaika riittävä. (Latvala 2009.) Viipymäajan (vrk) voi laskea kaavan 1 avulla, jossa  $V$  on reaktorin nestetilavuus ( $m^3$ ) ja  $Q$  reaktoriin päivittäin lisättävän syötteen määrä ( $m^3$ ) (Luostarinen 2007).

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Viipymäaika voi olla myös ylipitkä, jolloin varmistetaan, että syötemateriaali hajoaa mahdollisimman täydellisesti, ja siitä saadaan hyvä biokaasun tuotto. Toisaalta ylipitkä viipymäaika kasvattaa reaktoritilavuutta ja prosessin lämmityksessä ja sekoituksessa tarvittavaa energiaa. (Soininen ym. 2007.)

Kuormitus (organic load rate, OLR)

Biokaasuprosessin kuormitus tarkoittaa syötteen sisältämää orgaanisen aineen määrää reaktoritilavuutta kohti (Lehtomäki ym. 2007). Kuormituksen yksikkönä käytetään  $kgVS / m^3 / d$ , joka tarkoittaa sitä, kuinka monta kilogrammaa orgaanista kuivaainetta syötetään yhtä reaktorin nestetilavuuskuutiota kohti vuorokauden aikana (Latvala, 2009). Kuormitus voidaan ilmaista myös kemiallisena hapenkulutuksena,  $kgCOD / m^3 / d$  (COD = chemical oxygen demand) (Lehtomäki ym. 2007). Kuormitus voidaan laskea kaavalla 2, jossa  $S_o$  ( $kgVS$ ) on syötteen orgaanisen aineen pitoisuus ilmoitettuna VS:nä kiinteille syötteille ja kemiallisena hapenkulutuksena (COD) syötteille, jotka ovat nestemäisiä (Luostarinen 2007).

$$OLR = \frac{Q \cdot S_o}{V} = \frac{S_o}{HRT} \quad (2)$$

Lehmänlantaa käsittelevissä mesofiilisisä prosesseissa kuormitus on yleensä 2,5 - 3,5  $kgVS / m^3 / d$  ja lantaa ja muita orgaanisia jätteitä käsittelevissä prosesseissa 5,0 - 7,0  $kgVS / m^3 / d$  (Lehtomäki ym. 2007). Korkea kuormitusarvo lisää prosessin epävakautta sekä prosessin valvontaan käytettävää aikaa (Finkemeyer 2007). Biokaasureaktorin toiminnan varmistamiseksi on tärkeää, että prosessin kuormitusta valvotaan. Liiallinen kuormitus aiheuttaa sen, että syötteen hajoavat vajavaisesti, ja metaanintuotto vähenee tai pahimmassa tapauksessa loppuu kokonaan. (Lehtomäki ym. 2007.)



## Reaktorin toiminta

Reaktorin toimintaa ja sitä kautta biokaasun keräämistä voi haitata reaktorin pinnalle muodostuva kuiva kerros, raskaan materiaalin painuminen reaktorin pohjalle sekä biokaasuprosesseille tyypillinen vaahton muodostuminen syötteeseen. Prosessissa voi muodostua vaahtoa, jos laitoksen prosessi on ylikuormitettu, prosessia sekoitetaan liikaa tai prosessin vettä hylkivät aineet voivat muodostaa vaahtoa. (Latvala 2009.)

## Metaanin tuotanto

Metaanin tuotannon tehokkuus tarkoittaa, kuinka monta kuutiota metaania syntyy päivittäin yhtä reaktorin tilavuusyksikköä kohti ( $\text{m}^3\text{CH}_4 / \text{m}^3\text{R} / \text{vrk}$ ) (Finkemeyer 2007). Tarkasteltaessa biokaasulaitoksen toimivuutta on biokaasun tuotanto ja biokaasun metaanipitoisuus tärkeimmät mitattavat tekijät. Metaanin tuotannon seuraaminen on erittäin tärkeää, sillä metaanipitoisuuden aleneminen kertoo prosessin ongelmista. (Lehtomäki ym. 2007.) Tutkimuksen mukaan biokaasulaitoksen metaanintuottoa voidaan tehostaa eri syötemateriaalien yhteiskäsittelyllä, eli prosessoimalla reaktorissa naudon lietalannan kanssa samanaikaisesti energiakasveja tai teollisuudesta peräisin olevia orgaanisia jätteitä (esimerkiksi elintarviketeollisuuden jätteet). Reaktorin jälkeinen käsiteltyjen aineiden jälkikypsytykset tehostaa myös metaanin tuottoa. (Kaparaju 2003.)

### 3.2.3 Energiantuotanto biokaasusta

Metaani on biokaasun tärkein komponentti energiantuotannon kannalta, sillä biokaasun lämpöarvo on riippuvainen juuri metaanipitoisuudesta. Biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee välillä 55 - 75 % ja biokaasun lämpöarvo välillä 20 - 28 MJ/Nm<sup>3</sup>. (Soininen ym. 2007.) Metaani sisältää energiaa noin 50 MJ/kg ( $36 \text{ MJ/Nm}^3 = 10 \text{ kWh/Nm}^3 = 0,01 \text{ MWh/Nm}^3$ ) eli metaanikuutio vastaa energiasisällöltään noin yhtä litraa kevyttä polttoöljyä (Lehtomäki ym. 2007). Biokaasu sisältää myös vetyä ja hiilimonoksidia, mutta niiden merkitys energiantuotannon kannalta on vähäinen (Soininen ym. 2007).

Erilaisilla syötemateriaaleilla on erilaiset biokaasuntuotantopotentiaalit, eli ne tuottavat eri määrän biokaasua. Syötteen biokaasupotentiaali riippuu mm. syötteen kuivaainepitoisuudesta eli mitä enemmän syötemateriaali sisältää vettä, sitä huonompi on sen kaasuntuotantopotentiaali. (Soininen ym. 2007.) Erilaisten syötemateriaalien biokaasuntuotantopotentiaaleja on esitetty taulukossa 2.

Biokaasuprosessin kaasuntuottoa voidaan lisätä lisäämällä prosessiin glyserolia. Glyseroli on alkoholi, jota syntyy biodieselin valmistuksen yhteydessä, ja sen energiasisältö voidaan hyödyntää lisäämällä sitä biokaasuprosessiin muiden syötteiden joukkoon. Pelkän glyserolin mädättäminen ei onnistu, sillä se ei sisällä riittävästi mädätysprosessiin osallistuvien mikrobien tarvitsemia ravinteita. (Bioste Oy 2012.)

Haapajärven ammattiopiston biokaasulaitoksella suoritettujen tutkimusten mukaan glyserolin lisääminen biokaasuprosessiin lisää sekä prosessin kaasuntuottoa että syntyvän kaasun metaanipitoisuutta. Tutkimuksessa prosessiin syötettiin lietettä noin 4,4 - 6,1 m<sup>3</sup>/vrk. Glyserolia käytettäessä sitä syötettiin prosessiin 25 litraa/vrk. Mädätettäessä pelkkää lietelantaa biokaasua syntyi 3,9 m<sup>3</sup>/h ja sen metaanipitoisuus oli noin 61 %. Mädätettäessä sekä lietelantaa että glyserolia syntyi biokaasua 4,8 m<sup>3</sup>/h ja kaasun metaanipitoisuus oli noin 63 %. Pelkän lietteen mädätys tuotti biokaasua noin 16 m<sup>3</sup>/syötetty liete-m<sup>3</sup>. Lietteen ja glyserolin yhteismädätys tuotti biokaasua noin 21 m<sup>3</sup>/syötetty liete-m<sup>3</sup>. (Heiskanen 2011.) Puhtaan glyserolin energiapitoisuus on noin 19 MJ/kg (Heiskanen 2012). Glyserolista saadaan tutkimusten mukaan mesofiilisissa biokaasuprosesseissa biokaasua noin 0,98 m<sup>3</sup>/l glyserolia (Bodik ym. 2008; Hutňan 2009).

**TAULUKKO 2. Syötemateriaalien biokaasuntuotantopotentiaaleja (Soininen ym. 2007; Bodik ym. 2008; Hutňan 2009 )**

<b>Raaka-aine</b>	<b>Biokaasun saanto, m<sup>3</sup> / kgVS (min-max)</b>
Lehmänlanta	0,2 - 0,6
Kananlanta	0,3 - 0,8
Kasvisjäte	0,15 - 0,45
Glyseroli	0,98 m <sup>3</sup> / l glyserolia

Syötteiden kuiva-ainepitoisuuksista puhuttaessa käytetään termejä TS (total solids) ja VS (volatile solids). TS tarkoittaa syötteen kuiva-aineen määrää prosentteina ja VS tarkoittaa syötteen orgaanisen kuiva-aineen määrää prosentteina kuiva-aineesta. (Soininen ym. 2007.)

### 3.2.4 Biokaasuprosessin hyödyt

Sen lisäksi että biokaasuprosessista saadaan energiaa, voidaan myös prosessissa syntyvä käsittelyjäännös eli mädäte hyödyntää. Biokaasuprosessissa syntyvä mädäte on haluttua lannoitetta, koska sillä on hyvä ravinnepitoisuus ja sillä voidaan korvata väkilannoitteiden käyttöä. Myös lannoitteiden levittämiskustannuksia saadaan madallettua, sillä kasvien tarvitsema typpimäärä saadaan levitettyä pellolle vähemmällä määrällä lietettä. (Suontausta & Soininen 2009.)

Prosessiin syötetyn materiaalin tyyppi muuttuu prosessissa yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi ja on siten paremmin kasvien hyödynnettävissä. Lisäksi mädätteen liukoisen tyyppien määrä kasvaa. (Suontausta & Soininen 2009.) Biokaasuprosessissa syntyvä mädäte on tasalaatuista ja juoksevaa, joten sen levittäminen pellolle on vaivatonta. Biokaasuprosessi tuhoaa muun muassa rikkaruohosiemeniä ja tuholaisia, joten mädäte on alkuperäistä syötemateriaalia hygieenisempää. Mädätteen hygieenisuus riippuu prosessin lämpötilasta. Tarvittaessa syötemateriaali voidaan hygienisoida ennen prosessia. (Paavola & Rintala 2008.) Sivutuoteasetuksen (1774/2002) mukainen hygienisointi tapahtuu käsittelemällä syötteen + 70 °C:n lämpötilassa vähintään yhden tunnin ajan. Hygienisoinnilla voidaan käsitellä luokan 3 sivutuotteet eli ruokajäte ja elintarviketeollisuuden sivutuotteet. Luokan 2 eläinperäinen aines lantaa lukuun ottamatta tulee steriloida, joka tapahtuu käsittelemällä syötemateriaali + 133 °C:n lämpötilassa vähintään 20 minuutin ajan 3 barin paineessa. (Latvala 2009.)

### 3.3 Energiataseen laskeminen

Energiataseella kuvataan, kuinka paljon tuotantoprosessissa kuluu energiaa suhteessa tuotettuun energiaan. Energiatase voidaan laskea kaavassa 3 esitetyllä tavalla

$$Energiatase = \frac{E_{panos}}{E_{tuotos}} \quad (3)$$

jossa  $E_{\text{panos}}$  = prosessiin panostettu (käytetty energia) ja  $E_{\text{tuotos}}$  prosessissa tuotettu, hyödyksi saatu sähkö- ja lämpöenergia. (Huovari ym. 2008.)

Tuotantoprosessin energiatase on kunnossa, jos prosessin kuluttama energia on huomattavasti pienempi kuin prosessista saatava energia, eli suhdeluku on pienempi kuin yksi. Energiataseen avulla voidaan tarkastella prosessin hyötysuhdetta. Energiatase kertoo myös prosessin taloudellisuudesta. Laitoksen energiataseen ollessa hyvä on myös laitoksen taloudellisuus todennäköisesti parempi kuin huonon energiataseen laitoksen. (Huovari ym. 2008.)

### 3.4 Aikaisemmat tutkimukset

Motiva Oy:n vuonna 2008 tekemässä tutkimuksessa (Huovari ym. 2008) on selvitetty kolmen erikokoisen biokaasulaitoksen energiataseita. Yhdelle kohteelle on saatu laskettua energiataseet eri näkökulmista. Tarkasteltu biokaasulaitos tuottaa sekä sähköä että lämpöä ja hyödynnettävä raaka-aine tuodaan usealta eri maatilalta sekä teollisuudesta. Laitokselle syötetään lantaa noin 60 000 tonnia ja ulkopuolista raaka-ainetta 50 000 tonnia vuodessa. Laitoksen biokaasureaktorin koko on 6 700 m<sup>3</sup> ja laitoksen tuottaman biokaasun metaanipitoisuus noin 66 %. Laitos sisältää hygienisointiyksikön sekä jälkikaasutusaltan. Laitos tuottaa sähköä noin 4 000 MWh ja lämpöä noin 6 000 MWh vuosittain.

Edellä mainitulle laitokselle on laskettu seuraavat energiataseet:

- prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotetun biokaasun energiasältö, MWh = 0,34 - 0,37
- prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotettu sähkö ja lämpö, MWh = 0,48
- prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotettu sähkö, MWh = 1,2
- kuljetuksen sekä prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotetun biokaasun energiasältö, MWh = 0,39 - 0,42
- kuljetuksen sekä prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotettu sähkö ja lämpö, MWh = 0,55

- kuljetuksen sekä prosessin sähkön ja lämmön kulutus, MWh/tuotettu sähkö, MWh = 1,4. (Huovari ym. 2008.)

Ruotsissa on tehty tutkimus, jossa selvitettiin erikokoisten ja eri syötemateriaaleja käsittelevien, mesofiilisissä olosuhteissa toimivien laitosten toimintaa. Tulosten mukaan maatilamittakaavan laitos kuluttaa noin 55 % tuotetusta energiasta. Kulutetusta energiasta noin 80 % kuluu prosessin lämmittämiseen. (Berglund & Börjesson 2006.)

Biokaasulaitokset, joissa tuotetaan sekä sähköä että lämpöä (combined heat and power, CHP), ovat hyötysuhteeltaan selvästi pelkästään sähköä tuottavia laitoksia parempia (Huovari ym. 2008). Sähkön tuotannossa syntyy aina myös lämpöä, jota ei hyödynnetä pelkästään sähköä tuottavassa laitoksessa. CHP-laitoksissa hyötysuhde on 70 - 90 %, kun pelkästään sähköä tuottavassa laitoksessa jäädyään noin 25 - 30 %:iin. (Huovari ym. 2008). Biokaasulaitoksen reaktorin sekoittamiseen tarvitaan tehoa yleensä 4,9 - 7,9 W/reaktori-m<sup>3</sup> ja reaktorin sekoittaminen on suurin yksittäinen sähkönkuluttaja biokaasulaitoksella. Reaktorin sekoittaminen kuluttaa noin 80 % koko biokaasulaitoksen sähkönkulutuksesta. (Luostarinen 2007; Huovari ym. 2008.)

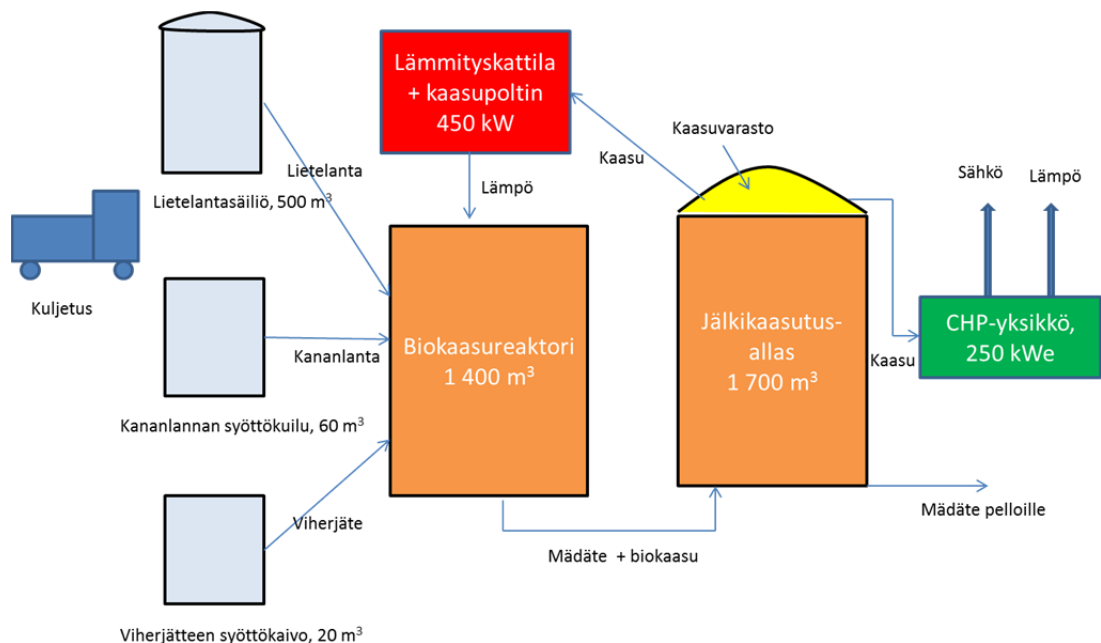
Vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa merkittävästi biokaasulaitosten energiataseeseen erityisesti lämmön osalta, sillä talvikaudella reaktorin lämmitys vaatii enemmän lämpöenergiaa. Sähkön kulutukseen vuodenaikojen vaihtelulla ei ole juuri merkitystä. (Huovari ym. 2008.) Biokaasuprosessin energiatasetta tarkasteltaessa sekä eri laitosten energiataseita verrattaessa täytyy huomioida, kuinka biokaasuprosessi on toteutettu sekä, kuinka energiataselaskenta on rajattu. (Luostarinen 2007). Esimerkiksi syötteiden kuljetusten osuutta ei kaikissa taselaskennoissa ole otettu huomioon. Syötteiden kuljetuksen on tutkittu vievän jopa 20 % biokaasulaitoksen tuottamasta energiasta (Huovari ym. 2008).

