



# jamk

## Biokaasulaitoksen raaka-aineiden logistinen selvitys

Jussi Iso-Heiniemi

Opinnäytetyö, AMK  
Toukokuu 2024  
Logistiikan tutkinto-ohjelma

Iso-Heiniemi, Jussi

## Biokaasulaitoksen raaka-aineiden logistinen selvitys. Tekniikan ala

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 35 sivua

Logistiikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### Tiivistelmä

Jämsän kaupungilla on tarve selvittää biokaasulaitoksen mahdollisuuksia. Selvitys liittyy yhteen käsiteltävänä olevaan kaupungin hankkeeseen. Selvitys tehtiin siksi, että kaupunki haluaa uutta liiketoimintaa Kaipolan tehdashalliin, joka on ollut vuosia käyttämättömänä. Lisäksi resursseja halutaan käyttää enemmän uusiutuvan energian tuottamiseen, nimenomaan kotimaisilla yritysten ja maatalouden biomassoilla. Kaipolan tapauksessa kysymys oli siitä, millä edellytyksillä biokaasulaitos olisi toteutettavissa Kaipolan tehdasalueelle. Työssä tutkittiin potentiaalisia raaka-ainelajeja, joita Jämsän alueella on tuotettu.

Laadullisen tutkimuksen, käytännössä haastattelujen avulla kerättiin tietoa biokaasulaitoksen raaka-aineista. Haastattelujen jälkeen tehtiin tarkentavia sähköpostikyselyjä johtotason henkilöille väärinkäsitysten välttämiseksi. Olennaista oli selvittää biokaasun valmistukseen soveltuvien raaka-ainelajien määrä, joten potentiaalinen maksimoimiseksi mukaan valittiin myös kiertovesikasvatuksesta hyödynnettävät sivutuotteet. Tutkimustulosten mukaan, maakunnan suurin energia- ja ravinnepotentiaali on kotieläinten lannassa ja nurmibiomassoilla potentiaali on melkein yhtä suuri. Koko maakunnan energiapotentiaalista biokaasua saataisiin tuotettua reilusti yli 1,5 miljoonaa kuutiometriä vuoden aikana, kiertovesikasvatuksen sivutuotteet mukaan lukien. Raaka-ainepotentiaalinen lisäksi logistiikan huomioon ottaminen oli tutkimuksessa hyvin tärkeää, koska kuljetuserät toimittajalta biokaasulaitokselle tulee optimoida kustannustehokkuuden maksimoimiseksi ja parhaiten se toteutuu mahdollisimman lyhyillä kuljetusetäisyyksillä toimittajalta biokaasulaitokselle.

### Avainsanat (asiasanat)

kestävä kehitys, biokaasu, lanta, yhdyskuntajäte, kuljetussuorite, jätehuolto, raaka-ainepotentiaali

### Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

**Iso-Heiniemi, Jussi**

### **Exploring the raw material possibilities of biogas plant**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 35 pages

Degree Programme in logistics. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The city of Jamsa needs to find out the possibilities of a biogas plant. The report is related to one city project that is being processed. The survey was done because the city wants new business To the Kaipola factory hall, which has been unused for years. In addition, they want to use the resources to produce more renewable energy, specifically with domestic biomass from companies and agriculture. In the case of Kaipola, the question was about the conditions under which a biogas plant could be implemented in the Kaipola factory area. The work investigated potential types of raw materials that have been produced in the Jamsa area.

Qualitative research, in practice interviews, was used to gather information about the biogas plant of raw materials. After the interviews, detailed e-mail surveys were made to management level persons to avoid misunderstandings. It was essential to find out the number of raw material species suitable for the production of biogas, so in order to maximize the potential, by-products utilized from circulating water farming were also selected. According to the research results, the largest energy and nutrient potential in the province is in the manure of domestic animals, and the potential is almost as great in grass biomass. The entire province's energy-potential biogas could be produced well over 1.5 million cubic meters during the year, including the by-products of circulating water farming. In addition to the raw material potential, taking logistics into account was very important in the study, because the transport batches from the supplier to the biogas plant must be optimized to maximize cost efficiency, and this would best be achieved with the shortest possible transport distances from the supplier to the biogas plant.

### **Keywords/tags (subjects)**

Sustainable development, Biogas, Manure, Transport performance, Waste management,

Raw material potential

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>Käsitteet .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>7</b>
1.1 Taustat.....	7
1.2 Biokaasu .....	8
<b>2 Tutkimuksen toteutus.....</b>	<b>8</b>
2.1 Tutkimuskysymykset .....	8
2.2 Tutkimusmenetelmät.....	9
2.3 Aiheen rajaus.....	10
<b>3 Raaka-aineen pääkoostumus .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Raaka-ainelajit.....</b>	<b>12</b>
4.1 Peltobiomassat.....	12
4.2 Lanta.....	13
4.3 Puhdistamoliete .....	14
4.4 Kalanliete.....	16
4.5 Yhdyskuntabiojäte.....	17
<b>5 Logistiikka .....</b>	<b>19</b>
5.1 Jätehuolto-yhtiö .....	19
5.2 Kuljettaminen.....	19
5.3 Kuljetussuorite .....	22
5.4 Kysyntä ja energiapotentiaali.....	22
<b>6 Tulokset.....</b>	<b>24</b>
6.1 Raaka-ainepotentiaali .....	24
6.2 Kuljetusmatkat ja suorite .....	27
6.3 Yrityssymbioosi.....	29
<b>7 Yhteenveto ja pohdinta .....</b>	<b>32</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>34</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Peltobiomassan kulku biokaasulaitokselle.....	12
Kuvio 2. Lanta maanparannusaineena.....	13
Kuvio 3. Jäteveden puhdistuksen esiselkeytys .....	15
Kuvio 4. Varkauden kierto-vesikasvatuslaitos.....	16
Kuvio 5. Leipomojätettä.....	18

Kuvio 6. Pakkaava jäteauto .....	19
Kuvio 7. Lietevaunu .....	21
Kuvio 8. Biokaasun kuluttajat .....	23
Kuvio 9. Maakunnan energiapotentiaali.....	24
Kuvio 11. Mustankorkean biokaasulaitos .....	31

## **Taulukot**

Taulukko 1. Raaka-aineiden ominaisarvoja .....	11
Taulukko 2. Maatilojen tarjonta.....	25
Taulukko 3. Maatilat ja muut yritykset .....	26
Taulukko 4. Kustannus kuljetussuoritteeseen.....	28

## Käsitteet

Anaerobinen hajoaminen	Hajoamisprosessi, jossa orgaaninen materiaali hajoaa hapettomissa olosuhteissa
Biomassa	Orgaaniset ja elävät aineet, kuten kasvit, eläimet ja mikrobit, sekä niiden jätteet ja sivutuotteet
Biojäte	Elintarvikkeista syntyvä jäte, kun elintarvikkeen loppuosa jää kuluttamatta
Biometaani	Biokaasuntuotannossa tuotettava kaasu
Kuiva-aine	Materiaalissa jäljelle jäävä osuus, kun kaikki vesi on haihtunut pois
Liete	Nesteen ja siihen sekoittuneen kiinteän, hienojakoisen aineksen seos
Metaani	Hiilestä ja vedystä koostuva kasvihuonekaasu, kemiallinen kaava: CH <sub>4</sub>
Mikrobit	Bakteereja, jotka hajottavat orgaanista ainesta
Orgaaninen aine	Eloperäinen aine, joka koostuu pääasiassa hiilestä, vedystä ja hapesta
Syöte	Raaka-aine, joka mädätetään biokaasuntuotantoprosessissa

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustat

Maailmalla ollaan siirtymässä energian tuottamisessa fossiilisista polttoaineista ratkaisuihin, joilla voidaan vähentää kasvihuonekaasuja, eli ns. hiilijalanjälkeä. Näin pyritään toimimaan ilmaston lämpenemisen rajoittamiseksi 1,5 asteeseen. Luonnon biomassasta saatava biokaasu soveltuu polttoaineeksi ajoneuvoihin ja sitä pidetään myös ympäristöystävällisenä vaihtoehtona liikenteeseen. Biokaasulaitoksia toimii Suomessa useita, mutta tuotannon käynnistäminen ei ole yksinkertainen projekti, koska siihen liittyvät selvitykset ja käytännön järjestelyt vaativat usein paljon aikaa ennen tuotannon aloittamista.

Jämsä on noin 19 tuhannen asukkaan kaupunki Keski-Suomen maakunnassa. Maakunnan alueilla syntyy maataloudessa paljon erilaisia raaka-aineita biokaasun valmistusta varten, mutta niitä voidaan hyödyntää myös muihin tarkoituksiin. Koska tarpeellisia käyttötarkoituksia on muitakin kuin biokaasuntuotanto, raaka-aineiden käyttäminen nimenomaan siihen tarkoitukseen on käytännössä rajallisempaa, kuin mitä se periaatteessa voisi olla. Biokaasun valmistuksessa potentiaalisia raaka-aineita ovat esimerkiksi puhdistamoliete sekä yrityksillä syntyvät biojätteet. Myös puut soveltuvat periaatteessa raaka-aineeksi biokaasuntuotantoon, mutta ne edellyttävät hyvin erityyppisiä menetelmiä, koska ne eivät ole edellä mainittujen raaka-aineiden tavoin yhtä nopeasti hajoavia. Lisäksi puu on tarpeellinen materiaali mm. omakotitalojen ja huonekalujen rakentamisessa, sekä talvisin lämmön tuottamisessa.

Jämsän kaupungilla on käsiteltävänä hankkeita, joista yksi liittyy Kaipolan tehdasalueen nykytilaan. Kaipolan tehdasalue on tällä hetkellä biokaasulaitoksen perustamisen suhteen hyvin vartenotettava vaihtoehto. Tehdasalueella on ennen toiminut paperitehdas, joka valmisti LWC, - sanomalehti ja luettelopapereita, mutta tehdas päätettiin lakkauttaa ja tehtaan toiminta lopetettiin. Entisellä tehtaalla on hyvin paljon tuotantotilaa ja tällä hetkellä kyseiset tilat tulisi täyttää uudella yritystoiminnalla. Nykyään tilalle halutaan ympäristön kannalta järkeviä, ekologisia ja kestäviä ratkaisuja.

