



**LAUREA**  
AMMATTIKORKEAKOULU

*Uuden edellä*

# Biokaasulaitoksen sijainnin mittatyökalu

---

Virtanen, Pirjo

2011 Hyvinkää

Laurea-ammattikorkeakoulu  
Hyvinkää

## Biokaasulaitoksen sijainnin mittatyökalu

Virtanen Pirjo  
Maaseutuelinkeinojen ko  
Opinnäytetyö  
Toukokuu, 2011

## Sisällys

1	Johdanto.....	6
2	Biokaasulaitos.....	7
2.1	Syötteet.....	8
2.2	Lopputuotteet .....	9
2.3	Biokaasulaitoksen luvat .....	11
3	Laskentatyökalu .....	12
3.1	Laskentatyökalun tavoitteet ja laadinta .....	13
3.2	Raaka-aineiden korjuu-, varastointi- ja kuljetuskustannusten laskenta .....	15
3.3	Laskentatyökalu .....	16
4	Tulokset.....	20
4.1	Korjuu- ja kuljetuskustannukset.....	20
4.2	Esimerkkitulojen laskelmat .....	21
4.2.1	Esimerkkitulo A, lypsykarjatila .....	21
4.2.2	Esimerkkitulo B, sikatila .....	22
4.2.3	Raaka-aineiden korjuu- ja kuljetuskustannukset esimerkkituloilla .....	24
4.2.4	Energian käytön kustannukset esimerkkituloilla.....	25
4.3	Kuljetusmatkojen vaikutus energiantuotannon kannattavuuteen .....	27
5	Johtopäätökset .....	30
6	Työn arviointi .....	31
	Lähteet .....	33
	Kuvat .....	35
	Kuviot .....	36
	Taulukot .....	37
	Liitteet.....	38

Pirjo Virtanen

Biokaasulaitoksen sijainnin mittatyökalu

Vuosi 2011 Sivumäärä 40

---

Tässä opinnäytetyössä tuotetaan laskentamalli biokaasulaitoksen taloudellisesti kannattavan sijainnin määrittämiseen. Biokaasun tuotanto Suomessa on vielä hyvin vähäistä verraten sen tuotantopotentiaaliin. Biokaasua tuotettiin Suomessa vuonna 2009 145 miljoona kuutiota, joka energiaksi muunnettuna on alle 1% Suomessa tuotetun uusiutuvan energian määrästä.

Suurimman ongelman laitosten kannattavuudelle tuottaa niiden tuottaman kaasun täysimääräinen hyödyntäminen taloudellisesti järkevästi. Kaasun loppukäyttäjien pitää sijaita lähellä kaasua tuottavaa laitosta jotta pitkiltä putkituksilta ja lämmönhävikeiltä välttytään. Toisaalta myöskään laitoksella käsiteltävien kaasua tuottavien raaka-aineiden kuljetusmatka ei saa muodostua liian pitkäksi. Raaka-aineiden valinnassa suuri painoarvo on niiden saatavuuden lisäksi kuljetusmuodolla ja kuljetusmatkalla. Lisäksi erilaisten biojätteiden ja yhdyskuntajätteiden käsittely laitoksella aiheuttaa laitokselle lisääntyvää lupabyrokratiaa ja prosessivaatimuksia.

Opinnäytetyössä raaka-aineista käsitellään tarkemmin naudan- ja sian liettelantaa, nurmisäilörehua ja elintarviketeollisuuden jäterasvaa. Kullekin raaka-aineelle lasketaan sen kaasuntuottopotentiaalin mukainen energiasisältö tonnia kohden ja energiasisällölle hinta opinnäytetyön tekemisen aikaisen sähkön hinnan mukaan. Kullekin raaka-aineelle määritetään myös kuljetushinta ja säilörehulle lisäksi korjuukustannus. Tästä lasketaan etäisyys kilometreinä, josta raaka-ainetta kannattaa laitoksen kuljettaa.

Laskelmissa ei oteta huomioon biokaasulaitoksen rakentamisesta ja ylläpidosta muodostuvia kustannuksia, jotka pitää laitospohjaisesti laskea. Nämä kulut alentavat laitoksen kannattavuutta huomattavasti ja ne pitää ottaa huomioon laskettaessa biokaasulaitokselle kuljetettavien raaka-aineiden taloudellista kuljetusetäisyyttä. Opinnäytetyössä tehdyistä laskelmista ilmenee se tosiasia, että suuren kaasuntuottopotentiaalinsa omaavia raaka-aineita kannattaa kuljettaa laitokselle pidemmän matkan takaa kuin heikon kaasuntuotokyvyn omaavia raaka-aineita. Laskelmista selviää myös se, että karjatila voi oman tilan raaka-aineista koostuvalla biokaasuntuotannolla säilyä lähes täysin energiaomavaraisena sähkön ja lämmön suhteen tuottamalla biokaasua oman karjan lannasta ja peltobiomassasta.

Avainsanat biokaasulaitos, sijainti, raaka-aine, kuljetuskustannus, kaasuntuottopotentiaali

Pirjo Virtanen

Calculation model of biogas plant location

Year	2011	Pages	40
------	------	-------	----

---

This thesis is comprises a calculation model to specify an economically profitable location of a biogas plant. The production of biogas in Finland is still very low compared to the production potential. In 2009 145 million cubic meters of gas was produced in Finland. As an amount of energy it is less than 1% of regenerated energy production in Finland.

The biggest problem with the profitability of the biogas plants is the exploiting of the product gas economically. The users of the gas have to be near the biogas plant and the transport distance of the raw material can not be too long. When the raw material is chosen, it is important to think how to get it, how to transport it and from where. The processing of different kinds of bio waste and community waste create more license bureaucracy and processing requirements.

The raw material discussed in this thesis comprised cow and pig manure, silage and grease waste from the food industry. Energy contents in tons was counted for each raw material. The cost of energy contents was based on the price of electricity. The costs of transport for each raw material and the harvesting costs of the silage were calculated.

The costs of building and maintaining a biogas plant were not included in the calculations. These costs make the profitability lower and they have to be included in the calculations. In this thesis the calculations shows that the transport of raw material with high biogas production potential was more profitable from a longer distance than the raw material with lower biogas production potential. The calculations also shows that a cattle farm can be almost self-sufficient with energy, heat and electricity, if it produces biogas from manure and silage.

Keywords biogas plant, location, raw material, transporting cost, gas production potential

## 1 Johdanto

Biokaasua tuotettiin Suomessa vuonna 2009 145 milj. m<sup>3</sup>. Tästä määrästä kaasua tuotettiin energiaa 436GWh, lämpöä 378GWh ja sähköä 58GWh. Tämä biokaasulla tuotettu energiamäärä on alle 1% Suomessa tuotetusta uusiutuvasta energiasta.

Biokaasua tuottavia reaktorilaitoksia toimii Suomessa yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla, maataloilla sekä biojätteen käsittelylaitoksilla, eli yhteismädätyslaitoksilla. Lisäksi biokaasua kerätään kaatopaikkapumppaamoilta. Reaktorilaitosten kaasuntuotto on ollut viimeiset 15 vuotta melko tasaista. Vuonna 2009 reaktorilaitosten tuottama kaasun määrä oli 34 miljoonaa m<sup>3</sup>, josta tuotettiin energiaa 150GWh. Kaasusta tuotetaan energiaa yleensä polttamalla kaasua lämpökattilassa, mutta myös CHP-yksiköillä, (CHP=combined heat and power), joilla kaasusta tuotetaan sekä lämpöä, että sähköä. Osa laitoksista myös myy tuottaansa kaasua laitoksen ulkopuolelle. Reaktorilaitoksilla ylijäämäpoltto onkin pientä verrattuna kaatopaikkapumppaamoihin.