#### **4 JUVAN BIOSON OY**

Juvan Bioson Oy:n omistama biokaasulaitos on rakennettu ja käyttöön otettu vuonna 2011. Laitos toimii Juvan kunnassa usean maatilan yhteismädättämönä. (Suontausta & Soininen 2009.) Laitoksella käsitellään vuosittain naudan lietelantaa noin 15 100 m<sup>3</sup>,

kananlantaa noin 2 000 m<sup>3</sup> ja viherjätettä noin 2 000 m<sup>3</sup> (Suontausta 2011). Laitos on jatkuvatoiminen, ja sitä käytetään 365 päivää vuodessa. Biokaasun tuotanto perustuu märkämenetelmään ja prosessi toimii mesofiilisessä olosuhteessa. (Suontausta & Soininen 2009.)

Juvan Bioson Oy:n biokaasuprosessi muodostuu neljästä eri vaiheesta. Laitokselle kuljetettu syöte varastoidaan ja esikäsitellään mekaanisesti laitoksella, syöte mädätetään reaktorissa, mädätystuote varastoidaan ja käsitellään jälkikaasutusaltaassa ja mädäte kuljetetaan edelleen hyötykäyttöön viljelijöiden pelloille. (Suontausta & Soininen 2009.) Kuvassa 6 on esitetty toimintaperiaate Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksesta.



**KUVA 6. Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksen toimintaperiaate**

#### 4.1 Biokaasulaitoksen laitteisto ja toiminta

Laitos koostuu syötteiden vastaanottosäiliöistä, joita on yhteensä kolme, yksi kullekin syötemateriaalille. Lietelannan vastaanottosäiliön koko on 500 m<sup>3</sup>. Naudan lietelantaa kuljetetaan laitokselle noin 500 m<sup>3</sup> viikossa, ja sitä syötetään reaktoriin noin 50 - 60 m<sup>3</sup> päivittäin. Kananolannan syöttökouluun tilavuus on 60 m<sup>3</sup>, ja kananlantaa syötetään prosessiin päivittäin noin 8 - 10 m<sup>3</sup>. Viherjätteen syöttökouluun tilavuus on 20 m<sup>3</sup>, ja sitä syötetään prosessiin kolme kertaa viikossa. Lietelanta ja viherjäte siirretään reaktoriin pumppujen avulla. Kananolannan siirto tapahtuu säiliössä mekaanisella kuljettimella

mutta reaktoriin kananlanta siirretään hydraulisella pumpulla. Kananlantaa ja viherjätettä nesteytetään tarvittaessa lietteellä, jotta ne siirtyvät paremmin. (Suontausta 2011.)

Biokaasulaitoksen reaktorin tilavuus on 1 400 m<sup>3</sup> ja jälkikaasutusaltaan 1 700 m<sup>3</sup> (Suontausta 2011). Biokaasu siirretään reaktorista jälkikaasutusaltaaseen poistopumpulla (Metener Oy). Jälkikaasutusallas toimii sekä biokaasun että mädätteen varastona. Jälkikaasutusaltaasta kaasu johdetaan CHP-yksikölle vedenerottimen kautta. (Suontausta 2011.) CHP-yksikkö on 2G:n 250 kWe:n malli (Luostarinen 2011). Sähkön ja lämmön yhteistuotantoon perustuvan CHP-yksikön käyttö on yleistä suomalaisilla biokaasulaitoksilla. CHP:n toiminta perustuu kaasumoottoriin, jolle biokaasu johdetaan. Kaasumoottori pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. (Latvala 2009.)

CHP-yksikkö käy päivittäin noin 4 - 14 tuntia riippuen kaasun määrästä. CHP-yksikön käyminen on säädeltyä, ja se sammuu, kun kaasua on jäljellä 5 % kaasuvälikamion tilavuudesta. (Luostarinen 2011.) Laitoksella on lisäksi lämpökattila, jolla tuotetaan lämpöä reaktorin lämmittämiseen (Suontausta 2011). Kattila on Kaukora Oy:n 450 kW:n Jäspi-tuubikattila. Kattilassa on kaasupoltin, jonka malli on Lamborghini twin 70/2. (Luostarinen 2011.) Taulukkoon 3 on koottu Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksen laitteisto.

### TAULUKKO 3. Biokaasulaitoksen laiteluettelo (Metener Oy)

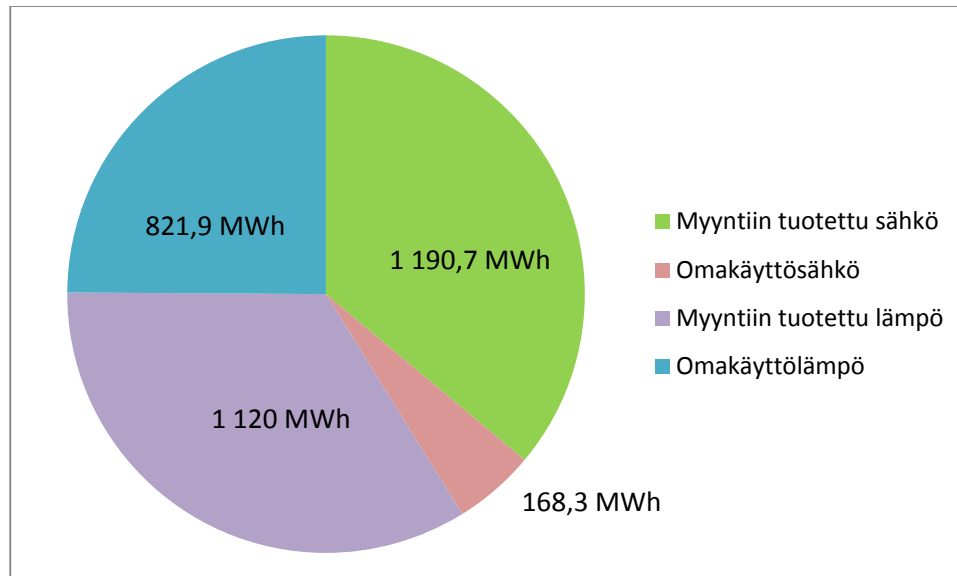
Laite	Tilavuus, m <sup>3</sup>	Teho, kW	Muuta
Lietelannan vastaanottosäiliö	500		
Biokaasureaktori	1 400		
Kananlannan vastaanottosäiliö	60		
Viherjätteen vastaanottoaivo	20		
Jälkikaasutusallas	1 700		
Käsittelyn lietteen poistokaivo	20		
Kattila, Jäspi		450	
Poltin, Lamporghini			
Sekoittimet, lietesäiliö, 2 kpl		7,5/kpl	ajo taajuusmuuttajalla
Sekoittimet, reaktori, 3 kpl		7,5/kpl	ajo taajuusmuuttajalla
Sekoittimet, jälkikaasutus, 2 kpl		7,5/kpl	ajo taajuusmuuttajalla

Sekoitin, viherjäte, 1 kpl		3	ajo taajuusmuuttajalla
Syöttöpumppu, lietesäiliö		4	
Syöttöpumppu, viherjäte		9	
Syöttöpumppu, reaktorilta jälkikaasutukseen		4	
Pumppu, lämmönvaihdin		0,55	
Poistopumppu, mädäte		15	
Pumppu, kattilan kiertovesi, 2 kpl		1,5 0,045	
Kuljetin, kananlanta		3	
Puhallin, lietesäiliö		0,25	
Puhallin, jälkikaasutusallas		0,25	
Puhallin, reaktori		0,05	
Puhallin, kaasuväriasto-kaasun lämmitin		1,5	
Puhallin, kaasu generaattorille		1,5	
Puhallin, kaasu kattilalle		1,5	
Kaasun lämmitin		1,5	
CHP-yksikkö		250	CHP:n sähköteho
Ilmalämpöpumppu			toimistotilassa

#### 4.2 Laitoksen energiantuotanto

Laitoksen vuosittaiseksi biokaasun tuotoksi on suunnitteluvaiheessa arvioitu noin 600 000 m<sup>3</sup> ja metaanin tuotoksi 390 000 m<sup>3</sup>, jolloin biokaasun metaanipitoisuudeksi on arvioitu 65 %. Laitoksen on arvioitu tuottavan bruttoenergiaa noin 3 880 MWh vuodessa, ja siitä on arvioitu tuotettavan sähköä 1 360 MWh ja lämpöä 1 940 MWh. Arvion mukaan laitos kuluttaa energiaa 990 MWh vuodessa, josta sähköä 170 MWh ja lämpöä 820 MWh. (Suontausta & Soininen 2009.) Laitoksen kuluttama sähkömäärä on noin 12 % tuotetusta sähköstä ja lämpömäärä noin 42 % tuotetusta lämmöstä. Kuvassa 7 on esitetty, kuinka Juvan Bioson Oy:n arvioitu energian tuotanto jakautuu myyntiin menevään lämpöön ja sähköön sekä omaan käyttöön kuluvaan lämpöön ja sähköön.





**KUVA 7. Arvio tuotetun energian jakautumisesta omakäyttöenergiaan sekä myytävään energiaan**

Vuosittain laitos tuottaa arvion mukaan energiaa myyntiin noin 2 300 MWh (noin 60 % tuotetusta), josta sähköä noin 1 190 MWh ja lämpöä noin 1 120 MWh. Sekä sähköettä lämpöenergia myydään laitoksen läheisyydessä sijaitsevalle Turakkalan Puutarha Oy:lle. (Suontausta & Soininen 2009.) Turakkalan Puutarha Oy käyttää energiaa vuosittain noin 5 000 MWh, joka jakautuu lähes puoliksi sähkön ja lämmön suhteen (Laamanen 2012). Biokaasusta saatava energia kattaa arvion mukaan noin puolet Turakkalan Puutarha Oy:n käyttämästä vuosittaisesta energiamäärästä (Suontausta & Soininen 2009). Vuonna 2011 Turakkalan Puutarhan Oy:n lämmön kulutus oli noin 2 850 MWh ja sähkön kulutus noin 2 690 MWh. Noin viidesosa käytetystä energiasta on vuonna 2011 sekä vuoden 2012 alussa tullut Juvan Bioson Oy:ltä. (Laamanen 2012.)

## 5 TYÖN TOTEUTUS JA MENETELMÄT

Biokaasulaitoksen toimintaa seurattiin neljään otteeseen. Seurantajaksona käytettiin yhtä viipymää eli 21vuorokautta. Seurantajaksot ajoittuivat tammi-huhtikuulle 2012, joten osa jaksoista oli kovan pakkaskauden aikaan, osa pienen pakkasen aikaan ja osa ajankohtana, jolloin pakkasia ei enää ollut. Seurantajaksojen aikana selvitettiin syötteiden kuljetuksiin käytetyn energian määrä, laitokselle tuodun syötemateriaalin las-

kennallinen energiasisältö sekä laitoksen oma energiankulutus eriteltynä sähkön ja lämmön kulutukseen. Lisäksi selvitettiin laitoksen tuottaman biokaasun määrä sekä laitoksen tuottaman energian määrä eriteltynä sähkön ja lämmön tuottamiseen.

### 5.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Seurantajakson aikana tapahtuvat syötteiden kuljetukset saatiin selville ajotiedoista. Kuljetuksiin käytetty energiamäärä saatiin laskettua, kun tiedettiin kuljetusmatkat, kuljetuskaluston polttoaineen kulutus, 60 l/100 km (lietelanta, kananlanta ja salaattijäte) ja 40 l/100 km (glyseroli), ja polttoaineen energiasisältö (10 kWh/litra dieseliä). Koska kuljetukset eivät olleet säännöllisiä, vaan riippuivat syötemateriaalin saatavuudesta, tarkasteltiin kuljetuksia noin kymmenen kuukauden ajalta, ja laskettiin keskimääräinen kuljetusmatka ja kuljetuksessa kuluva energiamäärä kullekin syötteelle. Energiataselaskelmassa käytettiin lukuarvoa, joka kuvaa, kuinka paljon energiaa kului keskimäärin kunkin syötemateriaalikuution kuljettamiseen, kWh/syöte-m<sup>3</sup>. Tulosten laskennassa käytetyt arvot on esitetty taulukossa 4.

**TAULUKKO 4. Syötteiden kuljetuksissa käytetty energia**

Syöte	Kuljetukseen käytetty energia [kWh/syöte-m <sup>3</sup> ]
Naudan lietelanta	5,7
Kananlanta	20,3
Viherjäte	24,6
Glyseroli	27,1

### 5.2 Laitokselle tuodun syötemateriaalin energiasisältö

Seurantajakson ajalta selvitettiin prosessiin syötettyjen syötteiden määrät. Lietteen määrä saatiin selville lietevirtausmittarista ja muiden syötteiden määrät ajotiedoista sekä laitoksen käyttäjältä. Prosessiin syötettiin naudan lietelantaa, kananlantaa, viherjätettä sekä glyserolia. Laitoksen käyttämien syötejakeiden kaasuntuotantopotentiaalit oli selvitetty aikaisemmissa laboriomiittakaavan kokeissa naudan lietelannan, kananlannan ja viherjätteen osalta. Myös syötteiden kuiva-ainepitoisuudet oli selvitetty laboriokiokkein. Näiden tietojen pohjalta laskettiin, kuinka paljon syötteistä tulisi

saada biokaasua sekä energiaa. Arvot on esitetty taulukossa 5. Laskennassa biokaasun metaanipitoisuudeksi on arvioitu 60 % ja metaanin energiapitoisuutena on käytetty 10 kWh/Nm<sup>3</sup> (0,01 MWh/Nm<sup>3</sup>).

**TAULUKKO 5. Prosessissa käytettävien syötteiden kuiva-ainepitoisuudet (Soi-  
ninen 2012)**

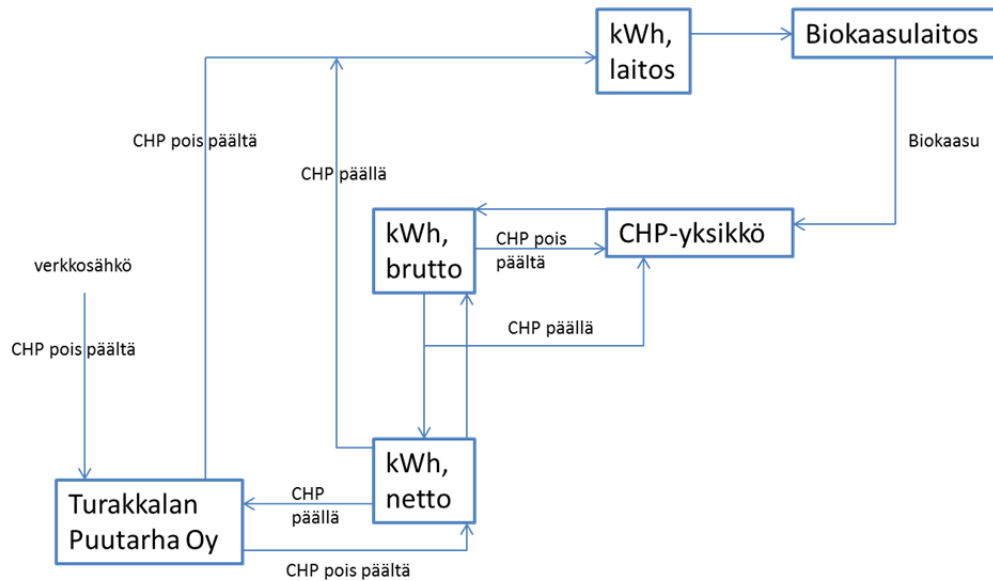
Syöte	TS%	VS%	Biokaasun tuotantopotentiaali, m <sup>3</sup> biokaasua / kgVS
Naudan lietalanta	5,5 - 10,5	78,4 - 83,1	0,33
Kananlanta	22,9 - 60,0	53,1 - 69,7	0,7 (1. ja 2. seuranta) 0,4 (3. ja 4. seuranta)
Vihermassa	3,1	83,8	0,6
Glyseroli	-	-	0,98 m <sup>3</sup> biokaasua / l glyserolia

### 5.3 Biokaasulaitoksen oma energiankulutus

#### 5.3.1 Sähköenergia

Prosessissa kuluu sähköä mm. syötteiden ja reaktorin sisällön sekoittamiseen sekä syötteiden ja mädätteen pumppaukseen. Laitoksen kuluttamaa sähköenergian määrää seurattiin seurantajaksojen aikana. Sähkön kulutus saatiin selville laitoksen kumulatiivisesta sähkömittarista.