Aihe on valinnan arvoinen monesta eri syystä. Ensinnäkin aihe liittyy raaka-aineisiin, joilla on merkittävä potentiaali lisäarvon tuottamisessa. Aihe on myös ajankohtainen ja tärkeä sekä Jämsän

kaupungin, että yhteiskunnan näkökulmasta. Yhteiskunnan näkökulmasta siksi, että Suomen mittakaavassa voitaisiin vähentää paremmin riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, mikäli biokaasua enemmän tuotettaisiin ja käytettäisiin liikenteessä. Vähäinen tai olematon riippuvuus tarkoittaisi sitä, että Suomessa olisi enemmän kilpailukykyistä, ympäristöystävällisesti sekä kotimaisesti tuotettua polttoainetta, jota tuotettaisiin lyhyellä raaka-aineen toimitusketjulla edistäen kestävä kehitystä. Myös biokaasu sisältää ilmaston kannalta haitallista kasvihuonekaasua, mutta kaasun palaessa esim. auton moottorissa, palamisreaktion lopputuotteet ovat ilmaston kannalta vähemmän haitallisia fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna.

## 1.2 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, joka syntyy anaerobisen hajoamisprosessin mukaisesti hapettomissa olosuhteissa. Hajoamisprosessissa syntyy biometaania, jonka osuus kaasuseoksesta on vaihtelevasti 50–70 %, 25–30 % on hiilidioksidia ja loppuosa seoksesta on pääasiassa typpeä, happea, rikkiä ja vetyä. (Tinttunen, 2023, 11.) Hajoamisprosessi edellyttää anaerobisia olosuhteita.

Anaerobisissa olosuhteissa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta ja ne auttavat parhaiten tuottamaan metaania pH-arvon ollessa 7, eli neutraali. Myös tasainen lämpötila on prosessin kannalta tärkeää, koska suuret lämpötilavaihtelut heikentävät mikrobien toimintaa. Prosessissa lämpötilavaihtelun olisi hyvä olla korkeintaan 2 °C. (Ikäläinen, 2016, 5.) Näin ollen raaka-aineet tulisi kuljettaa biokaasulaitokselle mahdollisimman lyhyessä ajassa ilman, että ne odottavat prosessiin siirtymistä kovin pitkän aikaa, koska lämpötilaero yhden päivän ja sitä seuraavan päivän aikana voi olla liian korkea.

## 2 Tutkimuksen toteutus

### 2.1 Tutkimuskysymykset

Biokaasuntuotannon toteutus vaatii alkuvaiheessa paljon erilaisia järjestelyitä, kuten raaka-aineiden saatavuuden selvitystä, toimittajan ja laitoksen välisten suhteiden luomista, sopimuksia ja neuvotteluita, sekä mm. kuljetuksiin liittyviä laskelmia. Tutkittavaan aiheeseen liittyy seuraavia tutkimuskysymyksiä:

mitä raaka-aineita voidaan Kaipolassa käyttää, kuinka pitkät etäisyydet niillä tulisi sinne olemaan,



ketkä toimijat raaka-aineet toimittaisivat, saadaanko raaka-ainetta riittävästi sekä kuinka suuri kysyntä biokaasulla on Keski-Suomessa? Lisäkysymyksenä myös, että millainen yrityssymbioosi muodostuisi toimintaan osallistuvien toimijoiden kesken? Yrityssymbioosilla tarkoitetaan toimintakokonaisuutta, jossa useat eri toimintaan liittyneet toimijat tuottavat omalla osaamisellaan ja resursseillaan lisäarvoa toisilleen. Kaikki edellä mainitut kysymykset ovat keskeisiä raaka-aineiden järkevän logistiikan kannalta. Jotta kysymyksiin saataisiin vastauksia, selvitys edellyttää laskelmia, joiden perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä.

## 2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmät olivat pääosin kevään 2024 aikana tehtyjä haastatteluja, joita tehtiin asiantuntijoille sekä yrityksillä työskenteleville johtotason henkilöille. Haastattelut tehtiin yhteensä viidelle eri henkilölle ja ne kestivät vaihtelevasti 30–60 minuuttia, joista ensimmäinen tehtiin paikan päällä Jämsän jätevesilaitokselle. Haastattelun jälkeen siirryttiin tarkastelemaan kaupungin jätevedenpuhdistusprosessia vaihe vaiheelta. Tarkoituksena oli hakea tutkimusta varten havaintoja kohteesta, jossa potentiaalinen raaka-ainelähde olisi. Tapauksessa käytettiin kameraa tarkoituksena kuvata jätevesilietteen selkeytysvaiheet. Muut haastattelut toteutettiin etäyhteydellä lukuun ottamatta Jokilaakson juusto Oy:tä, joka tehtiin myös paikan päälle. Siellä haastateltiin yrityksen tuotantopäällikköä. Muita haastatteluja tehtiin Elosen leipomon laatupäällikölle, Finnforelin teknologiajohtajalle, sekä paikallisen jätehuoltoyhtiön toimitusjohtajalle kuljetuksiin liittyen. Haastattelujen jälkeen käytiin vielä sähköpostikeskustelua, joissa kysyttiin tarkentavia kysymyksiä, joita ei noussut haastatteluissa esiin.

Tutkimuksissa kirjoitettiin myös yleinen sähköpostikysely maataloussihteerin kautta maatalon pitäjille, joita lähiseuduilla toimii ja jotka omistavat eläimiä. Heille esitetyt kysymykset olivat seuraavat: kuinka pitkä matka maatilalta on Kaipolan tehtaalle, kuinka paljon maatilalla syntyy lantaa vuodessa ja olisiko kaikki maatilalla tuotettu lanta käytettävissä biokaasuntuotannossa? Kolmantena eriteltynä kysymyksenä kysyttiin, syntyykö maatilalla olkea, jota olisi myös mahdollista biokaasuntuotannossa hyödyntää?

## 2.3 Aiheen rajaus

Aihe rajautuu kahteen pääosioon, joista ensimmäinen on *raaka-ainelajit*. Siinä luetellaan lähialueen potentiaaliset raaka-aineet. Myös *Raaka-aineen pääkoostumus* on osa pääosiota, mutta sillä on oma päälukunsa, koska siihen liittyy oleellisia käsitteitä, jotka selitetään tarkemmin. Näin on selitetty siksi, että esim. taulukossa 1 mainitut käsitteet ovat joillekin tuntemattomia. Pääluvussa 4 on tarkoitus kuvata alueelta löytyvät sivutuotteet ja niiden metaanintuottopotentiaali sekä biokaasun tilavuus. Pääluvussa 4 kuvataan yhdyskuntabiojätteet viimeiseksi, koska osion viimeinen virke sisältää avainsanan, jonka tarkoitus on johdatella lukija Logistiikka-osioon.

Raaka-aineen *logistiikka* on toinen pääosio. Sen tarkoitus on kuvata, millä logistisilla edellytyksillä biokaasulaitos olisi toteutettavissa Kaipolan tehdasalueelle. Pääluvun 5 ensimmäisessä alaluvussa kuvataan paikallinen jätehuoltoyhtiö, toisessa luvussa kerrotaan kuljettamisesta sekä tyypillisimmät kuljetuskalustot, joita yleensä käytetään. Pääluvun viimeisenä kuvataan biokaasun kysyntä, sekä energiapotentiaali. Myös tämän osion viimeisessä virkkeessä on avainsana, jolla johdatellaan lukija vastaavasti Tulokset-osioon. Näiden lisäksi myös niiden kuljetukset tulee saada teoreettisesti suunniteltua tehtaalle, jotta biokaasuntuotanto olisi edes teoriassa mahdollista. Näin ollen aiheessa ei käsitellä esim. biokaasun tuotantoprosessia syvemmin, eikä myöskään jätevedenpuhdistuksen kaikkia vaiheita, koska opinnäytetyöstä olisi tullut siten liian laaja.

## 3 Raaka-aineen pääkoostumus

Raaka-aineilla on sama pääkoostumus, eli se koostuu aluksi vedestä ja kuiva-aineesta. Kuiva-aine on raaka-aineessa veden haihtumisen jälkeen jäljelle jäävä osa, joka jakautuu orgaaniseen ja epäorgaaniseen ainekseen. Epäorgaanista osaa kutsutaan myös nimellä tuhka (Kylmäläinen, 2015, 23). Kuiva-aineen sekä orgaanisen aineen osuus raaka-aineesta ovat tärkeimpiä lukuja tutkittavan aiheen kannalta, koska niiden avulla voidaan laskea, onko raaka-aineella suurempi vai pienempi metaanintuottopotentiaali. Kuiva-aineen ja orgaanisen aineksen määrä raaka-aineessa riippuu raaka-ainelajista ja näissä käytetään myös nimitystä raaka-aineiden ominaisarvot. Ominaisarvoille käytetään yleensä lyhennemerkeitä  $TS$ ,  $VS/TS$  sekä  $CH_4 m^3/t$  ( $VS$ ). Tärkeimmät ominaisarvot on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Raaka-aineiden ominaisarvoja (Lähteet: 1) Tinttunen, 2023, 18. 2) Maatalousinfo, 2023, 3) Kylmäläinen, 2015, 36–39)

Raaka-aine	Kuiva-aine, TS	Orgaaninen aine, VS/TS	CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /t (VS)	Lähde
<b>Peltobiomassa</b>				
Nurmi	40 %	90 %	213-410	3
Olki	86-90%	92 %	240-320	3
<b>Teollisuus:</b>				
Lohen perkuujäte	71 %	99 %	730	1
Sisävesikala	21 %	80 %	370	2
Leipomojäte	75 %	98,5 %	410	1
<b>Yhdyskuntajätteet:</b>				
Yhdyskuntabiojäte	28 %	91 %	450	1
Puhdistamoliete	20 %	60 %	250	1
<b>Lannat:</b>				
Lehmän lietalanta	10-20%	85 %	200	1
Lehmän kuivalanta	15-70%	80 %	200	2