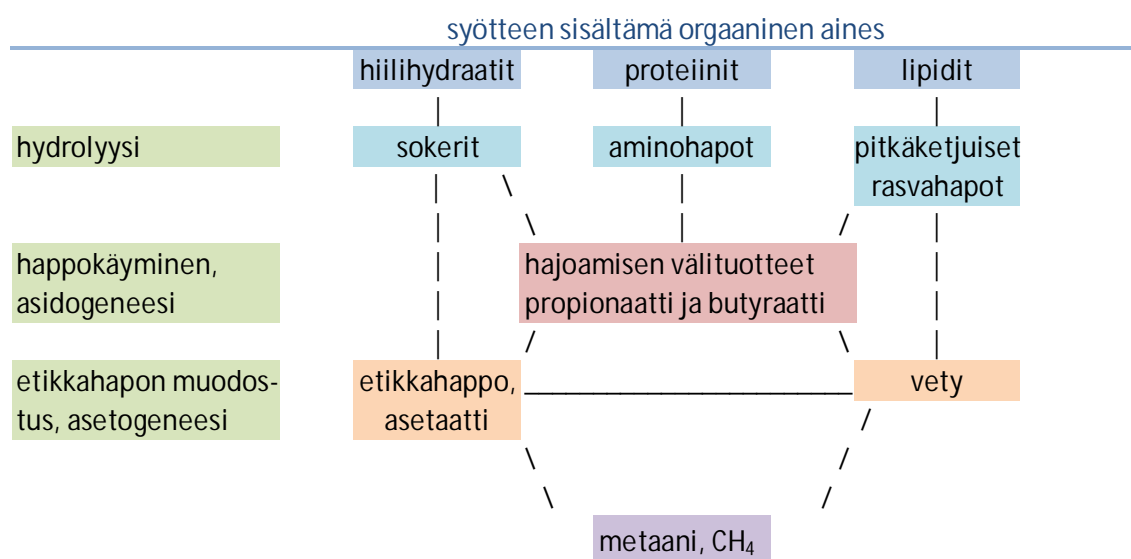
Jätevesilaitosten yhteydessä toimivista reaktorilaitoksista vanhimmat on rakennettu jo vuonna 1962, joskin suurin osa 1980-luvulla. Laitokset ovat toimineet yleisesti ottaen hyvin ja ovat siis edelleen käytössä. Maatilojen yhteydessä toimivien laitosten etuja ovat hygieniatason parantuminen, hajuhaittojen väheneminen ja biokaasusta saatava taloudellinen hyöty tilan parantuvan energiaomavaraisuuden myötä. Yhteismädätyslaitokset ovat yleistymässä. Ne käsittelevät lantojen ja puhdistamolietteiden lisäksi erilaisia biojätteitä.

Tänä päivänä laitokset saavat suurimmat tuottonsa porttimaksuina ottaessaan vastaan erilaisia yhdyskuntajätteitä. Suurimpana ongelmana taas on tuotetun kaasun täysimääräinen hyödyntäminen taloudellisesti järkevästi. Tähän vaikuttaa ennen kaikkea laitoksen sijainti. Laitoksen vastaanottamien materiaalien kuljetusmatkoista ei saa muodostua liian pitkiä, kaasun käyttäjien tai siitä jalostetun energian käyttäjien pitää olla lähietäisyydellä ja mädätysjäännöksen eli lopputuotteen käyttäjien pitää olla lähellä. Opinnäytetyössä lähdinkin hakemaan tietoa niille tahoille, jotka miettivät biokaasulaitoksen taloudellisesti järkevintä sijoituspaikkaa huomioon ottaen vastaanotettavien materiaalien koostumus, korjuukustannus, siirtotapa ja siirtotapa laitokselle sekä lopputuotteiden, kaasun ja mädätysjäännöksen käyttäjien etäisyys laitoksesta.

Opinnäytetyössä tarkastelen asioita, jotka vaikuttavat nimenomaan biokaasulaitoksen sijoittamiseen. Biokaasutuksen teorian käyn läpi suuripiirteisesti luvussa 2. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajasin biokaasulaitoksen tekniikkaa koskevat asiat. Sen sijaan laitoksen käsittelemät syötteet, sen tuottamat lopputuotteet ja rakentamiseen tarvittavat luvat käsittelen luvussa 2. Itse laskentamallin työstämisen ja lopputulokset käsittelen luvuissa 3 ja 4.

## 2 Biokaasulaitos

Biokaasutuksessa mikrobit hajottavat reaktorissa hapettomissa olosuhteissa orgaanista ainesta ja hajotuksen lopputuotteena syntyy runsaasti metaania sisältävää biokaasua (Lehtomäki 2006, 80.) Seuraavassa kaaviokuvassa on esitetty biokaasun muodostumisprosessi pääpiirteittäin (Latvala 2009, 30.) Kaaviosta käy ilmi, miten syötteen sisältämästä orgaanisesta aineksesta muodostuu kolmen päävaiheen, hydrolyysin, happokäymisen ja etikkahapon muodostumisen myötä metaania.



Kuva1: Kaaviokuva biokaasun muodostumisprosessista

Biokaasutuksen syötteiksi eli kaasutukseen valittaviksi raaka-aineiksi käyvät helposti hajoavat orgaaniset yhdisteet. Näitä ovat mm. eläinten lanta, yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden biojätteet, viemäriletteet, elintarviketeollisuuden jätevedet ja kasvibiomassat. Puu ei sovelu mädätysprosessiin sen sisältämän suuren ligniinipitoisuuden vuoksi. Biokaasun tuotantoprosesseja voidaan jaotella monella eri tavalla, esimerkiksi reaktorin lämpötilan mukaan mesofiiliin ( $T \approx 37^\circ\text{C}$ ) ja termofiiliin ( $T \approx 55^\circ\text{C}$ ) prosesseihin tai syötteen koostumuksen mukaan kuivämädätykseen ( $TS > 20\%$ ) ja märkämädätykseen ( $TS < 15\%$ ). Myös jako jatkuvatoimisiin ja pannoitimiin tai yksi- ja kaksivaiheisiin prosesseihin on mahdollinen (Bioste).

Biokaasu sisältää siis suurimmaksi osaksi metaania. Reaktorissa tuotetun biokaasun metaanipitoisuus ( $\text{CH}_4$ ) on noin 55-75% ja hiilidioksidipitoisuus ( $\text{CO}_2$ ) 25-45%. Muita kaasun mahdollisesti sisältämiä aineita ovat hiilimonoksidi ( $\text{CO}$ ), typpi ( $\text{N}_2$ ), vety ( $\text{H}_2$ ), sekä rikkivety ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (Ek 2007, 1).

Biokaasulaitokset voidaan karkeasti jakaa kolmeen luokkaan, jotka ovat; maatilakokoluokan laitokset, jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitokset ja yhteiskäsittelylaitokset. Maatilalaitoksilla käsitellään tyypillisesti vain tilan omaa tai sopimustilojen lietelantaa sekä kasvibiomassaa. Jätevedenpuhdistamoilla käsitellään tyypillisesti yhdyskuntien jätevesilietettä sekä muita lietteitä. Yhteiskäsittelylaitoksilla raaka-ainepohja voi olla edellisten lisäksi erilliskerättyjä biojätteitä, teollisuuden jätevesiä ja lietteitä ja muuta orgaanista, hajoavaa materiaalia (Latvala 2009, 19-21).

## 2.1 Syötteet

Biokaasulaitoksella voidaan käsitellä mm. jätevesilietteitä yhdyskuntien ja teollisuuden puhdistamoilta, kasviperäisiä jätteitä ja eläinperäisiä sivutuotteita kuten ruokajätteet (luokka 3) ja lanta (luokka 2). Eri syötteet kuitenkin vaativat esikäsittelyn ennen prosessia. Erilaisia vaatimuksia ovat mm. hygienisointi (luokan 3 eläinperäiset jätteet) ja sterilointi (luokan 2 eläinperäiset jätteet), lukuun ottamatta lantaa, mikäli se ei sisällä vakavan taudin riskiä (Latvala 2009, 17,22).

Biokaasun sisältämä metaani muodostuu syötteen sisältämän orgaanisen aineksen (VS) hajoessa. Käsittelytuloksen kannalta onkin parasta, että syötteen orgaaninen aines hajoaa prosessissa mahdollisimman hyvin. Syötteen orgaanisen aineksen osuus määrittää sen, miten paljon metaania prosessissa voi syntyä. Syötteille on laskettu erilaisia metaanintuottopotentiaaleja, joiden mukaan voidaan laskea sopivia seoksia (Latvala 2009, 25).

Seoksien suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon myös seoksen pumpattavuuden saavuttaminen sekoitettaessa eri syötettä keskenään. Lietteisiin saadaan lisää orgaanista ainesta esim. biojätteiden tai kasvibiomassan muodossa. Seuraavaan taulukkoon kokosin muutamien kaasutuksessa yleisesti käytettävien raaka-aineiden metaanintuottopotentiaaleja (Elintarviketurvallisuusvirasto 2009, Marttinen 2007.)



METAANINTUOTTOPOSENTIAALEJA		
MATERIAALI	METAANINTUOTTOPOSENTIAALI	
	$m^3CH_4/tVS$	$m^3CH_4/t$ tuorepaino
Teurastamojäte	570	150
Biojäte	500-600	100-150
Kasvibiomassat	300-500	30-150
Puhdistamoliete	200-400	5-12
Sian lietelanta	300-400	17-22
Naudan lietelanta	100-250	7-14
Broilerin kuivalanta		100-150
Tuorerehu		150-250
Rasva		900-1000

Taulukko1: Eräiden syötemateriaalien metaanintuottopotentiaaleja

Valittaessa laitokselle syöttömateriaaleja, kannattaa varmistaa niiden saatavuus tasaisesti ympäri vuoden. Näin vältetään turhilta laitoksen käyttökatoilta ja seosten koostumuksen vaihtelulta. Mikäli tasainen saatavuus ei ole mahdollista, on syötteille varattava varastotilaa laitokselta. Laitosta suunniteltaessa on hyvä kartoittaa lähialueen syöttömateriaalipotentiali ja solmia sopimukset jätteiden ja muiden raaka-aineiden vastaanotosta.