CHP-yksikön sähkökulutus saatiin selville mittarilukemien sekä laskelmien perusteella. CHP-yksikössä on kaksi sähkömittaria, joista toinen mittaa CHP-yksikön tuottaman sähkön bruttomäärää (bruttomittari), joka sisältää kaiken CHP-yksikön tuottaman sähkön sekä sähkömäärän, jonka CHP-yksikkö käyttää ollessaan pois päältä. Toinen mittari, ns. nettomittari, mittaa Turakkalan Puutarhan käyttämän sähkön määrää, eli laitoksen myyntiin tuottaman sähkön määrää, CHP-yksikön käyttämää sähkön määrää siltä ajalta, kun CHP-yksikkö on pois päältä, sekä prosessin sähkön kulutusta siltä ajalta, kun CHP-yksikkö on toiminnassa. Sähkön brutto- ja nettolukemien erotus on CHP-yksikön kuluttama sähkömäärä siltä ajalta, kun CHP-yksikkö on ollut käynnissä. Kuvassa 8 on havainnollistettu laitoksen sähkökulutuksen mittausta.



**KUVA 8. Biokaasulaitoksen, CHP-yksikön ja Turakkalan Puutarha Oy:n sähköliitännät sekä sähkönkulutuksen mittaaminen**

Kun CHP-yksikkö ei ole käynnissä, se kuluttaa laitevalmistajan mukaan sähköä 2 kWh. Lisäksi kontissa on lämpöpattereita ja puhaltimia, joita käytetään lämmityskaudella. Näiden lämmityslaitteiden nimellistehot saatiin selville laitetiedoista. CHP-yksikön kokonaissähköenergian kulutus saadaan laskemalla yhteen sähköenergia, joka kuluu CHP-yksikön ollessa päällä, ja sähköenergia, joka kuluu CHP-yksikön ollessa pois päältä. CHP-yksikön käyntitunnit saatiin selville CHP-yksikössä olevasta mittarista.

CHP-yksikössä olevien sähkömittareiden sekä prosessin sähkönkulutusta mittaavan sähkömittarin lukemista saatiin laskettua myös, kuinka paljon prosessi kuluttaa CHP-yksikön tuottamaa sähköä sekä, paljonko se kuluttaa verkosta ostettua sähköä. CHP-yksikön tuottaman sähkön osuus saadaan laskettua CHP-yksikön käyttötuntimäärän perusteella. Esimerkiksi ensimmäisellä seurantajaksona CHP-yksikkö oli päällä 243 tuntia, joka on noin 48 % koko seurantajakson pituudesta (504 tuntia). Kun prosessin sähkönkulutus seurantajakson aikana kerrotaan saadulla prosenttiosuudella, saadaan selville, kuinka paljon prosessi on kuluttanut CHP-yksikön tuottamaa sähköä. Loppu kulutetusta sähköstä ostetaan verkosta.

### 5.3.2 Lämpöenergia

Prosessissa kuluu eniten lämpöenergiaa reaktorin lämmittämiseen. Lämpöenergia tuotetaan kattilalla, joka polttaa tuotettua biokaasua. Kattilan tarvitsema lämpöenergian määrä saatiin selville laskemalla. Kattilan tarvitsemaa lämpöenergian määrää yritettiin selvittää myös mittaamalla kattilan veden virtausta ultraäänimittarilla. Veden virtauksessa oli kuitenkin niin suurta vaihtelua, ettei tulos ollut luotettava, joten mittaamalla saatua tulosta ei ole käytetty.

Kattilan lämpöenergian kulutus laskettiin seuraavasti: Kaasun kulutustiedoista saatiin selville, paljonko kattila kuluttaa kaasua ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) kattilan ollessa päällä. Lisäksi kaasun kulutuskäyrästä saatiin laskettua kattilan käyntiaika seurantajaksoilla. Näiden tietojen perusteella saatiin laskettua kattilan käyttämän biokaasun määrä. Biokaasun metaanipitoisuus seurantajaksoilla saatiin selville laitoksen tallentamista tiedoista, jolloin voitiin laskea, kuinka paljon kattila käytti seurantajaksoilla metaania. Metaanin energiasisällön perusteella voitiin laskea kattilan käyttämän lämpöenergian määrä seurantajaksoilla.

Lisäksi laskettiin, kuinka paljon reaktoriin syötettiin kattilan tuottamaa lämpöä. Kattilan vuosihyötysuhteeksi oletettiin 90 %:ia (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5). Kertomalla kattilan käyttämän lämpöenergian määrä kattilan hyötysuhteella saatiin laskettua, kuinka paljon reaktoriin syötettiin lämpöenergiaa. Loppu 10 % on kattilahäviöitä. CHP-yksikkö ei kuluta tuotettua lämpöenergiaa, vaan tilan lämmitys tapahtuu hukkalämmöllä ja sähköllä.

### 5.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

Seurantajaksolla seurattiin prosessin tuottaman biokaasun määrää. Prosessin tuottaman biokaasun kokonaismäärä saatiin selville laskemalla yhteen CHP-yksikön kuluttaman biokaasun ja kattilan kuluttaman biokaasun määrät. CHP-yksikön kuluttaman biokaasun määrä selvisi kaasunkulutusmittarista. Lisäksi prosessista saatiin selville reaktorin tuottaman biokaasun hetkelliset arvot sekä tuotetun biokaasun metaanipitoisuus.

CHP-yksikön tuottaman sähköenergian bruttomäärä saatiin selville mittarista. Laskemalla selvitetiin, paljonko CHP-yksikkö tuotti myyntiin menevää sähköä. CHP-yksikön myyntiin tuottaman sähkömäärä saatiin laskettua vähentämällä CHP-yksikön bruttosähkölukemasta CHP-yksikön käyttämän sähkömäärä sekä laitoksen käyttämän, CHP-yksikön tuottaman, sähkömäärä. Myyntiin tulevan sähkömäärä saatiin laskettua myös vähentämällä CHP-yksikön nettosähköstä CHP-yksikön käyttämä sähkö siltä ajalta, kun CHP-yksikkö on pois päältä, sekä laitoksen käyttämä CHP-yksikön tuottama sähkö. CHP-yksikön tuottaman nettolämpöenergian määrä saatiin selville mittarista, joka mittaa kumulatiivisesti CHP-yksikön tuottamaa lämpöenergiaa.

Lisäksi laskettiin, kuinka paljon CHP-yksikölle menevästä biokaasusta saataisiin energiaa laskennallisesti. Laskentaa varten tarvittiin CHP-yksikölle menevän biokaasun määrä, joka saatiin selville CHP-yksikössä olevasta mittarista. Lisäksi tarvittiin tieto biokaasun metaanipitoisuudesta, joka saatiin selville laitoksen seurantajaksoilla tallentamista metaanipitoisuustiedoista. Näiden tietojen perusteella saatiin laskettua, kuinka paljon CHP-yksikölle menevästä biokaasusta tulisi laskennallisesti saada energiaa. Verrattaessa saatua lukemaa siihen, kuinka paljon CHP-yksikkö todellisuudessa tuotti energiaa, saatiin selville CHP-yksikön häviöt.

## 5.5 Energiataseen laskeminen

Työssä on laskettu energiataaseita eri näkökulmista katsoen. Energiatase 1 kuvaa, kuinka paljon laitos on tuottanut energiaa (myyntiin tuotettu sähkö ja lämpö + omakäyttö sähkö ja lämpö) prosessiin syötetyistä syötteistä suhteessa prosessiin syötettyjen syötteiden laskennalliseen energiapotentiaaliin.

$$\text{Energiatase 1} = \frac{\text{Biokaasusta myyntiin tuotettu energia (sähkö + lämpö)} + \text{biokaasusta tuotettu omakäyttö energia (sähkö + lämpö), MWh}}{\text{Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen energiapotentiaali, MWh}}$$

Energiatase 2 kuvaa, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) suhteessa laitoksen tuottamaan kokonaisenergiamäärään.

$$\text{Energiatase 2} = \frac{\text{Omakäyttöenergia (sähkö + lämpö), MWh}}{\text{Tuotettu energia (sähkö + lämpö), MWh}}$$

Energiatase 3 kuvaa, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) suhteessa laitoksen myyntiin tuottamaan energiamäärään.

$$\text{Energiatase 3} = \frac{\text{Omakäyttöenergia (sähkö + lämpö), MWh}}{\text{Myyntiin tuotettu energia (sähkö + lämpö), MWh}}$$

Energiatase 4 kuvaa, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) sekä kuinka paljon syötteiden kuljetuksiin on kulunut energiaa suhteessa laitoksen myyntiin tuottamaan energiamäärään.

$$\text{Energiatase 4} = \frac{\text{Omakäyttöenergia(sähkö + lämpö) + syötteiden kuljetuksiin käytetty energia, MWh}}{\text{Myyntiin tuotettu energia (sähkö + lämpö), MWh}}$$

## 6 TYÖN TULOKSET

### 6.1 Ensimmäinen seurantajakso

Ensimmäinen seurantajakso oli tammi-helmikuussa. Seurantajakson aikana oli kovia pakkasia. Enimmillään pakkasta oli yli -20 °C.

#### 6.1.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Seurantajaksolla laitokselle tuodut syötemateriaalit ja niiden määrä on esitetty taulukossa 6. Samassa taulukossa on myös esitetty kunkin syötejakeen kuljetukseen käytetty energiamäärä. Yhteensä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytettiin energiaa 6,8 MWh.

**TAULUKKO 6. Ensimmäisellä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytetty energiamäärä**

Syöte	Syötteen määrä [m <sup>3</sup> ]	Syötejakeen kuljetukseen käytetty energia [MWh]
Naudan lietelanta	450,6	2,6
Kananlanta	123,5	2,5
Salaattijäte	52,6	1,3
Glyseroli	14,0	0,4

**6.1.2 Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali**

Prosessiin syötettiin ensimmäisellä seurantajaksolla syötteitä yhteensä 640,7 m<sup>3</sup>, josta naudanlietelantaa 450,6 m<sup>3</sup> (70,1 %), kananlantaa 123,5 m<sup>3</sup> (19,3 %), viherjätettä 52,6 m<sup>3</sup> (8,2 %) ja glyserolia 14,0 m<sup>3</sup> (2,2 %). Vuorokautta kohden reaktoriin syötettiin syötteitä keskimäärin 30,5 m<sup>3</sup>, josta syötteiden viipymääjaksi saadaan noin 46 vuorokautta. Reaktorin kuormitukseksi saadaan 1,6 kgVS/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk.

Ensimmäisellä seurantajaksolla prosessiin syötetyistä syötteistä saadaan laskennallisesti biokaasua noin 36 950 m<sup>3</sup> (57,7 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 26,4 m<sup>3</sup>/reaktori-m<sup>3</sup>), josta metaania noin 22 170 m<sup>3</sup> (34,6 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 0,75 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk), joka vastaa 221,7 MWh (0,35 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,16 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>) energiaa. Taulukossa 7 on esitetty seurantajaksolla prosessiin syötettyjen syötteiden sisältämä laskennallinen energiamäärä.



**TAULUKKO 7. Ensimmäisellä seurantajaksolla prosessiin syötetyt materiaalit ja niiden laskennallinen energiasisältö**

Syöte	Prosessiin syötetyn syötteen määrä, m <sup>3</sup> ja syötteen osuus koko syötemäärästä	% TS / % VS	Biokaasun tuotantopotentiaali [m <sup>3</sup> biokaasua/kg VS]	Syötteen sisältämä laskennallinen energia [MWh]
Naudan lietelanta	450,6 (70,3 %)	7 / 79	0,33	49,3
Kananlanta	123,5 (19,3 %)	25 / 67	0,7	85,1
Viherjäte	52,6 (8,2 %)	3,1 / 83,8	0,6	4,9
Glyseroli	14,0 (2,2 %)	-	0,98 m <sup>3</sup> biokaasua / litra glyserolia	82,32

### 6.1.3 Laitoksen oma energiankulutus

#### Sähköenergia

Prosessin ylläpitämiseen käytettiin sähköenergiaa 5 815 kWh, josta CHP-yksikön tuottamaa sähköä oli 2 803 kWh (48 %), ja verkosta ostettua sähköä 3 012 kWh (52 %). CHP-yksikkö kulutti sähköenergiaa päällä ollessaan (243 h) 1 859 kWh. Seurantajaksolla CHP-yksikkö oli pois päältä 261 tunnin ajan, jolloin sähköenergian kulutus oli yhteensä 1 175 kWh. Yhteensä CHP-yksikkö kulutti seurantajaksolla sähköenergiaa 3 033 kWh. Prosessin ylläpitäminen ja CHP-yksikkö kuluttivat sähköenergiaa yhteensä 8 848 kWh eli 6,3 kWh/reaktori-m<sup>3</sup>.

#### Lämpöenergia

Laitoksella kuluu lämpöenergiaa prosessin lämmittämiseen. Lämpöä tuottava kattila kulutti seurantajaksolla biokaasua noin 46 m<sup>3</sup> tunnissa. Kattila toimi syklillä 7 minuuttia päällä ja 13 minuuttia pois päältä, joten seurantajakson aikana kattila oli käynnissä yhteensä 168 tuntia. Kattilan biokaasun kulutus oli seurantajaksolla 7 728 m<sup>3</sup>, josta metaania noin 66 % eli 5 101 m<sup>3</sup>, joka vastaa lämpöenergiaa 51,0 MWh eli 0,036

MWh (36 kWh)/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan hyötysuhteen ollessa 90 % reaktoriin syötettiin lämpöä yhteensä 45,9 MWh eli 30 kWh/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan lämpöhäviöt olivat 5,1 MWh (10 %).

#### 6.1.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

CHP-yksikkö käytti biokaasua seurantajaksolla yhteensä 22 950 m<sup>3</sup>. Lisäksi prosessin lämmittämiseen käytettiin biokaasua 7 728 m<sup>3</sup>. Yhteensä prosessi tuotti biokaasua seurantajaksolla noin 30 678 m<sup>3</sup>, joka vastaa 21,9 m<sup>3</sup> biokaasua/reaktori-m<sup>3</sup>. Liiketoimintasuunnitelmassa arvioidaan, että prosessi tuottaa noin 24,6 m<sup>3</sup> biokaasua/reaktori-m<sup>3</sup> yhden viipymän aikana.