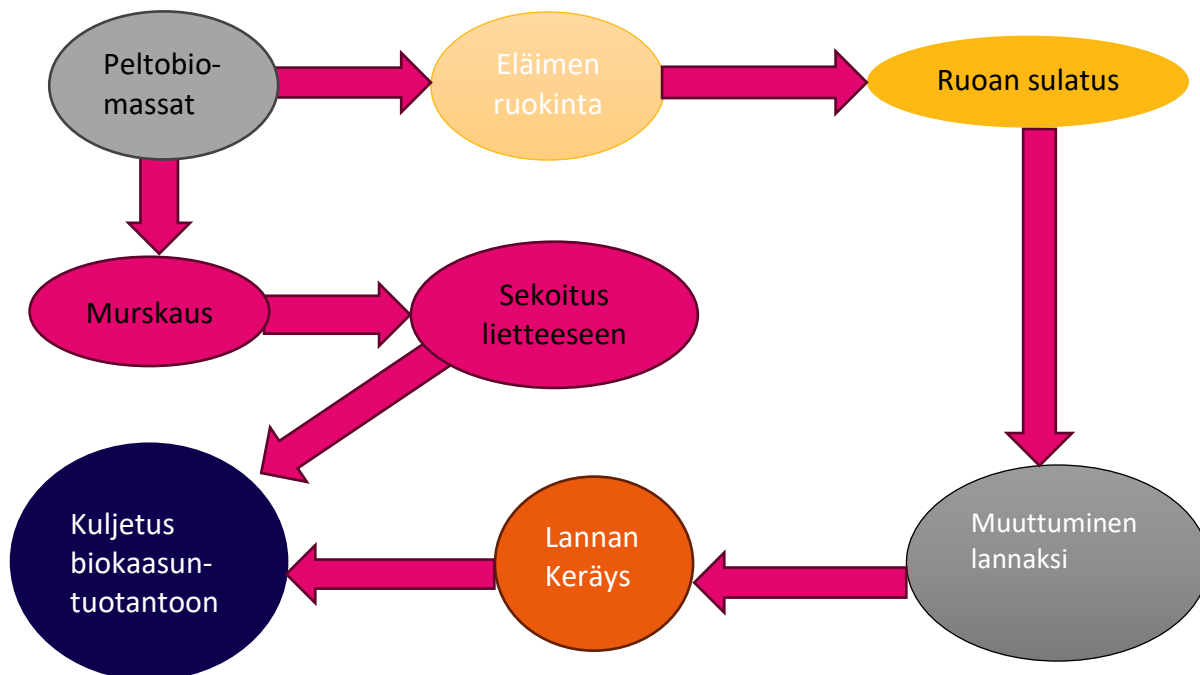
TS on englantia ja tulee sanoista *Total solids*, joka tarkoittaa kuiva-aineen osuutta raaka-aineessa. VS tulee sanoista *Volatile solids*, joka puolestaan tarkoittaa orgaanisen aineen osuutta. Merkintä VS/TS puolestaan tarkoittaa orgaanisen aineen osuutta kuiva-aineesta. Viimeinen merkintä, CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/t (VS) tarkoittaa prosessissa syntyvän biometaanin tilavuutta, joka on raaka-aineen tuotantopotentiaali orgaanisen aineen tuhatta kilogrammaa kohti (Tinttunen, 2023, 18). Kun nämä ominaisarvot, sekä alueelliset raaka-aineen massat tunnetaan, voidaan näiden tietojen pohjalta laskea raaka-ainekohtainen biometaanin tuotantopotentiaali. Esimerkiksi yhdyskuntabiojätteen tapauksessa, tuotantopotentiaali saadaan seuraavasti:

yhdyskuntabiojäte sisältää kuiva-ainetta noin 28 % ja tästä orgaanista ainesta on noin 91 %. Tällöin 1000 kg kuivaa biojätettä sisältäisi 91 % orgaanista ainesta, eli noin 910 kg. Mikäli siis yhdyskuntabiojätteen orgaanista ainesta olisi mädätettävänä 1000 kg, voitaisiin saada tuotettua parhaimmillaan noin 450 CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/t (VS) (Taulukko 1).

## 4 Raaka-ainelajit

### 4.1 Peltobiomassat

Peltobiomassoja on runsaasti erilaisia lajeja Suomen pelloilla. Niistä yleisessä käytössä ovat mm. nurmi, heinä ja olki. Nurmea ja heinää kasvaa Suomessa paljon mm. hevosille, sioille ja lehmille ravinnoksi. Olki sen sijaan on koostumukseltaan erilaisempi materiaali. Se on viljan korsi, joka yleensä jää jäljelle, kun vilja puidaan pellolta. Sitä käytetään mm. kuivikkeena kosteuden imeytystä varten mm. navetoissa ja sitä voidaan myös kyntää peltoon maanparannusaineeksi. (Tinttunen, 2023, 14–15.) Olki on hyvin moneen tarkoitukseen soveltuva raaka-aine. Sitä voidaan myös käyttää polttoaineena lämmöntuottoon kaukolämpökeskuksissa, koska sillä on suhteellisen korkea kuiva-ainepitoisuus, joten se palaa polttaessa riittävän hyvin. Lisäksi sitä voidaan käyttää kuivikkeena myös biokaasuntuotannossa. Peltobiomassat ovat yleensä kiinnostavia raaka-aineita biokaasun tuotossa niiden hyvän orgaanisuutensa ansiosta. Ne tuovat Suomessa merkittävästi potentiaalia, sillä jos käytettäisiin pelkästään peltobiomassoja raaka-aineena maatilamittakaavassa, saataisiin tuotettua energiaa 1–6 TWh (Ikäläinen, 2016, 21). Käytännössä peltobiomassat, joita biokaasuntuotossa käytetään, käsitellään ja kuljetetaan seuraavan prosessin mukaisesti.



Kuvio 1. Peltobiomassan kulku biokaasulaitokselle

Peltobiomassoja käsitellään yllä kuvatun prosessin mukaisesti, kun sen tarkoitus on olla osa biokaasun tuottamista (Kuvio 1). Prosessi tapahtuu kahdella vaihtoehtoisella tavalla, riippuen lajista. Esimerkiksi olki murskataan pienempiin osiin, jolloin sitä voidaan paremmin käyttää lietteen seassa kuivikkeena. Näin siksi, että seoksessa kuiva-ainepitoisuus kasvaa parantaen kaasuseoksessa olevan biometaanin tuottoa. Heinää ja nurmea sen sijaan tarjotaan pääasiassa eläimille ravinnoksi, koska niissä on eläimille parempi ravintosisältö, kuin oljessa. Eläimet ovat biokaasun raaka-aineiden saatavuuden kannalta äärimmäisen tärkeitä, koska ne tuottavat eläessään lantaa.

## 4.2 Lanta

Lantaa käytetään tyypillisesti maanparannusaineena peltoalueilla, jossa sitä levitetään mm. traktorin perässä vedettävällä lannanlevityskalustolla (Kuvio 2).



Kuvio 2. Lanta maanparannusaineena (Luonnonvarakeskus)

Kun lantaa ja tuotantoresursseja on riittävästi, niin lanta on sopiva raaka-aine biokaasun valmistukseen. Lanta on metaanin tuoton kannalta hyvä raaka-aine myös sen takia, koska se sisältää useita mikrobien tarvitsemia ravinteita, jotka ovat tärkeä osa biokaasun tuoton kannalta (Ikäläinen, 2016, 7). Lantaa on kahdessa eri muodossa, eli ne ovat joko kosteaa lietelantaa tai kuivalantaa. Kuivalannalla kuiva-aineen pitoisuus on suurempi ja lietelannalla pienempi, koska lietelanta sisältää enimmäkseen vettä. Kuivalannassa on kuiva-ainetta noin 15–70 % ja sen vuoksi

tuotetun biometaanin osuus kaasuseoksessa on yleensä suurempaa kuivalannalla, kuin lietelannalla.

Eläinten ravinnon, kuten rehun metaanintuottopotentialiaali on yleensä lannan metaanintuottopotentialiaalia suurempi. Tämä johtuu siitä, että eläin hyödyntää rehusta helposti hajoavan aineksen, jolloin eritetty osa on heikommin hajoavaa. Vaikka eläin erittääkin lantaan vain heikosti hajoavan aineksen, lannan parhaita puolia on sen tasalaatuisuus, joka tekee siitä erinomaisen perusraaka-aineen biokaasuntuotantoon. (Kantanen 2021, 13.) Oletetaan, että biometaania saadaan valmistettua prosessissa noin  $200 \text{ CH}_4 \text{ m}^3/\text{t}$  (VS), tällöin biokaasua saataisiin  $1000 \text{ kg:n}$  orgaanisesta aineksesta noin  $308 \text{ m}^3$ , joka on suuntaa antava oletusarvo. Biokaasun oletettu metaanipitoisuus lannan tapauksessa on noin 65 % (Maatalousinfo).

### **4.3 Puhdistamoliete**

Puhdistamolietteellä tarkoitetaan jätevedestä erotettua ja vaihe vaiheelta puhdistettua lietettä, jota käsitellään jätevedenpuhdistamolla. Puhdistamolietteet kulkeutuvat jätevedenpuhdistamoille viemäriä pitkin tai sako- ja umpikaivoja tyhjentävillä säiliöautoilla (Tinttunen, 2023, 13). Jätevesi kulkee tyypillisesti puhdistusprosessin esiselkeytysvaiheen kautta (Kuvio 3).



Kuvio 3. Jäteveden puhdistuksen esiselkeytys

Lietteet erotetaan vedestä tyypillisesti joko laskeuttamalla tai erottamalla pinnalta. Laskeutuksesta käytetään nimitystä sedimentaatio ja pinnalta erottamista kutsutaan nimellä flotaatio. Puhdistamo voi toimia erillisenä laitoksena tai se voi toimia myös biokaasuntuotannon yhteydessä.

Biokaasuntuotannon yhteydessä toimivaa biokaasureaktoria yleensä kutsutaan nimellä lietemädättämö. Esiselkeytyksessä, pinnassa oleva selkeytynyt vesi johdetaan eteenpäin ja altaan pohjalla oleva liete johdetaan sakeuttamoon.