Biokaasulaitoksen sijoituspaikkaa mietittäessä kannattaa laskea miten pitkän kuljetusmatkan takaa materiaalia kannattaa laitokselle tuottaa verrattuna siitä saatavaan metaanin tuoton lisäykseen. Mikäli lähistöllä on elintarviketeollisuutta, jätevesilaitos tai lietelantaa tuottavia maatilayrityksiä, kannattaa miettiä maanalaisten putkistojen mahdollisuutta lietteiden siirtoon. Tällöin virta laitokselle on tasaisempaa, eikä suuria vastaanottovarastoja tarvita. Muutoin syötteiden siirto tapahtuu kuorma-auto- tai rekkaliikenteellä tai traktorikuljetuksilla.

## 2.2 Lopputuotteet

Prosessista jäävää mädätysjäännöstä kutsutaan lopputuotteeksi. Se on varsinkin kemiallisten lannoitteiden hinnan nousun myötä hyvä lannoite. Käsitellystä lietteestä koituu lähiympäristölle huomattavasti vähemmän hajuhaittoja kuin käsittelemättömän lietteen peltolevityksestä. Lopputuotteen sisältämän ammoniakkin haihtumiskyky on kuitenkin suurempi kuin käsittelemättömällä lietteellä, joten lietteen varastointiin ja levitykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Levityksessä on hyvä käyttää sijoittamis-menetelmää. Biokaasutusprosessi myös hygienisoi materiaaleja ja hajottaa rikkakasvien siemeniä ja tuholaisia. Lopputuotteiden käsittelymääräykset riippuvat käytetyistä syötteistä (Ervasti 2010).

Lopputuote voidaan levittää pellolle sellaisenaan tavallisen lietteen tapaan. Veden kuljetus laitokselta on kuitenkin kallista, mikäli matkat ovat pitkiä. Tällöin lietettä kannattaa kuivata, tai siitä puristetaan mekaanisesti vettä pois. Nestemäistä jaetta taas voidaan käyttää joko reaktoriin pumpattavan lietteen laimentamiseen, tai levittää typpilannoitteena viljan oraille tai nurmille.

Sivutuoteasetuksessa lopputuotteelle asetetaan hygienisiä vaatimuksia, jotka pitää analysoida laboratoriossa ja tulokset sisällyttää omanvalvontaan. Samoin lopputuotteen käsittelyvaatimukset riippuvat käytetyistä syötteistä. Mikäli syötteenä on käytetty vain lantaa, voidaan mädätysjäännäöstä käsitellä käsittelemättömän lannan tapaan. Mikäli syötteenä on lanta ja luokan 3 ruokajätteet, pastörintia ei tarvita, mutta prosessille asetetaan vaatimuksia ja lopputuotetta pitää kompostoida 2-4kk tai se voidaan pelletöidä tai rakeistaa eikä tuotetta saa käyttää lannoitteena laitumilla. Sivutuoteasetuksen mukaisilla biokaasulaitoksilla pitää olla pastörintiyksikkö joko ennen mädätysprosessia tai sen jälkeen, tai laitokselle tuleva materiaali pitää pastöroida ennen laitokselle tuontia (maa- ja metsätalousministeriö 2004, 14-16, 18-19).

Käytettäessä puhdistamolietettä käsittelevien laitosten lopputuotteita lannoitteena, pitää huomioida, ettei kyseisellä pellolla saa kahteen vuoteen kasvattaa perunaa tai vihanneksia, eikä kasvualustaa saa käyttää taimikasvatukseen (maa- ja metsätalousministeriö 2004, 19.) Mikäli lopputuotetta markkinoidaan lannoitteena, pitää sillä olla tyyppinimi. Mikäli tuotteelle soveltuvaa tyyppinimeä ei ole vielä olemassa, sitä voi hakea Elintarviketurvallisuusvirastolta, Eviralta. Lopputuotteen käyttäminen lannoitevalmisteena sisältää viherrakentamiseen ja maisemointiin liittyvän materiaalin, sekä maataloudessa ja puutarhataloudessa käytetyn lannoitemateriaalin. Lannoitevalmisteiden pitää täyttää säädöksissä asetetut määräykset, eivätkä ne saa aiheuttaa käyttäjilleen tai ympäristölle vaaraa tai terveydellisiä haittoja (Latvala 2009, 49-50).

Käytettäessä lopputuotetta sellaisenaan typpi- ja fosforilannoitteena ja maaparannusaineena, pitää käyttäjien sijaita lähiympäristössä, jotta kuljetus on kannattavaa. Tapauksissa, joissa neste erotetaan kiinteästä jakeesta, nestemäisen typpilannoitteen käyttäjien pitää sijaita lähellä laitosta. Sen sijaan kiinteän fosforipitoisen jakeen käyttäjät, kuten viherrakentajat, voivat sijaita etäämmällä, sillä kiinteän jakeen kuljettaminen kauemmas on taloudellisesti kannattavampaa kuin nesteen. Nestemäistä jaetta voidaan kuitenkin väkevoittaa mm. haihduttamalla, jolloin taloudellisesti kannattavaa kuljetusetäisyyttä saadaan lisättyä. Samalla ravinteiden poisto lietteestä saostamalla tai suodattamalla vähentää tarvittavaa levitysalaa. Kiinteän jakeen jatkokäsittely käyttötarkoituksen mukaan, kuten pelletöinti, rakeistus tai kompostointi lisää myös osaltaan kuljetusetäisyyttä (Ervasti 2010).

Kuten jo edellä mainitsin, lopputuotteessa nestemäinen jae on typpi- ja kaliumpitoista lannoitetta ja fosfori on kiinteässä jakeessa. Lopputuotteen kokonaistypestä jopa yli 50% on liukoista ammoniumtyyppiä, joka on helposti kasvien käytettävissä. Liukoisen typen osuus vaihtelee raaka-aineen ja prosessin mukaan. Liete sisältää prosessin jälkeen kaikki samat ravinteet kuin syöttömateriaalit (Ervasti 2010). Liitteessä 2 on taulukko, johon olen koonnut julkaistusta tuoteselosteista tietoja Suomessa toimivien biokaasulaitosten lannoitteena myytävien lopputuotteiden ravinnearvoista. Taulukossa ryhmittelin lopputuotteet niiden kosteusprosentin perusteella kolmeen ryhmään. Lopuksi laskin kunkin ryhmän tuotteiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet. Taulukosta käy selvästi ilmi, että kaikkein nestepitoisimmissa lietteissä typpi- ja kaliumpitoisuudet ovat korkeita, kun taas kiinteissä jakeissa fosforipitoisuus on suhteellisesti korkeampi.

### 2.3 Biokaasulaitoksen luvat

Kun biokaasulaitosta aletaan suunnitella, on hyvä olla yhteydessä kuntaan ja oman alueen ympäristökeskukseen. Näillä tahoilla osataan antaa neuvoja lupavelvollisuuksista ja lupien hakemisesta (Taavitsainen 2006, 18.) Lupien laajuus ja lupaviranomainen määräytyvät toiminnan laajuuden perusteella.

Biokaasulaitoksilla pitää olla maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukainen rakennuslupa tai toimenpidelupa ja ennen laitoksen käyttöönottoa pitää lopputarkastus olla suoritettuna (Taavitsainen 2006, 15.) Biokaasulaitoksilla tarvitaan ympäristönsuojelulain (86/2000) mukainen ympäristölupa. Ympäristöluvan myöntävä viranomainen määräytyy toiminnan laajuuden perusteella. Yksinkertaisinta ympäristöluvan saanti on laitoksilla, joilla käsitellään ainoastaan oman tilan ja/tai yhteistyötilojen lantaa, kasvibiomassaa ja kasvijätteitä. Näissä tapauksissa laitoksen ympäristölupa voidaan sisällyttää tilan eläinsuojan ympäristölupaan. Mikäli laitoksella myöhemmin aletaan käsitellä lisäksi tilan ulkopuolisia jätteitä, kuten biojätteitä, toiminta tulkitaan laitospäiseksi käsittelyksi ja laitokselle pitää hakea erillinen ympäristölupa. Ympäristönsuojeluasetuksessa (YSA 169/2000) on ilmoitettu eläin- ja jätemäärärajat, joissa määräytyy ympäristöluvan käsittelevä ja myöntävä viranomainen. Pienemmille laitoksille, joissa käsitellään ainesta alle 5000 tonnia vuodessa, luvan myöntää kunta. Suuremmille laitoksille, joissa käsitellään yli 5000 tonnia, mutta alle 20000 tonnia jätteitä vuodessa, luvan myöntää alueellinen ympäristökeskus (Taavitsainen 2006, 18-19). Jos toiminnasta katsotaan koituvan lähiympäristölle kohtuutonta haittaa, voi toiminta vaatia naapurussuhdelain (26/1920) perusteella ympäristöluvan niissäkin tapauksissa, joissa eläin- tai jätemäärät eivät ylitä (Soininen, Kiukas & Mäkelä 2007, 44.) Mikäli laitoksella käsiteltävän biojätteen määrä on vuodessa vähintään 20000 tonnia, vaaditaan ympäristövaikutusten arviointimenettely, YVA (Soininen ym. 2007, 45.) YVA-menettelyllä edistetään ympäristövaikutuksien arviointia ja yhtenäistä

huomioonottamista, sekä lisätään kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia (Elintarviketurvallisuusvirasto 2009.)