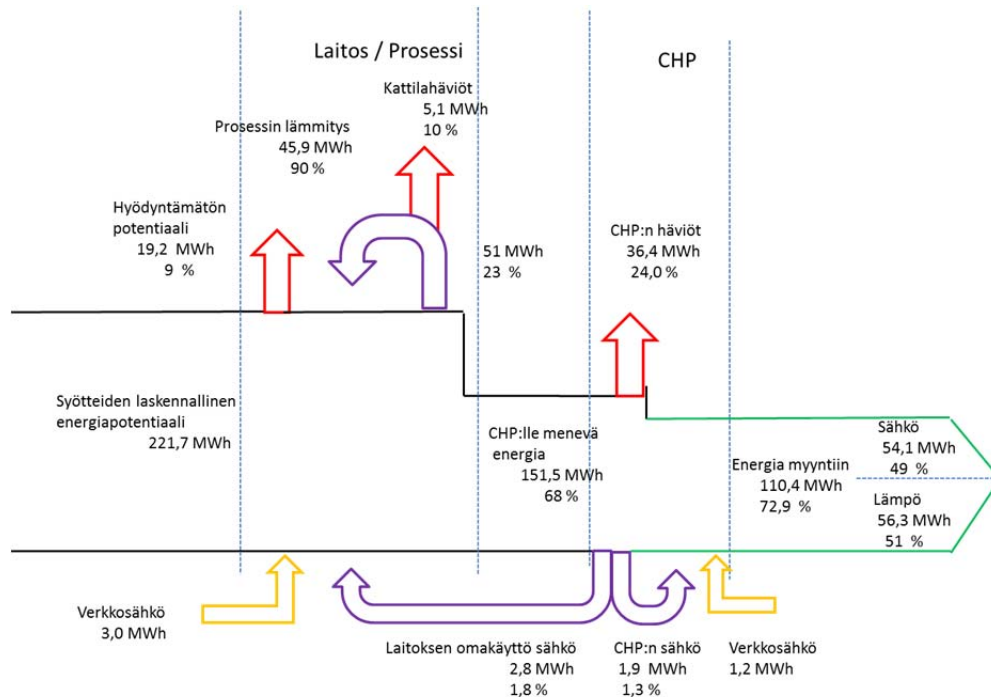
CHP-yksikkö tuotti seurantajakson aikana myytävää sähköä 54,1 MWh ja lämpöä 56,3 MWh eli myytävää energiaa yhteensä 110,4 MWh. Laitos tuotti seurantajaksolla myytävää energiaa 0,079 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>. Myytävän energian lisäksi laitos tuotti biokaasusta lämpöenergiaa reaktorin lämmittämiseen 51,0 MWh ja CHP-yksikkö sähköenergiaa prosessin ylläpitoon 2,8 MWh ja CHP-yksikön käyttöön 1,9 MWh. Yhteensä laitos tuotti prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 166,1 MWh (0,26 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,12 MWh / reaktori-m<sup>3</sup>).

CHP-yksikön käyttämä biokaasu (22 950 m<sup>3</sup>) sisälsi energiaa yhteensä 151,5 MWh. CHP-yksikkö tuotti energiaa yhteensä 115,1 MWh, joten CHP-yksikön häviöt olivat yhteensä 36,4 MWh (24 %). CHP-yksikön hyötysuhde oli seurantajaksolla 76 %.

Kuvassa 9 on kuvattu energiavirrat ensimmäisellä seurantajaksolla. Kuvasta nähdään, että prosessin lämmitysenergian valmistus on vienyt 23 % syötteiden laskennallisesta energiasta. Tästä 90 % on johdettu prosessin lämmitykseen ja kattilan häviöt ovat olleet 10 %. CHP-yksikön käyttöön on johdettu 68 % syötteiden sisältämästä energiasta ja prosessin hyödyntämätön potentiaali on ollut 9 %. Prosessin hyödyntämätön potentiaali johtuu joko siitä, että prosessi ei pysty saamaan kaikkea potentiaalista biokaasua irti syötteistä tai syötteiden laskennallinen potentiaali ei vastaa todellisuutta.

CHP-yksikkö on tuottanut 72,9 %:sta käyttämästään biokaasusta myytävää energiaa. CHP:n häviöt ovat olleet 24,0 % ja lisäksi CHP-yksikkö on tuottanut sähköä prosessin

ylläpitoon ja CHP-yksikölle yhteensä 4,7 MWh eli 3,1 % CHP:n käyttämän biokaasun energiamäärästä. Ensimmäisellä seurantajaksolla laitos on kuluttanut verkosta ostettua sähköä 4,2 MWh.



**KUVA 9. Energiavirrat ensimmäisellä seurantajaksolla**

## 6.2 Toinen seurantajakso

Toinen seurantajakso oli helmi-maaliskuussa. Seurantajakson aikana ei ollut kovia pakkasia, vaan lämpötila oli suurimman osan ajasta välillä 0 - (-10) °C.

### 6.2.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Seurantajaksolla laitokselle tuodut syötemateriaalit ja niiden määrä on esitetty alla olevassa taulukossa 8. Samassa taulukossa on myös esitetty kunkin syötejakeen kuljetukseen käytetty energiamäärä. Yhteensä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytettiin energiaa 8,2 MWh.

**TAULUKKO 8. Toisella seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytetty energiamäärä**

Syöte	Syötteen määrä [m <sup>3</sup> ]	Syötteen kuljetukseen käytetty energia [MWh]
Naudan lietelanta	865,3	4,9
Kananlanta	62,9	1,3
Salaattijäte	65,3	1,6
Glyseroli	13,0	0,4

**6.2.2 Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali**

Prosessiin syötettiin toisella seurantajaksolla syötteitä yhteensä 1 006,5 m<sup>3</sup>, josta naudanelielantaa 865,3 m<sup>3</sup> (86,0 %), kananlantaa 62,9 m<sup>3</sup> (6,2 %), viherjätettä 65,3 m<sup>3</sup> (6,5 %) ja glyserolia 13,0 m<sup>3</sup> (1,3 %). Vuorokautta kohden reaktoriin syötettiin syötteitä keskimäärin 47,9 m<sup>3</sup>, josta syötteiden viipymääjäksi saadaan noin 29 vuorokautta. Reaktorin kuormitukseksi saadaan 2,0 kgVS/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk.

Toisella seurantajaksolla prosessiin syötetyistä syötteistä saadaan laskennallisesti biokaasua noin 36 940 m<sup>3</sup> (36,7 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 26,4 m<sup>3</sup>/reaktori-m<sup>3</sup>), josta metaania noin 22 160 m<sup>3</sup> (22,0 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 0,75 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk), joka vastaa 221,6 MWh (0,22 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,16 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>) energiaa. Taulukossa 9 on esitetty seurantajaksolla prosessiin syötettyjen syötteiden sisältämä laskennallinen energiamäärä.

**TAULUKKO 9. Toisella seurantajaksolla prosessiin syötetyt materiaalit ja niiden laskennallinen energiasisältö**

Syöte	Prosessiin syötetyn syötteen määrä, m <sup>3</sup> ja syötteen osuus koko syötemäärästä	% TS / % VS	Biokaasun tuotantopotentiaali [m <sup>3</sup> biokaasua/kg VS]	Syötteen sisältämä laskennallinen energia [MWh]
Naudan lietelanta	865,3 (86,0 %)	7 / 79	0,33	94,7
Kananlanta	62,9 (6,2 %)	24 / 68	0,7	44,3
Viherjäte	65,3 (6,5 %)	3,1/ 83,8	0,6	6,1
Glyseroli	13,0 (1,3 %)	-	0,98 m <sup>3</sup> biokaasua / litra glyserolia	76,4

### 6.2.3 Laitoksen oma energiankulutus

#### Sähköenergia

Prosessin ylläpitämiseen käytettiin sähköenergiaa 6 256 kWh, josta CHP-yksikön tuottamaa sähköä oli 2 965 kWh (47 %) ja verkosta ostettua sähköä 3 290 kWh (53 %). CHP-yksikkö kulutti sähköenergiaa päällä ollessaan (239 h) 1 987 kWh. Seurantajaksolla CHP-yksikkö oli pois päältä 265 tunnin ajan, jolloin sähköenergian kulutus oli yhteensä 1 723 kWh. Yhteensä CHP-yksikkö kulutti seurantajaksolla sähköenergiaa 3 709 kWh. Prosessin ylläpitäminen ja CHP-yksikkö kuluttivat sähköenergiaa yhteensä 9 965 kWh.

#### Lämpöenergia

Prosessiin lämpöä tuottava kattila kulutti seurantajaksolla biokaasua noin 46 m<sup>3</sup> tunnissa. Kattila toimi syklillä 6 minuuttia päällä ja 11 minuuttia pois päältä, joten seurantajakson aikana kattila oli käynnissä yhteensä 178 tuntia. Kattilan biokaasun kulutus oli seurantajaksolla 8 050 m<sup>3</sup>, josta metaania noin 63 % eli 5 071,5 m<sup>3</sup>, joka vastaa

lämpöenergiaa 50,7 MWh eli 0,036 MWh (36 kWh)/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan hyötysuhteen ollessa 90 % reaktoriin syötettiin lämpöä yhteensä 45,6 MWh eli 30 kWh/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan lämpöhäviöt olivat 5,1 MWh (10 %).

#### 6.2.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

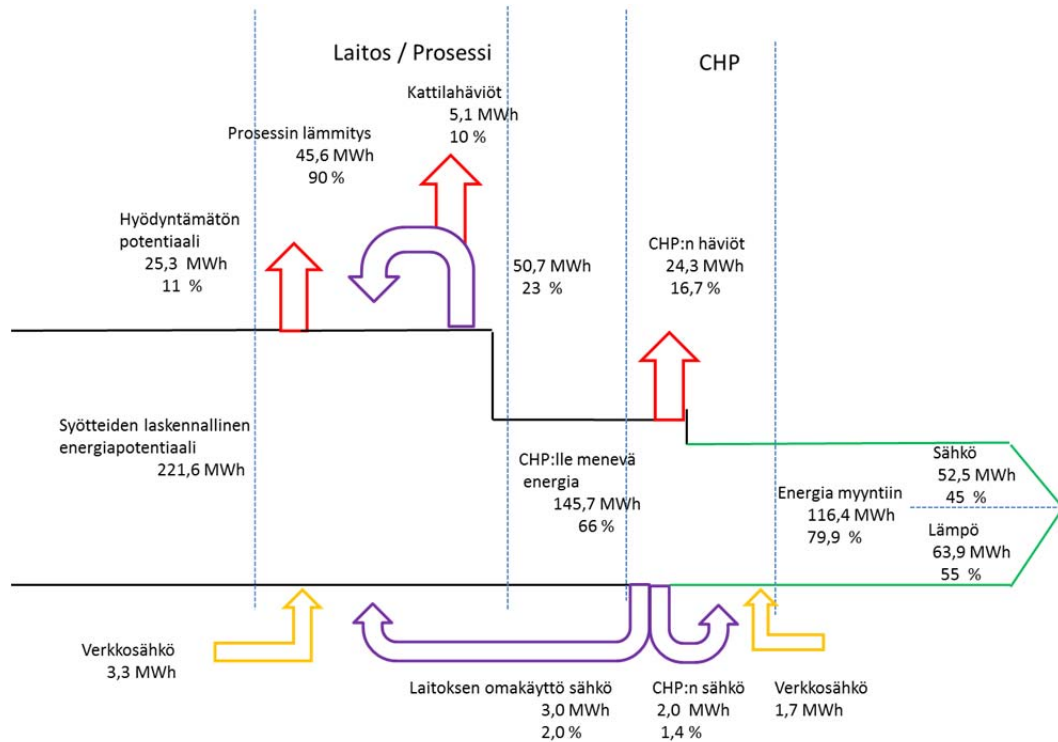
CHP-yksikkö käytti biokaasua seurantajaksolla yhteensä 23 130 m<sup>3</sup>. Lisäksi prosessin lämmittämiseen käytettiin biokaasua 8 050 m<sup>3</sup>. Yhteensä prosessi tuotti biokaasua seurantajaksolla noin 31 180 m<sup>3</sup>, joka vastaa 22,3 m<sup>3</sup> biokaasua/reaktori-m<sup>3</sup>.

CHP-yksikkö tuotti seurantajakson aikana myytävää sähköä 52,5 MWh ja lämpöä 63,9 MWh eli energiaa yhteensä 116,4 MWh. Myytävän energian lisäksi laitos tuotti biokaasusta lämpöenergiaa reaktorin lämmittämiseen 50,7 MWh ja CHP-yksikkö sähköenergiaa prosessin ylläpitoon 3,0 MWh ja CHP-yksikön käyttöön 2,0 MWh. Yhteensä laitos tuotti prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 172,1 MWh (0,17 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,12 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>).

CHP-yksikön käyttämä biokaasu (23 130 m<sup>3</sup>) sisälsi energiaa yhteensä 145,7 MWh. CHP-yksikkö tuotti biokaasusta energiaa yhteensä 121,4 MWh, joten CHP-yksikön häviöt olivat yhteensä 24,3 MWh (17 %). CHP-yksikön hyötysuhde oli seurantajaksolla 83 %.

Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty energiavirrat toisella seurantajaksolla. Kuvasta nähdään, että prosessin lämmitysenergian valmistus on vienyt 23 % syötteiden laskennallisesta energiasta. Tästä 90 % on johdettu prosessin lämmitykseen ja kattilan häviöt ovat olleet 10 %. CHP-yksikön käyttöön on johdettu 66 % syötteiden sisältämästä energiasta ja prosessin hyödyntämätön potentiaali on ollut 11 %.

CHP-yksikkö on tuottanut 79,9 %:sta käyttämästään biokaasusta myytävää energiaa. CHP:n häviöt ovat olleet 16,7 % ja lisäksi CHP-yksikkö on tuottanut sähköä prosessin ylläpitämiseen ja CHP-yksikölle yhteensä 5,0 MWh eli 3,4 % CHP:n käyttämän biokaasun energiamäärästä. Toisella seurantajaksolla laitos on kuluttanut verkosta ostettua sähköä 5,0 MWh.



**KUVA 10. Energiavirrat toisella seurantajaksolla**

### 6.3 Kolmas seurantajakso

Kolmas seurantajakso oli maaliskuussa. Seurantajakson aikana sää oli keskimäärin noin 0 °C:n tuntumassa.

#### 6.3.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Seurantajaksolla laitokselle tuodut syötemateriaalit ja niiden määrä on esitetty alla olevassa taulukossa 10. Samassa taulukossa on myös esitetty kunkin syötejakeen kuljetukseen käytetty energiamäärä. Yhteensä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytettiin energiaa 8,7 MWh.

**TAULUKKO 10. Kolmannella seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytetty energiamäärä**

Syöte	Syötteen määrä [m <sup>3</sup> ]	Syötteen kuljetukseen käytetty energia [MWh]
Naudan lietalanta	764,1	4,4
Kananlanta	102,5	2,1
Salaattijäte	85,8	2,1
Glyseroli	4,0	0,1

### 6.3.2 Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali

Prosessiin syötettiin kolmannella seurantajaksolla syötteitä yhteensä 956,4 m<sup>3</sup>, josta naudnan lietalantaa 764,1 m<sup>3</sup> (79,9 %), kananlantaa 102,5 m<sup>3</sup> (10,7 %), viherjätettä 85,8 m<sup>3</sup> (9,0 %) ja glyserolia 4,0 m<sup>3</sup> (0,4 %). Vuorokautta kohden reaktoriin syötettiin syötteitä keskimäärin 45,5 m<sup>3</sup>, josta syötteiden viipymääjaksi saadaan noin 31 vuorokautta. Reaktorin kuormitukseksi saadaan 2,0 kgVS/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk.

Kolmannella seurantajaksolla prosessiin syötetyistä syötteistä saadaan laskennallisesti biokaasua noin 25 260 m<sup>3</sup> (26,4 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 18,0 m<sup>3</sup>/reaktori-m<sup>3</sup>), josta metaania noin 15 150 m<sup>3</sup> (15,8 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 0,52 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk), joka vastaa 151,5 MWh (0,16 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,11 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>) energiaa. Taulukossa 11 on esitetty seurantajaksolla prosessiin syötettyjen syötteiden sisältämä energiamäärä.



**TAULUKKO 11. Kolmannella seurantajaksolla prosessiin syötetyt materiaalit ja niiden laskennallinen energiasisältö**

Syöte	Prosessiin syötetyn syötteen määrä, m <sup>3</sup> ja syötteen osuus koko syötemäärästä	% TS / % VS	Biokaasun tuotantopotentiaali [m <sup>3</sup> biokaasua/kg VS]	Syötteen sisältämä laskennallinen energia [MWh]
Naudan lietelanta	764,1 (79,9 %)	6 / 81	0,33	73,5
Kananlanta	102,5 (10,7 %)	45 / 60	0,4	46,5
Viherjäte	85,8 (9,0 %)	3,1 / 83,8	0,6	8,0
Glyseroli	4,0 (0,4 %)	-	0,98 m <sup>3</sup> biokaasua / litra glyserolia	23,5

### 6.3.3 Laitoksen oma energiankulutus

#### Sähköenergia

Prosessin ylläpitämiseen käytettiin sähköenergiaa 8 317 kWh, josta CHP-yksikön tuottamaa sähköä oli 2 811 kWh (34 %) ja verkosta ostettua sähköä 5 506 (66 %) kWh. CHP-yksikkö kulutti sähköenergiaa päällä ollessaan (170,5 h) 1 294 kWh. Seurantajaksolla CHP-yksikkö oli pois päältä 333,5 tunnin ajan, jolloin sähköenergian kulutus oli yhteensä 1 251 kWh. Yhteensä CHP-yksikkö kulutti seurantajaksolla sähköenergiaa 2 545 kWh. Prosessin ylläpitäminen ja CHP-yksikkö kuluttivat sähköenergiaa yhteensä 10 862 kWh eli 7,8 kWh / reaktori-m<sup>3</sup>.