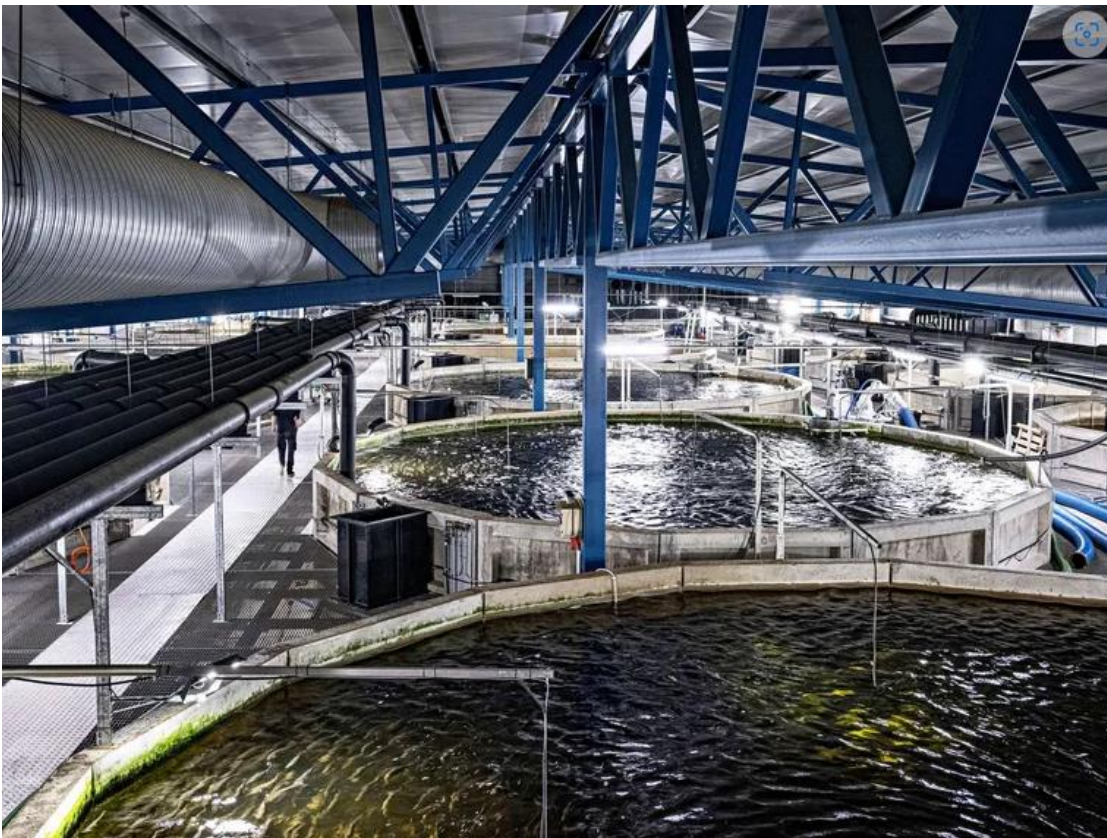
Sakeuttamossa liete sakeutetaan, toisin sanoen tiivistetään, jotta saadaan nostettua sen kuiva-ainepitoisuutta suuremmaksi. Näin yleensä toimitaan, koska lietteet ovat erittäin vesipitoisia, niiden kuiva-ainepitoisuus on vain noin 1 %. (Kylmäläinen 2015, 42.) Kuiva-ainepitoisuuden ollessa 20 %, puhdistamolietteestä saatava biokaasun tilavuus edellisessä luvussa kuvatulla



laskentatavalla on noin  $385 \text{ m}^3$ , sen metaanintuottopotentiaalin ollessa noin  $250 \text{ CH}_4 \text{ m}^3/\text{t (VS)}$ . Lietteitä syntyy yhdyskuntien lisäksi myös teollisuudessa sivutuotteena.

#### 4.4 Kalanliete

Kiertovesikasvatus on moderni kalankasvatusmenetelmä, joka tapahtuu kasvatusaltaissa kiertovesikasvatuslaitoksilla (Kuvio 4). Altaiden vesi suodatetaan mekaanisesti, käsitellään biologisesti ja desinfioidaan mikrobien hallitsemiseksi. Vettä kierrätetään pumppaamalla sitä puhdistuslaitteiston ja kasvatusaltaan välillä (Varakas, 2016, 7). Sivutuotteena altaassa erittyy kalanlietettä.



Kuvio 4. Varkauden kiertovesikasvatuslaitos (Kuvaaja: Tikkanen)

Kalat hyötyvät menetelmästä hyvin paljon, koska siten ne voivat elää puhtaassa vedessä. Näin ne myös pystyvät elämään turvallisesti ja ovat paremmin turvassa vesistöihin sekoittuneilta epäpuhtauksilta. Puhtaassa kasvatusaltaassa kalat saavat paremmin happea ja paremmin ravintoa, kun viljelijät ruokkivat niitä rehuilla. Kiertovesikasvatuslaitoksella kirjolohi on hyvin tyypillinen



kalalaji. Erityisesti kirjolohesta saatava huomionarvoinen hyöty on niiden pieni ravinnontarve suhteessa kasvuun. Lisäksi kirjolohen kasvatuksesta moni on nykyään kiinnostunut ja mitä suuremmaksi toiminta saadaan kasvatettua Suomessa, sitä vähemmän kalaa tarvitsee tuoda hiilijalanjälkeä aiheuttaen ulkomailta.

Finnforel Oy on kalan kiertovesikasvatukseen erikoistunut yritys, jolla on toiminnassa useampi kiertovesikasvattamo. Näistä yksi toimii Varkaudessa, toinen Raisiossa ja kolmas Hollolassa. Yritys on keskittynyt pääasiassa kirjolohen kasvatukseen. Kirjolohti on erittäin orgaanista ja sen tuottama liete on sen ominaisarvojen osalta potentiaalinen raaka-aine biokaasuntuotantoon. Niiden soveltuvuutta on testattu ja niiden mädätystä toteutetaan jo biokaasulaitoksilla.

Biokaasulaitoksilla tyypillinen kuiva-ainepitoisuus kalanlietteen tapauksessa on noin 15–17 % (Mäkinen, 2024). Mikäli oletetaan kalanlietteen orgaanisen aineksen osuuden, sekä metaanintuottopotentiaalin olevan yhdyskunnista tulevan puhdistamolietteen luokkaa, saataisiin biokaasua 1000 kg:n orgaanisesta kalanlietteen määrästä noin 385 m<sup>3</sup>.

#### **4.5 Yhdyskuntabiojäte**

Yhdyskuntabiojäte on biojätettä, jota syntyy, kun elintarvikkeen loppuosa jää käyttämättä. Sitä syntyy mm. kerrostaloissa ja ravintola-alan yrityksiltä, sekä myös koulujen ruoan tähteistä. Myös leipomoilta syntyvä biojäte kuuluu tähän kategoriaan (Kuvio 5). Yhdyskuntabiojätteen koostumus on hyvin vaihtelevaa, koska sen heterogeenisyys vaihtelee merkittävästi vuodenajan mukaan, mikä tarkoittaa mm. sitä, että sen koostumusta on vaikeaa ennustaa. (Tinttunen, 2023, 14.)



Kuvio 5. Leipomojätettä (Elosen leipomo Oy)

Isoilla leipomoilla, kuten muillakin isokokoisilla elintarvikkeita tuottavilla yrityksillä biojätettä syntyy paljon. Tämä johtuu siitä, että ne pyrkivät hyvään palvelutasoon hankkimalla yleensä lopputuotteita varten raaka-ainetta enemmän, kuin mitä yritysten asiakkaat lopulta kuluttavat lopputuotteita. Leipomoilla tuotetaan paljon erilaisia leipomotuotteita, kuten pullaa ja pizzaa. Esim. pizza- ja pullataikina ovat lyhyessä ajassa pilaantuvaa, eikä niitä voida kauaa säilyttää. Koska taikina ei säily kauaa, siitä ei saa valmistaa uutta lopputuotetta, vaan se poistetaan leipomojätteenä. Tällöin sitä voidaan käyttää sivutuotteena, tyypillisesti raaka-aineena biokaasuntuotannossa. Leipomojätteistä tehdään yleensä laboratoriokokeita mm. niiden orgaanisuuden selvittämiseksi.

Leipomojäte sisältää kuiva-ainetta noin 75 % ja se on erittäin orgaanista, sillä sen orgaanisen aineksen osuus voi olla jopa 98,5 %. Näin ollen, jos leipomojätettä syntyisi 1,4 t tuorepainona, tästä orgaanista ainesta olisi noin 1 t. Leipomojätteen metaanintuottopotentiali on noin 410 CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/t (VS), jolloin sen biokaasupotentiaali olisi edellä mainitulla 1000 kg:n orgaanisella massalla 631 m<sup>3</sup>. Kaikkien edellä mainittujen syötteiden biokaasupotentiaalilaskennassa on käytetty 65 %:n metaaniosuutta kaasuseoksessa, koska se on eniten oletettu arvo.

Leipomojäte on luokiteltavissa yhdyskuntabiojätteisiin, kuten myös taloyhtiöiden jäteposteistä kerättävät biojätteet. Niille yleinen yhteinen piirre on, että ne kuuluvat kunnan järjestämän jätehuollon piiriin. (Yhdyskuntajäte.)

## 5 Logistiikka

### 5.1 Jätehuolto-yhtiö

Jämsän alueella yhdyskuntabiojätteitä on kerännyt ja kuljettanut Salmisen jätehuolto-yhtiö. Salmisen toimesta biojätteitä on kuljetettu Forssaan, jossa toimivat niille suunnitellut ja toteutetut linjat jätteiden käsittelyä varten. Yhtiö toteuttaa myös jätekaivojen tyhjennyksiä kotitalouksien jätekaivoista. Jätehuolto-yhtiö käyttää mm. yhdyskuntabiojätteiden keräykseen pakkaavaa ja puristavaa jäteautoa (Kuvio 6).



Kuvio 6. Pakkaava jäteauto (Erkki Salminen Oy)

### 5.2 Kuljettaminen

Salmisen jätehuolto-yhtiö kerää erilaisia jätteitä lähialueen kohteista pakkaavilla jäteautoilla. Pitkiä matkoja varten yhtiö käyttää yhdistelmäajoneuvoa, johon mahtuu noin 40 t. Pakkaavissa jäteautoissa on pienempi kuljetuskapasiteetti, kuin yhdistelmäajoneuvoissa ja sillä kerätään

keskimäärin noin 2000 kg yhdyskuntabiojätettä. Pakkaavilla jäteautoilla yhdyskuntabiojätteet kerätään käytännössä kaupungin jokaisesta kohteesta siirtokuormausasemalle.

Yhdyskuntabiojätettä syntyy kokonaisuudessaan kaupungin alueella niin paljon, että ne vaativat välivaraston. Yhdyskuntabiojätteet kerätään siirtokuormausasemalta, eli välivarastosta ja kuljetetaan suuremmissa erissä yhdistelmäajoneuvolla Forssaan. Välivarastointi on välttämätön käytännön järjestely, koska jos pakkaavalla jäteautolla ajettaisiin Jämsästä Forssaan suoraan ilman siirtokuormausta, kuluisi matkaan kokonainen työpäivä. Tällä hetkellä tulevaisuus on siinä mielessä avoinna, että kaupungin kilpailuttaessa toimijat uudelleen, tilanne voi muuttua kokonaan toisenlaiseksi. Yhteistyöstä tulevaisuudessa ei siis ole varmaa tietoa. (Konttila, 2024.)

Salmisen toimesta on noudettu ja kuljetettu Elosen leipomolta 200–300 t vuosittain tuorepainona. Leipomojäte on tuoreena kosteaa, joten sen vuotuinen kuivapaino on alle 200 t. Leipomojäte koostuu lähinnä kahvileipien, hillojen, pizza- ja pullataikinan jäämistä ja niitä syntyy vaihtelevasti riippuen siitä, mitä leipomo milloinkin tekee. Leipomolla syntyy biomassaa keskimäärin 4 t viikon aikana, joten kuukauden aikana leipomojätettä tulisi noin 16 t. Jätevirta on suhteellisen tasaista, eli jatkuvaa biomassan poistamista tapahtuu viikoittain suurin piirtein saman verran.