Mikäli biokaasulaitoksella käsitellään ainoastaan oman tilan lantaa, puhtaita kasvijätteitä, raakamaitoa tai maitohuoneen pesuvesiä ja kaasutuksen jälkeen saatava mädätysjäännös käytetään tilan omilla pelloilla, ei laitokselle tarvita laitoshyväksyntää. Sama koskee myös kahden tai useamman tilan yhteistä laitosta, johon ei tule syötemateriaalia tilojen ulkopuolelta eikä sieltä luovuteta mädätysjäännöstä ulkopuolelle yhteensä yli 100 m<sup>3</sup> vuodessa (Taavitsainen 2006, 14-15, 24-25). Näissä tapauksissa lannan käsittelyssä tulee noudattaa nitraattiasetusta ja ympäristötukiehtoja ja jos kyseessä on useamman tilan yhteislaitos, on Eviralle tehtävä elinkeinoilmoitus (Soininen ym. 2007, 38-40.)

Jos laitoksella käsitellään luokkaan 2 tai 3 kuuluvia eläinperäisiä jätteitä (liite1), muuta kuin puhdasta lantaa, tai lopputuotetta jalostetaan myyntiin, on laitokselle haettava laitoshyväksyntä Eviralta. Myytävän lopputuotteen markkinointi lannoitteena edellyttää, että tuote täyttää lannoitelainsäädännön laatuvaatimukset (Taavitsainen 2006, 14-15). Luokan 2 tai 3 eläinperäisiä jätteitä käsitteleville laitoksille pitää laatia omavalvontasuunnitelma ja niillä toimitaan sivutuoteasetuksen vaatimusten mukaisesti (Soininen ym. 2007, 42.) Lisäksi laitoksella on kirjanpitovelvollisuus, josta pystytään jäljittämään laitokselle tulevan materiaalin alkuperä, sekä laadunvalvonta laitokselta myytävälle lannoitevalmisteelle (Evira 2009.) Laitoksen sijaintia mietittäessä varsinkin maatalan yhteyteen, pitää huomioida, että laitoshyväksynnän vaatimuksena on, että laitos on fyysisesti täysin eristettynä eläimistä, niiden rehuista ja aluksista (Soininen ym. 2007, 40.)

Biokaasulaitoksen sijoittamisessa on otettava huomioon laitoksen vaikutukset ympäröivään alueeseen, kuten vesistöihin, asutukseen ja luonnonsuojelu- ja pohjavesialueisiin. Haja-asutusalueiden jätevesien käsittelyä säädellään jätevesiasetuksella ja jätteiden käsittelyä jätelaissa. Laitoksen sisällä tapahtuvaa biokaasun käyttöä säätelee kemikaaliturvallisuuslain-säädäntö ja laitoksella tapahtuvaa biokaasun käsittelyä tai kaasua siirrettäessä muualle, astuu voimaan vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista annettu asetus sekä siihen annettu lisäasetus. Biokaasun varastointia ja teknistä käyttöä, sekä biokaasun siirtoon, käyttöön tai jakeluun käytettäviä putkistoja, laitteita ja niiden suunnittelua ohjaa maakaasusetus. Lisäksi jalostetun biokaasun varastointiin tarvitaan TUKESin lupa (Latvala 2009, 18).

### 3 Laskentatyökalu

Lähdin kehittämään mittatyökalua laskentamallipohjalla. Ajatukseni oli, että laskentamallissa pystyy kuljetusmatkaa muuntamalla kartoittamaan vyöhykkeen, jonka sisältä laitokselle tuotavan raaka-aineen kuljetus on taloudellisesti kannattavaa. Laskentatyökalun arvot, kuten

kuljetuksen ja raaka-aineen, kuten säilörehun korjuun, taksat ovat muunneltavissa kunkin laskelman käyttäjän omien kustannusten mukaisesti. Lähdin kehittämään laskentamallia Microsoft Excel-pohjalle siitä syystä, että se on yleisesti käytetty laskentamallipohja Suomessa ja useimmat osaavat käyttää kyseistä ohjelmaa ja Microsoft Office- latauspakettiin kuuluvana se löytyy myös useimmilta tietokoneilta. Excelliin saa luotua laskentapohjan, jossa käyttäjän on helppo itse muuntaa valitsemiansa arvoja. Tutustuin erilaisiin laskentatyökaluihin, joita löytyi netistä muutamia. Löytämässäni laskentatyökaluissa oli paljon eroavaisuuksia ja niitä on tehty moniin eri tarkoituksiin esimerkiksi kannattavuuslaskelmiin ja hinnoitteluohjelmiin. Lähes kaikki löytämäni laskentatyökalut on tehty Microsoft Excel-pohjaisena. Muita vaihtoehtoisia pohjia löytyy Microsoft Access ja Java-pohjaisista ohjelmista. Näiden käyttäjäkunta on kuitenkin selvästi suppeampi, joten päädyin Excelliin.

### 3.1 Laskentatyökalun tavoitteet ja laadinta

Microsoft Excel-pohjalla laaditun biokaasulaitoksen mittatyökalun tavoitteena on luoda biokaasulaitoksen suunnittelun avuksi laskentamalli, jolla voidaan määrittää miten pitkän kuljetusmatkan takaa tiettyjä raaka-aineita kannattaa laitokselle tuoda raaka-aineen kaasuntuotokyvyn sekä korjuu- ja siirtokustannusten perusteella. Tuloksen perusteella voidaan määrittää taloudellisesti ja maantieteellisesti kannattavin sijainti suunniteltavalle biokaasulaitokselle huomioiden lähiseudun raaka-aineiden tuottopotentiaalit. Tavoitteena on luoda laskentamallista sellainen, jota kukin käyttäjä voi helposti muuntaa omien tarpeidensa mukaiseksi.

Laskentatyökalu sisältää peltobiomassasta, lannasta ja rasvoista muodostuvan biokaasun tuotannon, sekä laskennan kuljetusmatkan pituuden vaikutuksesta raaka-aineen hintaan. Koska koulutusohjelmani on maaseutuelinkeinot, työn painopiste on maataloudesta saatavilla biokaasutuksen raaka-aineilla, peltobiomassoilla ja lannalla. Lisäksi otin yhteen esimerkkilaskelmaan mukaan elintarviketeollisuuden jäterasvan, jonka avulla saisin esiin raaka-aineen metaanintuottopotentiaalim merkityksen kannattavan kuljetusmatkan pituuteen. Koko laskentatyökalun laadinnan aloitin erityyppisten biokaasulaitoksilla käytettävien raaka-aineiden kaasuntuotokykyjen selvittämisellä. Erilaisia arvoja löytyy useista lähteistä, mutta varsinaista laajaa ja kaikki raaka-aineet käsittävää taulukkoa ei kaasuntuottopotentiaaleista ole julkaistu. Niinpä kokosin yhteen useasta eri lähteestä löytämiäni arvoja ja tein niistä itse taulukon joka on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

RAAKA-AINE	KAASUNTUOTTO-POTENTIAALI		
	m <sup>3</sup> /kgVS	m <sup>3</sup> /kgVS	m <sup>3</sup> biokaasua/tn märkápainoa
	min	max	
Naudan lietelanta	0,2	0,6	15-25
Sian lietelanta	0,4	0,9	20-35
Kanan lanta	0,3	0,8	100-150
Sakokaivoliete	0,2	0,4	5-12
Teurasjäte	0,5	0,57	150-250
Biojäte	0,38	0,6	100-250
Jätevesiliete	0,31	0,64	8-16
Rasva	0,7	1	700-1000

Taulukko 2: Eräiden syötteinä käytettävien raaka-aineiden kaasuntuottopotentiaaleja

PELTOBIO- MASSA	METAANIN- TUOTTO- POTENTIAALI m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tn VS	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tn ka	m <sup>3</sup> biokaa- sua/tn ka	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tn märkápai- noa	m <sup>3</sup> biokaa- sua/tn märkápainoa	m <sup>3</sup> metaania/tn märkápainoa, me- taanipit. 65%
Timoteinurmi		360	555	70-90	195 (ka35%)	126 (ka 35%)
Timotei- apilanurmi	370-380	340-360	540	70-90	190 (ka 35%)	124 (ka 35%)
Apilanurmi	280-300	260-270	410	40-70	145 (ka 35%)	94 (ka 35%)
Rehumaissi		350	540			
EnergiamaiSSI		350	540			
Rehukaali	310-320	280-290	440	30-40		
Lupiini	310-360	290-330	480	40		
Ruokohelpi	340-430	330-420	580	100-170		
Virna-kaura	400-410	370	570	60-100		
Sokerijuurikas (juurikkaat +naatit)	450	400	615	80		
Sokerijuurikas (naatit)	340	290	445	30-40		
Olki	240-320	220-290	390	200-260	70 (ka20%)	46 (ka 20%)