#### Lämpöenergia

Prosessiin lämpöä tuottava kattila kulutti seurantajaksolla biokaasua noin 44 m<sup>3</sup> tunnissa. Kattila toimi syklillä 6 minuuttia päällä ja 13 minuuttia pois päältä, joten seurantajakson aikana kattila oli käynnissä yhteensä 159 tuntia. Kattilan biokaasun kulutus oli seurantajaksolla 6 996 m<sup>3</sup>, josta metaania noin 62 % eli 4 337,5 m<sup>3</sup>, joka vastaa

lämpöenergiaa 43,4 MWh eli 0,031 MWh (31 kWh)/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan hyötysuhteen ollessa 90 % reaktoriin syötettiin lämpöä yhteensä 39,1 MWh eli 0,03 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan lämpöhäviöt olivat 4,3 MWh (10 %).

#### 6.3.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

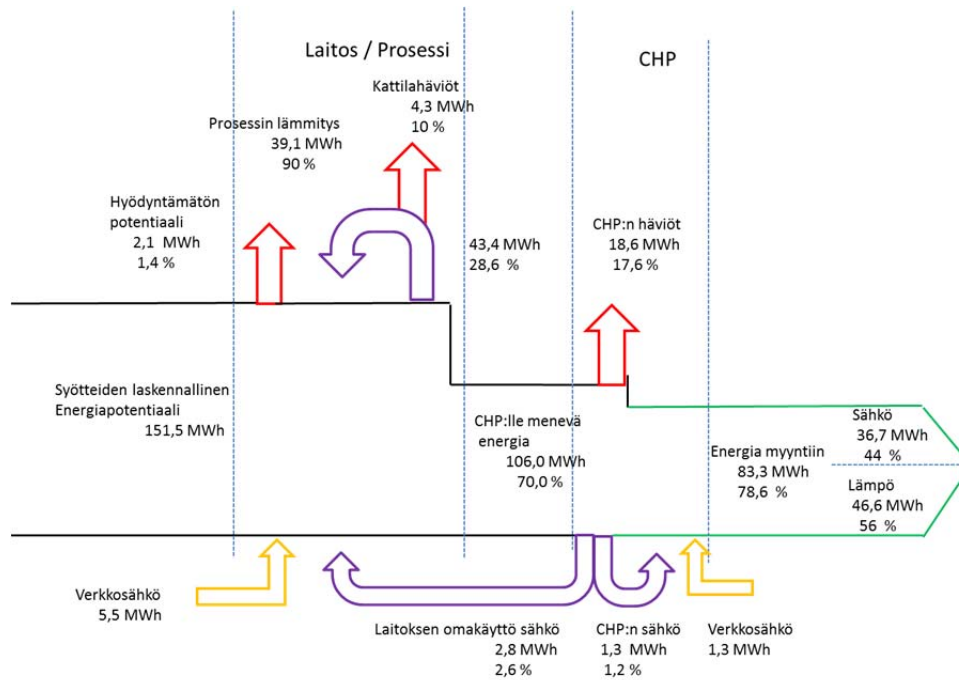
CHP-yksikkö käytti biokaasua seurantajaksolla yhteensä 17 094 m<sup>3</sup>. Lisäksi prosessin lämmittämiseen käytettiin biokaasua 6 996 m<sup>3</sup>. Yhteensä prosessi tuotti biokaasua seurantajaksolla noin 24 090 m<sup>3</sup>, joka vastaa 17,2 m<sup>3</sup> biokaasua/reaktori-m<sup>3</sup>.

CHP-yksikkö tuotti seurantajakson aikana myytävää sähköä 36,7 MWh ja lämpöä 46,6 MWh eli myytävää energiaa yhteensä 83,3 MWh. Laitos tuotti seurantajaksolla myytävää energiaa 0,060 MWh (60 kWh)/reaktori-m<sup>3</sup>. Myytävän energian lisäksi laitos tuotti biokaasusta lämpöenergiaa reaktorin lämmittämiseen 43,4 MWh ja CHP-yksikkö sähköenergiaa prosessin ylläpitoon 2,8 MWh ja CHP-yksikön käyttöön 1,3 MWh. Yhteensä laitos tuotti prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 130,8 MWh (0,14 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,09 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>).

CHP-yksikön käyttämä biokaasu (17 094 m<sup>3</sup>) sisälsi energiaa yhteensä 106,0 MWh. CHP-yksikkö tuotti biokaasusta energiaa yhteensä 87,4 MWh, joten CHP-yksikön häviöt olivat yhteensä 18,6 MWh (18 %). CHP-yksikön hyötysuhde oli seurantajaksolla noin 82 %.

Kuvassa 11 on esitetty energiavirrat kolmannella seurantajaksolla. Kuvasta nähdään, että prosessin lämmitysenergian valmistus on vienyt 28,6 % syötteiden laskennallisesta energiasta. Tästä 90 % on johdettu prosessin lämmitykseen ja kattilan häviöt ovat olleet 10 %. CHP-yksikön käyttöön on johdettu 70 % syötteiden sisältämästä energiasta ja prosessin hyödyntämätön potentiaali on ollut 1,4 %. Hyödyntämätön potentiaali on kolmannella seurantajaksolla ollut kahta ensimmäistä jaksoa alhaisempi. Tämä voi johtua siitä, että syötteiden energiapotentiaali on todellisuudessa ollut laskennallista parempi. Lisäksi prosessin lämmitysenergian määrä on laskennallinen ja voi hieman poiketa todellisesta. Toisaalta oli havaittavissa, että glyserolin käyttö tehosti biokaasuprosessin toimintaa, joten prosessi tuotti biokaasua aiempaa tehokkaammin.

CHP-yksikkö on tuottanut 78,6 %:sta käyttämästään biokaasusta myytävää energiaa. CHP:n häviöt ovat olleet 17,6 % ja lisäksi CHP-yksikkö on tuottanut sähköä prosessin ylläpitoon ja CHP-yksikölle yhteensä 4,1 MWh eli 3,8 % CHP:n käyttämän biokaasun energiamäärästä. Kolmannella seurantajaksolla laitos on kuluttanut verkosta ostettua sähköä 6,8 MWh.



**KUVA 11. Energiavirrat kolmannella seurantajaksolla**

## 6.4 Neljäs seurantajakso

Neljäs seurantajakso oli maaliskuussa. Seurantajaksolla oli pientä yöpakkasta, mutta päiväaikaan lämpötila pysytteli plussan puolella.

### 6.4.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Seurantajaksolla laitokselle tuodut syötemateriaalit ja niiden määrä on esitetty alla olevassa taulukossa 12. Samassa taulukossa on myös esitetty kunkin syötejakeen kuljetukseen käytetty energiamäärä. Yhteensä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytettiin energiaa 7,2 MWh.

**TAULUKKO 12. Neljännellä seurantajaksolla laitokselle kuljetettujen syötteiden kuljetuksiin käytetty energiamäärä**

Syöte	Syötteen määrä [m <sup>3</sup> ]	Syötteen kuljetukseen käytetty energia [MWh]
Naudan lietelanta	638,8	3,6
Kananlanta	89,0	1,8
Salaattijäte	70,7	1,8

#### **6.4.2 Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali**

Prosessiin syötettiin neljännellä seurantajaksolla syötteitä yhteensä 798,5 m<sup>3</sup>, josta naudanlietelantaa 638,8 m<sup>3</sup> (80,0 %), kananlantaa 89,0 m<sup>3</sup> (11,1 %) ja viherjätettä 70,7 m<sup>3</sup> (8,9 %). Vuorokautta kohden reaktoriin syötettiin syötteitä keskimäärin 38,0 m<sup>3</sup>, josta syötteiden viipymääjäksi saadaan noin 37 vuorokautta. Reaktorin kuormitukseksi saadaan 1,6 kgVS/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk.

Neljännellä seurantajaksolla prosessiin syötetyistä syötteistä saadaan laskennallisesti biokaasua noin 17 151 m<sup>3</sup> (21,5 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup>; 12,3 m<sup>3</sup>/reaktori-m<sup>3</sup>), josta metaania noin 10 291 m<sup>3</sup> (12,9 m<sup>3</sup>/syöte-m<sup>3</sup> ja 0,35 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk), joka vastaa 102,9 MWh (0,13 MWh/syöte-m<sup>3</sup>; 0,07 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>) energiaa. Taulukossa 13 on esitetty seurantajaksolla prosessiin syötettyjen syötteiden sisältämä laskennallinen energiamäärä.

**TAULUKKO 13. Neljännellä seurantajaksolla prosessiin syötetyt materiaalit ja niiden laskennallinen energiasisältö**

Syöte	Prosessiin syötetyn syötteen määrä, m <sup>3</sup> ja syötteen osuus koko syötemäärästä	% TS / % VS	Biokaasun tuotantopotentiaali [m <sup>3</sup> biokaasua/kg VS]	Syötteen sisältämä laskennallinen energia [MWh]
Naudan lietelanta	638,8 (80,0 %)	6 / 80	0,33	60,7
Kananlanta	89,0 (11,1 %)	30 / 66	0,4	35,6
Viherjäte	70,7 (8,9 %)	3,1 / 83,8	0,6	6,6

#### 6.4.3 Laitoksen oma energiankulutus

##### Sähköenergia

Prosessin ylläpitämiseen käytettiin sähköenergiaa 6 713 kWh, josta CHP-yksikön tuottamaa sähköä oli 1 651 kWh (25 %) ja verkosta ostettua sähköä 5 062 kWh (75 %). CHP-yksikkö kulutti sähköenergiaa päällä olleessaan (124 h) 896 kWh. Seurantajaksolla CHP-yksikkö oli pois päältä 380 tunnin ajan, jolloin sähköenergian kulutus oli yhteensä 1 425 kWh. Yhteensä CHP-yksikkö kulutti seurantajaksolla sähköenergiaa 2 321 kWh. Prosessin ylläpitäminen ja CHP-yksikkö kuluttivat sähköenergiaa yhteensä 9 033 kWh.

##### Lämpöenergia

Prosessiin lämpöä tuottava kattila kulutti seurantajaksolla biokaasua noin 44 m<sup>3</sup> tunnissa. Kattila toimi syklillä 4 minuuttia päällä ja 20 minuuttia pois päältä, joten seurantajakson aikana kattila oli käynnissä yhteensä 84 tuntia. Kattilan biokaasun kulutus oli seurantajaksolla 3 696 m<sup>3</sup>, josta metaania noin 59 % eli 2 180,6 m<sup>3</sup>, joka vastaa lämpöenergiaa 21,8 MWh eli 0,016 MWh (16 kWh)/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan hyötysuhteen ollessa 90 % reaktoriin syötettiin lämpöä yhteensä 19,6 MWh eli 0,02 MWh/reaktori-m<sup>3</sup>. Kattilan lämpöhäviöt olivat siten 2,2 MWh (10 %).

#### 6.4.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

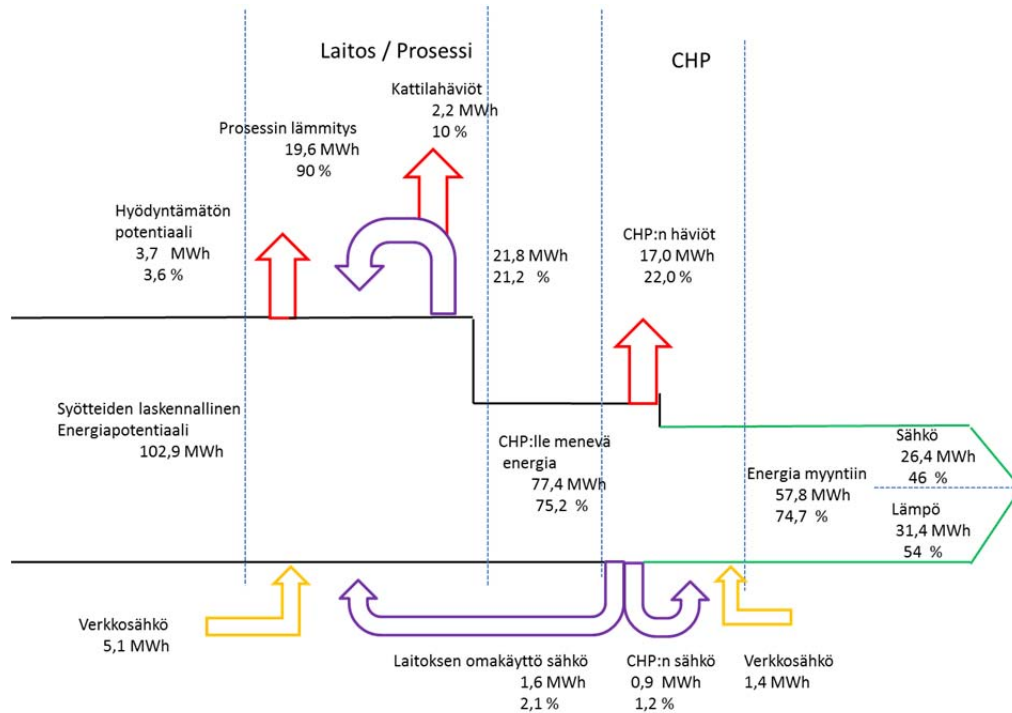
CHP-yksikkö käytti biokaasua seurantajaksolla yhteensä 13 120 m<sup>3</sup>. Lisäksi prosessin lämmittämiseen käytettiin biokaasua 3 696 m<sup>3</sup>. Yhteensä prosessi tuotti biokaasua seurantajaksolla noin 16 816 m<sup>3</sup>, joka vastaa 12,0 m<sup>3</sup> biokaasua/reaktori-m<sup>3</sup>.

CHP-yksikkö tuotti seurantajakson aikana myytävää sähköä 26,4 MWh ja lämpöä 31,4 MWh eli energiaa yhteensä 57,8 MWh. Myytävän energian lisäksi laitos tuotti biokaasusta lämpöenergiaa reaktorin lämmittämiseen 21,8 MWh ja sähköenergiaa prosessin ylläpitoon 1,7 MWh ja CHP-yksikön käyttöön 0,9 MWh. Yhteensä laitos tuotti prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 82,2 MWh (0,06 MWh / reaktori-m<sup>3</sup>).

CHP-yksikön käyttämä biokaasu (13 120 m<sup>3</sup>) sisälsi energiaa yhteensä 77,4 MWh. CHP-yksikkö tuotti biokaasusta energiaa yhteensä 60,4 MWh, joten CHP-yksikön häviöt olivat yhteensä 17,0 MWh (22 %). CHP-yksikön hyötysuhde oli seurantajaksolla 78 %.

Kuvassa 12 on esitetty energiavirrat neljännellä seurantajaksolla. Kuvasta nähdään, että prosessin lämmitysenergian valmistus on vienyt 21,2 % syötteiden laskennallisesta energiasta. Tästä 90 % on johdettu prosessin lämmitykseen ja kattilan häviöt ovat olleet 10 %. CHP-yksikön käyttöön on johdettu 75,2 % syötteiden sisältämästä energiasta ja prosessin hyödyntämätön potentiaali on ollut 3,6 %.

CHP-yksikkö on tuottanut 74,7 %:sta käyttämästään biokaasusta myytävää energiaa. CHP:n häviöt ovat olleet 22,0 % ja lisäksi CHP-yksikkö on tuottanut sähköä prosessin ylläpitoon ja CHP-yksikölle yhteensä 2,5 MWh eli 3,3 % CHP:n käyttämän biokaasun energiamäärästä. Neljännellä seurantajaksolla laitos on kuluttanut verkosta ostettua sähköä 6,5 MWh.