Leipomojätteiden pois kuljettamiseksi käytetään puristavaa konttia ja vaihtolavaa ja näitä vuoroin täytetään. (Kinnunen, 2024.)

Vaihtolava on yksinkertainen tila, joka ei ole puristava ja siksi se on puristinkonttia edullisempi ratkaisu. Koska lava ei purista biomassoja pieneenpään tilaan, se rajoittaa kuljetuserää enemmän kuin puristinkontti. Näin ollen, mikäli kuljetusprosessi kestäisi paljon odotettua pidempään, leipomo tarvitsisi tyhjän puristinkontin vaihtolavan tilalle.

Maatilan biomassoja Salmisen toimesta ei kuljeta, vaan niiden kuljettamiseen tarvitaan muita toimijoita. Maatiloilla urakoitsijat käyttävät tietynlaisia kuljetuskalustoja lannoitteen varastointiin ja kuljetukseen riippuen mm. siitä, käsitelläänkö lantaa kuivana vai lietteen muodossa. Lietettä käsitellään ja kuljetetaan maanparannusta varten tyyppillisesti lietevaunulla (Kuvio 7).



Kuvio 7. Lietevaunu (Luonnonvarakeskus)

Lietevaunua vedetään traktorin perässä yleensä suhteellisen lyhyitä matkoja. Lietevaunu sopii kuljetukseen myös silloin, kun lietteitä kuljetetaan biokaasulaitokselle. Näin toimitaan silloin, kun etäisyyttä on kohtuullisesti ja lietevaunu on toiminnassa ja käytössä maatilalla. Näin ollen, urakoitsija voi myös itse kuljettaa lietteitä laitokselle. Jätevesilietteitä sen sijaan kuljettaa yleensä kaupungin tai kunnan kilpailuttama jätehuolto-yhtiö.

Jätevedestä erotettu puhdistamoliete kuljetetaan pääasiassa nuppikuorma-autolla, koska ne voidaan sen avulla kaataa helposti prosessiin ja nuppikuormatilan koko on varsin lähellä lietteen kuljetuserän kokoa, jolloin saadaan täyttöaste maksimoitua. Puhdistamolietteet Jämsän jätevesilaitokselta on viime vuosina noutanut ja kuljettanut Mustankorkean jätehuolto-yhtiö. Yhtiön toimesta puhdistamolietteet noudetaan jätevesilaitokselta noin kerran viikossa ja laitoksen hallista saapuu lietettä noin 330 t vuoden aikana. (Arvonen, 2023.)

Nuppikuorma- termillä tarkoitetaan kuorma-auton peruskuormaa ilman perävaunua.

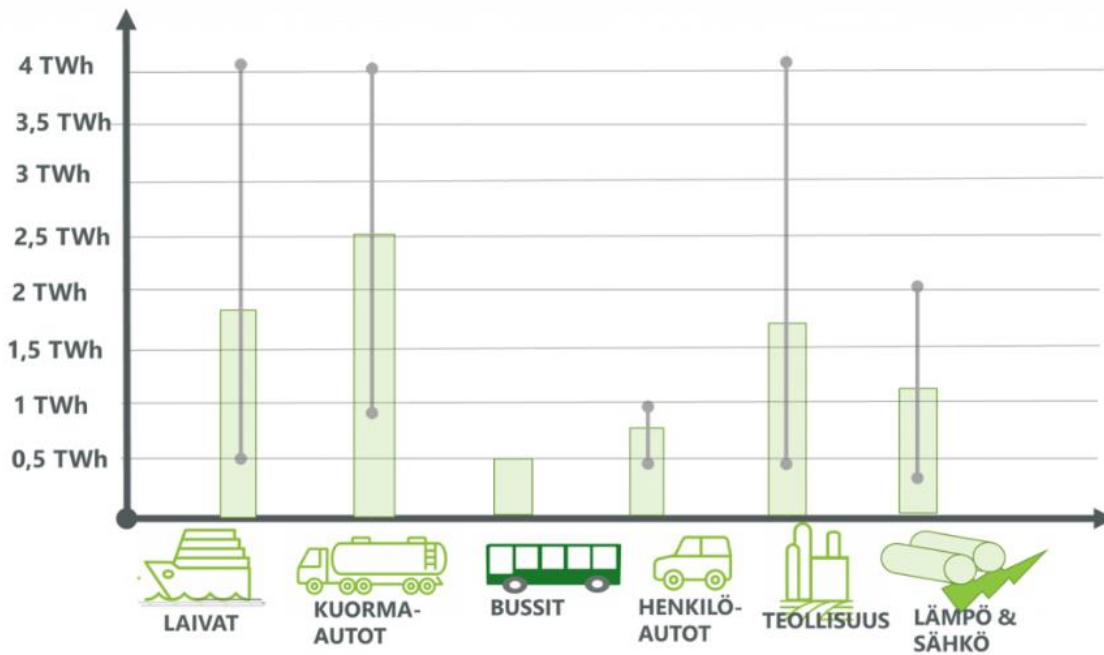
Nuppikuormalla ei kuitenkaan tarkoiteta yhdyskuntajätteitä pakkaavaa jäteautoa tai säiliöautoa, koska nuppikuorma-autossa toimii hydraulinen kippausmekanismi avolavan kallistamiseen ja vaivattomaan kuorman tyhjennykseen. Kuljetuskaluston valinta riippuu raaka-aineen kuljetussuoritteesta.

### 5.3 Kuljetussuorite

Kuljetussuorite on logistiikassa käytetty termi, joka tarkoittaa kuljetettavan rahdin, tässä tapauksessa raaka-ainemäärän kuljetustyön määrää kuvaavaa mittaria. Sen yksikkö on tonnikilometri ja sen yksikkölyhenne on tkm ja se lasketaan kertomalla kuljetettavan kuorman massa (tonnia) kuljetusetäisyydellä (km) (Tilastokeskus). Laskelman avulla voidaan tehdä helpommin johtopäätöksiä kuljetustavan ja kaluston valinnan suhteen ja mm. siksi se on käytännöllinen. Esimerkiksi, jos puhdistamolietettä kuljetetaan 3000 kg:n kuljetuserä 10 km:n päähän jätevesilaitokselta, kuljetussuorite olisi tällöin 30 tkm. Tämän suuruinen kuljetussuorite edellyttää yleensä peruskuorman suuruista autoa, koska siten ajoneuvon täyttöaste saadaan maksimiin. Kuljetuskaluston valinta on hyvin pitkälti riippuvainen raaka-aineiden alueellisesta energiapotentiaalista.

### 5.4 Kysyntä ja energiapotentiaali

Biokaasun kysyntä on logistiikassa tärkeää huomioida, koska se määrittelee mm. raaka-aineiden kuljetuserät, jotka pyritään optimoimaan. Biokaasun kysyntä kokee hajontaa eri kuluttajien välillä, sillä pystysuorilla harmailla viivoilla alla olevassa kuvaajassa viitataan hajontaan. Bussien tapauksessa hajonta on niin pientä, ettei sitä ole esitetty kuvaajassa (Kuvio 8).

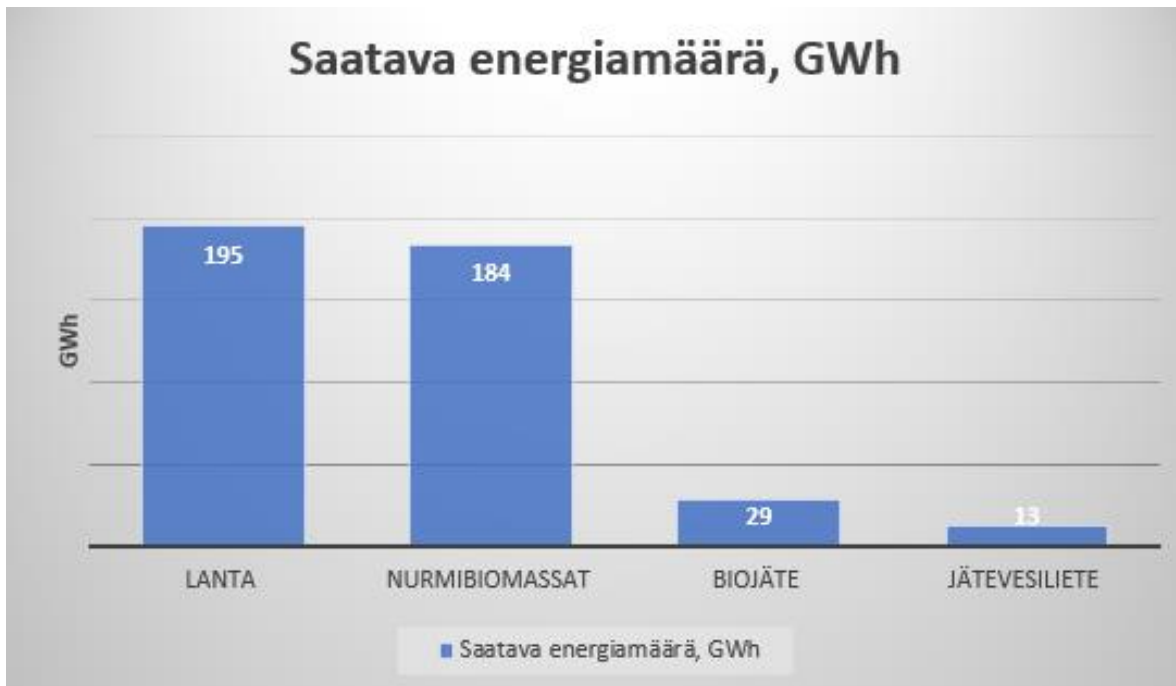


Kuvio 8. Biokaasun kuluttajat (Suomen kierto & biokaasu ry)

Biokaasua tarvitsevat kuusi eri kuluttajaryhmää. Maantiellä kulkevista ajoneuvoista kuorma-autoihin tankataan paljon biokaasua kerralla, koska raskaan kaluston kuljetus vaatii eniten energiaa. Asiantuntijoiden tekemien arvioiden mukaan yhteenlaskettu kysyntä voisi kaikilla edellä mainituilla kuluttajaryhmillä ulottua jopa 11 terawattituntiin aikavälillä 2023–2030. (Suomen kierto & biokaasu ry.)