Taulukko 3: Eräiden syötteinä käytettävien peltobiomassojen kaasuntuottopotentiaaleja

Eri lähteissä raaka-aineiden kaasuntuottopotentiaalit on ilmoitettu eri tavalla. Joissakin lähteissä on ilmoitettu kaasun tuotto m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> tai biokaasua/tonni VS (Volatile solid), eli kuutiota

metaania tai biokaasua/tonni syötteen sisältämää orgaanista kuiva-ainetta. Toisissa lähteissä arvot on ilmoitettu  $m^3CH_4$  tai biokaasua/tonni kuiva-ainetta ja joissakin  $m^3CH_4$  tai biokaasua/tonni märkäpainoa. Tätä ilmoitettujen arvojen erilaisuutta yhtenäistin saatavilla olevien tietojen mukaan. Kuten teoriaosuudessa jo kerroin, metaanin määrä biokaasussa on 55-75%. Laskelmissa käytän biokaasun metaanipitoisuutena 65%:a. Samoin eri lähteissä on käytetty syötteen kuiva-ainepitoisuuksissa hieman eriäviä arvoja. Näistä arvoista käytän keskimääräistä lukemaa. Eri raaka-aineiden kaasuntuottopotentiaaleja on tutkittu sekä laboratorioolosuhteissa, että todellisten laitosten yhteydessä. Arvot ovat suuntaa antavia ja riippuvat monista eri tekijöistä. Lietteissä materiaalin kuiva-ainepitoisuudella on suuri merkitys. Peltobiomassoissa vaihtelua aiheuttavat taas käytetty lannoitus, korjuujankoha ja säilöntäainesten käyttö. Lietteillä kaasuntuottopotentiaalit märkäpainoa kohti ovat alhaisimpia niiden pienen kuiva-ainepitoisuuden vuoksi, mutta toisaalta syötteen pitää olla nestemäisiä niiden pumpattavuuden ja sekoitettavuuden vuoksi. Lietteen kuiva-ainepitoisuutta saadaan nostettua mm. peltobiomassoilla tai biojätteillä.

### 3.2 Raaka-aineiden korjuu-, varastointi- ja kuljetuskustannusten laskenta

Peltobiomassoista säilörehulle laskin korjuukustannuksen. Kustannuslaskelman tein Työteho-seuran, TTS:n, TTS-Kone-ohjelmalla. TTS-Kone-ohjelmalla voidaan laskea erilaisille työkoneille, traktoreille ja kuivureille tunti- ja hehtaarikustannuksia, sekä erilaisten koneketjujen konekustannuksia. Ohjelma sisältää paljon erilaisia esimerkkilaskelmia sekä kerättyjen tietojen perusteella laaditun urakointihinnaston. Valitsin ohjelman sisältämästä konevalikoimasta säilörehun korjuun koneketjun, johon kuuluu hinattava niittomurskain, karhotin ja noukinvaunu. Työkoneiden tarvitseman traktorin tuntikustannuksen laskin myös kyseisellä ohjelmalla ja lisäksi kustannuksen kunkin työkoneen laskelmiin. Korjuukustannuksiin sisällytin myös rehun varastoinnin sen levityksen ja tiivistämisen osalta. Kustannuksiin en ottanut mukaan säilöntäainekustannuksia, vaikka tutkimuksissa on osoitettu säilöntäaineen käytön lisäävän säilörehusta muodostuvan metaanin määrää noin 20% verrattuna tuoreeseen nurmeen (Mykkänen 2008.)

Samalla ohjelmalla tein myös maatalouskalustolla tehtävien kuljetusten laskennan, kuten rehun siirron laitokselle  $15m^3$  kippikärryllä varustetulla traktorilla ja lietteen siirron tilalta laitokselle yli  $24m^3$  lietteenkuljetusvaunulla ja traktorilla. Kuljetusyrittäjien autoilla suorittamiin kuljetuksiin yritin saada tietoa toiminnassa olevilta biokaasulaitoksilta ja kuljetusyrittäjiltä, mutta tiedon saanti oli kovin nihkeää. He, joilta vastauksen yleensä sain, vetosivat laitoksen ja kuljetusyrittäjän välisiin sopimuksiin ja liikesalaisuuteen. Lopulta päädyin käyttämään kuorma-autokuljetuksen taksaa, jonka poimin työteho-seuran julkaisemasta urakointihinnastosta, joka sisältyi TTS-Kone-ohjelman tiedostoihin.

### 3.3 Laskentatyökalu

Laskentatyökalun laadin Microsoft Excel taulukko-ohjelmalla. Taulukossa laskin eri vaiheissa kustannukset peltobiomassojen korjuusta ja varastoinnista, sekä kuljetuksesta laitokselle ja sain tulokseksi kustannuksen laitokselle toimitettuna €/tonni raaka-ainetta. Laskentataulukossa voi muuntaa annettuja arvoja omaa tilannetta parhaiten kuvaaviksi, jolloin loppusumma muuttuu kuvaamaan kunkin laskelman tekijän omaa tilannetta. Taulukossa lasketaan rehun korjuulle hinta €/tonni. Hinta muodostuu säilörehun korjuuketjusta, joka omassa esimerkissä on niitto, karhotus, keräys noukinvaunulla ja varastointi. Säilörehun sadoksi arvioin 9500 kg/ha kun säilörehun kuiva-aine on 35%. Tämä sadon määrä on alhainen normaaliin säilörehusatoon verrattuna, mutta lähdin laskelmassani ajatuksesta, jossa säilörehua korjataan lannoitettamattomilta luonnonhoitopelloilta tai viherlannoitusnurmilta, joiden sadon saa korjata ja käyttää taloudellisesti hyödyksi. Kuten jo edellisessä kappaleessa kerroin, säilörehun korjuun kustannukset laskin TTS-Kone-ohjelmalla. Säilörehun korjuusta ja varastoinnista tulevan kustannuksen laskin jakamalla hehtaarilta saatavan sadon määrän tonneina hehtaarille kohdistuvilla kustannuksilla. Säilörehun korjuukustannuslaskelma on esitetty taulukossa 4.

#### SÄILÖREHUN KORJUU

		€/ha
NIITTO	niittomurskain 3,2m	27
KARHOTUS	karhotin yli 5m	17
KERÄYS	noukinvaunu yli 40m <sup>3</sup>	56
VARASTOINTI	tasaus ja tiivistäminen	19
		119
SÄILÖREHUSATO, ka35%	9500 kg/ha	
KORJUUKUSTANNUS	0,012526 €/kg	=> 12,5€/tn

Taulukko 4: Säilörehun korjuukustannuslaskenta

Säilörehun siirrossa lastausajaksi aumasta tai siilosta peräkärriin tai kuorma-auton lavalle arvioin traktorilla ja etukuormaajalla tehtynä 1m<sup>3</sup>/minuutti. Tuntihinnat otin työteho-seuran urakointihinnastosta sekä TTS-Kone-ohjelmalla tehdyistä omista laskelmista. Tuntihinnat löytyvät taulukosta 5.



SIIRTOTAPA	SIIRTOKALUSTO	€/h
LASTAUS VARASTOLLA	traktori + etukuormaaja	45
KULJETUS	traktori + perävaunu 15m <sup>3</sup>	52
KULJETUS	Kuorma-auto 20m <sup>3</sup>	60

Taulukko 5: Säilörehun kuljetuksen tuntihinnat

Kuljetusmatkana käytetään edestakaista matkaa varastolta laitokselle, mikäli paluukuormassa ei tuoda käsiteltyä lietettä tilalle. Kuljetusajan laskin tunteina käyttämällä traktorin keskinopeutena 30 km/h ja kuorma-auton keskinopeutena 45 km/h. Kuljetuskustannuksen kuormaa kohti laskin kertomalla lastauksen tuntihinnan lastausajalla ja lisäämällä siihen kuljetuksen hinnan, jonka sain kertomalla kuljetuksen tuntihinnan kuljetusajalla. Tästä hinnasta laskin kuljetuskustannuksen rehukuutiota kohden jakamalla kuorman kuljetuksen hinnan kuorman sisältävän rehun määrällä. Nurmirehun kuutiopainona käytin 500 kiloa (Pohjois-Suomen lihanautakerho 2006), jonka avulla laskin kuljetuskustannuksen euroa/tonni rehua kertomalla kuutiota kohti muodostuneen kustannuksen kahdella. Laskentataulukko on esitetty taulukossa 6.