**KUVA 12. Energiavirrat neljännellä seurantajaksoilla**

## 6.5 Laitoksen energiatase

Taulukossa 14 on esitetty laitoksen tuottamat ja kuluttamat energiat eri seurantajaksoilla. Seurantajaksojen energiataselukemat on laskettu näiden tietojen pohjalta. Lisäksi taulukossa on esitetty eri seurantajaksojen perusteella lasketut vuositason tuotot ja kulutukset. Vuositason luvut on saatu laskemalla eri seurantajaksojen luvut ensin yhteen, jolloin on saatu lukemat 84 vrk:n ajalta, ja suhteuttamalla nämä luvut 365 vuorokaudelle.

**TAULUKKO 14. Laitoksen tuottamat ja kuluttamat energiat seurantajaksoilla sekä vuositasolla**

	1.	2.	3.	4.	vuositaso
<b>Syötteiden kuljetuksissa kulutettu energia, MWh</b>	<b>6,8</b>	<b>8,2</b>	<b>8,7</b>	<b>7,2</b>	<b>134,3</b>
Laitoksessa kulutettu sähköenergia, MWh, josta	8,8	10,0	10,8	9,0	168,6
- prosessin kuluttama, MWh	5,8	6,3	8,3	6,7	118,2
- CHP-yksikön kuluttama, MWh	3,0	3,7	2,5	2,3	50,4
Laitoksen biokaasusta tuottama lämpöenergia (Prosessin kuluttama lämpöenergia, MWh)	51,0	50,7	43,4	21,8	725,2
<b>Laitoksen kuluttama energia yhteensä, MWh</b>	<b>59,8</b>	<b>60,7</b>	<b>54,2</b>	<b>30,8</b>	<b>892,9</b>
CHP-yksikön myyntiin tuottama sähköenergia, MWh	54,1	52,5	36,7	26,4	736,9
CHP-yksikön myyntiin tuottama lämpöenergia, MWh	56,3	63,9	46,6	31,4	862,0
CHP-yksikön tuottama omakäyttö sähköenergia, MWh	4,7	5,0	4,1	2,6	71,3
<b>Laitoksen biokaasusta tuottama energia yhteensä, MWh</b>	<b>166,1</b>	<b>172,1</b>	<b>130,8</b>	<b>82,2</b>	<b>2 395,4</b>
<b>Laitoksen biokaasusta myyntiin tuottama energia yhteensä, MWh</b>	<b>110,4</b>	<b>116,4</b>	<b>83,3</b>	<b>57,8</b>	<b>1 598,9</b>
<b>Syötteiden laskennallinen energiasisältö, MWh</b>	<b>221,7</b>	<b>221,6</b>	<b>151,5</b>	<b>102,9</b>	<b>3 031,7</b>

Seurantajaksoilta on laskettu neljä eri energiatasetta, joista ensimmäinen kuvaa, kuinka paljon laitos on tuottanut energiaa (biokaasusta myyntiin sekä omaan käyttöön tuotettu energia) suhteessa prosessiin syötettyjen syötteiden laskennalliseen energiapotentiaaliin. Energiatase 2 kuvaa, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) suhteessa laitoksen tuottamaan kokonaisenergian määrään. Kolmas energiata-



seluku kertoo, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) suhteessa laitoksen myyntiin tuottamaan energiamäärään. Neljäs energiatase kuvaa, kuinka paljon laitos on kuluttanut energiaa (sähkö + lämpö) sekä, kuinka paljon syötteiden kuljetuksiin on kulunut energiaa suhteessa laitoksen myyntiin tuottamaan energiamäärään. Energiataseet on esitetty taulukossa 15.

Ensimmäisellä seurantajaksolla laitos on tuottanut prosessiin syötetyistä syötteistä energiaa 75 % syötteiden sisältämästä laskennallisesta energiapitoisuudesta. Toisella seurantajaksolla laitos on tuottanut energiaa 78 % syötteiden sisältämästä laskennallisesta energiasta, kolmannella seurantajaksolla 86 % ja neljännellä 80 %.

Ensimmäisellä seurantajaksolla laitos on kuluttanut 36 % laitoksen tuottamasta kokonaisenergiasta. Toisella seurantajaksolla kulutus on ollut 35 % tuotetusta, kolmannella 41 % ja neljännellä 37 %.

Laitos on kuluttanut ensimmäisellä seurantajaksolla 54 % laitoksen myyntiin tuottamasta energiasta. Toisella seurantajaksolla suhde on ollut hieman alhaisempi ja laitos on kuluttanut 52 % myyntiin tuotetusta energiasta. Kolmannella seurantajaksolla laitoksen oma energiankulutus suhteessa myyntiin tuotettuun energiamäärään oli 65 % eli selvästi kahta aikaisempaa seurantaa korkeampi. Neljännellä seurantajaksolla energiataseluku 2 oli 0,53 eli laitos kulutti 53 % myyntiin tuotetusta energiasta.

Neljäs energiataseluku kuvaa, kuinka paljon laitoksen oma energiankulutus ja syötteiden kuljetuksiin käytetty energia ovat suhteessa laitoksen myyntiin tuottamaan energiaan. Ensimmäisellä seurantajaksolla laitoksen oma energiankäyttö ja syötteiden kuljetuksiin käytetty energia ovat olleet 60 % myyntiin tuotetusta energia. Toisella seurantajaksolla vastaava luku on ollut 59 %. Kolmannella seurantajaksolla laitoksen oma energiankäyttö ja kuljetuksiin kulunut energia ovat olleet 76 % myyntiin tuotetusta energiasta. Neljännellä seurantajaksolla lukema on ollut 66 %.

Suhteuttamalla seurantajaksojen tulokset vuositason tuottaisi laitos energiaa syötteiden laskennallisesta energiasisällöstä 79 %. Vuositasolla laitos kuluttaisi 37 % laitoksen tuottamasta kokonaisenergiamäärästä ja 56 % laitoksen myyntiin tuottamasta energiasta. Kun laitoksen omaan energian kulutukseen huomioidaan myös kuljetusten

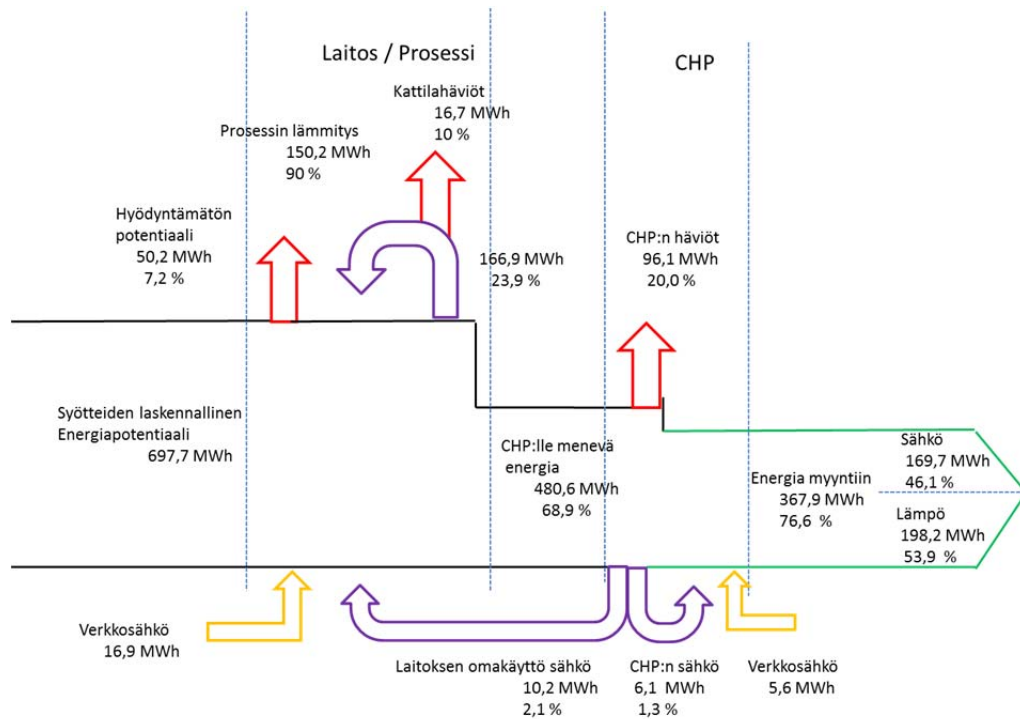
käyttämä energiamäärä, olisi laitoksen energiankulutus vuositasolla 64 % myyntiin tuotetusta energiasta. Vuositason energiataseita arvioitaessa täytyy huomioida, että seurantajaksoit ovat ajoittuneet talvi/keväätaikaan, joten tuloksissa ei ole huomioitu laitoksen energiatasetta kesä/syksyjältä.

**TAULUKKO 15. Laitoksen energiataseet seurantajaksoilla ja vuositasolla**

	<b>Seuranta 1</b>	<b>Seuranta 2</b>	<b>Seuranta 3</b>	<b>Seuranta 4</b>	<b>Vuositaso</b>
<b>Energiatase 1</b>	0,75	0,78	0,86	0,80	0,79
<b>Energiatase 2</b>	0,36	0,35	0,41	0,37	0,37
<b>Energiatase 3</b>	0,54	0,52	0,65	0,53	0,56
<b>Energiatase 4</b>	0,60	0,59	0,76	0,66	0,64

Kuvassa 13 on kuvattu yhteenlasketut energiavirrat neljän seurantajakson ajalta. Kuvasta nähdään, että prosessin lämmitysenergian valmistus on vienyt 23,9 % syötteiden laskennallisesta energiasta. Tästä 90 % on johdettu prosessin lämmitykseen ja kattilan häviöt ovat olleet 10 %. CHP-yksikön käyttöön on johdettu 68,9 % syötteiden sisältämästä energiasta ja hyödyntämätön potentiaali on ollut 7,2 %.

CHP-yksikkö on tuottanut 76,6 %:sta käyttämästään biokaasusta myytävää energiaa. CHP:n häviöt ovat olleet 20,0 % ja lisäksi CHP-yksikkö on tuottanut sähköä prosessin käyttöön ja CHP-yksikölle 3,4 % CHP:n käyttämän biokaasun energiamäärästä. Seurantajaksojen aikana laitos on ostanut verkosta sähköä yhteensä 22,8 MWh.



**KUVA 13. Energiavirrat seurantajaksoilla (84 vuorokautta)**

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

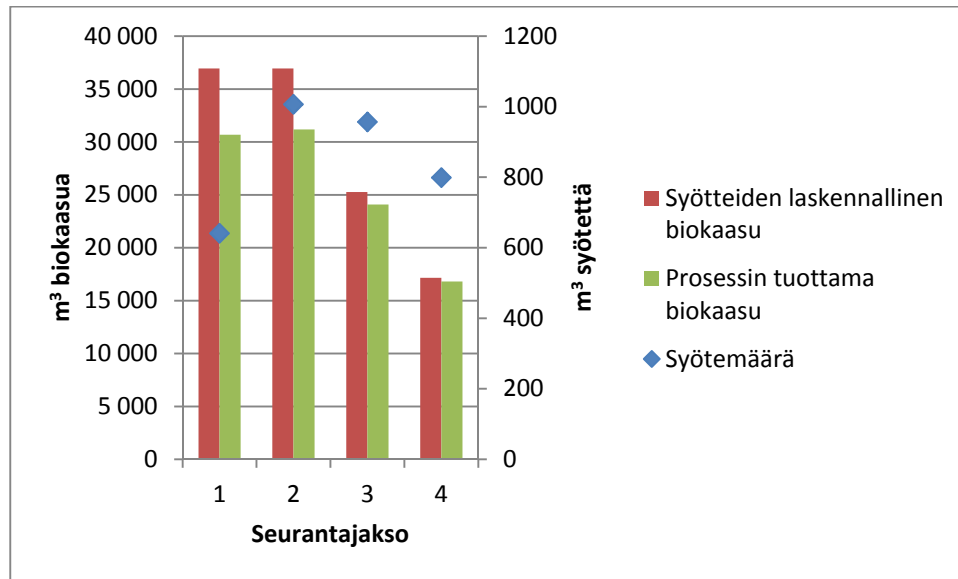
### 7.1 Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia

Syötteiden kuljetuksiin on käytetty seurantajaksoilla 6,8 - 8,7 MWh energiaa. Tämä vastaa 6,2 - 12,5 % myyntiin tuotetusta energiasta. Kuljetuksiin käytetty energiamäärä on pieni, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu kuljetusten osuuden olevan jopa 20 % myyntiin tuotetusta energiasta. Kuljetuksiin käytetyn energian määrää voidaan vähentää ajojen hyvällä suunnittelulla sekä taloudellisella ajotavalla.

### 7.2 Prosessiin syötetyn syötemateriaalin laskennallinen energiasisältö ja kaasun tuotantopotentiaali

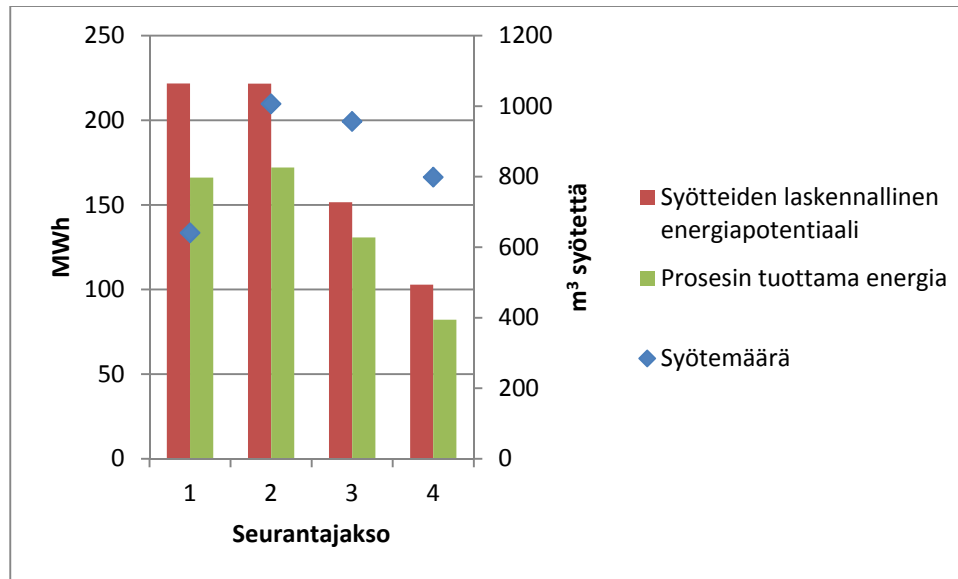
Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen biokaasun tuotanto vaihteli seurantajaksoilla välillä 17 151 - 36 950 m<sup>3</sup>. Prosessi pystyi todellisuudessa tuottamaan syötteistä biokaasua 16 816 - 31 180 m<sup>3</sup>, eli prosessi pystyi hyödyntämään 83,0 - 98,0 % potentiaalista. Kuvasta 14 nähdään, että kahdella jälkimmäisellä seurantajaksoilla prosessi hyödynsi syötteiden sisältämän biokaasun kahta ensimmäistä seurantajaksoa

paremmin. Tämä voi selittyä sillä, että glyserolin lisääminen prosessiin tehosti bakteerien toimintaa, jolloin prosessi pystyi hajottamaan syötemateriaalin entistä tehokkaammin. Kuvasta nähdään myös, että kahden ensimmäisen seurantajakson syötteen ovat olleet biokaasupotentiaailtaan kahden jälkimmäisen seurantajakson syötteitä parempia. Tämä selittyy lähinnä suuremmalla glyserolin määrällä kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla.



**KUVA 14. Laitoksen hyödyntämä biokaasupotentiaali**

Eri seurantajaksoilla prosessiin syötettyjen syötteiden määrä vaihteli 640,7 m<sup>3</sup>:sta 1 006,5 m<sup>3</sup>:oon. Syötteistä saatu laskennallinen energiasisältö vaihteli 102,9 MWh:sta 221,7 MWh:iin. Ensimmäisen ja toisen seurantajakson syötteiden laskennallinen energiapotentiaali oli kahta jälkimmäistä seurantaa korkeampi johtuen suuremmasta glyserolin määrästä. Energiasisällöltään kananlanta ja glyseroli ovat lietelantaa ja viherjätettä huomattavasti parempia syötteitä. Kuvasta 15 nähdään, että kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla laitoksen tuottama energiamäärä on selvästi laskennallista energiamäärää alhaisempi, kun taas kahdella jälkimmäisellä seurantajaksolla laskennallinen ja tuotettu energia ovat lähellä toisiaan.