Luonnonvarakeskus, sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutti ovat tehneet raportin eri biomassojen energia- ja ravinnepotentiaalista Keski-Suomessa. Raportissa Rasi, Virkkunen sekä Luostarinen ovat maininneet, että suurin energia- ja ravinnepotentiaali on maaseudulla kotieläinten lannoissa. Kuvio 9 ei ole Luonnonvarakeskuksen tekemä, mutta se pohjautuu sieltä saatuihin tietoihin ja kuvaa maakunnan energiapotentiaalia. Kaiken kaikkiaan, energiapotentiaali neljällä eri raaka-ainelajilla on noin 420 GWh. Raportin mukaan, koko energiapotentiaalista riittäisi polttoainetta lähes kolmasosalle Keski-Suomen maakunnan autoista, eli noin 37 442 autolle.





Kuvio 9. Maakunnan energiapotentiaali (Luonnonvarakeskus)

Eläinten lantojen energiapotentiaali on noin 195 GWh. Biojätteellä luku on noin 29 GWh ja jätevesilietteellä energiapotentiaali on kaikista alhaisin. Alueellisen raaka-ainepotentiaalin tulisi olla riittävän hyvällä tasolla biokaasun valmistuksen suhteen, jotta biokaasun kysyntään voidaan vastata.

## 6 Tulokset

### 6.1 Raaka-ainepotentiaali

Työn tuloksissa vastataan tutkimuskysymyksiin, joita työn alussa kuvattiin ja ensimmäiseksi on kuvattu raaka-ainepotentiaali. Raaka-ainepotentiaali on periaatteessa kaksiosainen, koska tutkimuksessa tehtiin ensiksi haastattelut muille yrityksille. Sen jälkeen tehtiin kysely yksityisille maantilan pitäjille. Raaka-ainepotentiaalin kuvaus alkaa kyselyllä saatujen vastausten kuvailulla ja yksityiset toimijat on kuvattu anonyymisti kirjainten avulla (Taulukko 2).

Saatujen vastausten perusteella, kaupungin sisä- ja ulkopuolella sijaitsevilla alueilla kasvaa nurmea, rehua, sekä lantaa kuivassa ja lietemäisessä muodossa. Alueella "F" olisi saatavilla oljen ja lannan sekoitusta. Raaka-ainelajit on kategorisesti väritetty selkeyden vuoksi. Kohteiden "A" ja "B"



pitäjät ovat ilmoittaneet massan sijaan luvut hehtaareina, joten työssä on täytynyt erikseen laskea, monenko tonnin massaa 15 hehtaarin korjuupinta-ala vastaa. Samoin on toimittu myös kohteen "B" kohdalla. Muiden ilmoittamat määrät on ilmoitettu suoraan massana. Kyselyyn vastanneilla maatilain pitäjillä tuotettujen raaka-aineiden kokonaisuudessa on lähes 2 t. Taulukon 1 raaka-aineilla keskimääräinen orgaanisen aineksen osuus raaka-aineesta on noin 86 % ja näiden keskimääräinen metaanintuottopotentiaali on noin 340 CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/t (VS) ja oletettu biometaanin osuus kaasuseoksesta on edelleen 65 %.

Taulukko 2. Maatilojen tarjonta

Maatila	Raaka-ainekategoria	Etäisyys Kaipolaan (km)	Määrä tn (TS)	Korjuupinta-ala (Ha)		Vuotuinen metaanimäärä (CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> )	Vuotuinen biokaasumäärä (m <sup>3</sup> )	Energia (Mwh)
A	Nurmi, olki	20	85	10	5	24927	38349	300
B	Rehu	39	770	70	-	225805	347393	1400
C	Lietelanta	4	600	-	-	175952	270696	300
D	Kuivalanta	50	350	-	-	102639	157906	175
E	Kuivalanta	8,3	6	-	-	1847	2842	3
F	Olki-lanta-seos	5	100	-	-	29325	45116	280
Elonen Oy	Leipomojäte	7,9	156	-	-	45748	70381	667
Jokilaakson juusto Oy	Biojäte	7	25	-	-	7273	11189	106
Finnforel Oy	Kalanliete	< 1	2044	-	-	4,40E+05	6,77E+05	200
Yhteensä			4136			1,05E+06	1,62E+06	3431

Kaavat:

$$\frac{4 \text{ t}}{\text{Ha}} * 5 \text{ Ha} + \frac{6,5 \text{ t}}{\text{Ha}} * 10 \text{ Ha} = 85 \text{ t}$$

$$\frac{11 \text{ t}}{\text{Ha}} * 70 \text{ Ha} = 770 \text{ t}$$

$$85 \text{ t(TS)} \cdot \frac{0,86 \text{ t(vs)}}{\text{t(TS)}} \cdot \frac{340 \text{ CH}_4 \text{ m}^3}{\text{t(vs)}} = 24927 \text{ CH}_4 \text{ m}^3$$

$$\frac{24 \ 927 \text{ m}^3}{0,65} = 38 \ 349 \text{ m}^3$$

Taulukossa 3 on muuten samat arvot kuin edellisessä, mutta siihen on lisätty kolme muuta yritystä ja niiden biomassat ja arvioitu energiapotentiaali raaka-ainekohtaisesti.

Taulukko 3. Maatilat ja muut yritykset

Maatila	Raaka-ainekategoria	Etäisyys Kaipolaan (km)	Määrä tn (TS)	Korjuupinta-ala (Ha)		Vuotuinen metaanimäärä (CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> )	Vuotuinen biokaasumäärä (m <sup>3</sup> )	Energia (Mwh)
A	Nurmi, olki	20	85	10	5	24927	38349	300
B	Rehu	39	770	70	-	225805	347393	1400
C	Lietelanta	4	600	-	-	175952	270696	300
D	Kuivalanta	50	350	-	-	102639	157906	175
E	Kuivalanta	8,3	6	-	-	1847	2842	3
F	Olki-lanta-seos	5	100	-	-	29325	45116	280
Elonen Oy	Leipomojäte	7,9	156	-	-	45748	70381	667
Jokilaakson juusto Oy	Biojäte	7	25	-	-	7273	11189	106
Finnforel Oy	Kalanliete	< 1	2044	-	-	4,40E+05	6,77E+05	200
Yhteensä			4136			1,05E+06	1,62E+06	3431

Kaavat:

$$(10 + 5)Ha \cdot 20 \frac{MWh}{Ha} = 300 MWh$$

$$770t(TS) \cdot 20 \frac{MWh}{Ha} = 1400 MWh$$

$$600 t(TS) \cdot 0,5 \frac{MWh}{t(TS)} = 300MWh$$

Yhdestä hehtaarista olkea saadaan keskimäärin 20 MWh energiaa biokaasuntuotannossa. Yhdestä tonnista lantaa puolestaan keskimääräinen energia on noin 0,5 MWh. Energiapotentiaali on laskettu samalla periaatteella muillekin raaka-aineille.

Leipomojätteen määrä on lähes 160 t (TS)/a. Myös Jokilaakson juustolla syntyy juustosta biojätettä noin 25 t vuositasona. Kiertovesikasvattamon saatava kalanlietteen vuotuinen sivuvirta olisi arviolta noin 2000 t lietettä (Taulukko 3).

Kiertovesikasvatuslaitos toisi raaka-ainepotentiaalia kalanlietteiden avulla Kaipolan tehtaalle. Sen myönteisiä puolia olisi lietteen tasainen virta, samoin kuin leipomolla yhdyskuntabiojätteen virta on suhteellisen tasaista. Kaipolan tehdasalueella on kasvatusaltille riittävästi tuotantotilaa. Myös liiketilat tulisi näin mahdollisimman tiheästi käytettyä, kun siinä toimii kaksi yritystä yhden sijaan. Siinä vaiheessa, kun biokaasuntuotanto ja kirjolohon kasvatus kiertovesikasvatuksella saataisiin käyntiin, ei logistiikka olisi biokaasulaitoksen ja kiertovesikasvattamon välillä työlästä, koska kuljetusetäisyyttä ei niiden välillä käytännössä ole. Saatava lietevirta on arviolta  $35 \text{ m}^3$  vuorokaudessa, joka vastaa noin 35 tonnin lietemassaa, koska lietteen tiheys on hyvin lähellä veden tiheyttä. Näin ollen, lietteen vuotuinen orgaanisen aineksen määrä tulisi olemaan arviolta noin 1126 t (VS). Teoriassa biometaania saataisiin arviolta  $4,4 \cdot 10^5 \text{ CH}_4 \text{ m}^3$  ja biokaasun määrä kalanlietteellä olisi 65 %:n metaaniosuudella noin  $6,77 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ .

Kirjolohi on varsin monipuolinen lisäarvon tuottaja. Esimerkiksi kalojen ruokinnasta saatava hyöty on huomioimisen arvoinen, koska kaloja hoidettaessa säännöllisesti vuorokaudesta toiseen, kasvua tapahtuu hyvin pienellä ravintomäärällä. Arviolta 1 kg rehua riittäisi kasvattamaan kalaa yhden kilon, kun taas esimerkiksi sika vaatisi noin neljä kertaa suuremman annoksen rehua kasvaakseen saman verran. Kyseisessä vertailussa suhdeluku on siis erittäin hyvä. (Mäkinen, 2024.)

## 6.2 Kuljetusmatkat ja suorite

Kyselytutkimus osoitti, että kuljetusetäisyyksissä tapahtuu vaihtelua merkittävästi. Kohteista "A" ja "B" olisi saatavilla nurmea, olkea ja rehua on saatavilla kahdesta kohteesta, ja ne ovat vielä kohtuullisen kuljetusmatkan päässä. Kohteesta "D" kuljetus Kaipolaan on epävarmaa, koska siellä syntyy kuivalantaa vain 350 t vuodessa ja siltä etäisyydeltä kuljetuksen kokonaiskustannukset ovat rajamailla. Toisien sanoen voi olla, että sieltä ei kannata lähteä kuljettamaan Kaipolan tehtaalle, koska kuljetusajan ja kustannusten lisäksi myös hiilijalanjälki on suurempaa, koska edestakainen kuljetusmatka on 100 km. Kohteista "C" ja "E" Kaipolaan on saatavilla lantaa sekä lietelannan että kuivalannan muodossa 4 km:n ja 8,3 km:n etäisyyksillä. Kohteessa "C" syntyy vähemmän kuin kohteessa "D", mutta kuljetusmatka on vain 5 km, joten kuljetuksen ei pitäisi olla ajallisesti mistään näkökulmasta katsoen ongelma.