SÄILÖREHUN SIIRTO LAITOKSELLE	traktori	kuorma-auto		
LASTAUSAIKA	0,25	0,35	h	
KULJETUSMATKA	10	10	km	Huom! edestakainen matka
KULJETUSAIKA/kuorma	0,33	0,22	h	traktorin keskinop. 30km/h, kuorma-auto 45km/h
KULJETUSKUSTANNUS/KUORMA	28,58	29,08	€/kuorma	
KULJETUSKUSTANNUS/KUUTIO REHUA	1,91	1,45	€/m <sup>3</sup>	
KULJETUSKUSTANNUS/TN REHUA	3,81	2,91	€/tn	nurmirehun kuutiopaino aumassa 500kg, +/- 20%

Taulukko 6: Säilörehun kuljetuskustannuslaskelma

Tein laskelman samalla periaatteella myös naudän ja sian liettelannan kuljettamisesta laitokselle sekä traktorilla ja lietevaunulla, että säiliöautolla. Näissä tapauksissa en ottanut huomioon lannan varastointia tilalla, koska jokaiselta karjatilalta löytyy ympäristöluvan mukaiset

varastot lietelannalle. Laskelmassa kannattaa kuitenkin ottaa huomioon mahdollisuus ottaa paluukuormassa käsiteltyä lietettä takaisin tilalle tulevaan lannoitekäyttöön, mikäli lietesäiliöitä on tilalla käytössään vähintään kaksi kappaletta. Tällöin saadaan kuljetuskustannuksissa säästöä kun kuljetuskaluston ei tarvitse ajaa säiliö tyhjänä takaisin. Laskelmassa erottelin säiliön täytön osuuden, sillä kaikissa lietevaunuissa ei ole omaa pumppausyksikköä, vaan säiliön täyttöön tarvitaan erillinen pumppu ja traktori. Pumppuja on eri tehoisia, laskelmaani valitsin pumpun, jonka tuotto on  $8 \text{ m}^3/\text{minuutti}$ . TTS-Kone-ohjelmalla laskien sain pumppauksen yksikköhinnaksi  $20 \text{ €/tunti}$ . Laskelmissani käytin lietevaunun kokona  $24 \text{ m}^3$ , joka on traktorikäyttöiselle lietevaunulle suuri koko, mutta toisaalta säiliöautot ovat usein yli  $30 \text{ m}^3$ . Pumppaukseen kuluvan ajan laskin jakamalla vaunun koon pumppausteholla. Tulokseksi muodostuneen ajan minuutteina muutin tunneiksi jakamalla minuuttimäärän 60:llä ja kertomalla tuloksen yksikkökustannuksella  $20\text{€/tunti}$  sain pumppaukselle hinnan. Laskelma on esitetty taulukossa 7.

#### LIETTEEN PUMPPAUS VARASTOSTA VAUNUUN (traktorikäyttöinen lietepumppu)

PUMPPAUSTEHO	8	$\text{m}^3/\text{min}$	
VAUNUN KOKO	24	$\text{m}^3$	
PUMPPAUSAIKA	3	min	
PUMPPAUKSEN HINTA	1	€	yksikkökustannus $20\text{€/h}$

Taulukko 7: Lietteen pumppauksen kustannuslaskenta

Lietteen kuljetuksessa kannattaa huomioida mahdollisuus ottaa laitokselta vastaan käsiteltyä lietettä tilalle. Tämä mahdollisuus lähes puolittaa kuljetuskustannukset, kun paluumatkaa ei tarvitse tehdä tyhjällä säiliöllä. Lastausaika laitoksella otetaan huomioon laskennassa kuljetusajan kohdalla. Kuljetuksen laskennassa paluukuorman mahdollisuus otetaan huomioon kuljetusmatkan ja lastausajan kohdalla. Mikäli paluukuorma on tyhjä, käytetään laskennassa edestakaista matkaa. Mikäli paluukuormassa tuodaan käsiteltyä lietettä tilalle, käytetään laskennassa vain yhdensuuntaista matkaa. Laskennassa käytin traktorin keskinopeutena  $30 \text{ km/h}$  ja säiliöauton  $45 \text{ km/h}$ . Traktorin säiliön kokona omissa laskelmissa käytin  $24 \text{ m}^3$  ja säiliöauton tilavuutena  $32 \text{ m}^3$ . Kuljetusajan kuormaa kohden laskin jakamalla kuljetusmatkan keskinopeudella ja lisäämällä siihen lastaukseen käytetyn ajan tunteina. Mikäli laitokselta tuodaan käsiteltyä lietettä takaisin tilalle, käytin laskennassa kaksikertaista lastausaikaa, jolloin huomioin myös laitoksella tapahtuvan säiliön täytön. Kuljetuskustannuksen kuomaa kohti laskin kertomalla kuljetukseen käytetyn ajan kuljetuksen hinnalla €/tunti. Kuljetuksien hinnat otin työ-

tehoseuran urakointihinnastosta. Kuljetuskustannuksen lietekuutiota kohden laskin jakamalla kuormakustannuksen säiliön tilavuudella. Laskentataulukko on esitetty taulukossa 8.

#### LIETTEEN KULJETUS VARASTOLTA LAITOKSELLE

	trakto- ri+lietevaunu	Säiliö- auto		
KULJETUSMATKA	20	20	km	huom! edestakainen matka traktorin keskinopeus 30km/h, säiliöauton 45km/h
KULJETUSAIKA/kuorma	0,77	0,54	h	
KULJETUKSEN HINTA	65	80	€/h	
KULJETUSKUSTAN- NUS/KUORMA	49,83	43,56	€/kuor- ma	
KULJETUSKUSTAN- NUS/m <sup>3</sup> LIETETTÄ	2,08	1,36	€/m <sup>3</sup>	traktorin lietevaunu 24m <sup>3</sup> , säiliö- auto 32m <sup>3</sup>

MIKÄLI TILALLA ON 2 LIETEVARASTOA, VOIDAAN PALUUKUORMASSA TUODA KÄSITELTYÄ LIETETTÄ TAKAISIN TILALLE.

TÄLLÖIN KULJETUSMATKA-KENTTÄÄN SYÖTETÄÄN MATKA YHTEEN SUUNTAAN.

Taulukko 8: Lietelannan siirron kustannuslaskenta

Rasvan keräilystä ja kuljetuksesta tein samankaltaisen laskentataulukon kuin lietteen siirrollekin. Ajatuksena rasvan keräykselle on, että rasvaa kerätään elintarvikeyrityksessä 1000 litran kontteihin, jotka käydään vaihtamassa tyhjiin niiden täytyttyä. Kuljetus tapahtuu nosturilla varustetulla kuorma-autolla. Nouto tehdään 2000 litran erissä. Lastaukseen ja sidontaan arvioin kuluvan 10 minuuttia kahta konttia kohden. Lastaus ja sidonta tehdään kahteen kertaan keräysmatkan aikana, joten kerroin ajan kahdella. Kuljetuksen hinnan otin työtehoseuran urakointihinnastosta ja kuorma-auton keskinopeutena käytin 45km/h. Kuljetusajan yhtä keräyskertaa kohden laskin jakamalla kuljetusmatkan keskinopeudella ja lisäämällä siihen lastaukseen ja sidontaan käytetyn ajan. Kuljetuskustannuksen kuormaa kohden laskin kertomalla kuljetusajan kuljetushinnalla. Lopuksi laskin vielä kuljetuskustannuksen tonnia kohden jakamalla kuorman kustannuksen kerättävällä määrällä, eli tässä tapauksessa kahdella. Laskelma on esitetty taulukossa 9.

## RASVAA KERÄTÄÄN KAHDEN TONNIN ERISSÄ

### KONTIN LASTAUS JA KULJETUS

LASTAUS JA SIDONTA	0,34	h/2 konttia, 2 eri lastausta km, Huom! Edestakainen
KULJETUSMATKA	40	matka
KULJETUSHINTA	60	€/h
KULJETUSAIKA/KERTA	1,23	h, keskinopeus 45 km/h
KULJETUSKUSTANNUS/KUORMA	73,73	€/kuorma
KULJETUSKUSTANNUS/TONNI	36,87	€/tonni

Taulukko 9: Rasvan keräilyn kustannuslaskenta

Kuljetuskustannuslaskenta eri raaka-aineille löytyy nimettynä taulukon eri sivuilta. Sivua vaihdetaan näytön vasemmassa alalaidassa sijaitsevilla nimetyillä palkeilla. Olen kustannuslaskennan kanssa samalle sivulle sijoittanut laskennan kohteena olevan raaka-aineen metaanintuottopotentialin, jota tarvitaan määrittäessä kunkin raaka-aineen energiantuottoa.