**KUVA 15. Prosessin laskennallinen ja tuotettu energiamäärä seurantajaksoilla**

Prosessiin syötettiin syötteitä keskimäärin 31 - 48 m<sup>3</sup>/vrk, jolloin prosessin viipymäaika vaihteli 29 vuorokaudesta 46 vuorokauteen. Prosessiin voitaisiin syöttää syötteitä noin 66 m<sup>3</sup> vuorokaudessa, jolloin viipymäajaksi saataisiin 21 vuorokautta. Prosessin kuormitus vaihteli välillä 1,6 - 2,0 kgVS/reaktori-m<sup>3</sup>/vrk.

Viipymäaika on tällä hetkellä ns. ylipitkä, joka toisaalta takaa syötemateriaalin täydellisen hajoamisen ja biokaasun hyvän tuoton, mutta toisaalta kasvattaa prosessin lämmityksessä ja sekoituksessa tarvittavaa energiaa suhteessa syötettyyn syötemäärään. Syötemateriaalin hajoaminen ja biokaasun hyvä tuotanto voidaan taata laitoksen jälkikaasutusaltaan käytöllä, joten prosessiin voidaan syöttää syötteitä huomattavasti nykyistä enemmän. Viipymäajan puitteissa syötteiden määrä voidaan lähes kaksinkertaistaa nykyiseen tilanteeseen nähden. Prosessin kuormitus voi olla kaksi - kolminkertainen nykytilanteeseen nähden.

### 7.3 Laitoksen oma energiankulutus

#### Sähkö

Laitos kulutti sähköenergiaa 8,8 - 10,8 MWh/21 vuorokautta. Vuositasolla tämä vastaa noin 170 MWh:n kulutusta, josta noin 120 MWh (71 %) kuluu prosessin ylläpitämiseen ja noin 50 MWh (29 %) CHP-yksikön toimintaan. Vuositasolla biokaasulaitos

ostaa verkosta sähköä noin 100 MWh eli noin 60 % laitoksen kuluttamasta sähköstä ja CHP-yksikkö tuottaa sähköä laitoksen käyttöön noin 70 MWh eli noin 40 % laitoksen kuluttamasta sähköstä. Laitoksen sähkönkulutus vuositasolla vastaa todella hyvin arvioitua vuosikulutusta, noin 170 MWh. Laitoksen sähkön kulutus on kohtalaisen tasaista, eikä juuri vaihtele vuodenaikojen mukaan.

Prosessin ylläpitämiseen kuluva sähkö kuluu pääsääntöisesti syötteiden pumppaamiseen, kuljettamiseen ja sekoittamiseen. Sähkön kulutusta voidaan parhaiten vähentää optimoimalla sekoittajien käyttöä. Sekoittajia tulisi käyttää vain tarvittaessa ja tarvittavalla nopeudella siten, että prosessi toimii toivotulla tavalla.

## Lämpö

Prosessin lämmittäminen kulutti energiaa 21,8 - 51,0 MWh/21 vuorokautta. Vuositasolla tämä vastaa noin 725 MWh:n lämpöenergian kulutusta. Tämä vastaa kohtuullisen hyvin arviota, jonka mukaan laitos kuluttaisi lämpöenergiaa noin 820 MWh vuodessa. Lämpöenergiankulutus on noin 80 % laitoksen kuluttamasta kokonaisenergiasta, joka on seurantajaksojen perusteella laskettuna vuositasolla noin 890 MWh (arvio noin 990 MWh). Laitoksen lämpöenergian kulutus on selvästi sidoksissa vuodenaikoihin, sillä reaktoria lämmitetään talvikaudella. Seurantajaksoilla oli havaittavissa lämpöenergian kulutuksen väheneminen vuorokauden keskilämpötilan nousun myötä.

Lämpöenergian kulutus on saatu laskennallisesti käyttämällä laitoksen tiedoista selviävää kattilan kaasunkulutuslukemaa ja kattilan käyntiaikaa. Jotta kattilan kaasun kulutus ja sitä kautta prosessin kuluttaman lämpöenergian määrä saataisiin selville tarkasti, tulisi kattilan käyttämän kaasun määrää mitata virtausmittarilla.

## 7.4 Laitoksen tuottama biokaasu sekä sähkö- ja lämpöenergia

### Biokaasu

Laitos tuotti biokaasua seurantajaksoilla yhteensä 102 764 m<sup>3</sup>, joka vastaisi vuositasolla noin 446 500 m<sup>3</sup>. Laitoksen biokaasun tuotanto on arvioitua alhaisempi, sillä liiketoimintasuunnitelmassa laitoksen on arvioitu tuottavan biokaasua hieman vajaa

600 000 m<sup>3</sup> vuodessa (noin 34 500 m<sup>3</sup>/21 vrk). Biokaasun tuotanto on arvioitua alhaisempi, sillä laitos ei toimi vielä täydellä kapasiteetilla.

Biokaasun tuotanto oli lähellä arvioitua kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla (30 678 ja 31 180 m<sup>3</sup> biokaasua), mutta kahdella jälkimmäisellä (24 090 ja 16 816 m<sup>3</sup>) kaasun tuotanto väheni huomattavasti. Kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla prosessiin lisättiin glyserolia, josta saatiin biokaasua laskennallisesti noin 13 000 - 14 000 m<sup>3</sup>/seuranta. Kolmannella seurantajaksolla glyserolin osuus biokaasun tuotannosta oli noin 4 000 m<sup>3</sup>. Glyserolista saatavan biokaasun lisäksi glyseroli parantaa myös muista syötteistä saatavan biokaasun määrää.

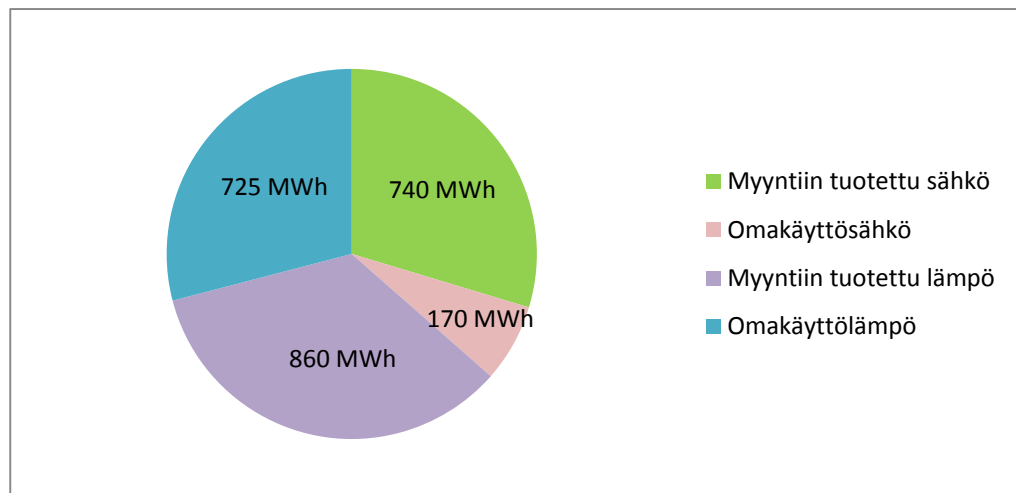
Biokaasun tuotantoa tarkasteltaessa täytyy huomioida myös prosessiin syötettyjen syötteiden määrä ja laatu. Ensimmäisellä seurannalla prosessiin syötettiin syötteitä yhteensä 640,7 m<sup>3</sup>, toisella 1 006,5 m<sup>3</sup>, kolmannella 956,4 m<sup>3</sup> ja neljännellä 798,5 m<sup>3</sup>. Toisen seurantajakson biokaasun tuotanto oli lähellä arvioitua vuositaso. Toisen seurantajakson syötemäärä tarkoittaa noin 17 500 m<sup>3</sup>:n vuosittaista määrää, joka vastaa liiketoimintasuunnitelmassa mainittua alle 20 000 m<sup>3</sup>:n vuosittaista syötemäärää.

Syötteiden laatu vaikuttaa biokaasun tuotantoon mm. siten, että kananlannalla on huomattavasti lietettä parempi biokaasuntuotantopotentiaali. Tämän vuoksi kananlanta on lietettä ”arvokkaampaa” syötettä. Glyserolin kaasuntuotantopotentiaali on muihin käytettyihin syötemateriaaleihin nähden ylivertainen, mutta täytyy huomioida, että glyserolin osuus syötemateriaalin määrästä ei voi olla kovin suuri, ja laitos joutuu myös maksamaan raaka-aineesta.

Biokaasun määrän lisäksi merkittävää energiantuotannon kannalta on kaasun metaanipitoisuus. Biokaasun metaanipitoisuus vaihteli keskimäärin 59 - 66 %:n välillä ollen korkeimmillaan ensimmäisellä seurantajaksolla ja alhaisimmillaan viimeisellä seurantajaksolla. Biokaasun metaanipitoisuuteen voidaan vaikuttaa prosessiin syötettyjen syötteiden laadulla ja sekoitussuhteella. Myös glyserolilla on selvästi metaanipitoisuutta lisäävä vaikutus.

## Sähkö ja lämpö

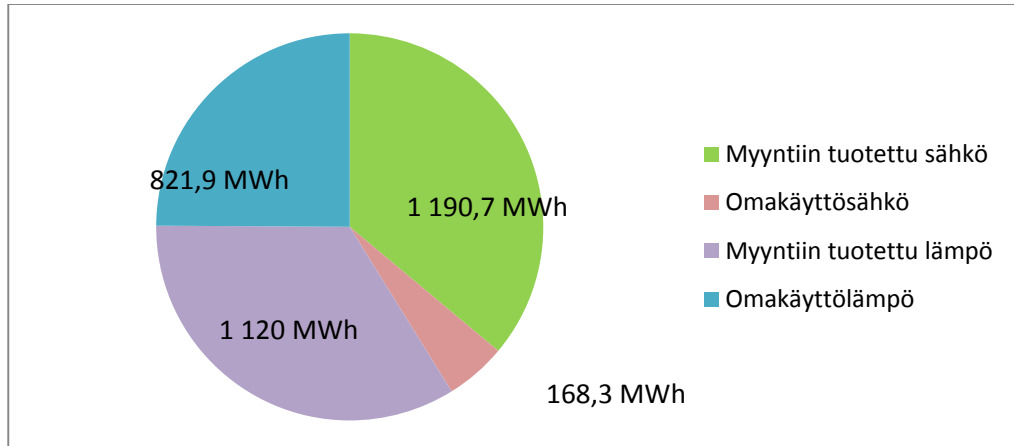
Laitoksen tuottamat ja kuluttamat energiamäärät on kuvattu kuvassa 16. Laitos tuotti sähköenergiaa myyntiin 26,4 - 54,1 MWh/seurantajakso, joka vastaisi vuositasolla noin 740 MWh. Tämän on selvästi vähemmän kuin liiketoimintasuunnitelmassa arvioitu hieman vajaa 1 200 MWh. Lämpöenergiaa laitosa tuotti myyntiin 31,4 - 63,9 MWh/seurantajakso. Vuositasolla lämpöenergian tuotto olisi siten noin 860 MWh. Liiketoimintasuunnitelmassa lämpöenergian tuotoksi on arvioitu hieman yli 1 100 MWh vuosittain. Yhteensä laitosa tuottaa seurantajaksojen perusteella energiaa myyntiin noin 1 600 MWh eli noin 70 % liiketoimintasuunnitelmassa arvioidusta 2 300 MWh:n tuotosta. Kokonaisuudessaan laitosa tuottaa seurantajaksojen perusteella energiaa hieman vajaa 2 400 MWh, joka on noin 62 % liiketoimintasuunnitelmassa arvioidusta hieman vajaan 3 900 MWh:n tuotosta.



**KUVA 16. Laitoksen myyntiin tuottama energia ja omakäyttöenergia.**

Alla olevassa kuvassa 17 on esitetty arvio laitoksen myyntiin tuotetusta energiasta ja omakäyttöenergiasta. Todellisten lukemien poikkeamat arvioiduista määristä johtuvat laitoksen tämän hetkisestä vajaasta käytöstä sekä myös mahdollisesti liian optimistisesti tehdystä arviosta.





**KUVA 17. Arvio laitoksen myyntiin tuottamasta ja omakäyttöenergiasta.**

### 7.5 Laitoksen energiatase

Laitoksen energiataseet olivat kahdella ensimmäisellä seurantajaksolla lähellä toisiinsa, mutta muuttuivat kahdella jälkimmäisellä seurannalla. Muutos johtuu siitä, että kahdella jälkimmäisellä seurantajaksolla syötteiden sisältämä laskennallinen energia ja laitoksen tuottama energia olivat kahta ensimmäistä seurantaa alhaisempia.

## 8 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Syötteiden kuljetuksiin kuluva energia on pieni, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa syötteiden kuljetuksen on todettu vievän jopa 20 % tuotetusta energiasta. Juvan Bio-son Oy:n syötteiden kuljetus vie energiaa keskimäärin 5,6 % tuotetusta kokonaisenergiasta ja 8,4 % myyntiin tuotetusta energiasta.

Tuloksista nähdään, että glyseroli ja kananlanta ovat kaasuntuotannon ja sitä kautta energiantuotannon kannalta hyviä syötemateriaaleja. Kaasuntuotannon kannalta syöteseoksella on merkitystä, ja seos tulisikin mahdollisuuksien mukaan optimoida siten, että siitä saadaan irti mahdollisimman paljon biokaasua, jonka metaanipitoisuus on mahdollisimman korkea. Seoksen optimoinnissa tulee kuitenkin huomioida, että prosessin toimiminen on ensiarvoisen tärkeää, eikä esimerkiksi prosessin pH saa vaihdella liikaa. Syöteseoksen optimointi voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta, jos syötteiden kuljetukset määräytyvät viljelijöiden lantasailiöiden täyttymisen perusteella.

Prosessiin voidaan syöttää syötteitä nykyistä enemmän, sillä viipymäaika on tällä hetkellä ylipitkä ja prosessin kuormitus alhainen. Syötemäärää kasvatettaessa tulee huomioida, että valitaan syötteitä, joilla on mahdollisimman hyvä kaasuntuotantopotentiaali, ja esimerkiksi lietelannalla mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus. Lietelannan kuiva-ainepitoisuutta laskee se, että pesuvedet johdetaan samaan säiliöön lietteen kanssa. Lisäsyötteet tulisi saada laitoksen lähialueilta, jotta syötteiden kuljetukseen käytetty energiamäärä ja kuljetusten hinta pysyisi kohtuullisena.

Prosessi hyödynsi seurantajaksojen aikana syötteiden laskennallisesta biokaasupotentiaalista 88 %. Laitoksen tuottaman biokaasun määrä on seurantajaksojen perusteella arviota alhaisempi, mutta se johtuu siitä, että laitosta ei vielä ajeta täydellä syötemäärällä. Tulokset osoittavat, että glyserolin merkitys biokaasun tuotantoon ja biokaasun metaanipitoisuuteen on merkittävä. Laitos käytti glyserolia vain muutaman viikon ajan, mutta tulosten perusteella sen käyttö on suositeltavaa, jos se on taloudellisesti kannattavaa.

Laitoksen oma energiankulutus vastaa arvioitua. Sähkön kulutusta voidaan vähentää optimoimalla sekoittimien käyttöä, sillä ne ovat pumppujen ohella suurimpia sähköenergian kuluttajia. Sekoittimia tulisi käyttää vain tarvittaessa ja tarvittavalla nopeudella. Sähkön kulutuksen vähentämistä ei voi tehdä prosessin kustannuksella, vaan prosessin tehokas toiminta tulee olla avainasemassa.

Laitoksen lämpöenergian kulutus on myös arvioidun mukaista. Tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että tulokset ovat talvi-kevätkaudelta eikä kesä-syky aika ole otettu huomioon. Lämpöenergian kulutusta tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon myös se, että lämpöenergian kulutus on osittain laskennallista, ja voi poiketa jonkin verran todellisesta kulutuksesta.