Kuljetuskustannuksena voidaan käyttää myös sellaista, jolle käytetään yksikköä €/tkm. Tällöin laskettaisiin, kuinka suuri kuljetuskustannus euroina aiheutuisi yhden tonnikilometrin

kuljetuksesta. Kuljetuksen yksikkökustannus ilman arvonlisäveroa on noin 90 €/h ja kuljetuksen arvonlisäverokanta on 24 %. Työaika on laskettu siten, että kuljetusaika riippuu etäisyydestä ja määritellystä keskinopeudesta eri etäisyyksille. Lisäksi työssä kuluu jonkin verran kuljetuksen ulkopuolista aikaa, tässä käytettiin sille arvoksi 0,5 h.

Taulukko 4. Kuljetuskustannus suoritteen suhteen

Maatila/ muu yritys	Raaka-aineet	Etäisyys Kaipolaan (km)	Kuljetusten keskinopeudet (km/h)	Kuljetuksen työaika (h)	Kuljetuserä (tonnia per ajokerta)	Kuljetus suorite (tkm)
A	Nurmi, olki	20	70	1,1	2	40
B	Rehu	39	70	1,6	2	78
C	Kuivalanta	4	40	0,7	2	8
D	Lietelanta	50	70	1,9	2	100
E	Lantaa	8	50	0,8	2	17
F	Olki-lanta-seos	5	50	0,7	2	10
G	Leipomojätettä	8	50	0,8	4	32
H	Biojätettä	7	50	0,8	0,5	3
Yhteensä				8,4	16	288
						3,3 € /tkm

Kaavat:

$$2 \cdot \frac{20 \text{ km}}{70 \frac{\text{km}}{\text{h}}} + 0,5 \text{ h} = 1,1 \text{ h}$$

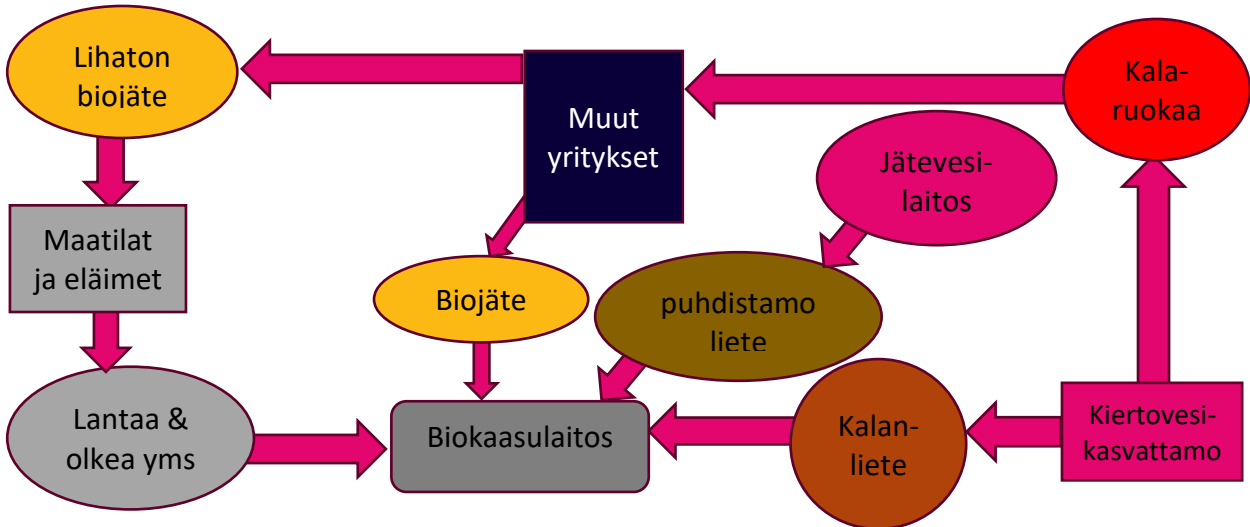
$$\frac{90 \text{ €}}{\text{h}} * (1 + 0,24) * 8,4 \text{ h} = 3,3 \frac{\text{€}}{\text{tkm}}$$

Kuljetussuoritekohtainen kustannus riippuu kuljetustyöhön, purkuun ja lastaukseen kuluneesta ajasta tunteina sekä kuljetusta matkasta kilometreinä syötteen kanssa. Yhtä tonnikilometriä kohti kuljetuskustannus riippuu työajasta tunteina, kuormatilassa olevan syötteen massasta tonneina, sekä kuljetuksen veronalaisesta yksikkökustannuksesta. Kuljetusten keskinopeudet ovat lähinnä arvioita ja perustuvat kuljetusmatkaan. Taajamassa kuljetuksen keskinopeus on tyyppillisesti alle nopeusrajoituksen ja samoin myös maantiellä, koska olosuhteet tulee turvallisuuden takaamiseksi

huomioida. (Taulukko 4). Taulukossa mainittu kahden tonnin kuljetuserä per ajokerta on keskimääräinen oletettu määrä, joka pohjautuu yhdyskuntabiojätteiden keskimääräiseen kuljetuserään Salmisen toimesta kuljetettuna. Todellisuudessa se on kuitenkin muuttuja, eli vaihtelua todennäköisesti tapahtuu eri kuljetuskertojen välillä.

### **6.3 Yrityssymbioosi**

Teollisessa symbioosiin yritykset tarjoavat toisilleen lisäarvoa resursseillaan ja osaamisellaan, jota yrityksellä eniten on mahdollista tarjota. Organisaatiotasolla, esimerkiksi kiertovesikasvattamo tarjoaisi lietettä, jolla se voisi periaatteessa ostaa biokaasuntuotannon kautta kaasua poltettavaksi saadakseen lämpöä talvisin. Yksilötasolla, myöhemmin tulevaisuudessa biokaasua voidaan tarjonnan mahdollistaessa tuottaa myös liikennekäyttöä varten omana vaihtoehtoisena energiamuotonaan riippuen siitä, kumpaa energiamuotoa halutaan aluksi tuottaa. Tärkeämpi energiamuoto on lämpöenergia, koska lämpö on tärkeämpi Suomessa talvisin, koska sähköllä voidaan mahdollistaa liikenteessä kulkeminen ainakin vielä toistaiseksi. Mikäli tarjonta ja resurssit kaikin puolin riittävät, voidaan tuottaa energiaa myös ajoneuvoihin liikenteeseen.



Kuvio 10. Yritysten muodostama symbioosi

Kiertovesikasvattamalla tuotanto liittyy kirjolohen kasvatukseen. Kirjolohi tulisi sen elinkaaren päättyessä asiakkaalle ruoaksi ja kirjolohesta erittyvä liete kalan koko elinaikana toimisi sivutuotteena ja raaka-aineena biokaasuntuotannossa (Kuvio 9). Leipomojätteet ovat keskenään erilaisia siinäkin mielessä, että osittain leipomon tuotannon raaka-aineena voidaan käyttää lihaisia ja lihattomia tuotteita. Lain mukaan lihapitoista biojätettä ei saa syöttää eläimille (Kinnunen, 2023). Biojäte, joka ei sisällä lihaa, voidaan antaa ravinnoksi eläimille, kun ajatellaan leipomon tuottavan maatilalle jotain lisäarvoa. Vastaavasti myös hevoset, siat ja muut eläimet toisivat biokaasulaitokselle lisäarvoa syömällä leipomon käyttämättömät ja eläimille sallitut ruoat ja sitä kautta tuottaisi lantaa. Kaikessa yksinkertaisuudessaan muut toimijat biokaasulaitosta lukuun ottamatta tuovat tärkeimmän lisäarvon syötteiden kautta ja biokaasulaitos puolestaan tuottaa lisäarvoa energiamuotojen kautta muille toimijoille niin organisaatio, kuin yksilötasolla. Raaka-aineiden kokonaispotentiaalinal kannalta, on oleellista huomioida lähiseudulla toimivat muut biokaasulaitokset.

#### 6.4 Muut biokaasulaitokset

Biokaasulaitoksen esimerkkinä työssä on käytetty Mustankorkean biokaasulaitosta, joka sijaitsee Jyväskylässä (Kuvio 11). Ensisijainen syy kyseiselle valinnalle oli sen tarjoamat tutkimustulosten kannalta oleelliset tiedot, kuten käsittelykapasiteetti.

Mustankorkean biokaasulaitokselle saapuu pääasiassa yhdyskuntabiojätteitä, mutta jonkin verran myös puhdistamolietettä sekä kuivia raaka-aineita lietelannan kanssa sekaisin. Viikossa laitokselle saapuu noin sata rekallista ja vuodessa syötettä saapuu noin 16 000 t.



Kuvio 10. Mustankorkean biokaasulaitos

Mustankorkean biokaasulaitos on otettu käyttöön vuonna 2017. Vuonna 2022 biokaasua myytiin 820 t, joka on 15 % enemmän kuin vuonna 2021. Vuonna 2023 biokaasun myynti oli jopa nelinkertainen vuoteen 2021 verrattuna. (Martikainen, 2023.) Kyseinen biokaasulaitos on kilpailukykyinen ja sillä on varsin suuri tuotantokapasiteetti, koska 16 000 tonnin vuotuinen käsittely vaatii hyvin paljon tehokkuutta.

Mustankorkean biokaasulaitos on hyvin vartenotettava valinta mm. siksi, että sillä on niin suuri käsittelykapasiteetti ja se sijaitsee suhteellisen lähellä Jämsää. ”Maatila D” sijaitsee 50 km:n matkan päässä Kaipolasta. Koska ei ole tietoa maatilojen tarkasta sijainnista vaan niiden pelkät etäisyydet maatilasta ja Kaipolan välillä, maatila voi sijaita missä tahansa. Näin ollen, tuotettu lantamäärä periaatteessa voisi paremmin soveltua kuljetettavaksi Mustankorkealle Kaipolan tehtaan sijaan, mutta tämä riippuu suunnasta ja Mustankorkean tuotannon resursseista, kun taas hyvin lyhyillä kuljetusmatkoilla, esim. Elosen leipomon tapauksessa suunnalla ei ole kilpailun osalta

merkitystä, kun mietitään kannattaako leipomojätteet viedä ennemmin Mustankorkealle kuin Kaipolaan.

Mustankorkea pyrkii aina myymään kaiken biokaasun, jonka se syötteistä tuottaa. Näin tulisi myös mahdollisen Kaipolan biokaasulaitosten toimia lähinnä siitä syystä, että se olisi kilpailukykyinen suhteellisen lähellä sijaitseviin muihin yrityksiin, nimenomaan Mustankorkean biokaasulaitokseen nähden. Tutkimustulosten mukaan yksi iso laitos kannattaisi todennäköisesti paremmin, kuin useampi pienempi laitos Keski-Suomen maakunnassa, koska Mustankorkealla on enemmän kapasiteettia biomassojen käsittelyyn, se toimii lähellä Jämsää ja paikallisia maatiloja, jolloin Mustankorkealla on kilpailuetua ja useiden pienempien laitosten perustaminen edellyttää uskottavasti myös uuden tai uusien tehtaiden rakentamista, ellei muita tyhjiä tehdashalleja löydy valmiiksi, kuten esimerkiksi Kaipolassa jo on rakennus olemassa.