## 4 Tulokset

Laskennassa halusin tuoda esiin kaksi eri näkökulmaa biokaasulaitoksen sijoittamisesta. Biokaasulaitos on luontevaa rakentaa lähelle raaka-aineita. Siksi halusin tuoda esiin kaksi erilaista maatilalle perustettavaa laitosta, jossa muodostuneesta kaasusta jalostetaan sähköä ja lämpöä. Lisäksi laskin naudon- ja sian lietteille, säilörehulle ja rasvalle energia-arvon niiden tuottaman metaanin pohjalta. Kun lisäsin taulukkoon tulokset kuljetuskustannusten laskennasta eri matkoilla, sain tuloksen joka kertoo miten pitkä kuljetusmatka on vielä kannattavaa suhteutettuna raaka-aineen tuottaman metaanin arvoon.

### 4.1 Korjuu- ja kuljetuskustannukset

Kuten jo edellä kerroin, korjuu- ja kuljetuskustannukset laskin työtehoajan TTS-Koneohjelmalla. Korjuukustannuksen hinta on kiinteä, €/tonni, mutta eri työvaiheiden hehtaari-kustannuksia ja satomääriä muuttamalla korjuukustannusta saadaan muutettua tapauskohtaisesti. Omassa esimerkkelaskelmassani säilörehun korjuun hinnaksi muodostui 12,5€/tonni. Laskelmassa ei ole huomioitu säilörehun tuotantokustannuksia, kuten nurmen perustamista, lannoitusta, säilöntäaineita tai näihin sisältyviä työkustannuksia. Säilörehun raaka-aineena käyt-

tämisen ajatuksena on nurmien, kuten luonnonhoitopeltojen tai viherlannoitusnurmiin hyödyntäminen biokaasuntuotannossa.

Kuljetuskustannuksissa otin huomioon kuljetukset sekä maatalouskalustolla, että kuorma-auto tai säiliöautokuljetuksina. Oleellimmat muuttuvat arvot laskentataulukossa ovat kuljetusmatka ja kuormien koko. Säilörehun kuljetuksessa laskin arvot €/kuorma, €/m<sup>3</sup> ja €/tonni. Kuljetusmatkan pidetessä kuorma-autokuljetuksen hinta nousi huomattavasti traktorikuljetusta halvemmaksi. Mikäli laitoksen etäisyys rehuvarastosta oli 5 km, oli traktorikuljetuksen hinta 15m<sup>3</sup> kuormalla 3,81€/tonni, kun taas kuorma-autolla 20m<sup>3</sup> kuormalla vastaava kustannus oli 2,91€/tonni. Lietelannan kuljetuksessa samoin säiliöautokuljetus on halvempi vaihtoehto, johtuen nopeammasta kuljetuksesta ja suuremmasta säiliön koosta. Lietelannan kuljetuksessa kuljetuksen hinta korostuu lietteen pienen kuiva-ainepitoisuuden vuoksi. Samalla 5 km:n etäisyydellä lietteen siirron hinnaksi traktorilla kuljetettuna 24m<sup>3</sup> vaunulla muodostui 28€/kuorma eli 1,17€/m<sup>3</sup> ja 32m<sup>3</sup> säiliöautolla kuljetettuna 26€/kuorma eli 0,81€/m<sup>3</sup>.

## 4.2 Esimerkkitulojen laskelmat

Laskin kaksi eri vaihtoehtoa kuvitteellisista esimerkkituloista. Toisella tilalla on 70 lypsylehmää pihattonavetassa. Lietelannan lisäksi biokaasun tuotannossa käytetään säilörehua 10ha alalta. Toisessa esimerkissä on kyseessä tila, jolla on sikalassa 100 emakkoa porsaineen ja 300 lihasikaa. Lisäksi käytetään säilörehua 15ha alalta sekä 8tn elintarviketeollisuudelta saatavaa jäterasvaa. Lisäksi laskin esimerkin laitoksen sijainnista erillään maatilän talouskeskuksesta, esimerkkinä teollisuusalueen yhteyteen sijoitettava laitos ja kuljetuskustannuksien perusteella haarukoin, miten kaukaa kutakin syötettä kannattaa laitokselle kuljettaa.

### 4.2.1 Esimerkkitila A, lypsykarjatila

Ensimmäisenä esimerkkinä on lypsykarjatila, jossa on 70 lypsylehmää. Lisäksi lähialueen luonnonhoitopelloilta kerätään nurmea säilörehuksi. Yksi lypsylehmä tuottaa lietelantaa noin 65kg/vrk (Ek 2007, 20.) Lietteen kuiva-ainepitoisuus on 7% ja orgaanisen aineksen määrä, (VS), kuiva-aineesta 80%. Näin ollen yksi lypsylehmä tuottaa vuodessa 1,33 tnVS/vuosi.

$$65\text{kg/vrk} \cdot 7\% \cdot 80\% = 3,64 \text{ kgVS/vrk}$$

$$3,64 \text{ kgVS/vrk} \cdot 365 \text{ vrk} = 1330 \text{ kg/vuosi} = 1,33 \text{ tnVS/vuosi}$$

Naudan lietelannan kaasuntuottopotentialiaali on keskimäärin 400 m<sup>3</sup> biokaasua/tonni VS ja biokaasun metaanipitoisuus 65%. Näin ollen yhden lypsylehmän tuottaman metaanin määrä on 346 m<sup>3</sup>/vuosi.

$$1,33 \text{ tnVS/vuosi} * 400 \text{ m}^3 \text{ biokaasua/tnVS} * 65\% = 346 \text{ m}^3 \text{ metaania/vuosi}$$

70 lypsylehmän navetassa tämä tarkoittaa noin 24 000 m<sup>3</sup> metaanin määrää vuodessa.

Lisäksi säilörehua korjataan 10ha:n alalta. Satoa saadaan 9 500kg/ha. Satomäärä on alhainen johtuen luonnonhoitopeltojen lannoittamattomuudesta. Yhdeltä hehtaarilta saatava orgaanisen aineksen määrä on noin 3tn, kun säilörehun kuiva-aine on 35% ja orgaanisen aineksen määrä kuiva-aineesta 90%. (Ek 2007, 20)

$$9,5 \text{ tn/ha} * 35\% * 90\% = 3 \text{ tn/ha VS}$$

Säilörehun keskimääräinen kaasuntuottopotentiaali on noin 500 m<sup>3</sup> biokaasua/tonni VS ja biokaasun metaanipitoisuus 65%. Tällä laskennalla rehun tuottamaksi metaanin määräksi saadaan 975 m<sup>3</sup> metaania vuodessa.

$$3 \text{ tn/haVS} * 500 \text{ m}^3 \text{ biokaasua/tnVS} * 65\% = 975 \text{ m}^3 \text{ metaania/ha}$$

10 hehtaarin korjuualalla tämä tarkoittaa noin 9 750 m<sup>3</sup> metaanin määrää vuodessa.

Näillä tuotoilla metaania saadaan esimerkkitapauksessa yhteensä noin 34 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Yksi kuutio metaania vastaa energiasisällöltään yhtä litraa öljyä eli kuution energiasisältö on 10 kWh. Näin ollen laitos tuottaa bruttoenergiaa 340 MWh vuodessa. Laitoksen oma energiankäyttö pitää ottaa huomioon laskettaessa laitoksen tuottamaa energiaa. Laitoksen omakäyttöhyötysuhteena voidaan käyttää 30% muodostuneen metaanin määrästä (Soininen ym. 2007, 63.) Täten varsinaiseen hyödyntämiseen käytettävä metaanin määrä on 70% metaanin kokonaistuotosta. Kyseisessä tapauksessa siis 238 MWh vuodessa. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, CHP, sähkön osuudeksi voidaan laskea 35% ja lämmön osuudeksi 50% kokonaisenergiasta. Näin laitokselta saadaan tuotettua 83 MWh sähköä ja 119 MWh lämpöä vuodessa.

$$34000 \text{ m}^3 * 10 \text{ kWh/m}^3 = 340 000 \text{ kWh} = 340 \text{ MWh}$$

$$340 \text{ MWh} * 0,7 = 238 \text{ MWh}$$

$$238 \text{ MWh} * 35\% = 83 \text{ MWh sähköä}$$

$$238 \text{ MWh} * 50\% = 119 \text{ MWh lämpöä}$$

#### 4.2.2 Esimerkkitala B, sikatila

Toinen esimerkkitapaus on sikatila, jolla on 100 emakkoa porsaineen ja 300 lihasikaa. Lisäksi säilörehuksi korjataan 15 ha nurmea luonnonhoitopelloilta ja otetaan vastaan elintarviketeollisuuden jäterasvaa 8 tonnia vuodessa.