Koska laitoksen yksi tärkeimmistä tehtävistä on tuottaa energiaa, tulisi energiamittausten olla kattavia ja helposti luettavissa. Sähkömittarit tulisi asentaa siten, että prosessin ja CHP-yksikön kuluttaman sähkön, CHP-yksikön tuottaman sähkön ja CHP-yksikön myyntiin tuottaman sähkön määrät saadaan selville suoraan mittarilukemista. Tällöin sähkön tuotannon ja kulutuksen seuraamisen olisi helppoa ja virheiden mahdollisuus olisi vähäinen. Tällä hetkellä laitoksen sähkömittaukset ovat todella monimutkaisia ja

mittareiden lukemisen lisäksi täytyy suorittaa laskentaa, jotta laitoksen ja CHP-yksikön sähkönkulutukset saadaan selville. Ainoastaan prosessin sähkönkulutus saadaan selville suoraan mittarilukemasta. Myös prosessin kuluttaman lämpöenergian määrää tulisi mitata, sillä se on yksi suuresti laitoksen energiataseeseen vaikuttava tekijä. Prosessin kuluttaman lämpöenergian määrä saadaan luotettavasti selville esimerkiksi mittaamalla kattilan käyttämän biokaasun määrää sekä biokaasun metaanipitoisuutta. Näiden tietojen perusteella voidaan yksinkertaisesti laskea minkä verran prosessin lämmittäminen vie energiaa.

Laitoksen tuottama energiamäärä on seurantajaksojen perusteella arvioitua alhaisempi. Tulosten mukaan laitos tuottaa noin 70 % arvioidusta myyntiin tuotetusta energiasta ja noin 62 % arvioidusta kokonaisenergian tuotosta. Tuotetun energian määrän alhaisuus arvioituun verrattuna johtuu siitä, ettei laitosta ajeta vielä täydellä teholla sekä mahdollisesta liian optimistisesta arviosta. Laitos tulisi saada mahdollisimman pian tuottamaan energiaa arvioidun mukaisesti, sillä laitoksen taloudellinen kannattavuus kärsii vajaasta käytöstä.

Laitoksen energiatase on positiivinen eli laitos tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Energiatasetta voidaan parantaa käyttämällä laitoksella mahdollisimman paljon biokaasua tuottavia syötteitä ja pitämällä biokaasun metaanipitoisuus korkeana. Toisaalta laitoksen kuluttaman energian vähentäminen parantaa energiatasetta.

Työssä saadut tulokset osoittavat, että laitos on tällä hetkellä energiataseen näkökulmasta toimiva, mutta laitoksen toimintaa on mahdollista tehostaa. Ensimmäiseksi laitos tulisi saada toimimaan täydellä teholla, jolloin laitoksen kannattavuus paranisi. Toisaalta täytyy kokoajan muistaa, että laitoksen yksi tärkeä tehtävä energiantuotannon lisäksi on myös tuottaa hyvää lannoitetta. Täytyy kuitenkin huomioida että, jos laitoksen käyttökustannukset ovat liian korkeat suhteessa laitoksen tuottoon, tulee jossakin vaiheessa eteen tilanne, että syötteiden käsitteleminen lannoitteeksi on liian kallista.

Saadut tulokset ovat osittain odotettuja, sillä oli tiedossa, että laitos ei vielä toimi täydellä kapasiteetilla. Glyserolin todella positiivinen vaikutus biokaasun tuotantoon ja kaasun metaanipitoisuuteen ja sitä kautta energian tuotantoon oli hienoinen yllätys.

Saatujen tulosten näkökulmasta laitos toimii siten kuin aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet biokaasulaitosten toimivan.

## LÄHTEET

AEBIOM European biomass association. A biogas road map for Europe. Renewable energy house. Belgium 2009.

Bachmann, Nathalie 2011. Switzerland country report. IEA Bioenergy Task 37 Energy from biogas in Cork 15.9.2011. Reports.

Berglund, Maria & Börjesson, Pål 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass & Bioenergy* 3, s. 254-266.

Bioste Oy 2012. Biodiesel.

[http://www.bioste.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=8&Itemid=11](http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=8&Itemid=11). Ei päivitystieto. Luettu 22.3.2012.

Bodík, I & Hutňan, M & Petheřová, T & Kalina, A. Anaerobic treatment of biodiesel production wastes. 5th International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes and Energy Crops in Tunisia 25.-29.5.2008.

EU-direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä 2009/28/EY. WWW-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/>. Ei päivitystietoa. Luettu 3.2.2012.

Finkemeyer, Jörn 2007. Biokaasulaitosten kannattavuus Saksassa – analyysi seuranta-tutkimuksesta. Hämeen ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Harwood, Oliver 2011. Country report - September 2011. IEA Bioenergy Task 37 Energy from biogas in Cork 15.9.2011. Reports.

Heiskanen, Harri. Sähköpostikeskustelu 22.3.2012. Tutkimusjohtaja. Haapajärven ammattiopisto.

Heiskanen, Harri 2011. Biokaasututkimusta Haapajärven ammattiopistolla. *Biokaasu* 2/2011, s. 14-17.

Held, Jörgen & Mathiasson, Anders & Nylander, Anders 2008. Biogas from manure and waste products – Swedish case studies. Report.

Huovari, Niina & Rautanen, Juha & Wihersaari, Margareta 2008. Biokaasulaitoksen energiatase maatilojen biomassoista hyödyntävissä laitoksissa. Motiva Oy.

Hutňan, M & Kolesárová, N, Bodík, I & Špalková, V & Lazor, M. Possibilities of anaerobic treatment of crude glycerol from biodiesel production. 36th International Conference of SSCHE in Slovakia. 25.-29.5.2009.

Huttunen, Markku & Kuittinen, Ville 2011. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 14. Itä-Suomen yliopisto. Raportteja 5.

Kaparaju, Prasad 2003. Enhancing methane production in a farm-scale biogas production system. Jyväskylän yliopisto. Biologia ja ympäristötiede. Väitöstutkimus.

Kuittinen, Ville & Huttunen, Markku & Leinonen, Simo 2010. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 13. Itä-Suomen yliopisto. Raportteja 3.

Laamanen, Tuulikki 2012. Sähköpostikeskustelu 20.3.2012. Hallituksen puheenjohtaja. Turakkalan Puutarha Oy.

Latvala, Markus 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä -paras käytössä oleva tekniikka (BAT). Helsinki: Suomen ympäristö.

Lehtomäki, Annimari 2011. Biogas in Finland – Situation report. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas and Landfill Gas in Istanbul 13.-15.4.2011. Reports.

Lehtomäki, Annimari & Paavola, Teija & Luostarinen, Sari & Rintala, Jukka 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopisto. Tiedonantoja 85.

Linke, Bernd 2011. Country report Germany. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas and Landfill Gas in Istanbul 13.-15.4.2011. Reports.

Linke, Bernd 2011. Country report – Germany. IEA Bioenergy Task 37 Energy from biogas in Cork 14.-16.9.2011. Reports.

Luostarinen, Juha 2007. Energiakasveista tuotetun biokaasun energiatase suomalaisessa maatilakokoluokan biokaasulaitoksessa. Jyväskylän yliopisto. Ympäristötiede. Pro gradu-tutkielma.

Luostarinen, Juha 2011. Sähköpostikeskustelu 20.12.2011. Prosessisuunnittelu ja tutkimus. Metener Oy.

Marja-Aho, Lauri 2011. Uusiutuvan energian tuet EU-maissa – selvitys uusiutuvan energian tukimalleista sähkön ja lämmön tuotannossa EU-maissa. Aalto-yliopisto. Energia- ja LVI-tekniikan tutkinto-ohjelma. Erikoistyö.

Metener Oy. Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitoksen PI-kaavio.

Motiva Oy 2012. Uusiutuvan energian käyttö Suomessa. WWW-sivut. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/uusiutuvan\\_energian\\_kaytto\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa). Päivitetty 12.3.2012. Luettu 15.3.2012.

Paavola, Teija & Rintala, Jukka 2008. Biokaasuprosessin materiaalivirtojen hyödyntämismahdollisuudet. Biokaasusta liiketoimintaa – mahdollisuuden ja reunaehdot 3.12.2008. Helsinki.

Petersson, Anneli 2011. Country report Sweden. IEA Bioenergy Task 37 Energy from Biogas and Landfill Gas in Istanbul 13.-15.4.2011 . Reports.

Rutz, Dominik & Ferber, Erik & Janssen, Rainer. Biogas market in Germany. Development of sustainable biogas market in Bulgaria in Sofia 20.10.2020. Reports.

Soininen, Hanne 2012. Henkilökohtainen tiedonanto 23.1.2012. Tutkimusjohtaja. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Soininen, Hanne & Kiukas, Iiro & Mäkelä, Leena 2007. Biokaasusta bioenergiaa eteläsuomalaisille maaseutuyrityksille. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tutkimuksia ja raportteja 24.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Luonnos 14.3.2012. www-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 17.3.2012.

Suontausta, Marjut 2011. Henkilökohtainen tiedonanto 25.11.2011. Toimitusjohtaja. Juvan Bioson Oy.

Suontausta, Marjut 2011. Sähköpostikeskustelu 26.12.2011. Toimitusjohtaja. Juvan Bioson Oy.

Suontausta, Marjut & Soininen, Hanne 2009. ”Biokaasulaitos Juvalle” liiketalous-suunnitelma maatilojen yhteisen biokaasulaitoksen käynnistämiseksi Turakkalan Puutarhan yhteyteen.

Vilkkilä, Tuomo 2007. Biokaasulaitos esimerkkimaatilalle, esiselvitys. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja 28.

Ympäristöministeriö 2012. EU:n ilmasto- ja energiapaketti. WWW-sivut. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=397598&lan=FI>. Ei päivitystietoa. Luettu 3.2.2012.

**LIITE 1.****Syötteiden kuljetuksiin käytetty energia seurantajaksoilla**

Syöte	Syötteiden määrä, m <sup>3</sup>				Syötteiden kuljetukseen käytetty energia, MWh			
	Seuranta 1	Seuranta 2	Seuranta 3	Seuranta 4	Seuranta 1	Seuranta 2	Seuranta 3	Seuranta 4
Lietelanta	450,6	865,3	764,1	638,8	2,6	4,9	4,4	3,6
Kananlanta	123,5	62,9	102,5	89,0	2,5	1,3	2,1	1,8
Viherjäte	52,6	65,3	85,8	70,7	1,3	1,6	2,1	1,8
Glyseroli	14	13	4	-	0,4	0,4	0,1	-
<b>Yhteensä</b>	<b>640,7</b>	<b>1 006,5</b>	<b>956,4</b>	<b>798,5</b>	<b>6,8</b>	<b>8,2</b>	<b>8,7</b>	<b>7,2</b>



**LIITE 2.****Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen biokaasun ja metaanin tuotto**

<b>Seuranta</b>	<b>Syötteiden laskennallinen biokaasun tuotto, m<sup>3</sup></b>	<b>Biokaasun saanto, m<sup>3</sup> biokaasua / syöte-m<sup>3</sup></b>	<b>Biokaasunsaanto, m<sup>3</sup> biokaasua / reaktori-m<sup>3</sup></b>	<b>Syötteiden laskennallinen metaanin tuotto, m<sup>3</sup></b>	<b>Metaanin saanto, m<sup>3</sup> metaania / syöte-m<sup>3</sup></b>	<b>Metaanin saanto, m<sup>3</sup> metaania / reaktori-m<sup>3</sup> / vrk</b>
<b>1</b>	36 950	57,7	26,4	22 170	34,6	0,75
<b>2</b>	36 940	36,7	26,4	22 160	22,0	0,75
<b>3</b>	25 260	26,4	18,0	15 150	15,8	0,52
<b>4</b>	17 151	21,5	12,3	10 291	12,9	0,35

## Prosessiin syötettyjen syötteiden laskennallinen energiasisältö

Seura	Syötteen määrä,			Syötteen laskennallinen energiasisältö,		Syötteiden energiasisältö yhteensä, MWh / syötetty syöte-m <sup>3</sup> / MWh / reaktori-m <sup>3</sup>	Keskimääräinen syötemäärä, m <sup>3</sup> syötettä / vrk	Prosessin viipymäaika, vrk	Prosessin kuormitus, kgVS / reaktori-m <sup>3</sup> / vrk
		m <sup>3</sup>	%	MWh	%				
1	liete	450,6	70,3	49,3	22,3	0,35 / 0,16	30,5	46	1,6
	kananlanta	123,5	19,3	85,1	38,4				
	viherjäte	52,6	8,2	4,9	2,2				
	glyseroli	14,0	2,2	82,3	37,1				
	yhteensä	640,7	100	221,7	100				
2	liete	865,3	86,0	94,7	42,7	0,22 / 0,16	47,9	29	2,0
	kananlanta	62,9	6,2	44,3	20,0				
	viherjäte	65,3	6,5	6,1	2,8				
	glyseroli	13,0	1,3	76,4	34,5				
	yhteensä	1006,5		221,6	100				
3	liete	764,1	79,9	73,5	48,5	0,16 / 0,11	45,5	31	2,0
	kananlanta	102,5	10,7	46,5	30,7				
	viherjäte	85,8	9,0	8,0	5,3				
	glyseroli	4,0	0,4	23,5	15,5				
	yhteensä	956,4	100	151,5	100				
4	liete	638,8	80,0	60,7	59,0	0,13 / 0,07	38,0	37	1,6
	kananlanta	89,0	11,1	35,6	34,6				
	viherjäte	70,7	8,9	6,6	6,4				
	yhteensä	798,5	100	82,4	100				

## Laitoksen oma sähkö- ja lämpöenergian kulutus

Seuranta	Prosessin sähköenergian kulutus, MWh			CHP:n käyttö, h		CHP:n sähkön kulutus, MWh			Prosessin ja CHP-yksikön sähkön kulutus yhteensä, MWh		
	CHP:n tuottama	verkosta ostettu	yhteensä	on	off	CHP:n tuottama	verkosta ostettu	yhteensä	CHP:n tuottama	verkosta ostettu	yhteensä
1	2,8	3,0	5,8	243	261	1,9	1,1	3,0	4,7	4,1	8,8
2	3,0	3,3	6,3	239	265	2,0	1,7	3,7	5,0	5,0	10,0
3	2,8	5,5	8,3	170,5	333,5	1,3	1,3	2,6	4,1	6,8	10,9
4	1,6	5,1	6,7	124	380	0,9	1,4	2,3	2,5	6,5	9,0

Seuran- ta	Kattilan kaasun kulutus ja kaasun metaanipitoisuus		Kattilan käyttö, min		Kattilan kaasun kulutus yhteensä, m <sup>3</sup>	Kattilan kuluttama energia, MWh	Reaktoriin syötetty energia yhteensä, MWh (kWh / reaktori-m <sup>3</sup> )	Kattilan häviöt, MWh
	m <sup>3</sup> / h	%	on	off				
1	46	66	7	13	7 728	51,0	45,9 (33)	5,1
2	46	63	6	11	8 050	50,7	45,6 (33)	5,1
3	44	62	6	13	6 996	43,4	39,1 (28)	4,3
4	44	59	4	20	3 696	21,8	19,6 (14)	2,2

## CHP-yksikön biokaasusta tuottaman energian määrä sekä CHP-yksikön hyötysuhde

Seuranta	CHP-yksikön käyttämä biokaasu, m <sup>3</sup>	Reaktorin lämmitykseen käytetty biokaasu, m <sup>3</sup>	Prosessin tuottama biokaasu yhteensä, m <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> biokaasua / reaktori-m <sup>3</sup> ; m <sup>3</sup> biokaasua / syöte-m <sup>3</sup> )	CHP-yksikön käytämän biokaasun laskennallinen energiasältö, MWh	CHP-yksikön biokaasusta tuottama energia, MWh	CHP-yksikön häviöt, MWh	CHP-yksikön hyötysuhde, %
1	22 950	7 728	30 678 (21,9; 47,9)	151,5	115,1	36,4	76
2	23 130	8 050	31 180 (22,3; 31,0)	145,7	121,4	24,3	83
3	17 094	6 996	24 090 (17,2; 25,2)	106,0	87,4	18,6	82
4	13 120	3 696	16 816 (12,0; 21,1)	77,4	60,4	17,0	78

## Laitoksen biokaasusta tuottama sähkö- ja lämpöenergia

Seuranta	CHP-yksikön myyntiin tuottama energia, MWh			Reaktorin lämmitykseen tuotettu energia, MWh	CHP-yksikön tuottama omakäyttö sähköenergia, MWh			Laitoksen tuottama energia yhteensä, MWh (MWh / reaktori-m <sup>3</sup> )
	sähkö	lämpö	yhteensä		laitoksen käyttämä	CHP:n käyttämä	yhteensä	
1	54,1	56,3	110,4	51,0	2,8	1,9	4,7	166,1 (0,12)
2	52,5	63,9	116,4	50,7	3,0	2,0	5,0	172,1 (0,12)
3	36,7	46,6	83,3	43,4	2,8	1,3	4,1	130,8 (0,09)
4	26,4	31,4	57,8	21,8	1,7	0,9	2,6	82,2 (0,06)