## **7 Yhteenveto ja pohdinta**

Tutkimuksen yhteenvetona voidaan todeta, että kaiken kaikkiaan raaka-ainetta saataisiin vuodessa yli 4000 t, kirjolohien tuottamat lietemäärät mukaan laskettuna. Kaiken kaikkiaan energiapotentiaali tutkituista kohteista olisi yli 3400 MWh. Luonnonvarakeskuksen tekemän raportin mukaan, lantaa tuotetaan Jämsässä 5 649 kuiva-ainetonna vuodessa, jolloin sen vuotuinen energiapotentiaali olisi 9078 MWh. Jämsän alueen lantamäärästä saatava energia riittäisi noin 809 autolle/vuosi, kun oletetaan, että koko maakunnan 420 000 MWh:n energiapotentiaalista riittäisi energiaa 37 442 kaasautolle. Kaiken kaikkiaan, leipomojätteet, kalanlietteet, sekä Jämsän alueen lantamäärä muodostaisivat yhdessä energiapotentiaalin, josta polttoainetta riittäisi lähes 900 kaasautolle.

Laitoksen hyödyllinen, lisäarvoa tuottava toteutus toisi mukanaan jonkin verran työpaikkoja, mikäli sen perustaminen ja toiminnan aloitus joskus varmistuisi. Työtä tarvitaan raaka-aineiden kuljetuksessa etenkin, jos kuljetettaisiin raaka-aineita laajasti eri kohteista ja lisäksi tuotantoprosessia tulisi joidenkin valvoa. Laajassa mittakaavassa laitoksen hyödyt olisivat pienempään mittakaavaan verrattuna merkittävämmät, koska silloin tiettyjä ongelmia, kuten lannan hukkaa voitaisiin vähentää, jos biokaasun raaka-ainepotentiaalia ja tuotannon resursseja selvitettäisiin entistä aktiivisemmin. Mikäli maaseudulla ei toimi biokaasulaitoksia, lantaa käytetään turhaan suurina määrinä maanparannusaineena, jolloin sen energiahyöty jää



saavuttamatta ja lannan käytön ympäristöhaitat eivät poistu. Hyödyntämällä biomassassa oleva energia, jäljelle jää pelkkää maanparannusainetta, joka vähentää tuontilannoitteiden tarvetta ja ympäristöhaitat vähenevät. Biomassoja hyödyttämällä voidaan siten vähentää tuontilannoitteiden tarvetta, joiden kuljettamiseen tarvitaan ainakin tällä hetkellä pääosin fossiilista polttoöljyä ja dieseliä.

Aihetta tutkittaessa ilmeni tiettyjä haasteita, joita on hyvä pohtia opinnäytetyön päätteeksi. Työssä haastavinta oli luotettavien lähdeaineistojen löytäminen, joiden avulla voitiin muodostaa selkeä ja looginen teoriapohja, kun tarkoitus oli rajata aihe tiiviiksi. Biokaasuntuotantoon liittyvää aineistoa oli varsin hyvin saatavilla, mutta esimerkiksi raaka-aineiden esitysjärjestys oli hyvin työlästä muodostaa. Tämä johtui osittain siitä, että biokaasun raaka-aineiden kuljetuksesta kerrottua asiaa oli hyvin vähän saatavilla, joten tietoa oli välttämätöntä hakemalla hakea. Aiheeseen liittyi myös paljon uutta asiaa, jotka piti ajan kanssa oppia.

Laitoksen mahdollisuuksien selvitystä tehdessä syntyi myös jatkokehitysehdotus, joka liittyy raaka-aineen kuljettamiseen tarkemmin. Laitoksen tulisi olla toiminnassa ainakin lähes 365 vuorokautta vuodessa, joten mahdollinen laitos tarvitsisi raaka-aineiden kuljetusjärjestelmän, käytännössä siis jatkoa ajatellen kannattaisi selvittää onko maataloilla kuljetusresursseja sekä tieliikennekelpoinen kuljetuskalusto, jolla voisi kuljettaa raaka-aineet itse maatilalta Kaipolaan. Näin siksi, että kuljetuskaluston hankintakustannuksissa säästettäisiin rahaa. Mikäli maatilan pitäjä omistaa traktorin ja siihen kytkettävän perävaunun, lannan kuljetus toimisi edullisemmin maatilan toimesta kuljetusyhtiön sijaan. Kyselytutkimuksessa kävi ilmi, että kohteesta "E" ainakin voitaisiin siten toimittaa ja kuljettaa syötteen Kaipolan tehdasalueelle.

Lisäksi tutkimuksessa on herännyt kysymys, että mikäli kaupungin kohteita lämmitettäisiin biokaasulla talvella ja sen lisäksi biokaasua tuotettaisiin myös biokaasuautoihin, riittäisikö siihen Taulukossa 3 laskettu energia? Edellä mainitut kysymykset ovat tärkeitä paitsi raaka-aineiden logistiikan, myös rakennusalan kehittämisen näkökulmasta, koska toiminnan toteutus ja alan kehittäminen väistämättä edellyttää jossain uuden kohteen, kuten lämpökeskuksen rakentamista, jos biokaasulla lämmitettäisiin. Joka tapauksessa, Kaipolan tehdasalueella on tyhjä tehdashalli, biokaasuntuotanto on ilmastoystävällistä ja raaka-aineita olisi lähitulevaisuudessa paljon enemmän saatavilla nykyhetkeen verrattuna, joten laitoksen mahdollisuudet Kaipolassa vaikuttavat hyvältä.

## Lähteet

Ikäläinen, H. 2016. Ympäristötekniologia. Biomateriaalien saatavuus- ja soveltuvuus selvitys maatala-  
mittakaavan biokaasulaitokselle. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, 5–18. Viitattu 10.2.2024

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016121420485>

Ikäläinen, H. 2016. Ympäristötekniologia. Biomateriaalien saatavuus- ja soveltuvuus selvitys maatala-  
mittakaavan biokaasulaitokselle. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, 21.

Viitattu 10.2.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016121420485>

Ikäläinen, H. 2016. Ympäristötekniologia. Biomateriaalien saatavuus- ja soveltuvuus selvitys maatala-  
mittakaavan biokaasulaitokselle. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, 6. 10.2.2024.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016121420485>

Ikäläinen, H. 2016. Ympäristötekniologia. Biomateriaalien saatavuus- ja soveltuvuus selvitys maatala-  
mittakaavan biokaasulaitokselle. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, 7. 10.2.2024.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016121420485>

Kylmäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasutekniologia. Raaka-aineet, prosessointi ja  
lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 42. Viitattu 22.1.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Kylmäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasutekniologia. Raaka-aineet, prosessointi ja  
lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 16. Viitattu 22.1.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Kylmäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasutekniologia. Raaka-aineet, prosessointi ja  
lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 39. Viitattu 22.1.

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>

Kantanen, M. 2021. Luonnonvara- ja ympäristöala. Lannasta liikennepolttoainetta. Jyväskylä:  
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 13. Viitattu 23.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202104205188>

Martikainen, E. 2023. Mustankorkea. Biokaasulaitos. Viitattu 24.4.2024.

<https://www.mustankorkea.fi/biokaasu/>

Suomen kierto & biokaasu ry. Biokaasun käyttö. Viitattu 30.10.2023.

<https://biokierto.fi/biokaasu/kaytto/>

Tinttunen, R. 2023. Energia- ja ympäristötekniikka. Tutkimus biokaasulaitoksen soveltuvuudesta Heinolaan. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 13. Viitattu

23.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052915576>

Tinttunen, R. 2023. Energia- ja ympäristötekniikka. Tutkimus biokaasulaitoksen soveltuvuudesta Heinolaan. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 11. Viitattu 16.1.2024.

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052915576>

Tinttunen, R. 2023. Energia- ja ympäristötekniikka. Tutkimus biokaasulaitoksen soveltuvuudesta Heinolaan. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 18. Viitattu

16.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052915576>

Tinttunen, R. 2023. Energia- ja ympäristötekniikka. Tutkimus biokaasulaitoksen soveltuvuudesta Heinolaan. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 16. Viitattu

16.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052915576>

Tinttunen, R. 2023. Energia- ja ympäristötekniikka. Tutkimus biokaasulaitoksen soveltuvuudesta Heinolaan. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 13. Viitattu

16.1.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2023052915576>

Tilastokeskus. Tietoa tilastoista. Fossiiliset polttoaineet. Viitattu 30.10.2023.

<https://www.stat.fi/meta/kas/kuljetussuorite.html>

Varakas, T. 2016. Automaatiotekniikka. Kiertovesikasvatusjärjestelmän automaatio- ja mittausjärjestelmän toimintakuvauksen laatiminen. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, 7. Viitattu

8.2.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060612146>

## **Kuviot**

Kuvio 1. Peltobiomassan kulku biokaasulaitokselle

Kuvio 2. Lanta maanparannusaineena. Tampio, S & Vainio, M & Virkkunen, E & Rahtola, M & Heinonen, S. Lanta maanparannusaineena. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvarakeskus 2018.

Kuvio 3. Varkauden kiertovesikasvatuslaitos. Kuvaaja: Tikkanen.

Kuvio 4. Leipomojätettä. Elonen Oy:n kotisivut

Kuvio 5. Pakkaavat jäteautot. Erkki Salminen Oy:n kotisivut

Kuvio 6. Lietevaunu. Luonnonvarakeskus. Tampio, S & Vainio, M & Virkkunen, E & Rahtola, M & Heinonen, S. Lanta maanparannusaineena. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille Luonnonvarakeskus 2018.

Kuvio 7. Biokaasun kuluttajat. Suomen kierto & biokaasu Ry:n kotisivut

Kuvio 8. Maakunnan energiapotentiaali: Luonnonvarakeskus

Kuvio 9. Eri toimijoiden muodostama kokonaisuus

Kuvio 10. Mustankorkean biokaasulaitos. Mustankorkean kotisivut

## **Taulukot**

Taulukko 1. Eri syötteiden ominaisarvoja

Taulukko 2. Taulukko 2: Maatilojen tarjonta

Taulukko 3. Maatilat ja muut yritykset

Taulukko 4. Kustannus kuljetussuoritteeseen suhteen