Yksi emakko porsaineen tuottaa lietelantaa 7kg/vrk (ProAgria 2009, 167.) Lietteen kuiva-ainepitoisuus on 6% ja orgaanisen aineksen osuus tästä 75% (Soininen ym. 2007, 62.) Yksi emakko porsaineen tuottaa vuodessa 115 kg VS.

$$7\text{kg} \cdot 6\% \cdot 75\% \cdot 365 \text{ vrk} = 115 \text{ kg VS/vuosi}$$

Sian lietelannan keskimääräinen biokaasuntuottopotentiaali on 650m<sup>3</sup> biokaasua/tonni ja kaasun metaanipitoisuus 65%. Näin yksi emakko porsaineen tuottaa metaania 49m<sup>3</sup> vuodessa ja sata emakkoa porsaineen siis 4900 m<sup>3</sup> metaania vuodessa.

$$0,115\text{tnVS} \cdot 650\text{m}^3/\text{biokaasua/tnVS} \cdot 65\% \cdot 100 = 4900\text{m}^3 \text{ metaania/vuosi}$$

Yksi lihasika puolestaan tuottaa päivässä 5,5kg lietelantaa.(ProAgria 2009, 167) Lietelannan koostumus ja kaasuntuottopotentiaali vastaa muuten emakoiden tuottamaa lietettä, joten yksi lihasika tuottaa vuodessa 90 kg VS ja 38 m<sup>3</sup> metaania vuodessa. Siten 300 lihasian tuottama metaanin määrä vuodessa on 11400 m<sup>3</sup>.

$$5,5\text{kg} \cdot 6\% \cdot 75\% \cdot 365 \text{ vrk} = 90 \text{ kg VS/vuosi}$$

$$0,09\text{tn VS} \cdot 650\text{m}^3 \text{ biokaasua/tnVS} \cdot 65\% \cdot 300 = 11400 \text{ m}^3 \text{ metaania/vuosi}$$

Säilörehua korjataan 15ha:n alalta. Kuten edellisessä esimerkissä, satotaso on alhainen, 9500 kg/ha, johtuen nurmien lannoittamattomuudesta. Edellisessä esimerkissä on jo laskettu, että säilörehun metaanintuotto hehtaaria kohden on 975 m<sup>3</sup>. Ja kun tässä esimerkissä korjattava ala on 15 ha, saadaan tältä alalta metaania 14600 m<sup>3</sup>.

$$975 \text{ m}^3 \text{ metaania/ha} \cdot 15\text{ha} = 14600 \text{ m}^3 \text{ metaania}$$

Lisäksi laitokselle otetaan vastaan rasvaa läheiseltä elintarvikealan yritykseltä 8 tonnia vuodessa. Rasvan kaasuntuottopotentiaali on 850m<sup>3</sup> biokaasua/tonni. Näin biokaasua syntyy 6800 m<sup>3</sup> vuodessa ja metaania 4400 m<sup>3</sup> vuodessa biokaasun metaanipitoisuuden ollessa 65%.

$$8\text{tn} \cdot 850 \text{ m}^3 \text{ biokaasua/tn} \cdot 65\% = 4400 \text{ m}^3 \text{ metaania}$$

Näin ollen laitokselta syntyy metaania 35 300 m<sup>3</sup> vuodessa. Laskettaessa laitokselta saatava energiamäärä edellisen esimerkin arvoilla, saadaan laitokselta vuoden aikana sähköä 86 MWh ja lämpöä 124 MWh.

$$35300\text{m}^3 \cdot 10 \text{ kWh/m}^3 = 353000 \text{ kWh} = 353 \text{ MWh}$$

$$353 \text{ MWh} * 0,7 = 247 \text{ MWh}$$

$$247 \text{ MWh} * 35\% = 86 \text{ MWh sähköä}$$

$$247 \text{ MWh} * 50\% = 124 \text{ MWh lämpöä}$$

#### 4.2.3 Raaka-aineiden korjuu- ja kuljetuskustannukset esimerkkituloilla

Molemmat kuvitteelliset esimerkkituloilla ovat karjatiloja, joiden yhteyteen biokaasulaitokset sijoitetaan. Luonnonhoitopellot, joilta korjataan säilörehu, puolestaan sijaitsevat kauempana maataloilta. Rehun korjuusta ja kuljetuksesta muodostuu kustannuksia. Tekemäni laskelman mukaan rehun korjuukustannus ja varastointikustannus on 12,5€/tonni. 9 500 kg:n hehtaarisadolla korjuukustannuksia esimerkkituloilla A kertyy noin 1 200€ ja esimerkkituloilla B noin 1 800€.

$$\text{A) } 12,5\text{€/tn} * 9,5\text{tn/ha} * 10\text{ha} = 1200\text{€}$$

$$\text{B) } 12,5\text{€/tn} * 9,5\text{tn/ha} * 15\text{ha} = 1800\text{€}$$

Rehun lastaus ja 5 km:n mittainen kuljetus tapahtuu maatalouskalustolla, etukuormaimella varustetulla traktorilla ja 15m<sup>3</sup> perävaunulla. Laskelmieni perusteella kuljetuskustannus on 3,81€/tn. Laskelmat rehun lastauksesta ja siirrosta on esitetty taulukoissa 10 ja 11.

SIIRTOTAPA	SIIRTOKALUSTO	€/h
LASTAUS VARASTOLLA	traktori + etukuormaaja	45
KULJETUS	traktori + perävaunu 15m <sup>3</sup>	52
KULJETUS	Kuorma-auto 20m <sup>3</sup>	60

Taulukko 10: Esimerkkitilan säilörehun siirron tuntihinnat

SÄILÖREHUN SIIRTO LAITOKSELLE	traktori	kuorma-auto		
LASTAUSAIKA	0,25	0,35	h	
KULJETUSMATKA	10	10	km	huom! edestakainen matka
KULJETUSAIKA/kuorma	0,33	0,22	h	traktorin keskinop. 30km/h, kuorma-auto 45km/h
KULJETUSKUSTANNUS/KUORMA	28,58	29,08	€/kuorma	
KULJETUSKUSTANNUS/KUUTIO REHUA	1,91	1,45	€/m <sup>3</sup>	
KULJETUSKUSTANNUS/TN REHUA	3,81	2,91	€/tn	nurmirehun kuutiopaino aumassa 500kg, +/-20%

Taulukko 11: Esimerkkitilan säilörehun kuljetuskustannuslaskelma



Joten esimerkkituloilla rehun kuljetuskustannuksiksi muodostuu tilalla A 360€ ja tilalla B 540€.

$$A) 9,5\text{tn/ha} \cdot 10\text{ha} \cdot 3,81\text{€/tn} = 360\text{€}$$

$$B) 9,5\text{tn/ha} \cdot 15\text{ha} \cdot 3,81\text{€/tn} = 540\text{€}$$

Näin tilalla A rehun korjuu- ja kuljetuskustannukset ovat yhteensä 1 560€ ja tilalla B 2 340€.

Käytetyn rasvan keräyksessä ja kuljetuksessa käytetään 1000 litran kontteja, jotka kuljetaan laitokselle nosturilla varustetulla kuorma-autolla. Täydet kontit noudetaan 4 kertaa vuodessa. Elintarvikealan yritys sijaitsee 20km päässä taajamassa. Laskelmani mukaan kuljetuksen hinta kuorma-autolla on noin 37€/tn. Laskelma on esitetty taulukossa 12.

KONTIN LASTAUS JA KULJETUS		
LASTAUS JA SIDONTA	0,34	h/2 konttia, 2 eri lastausta
KULJETUSMATKA	40	km, Huom! Edestakainen matka
KULJETUSHINTA	60	€/h
KULJETUSAIKA/KERTA	1,23	h, keskinopeus 45 km/h
KULJETUSKUSTANNUS/KUORMA	73,73	€/kuorma
KULJETUSKUSTANNUS/TONNI	36,87	€/tonni

Taulukko 12: Esimerkkitilan rasvan keräily- ja kuljetuskustannuslaskelma

8 tonnin vuotuisella keräysmäärällä keräily- ja kuljetuskustannukseksi muodostuu noin 300€.

$$8\text{tn} \cdot 37\text{€/tn} = 296\text{€}$$

#### 4.2.4 Energian käytön kustannukset esimerkkituloilla

Tilalla A energiaa kuluu pihattonavetassa noin 135 000 kWh/vuosi ja omakotitalossa noin 25 000 kWh vuodessa (Harmoinen 2009, 215.) Yhteensä siis noin 160 000kWh eli 160MWh/vuosi. Sähkön tukkuhinnan, 52,8 €/MWh, (energianet) huomioiden, kustannus on vuositasolla, noin 8450 €.

$$160\text{ MWh} \cdot 52,8\text{ €/MWh} = 8448\text{€}$$

Tilalla B energiaa kuluu lihasikalassa 170 000 kWh/vuosi ja emakkosikalassa 60 000 kWh/vuosi, lisäksi omakotitalossa 25 000 kWh/vuosi (Harmoinen 2009, 215.) Yhteensä noin 255 000 kWh eli 255 MWh vuodessa. Sähkön hinnalla 52,8 €/MWh kustannus on noin 13 500 € vuodessa.

$$255 \text{ MWh} \cdot 52,8 \text{ €/MWh} = 13\,464 \text{ €}$$

Tilalla A syötteiden kustannukseksi muodostuu ainoastaan rehun korjuu- ja kuljetuskustannus 1560€. CHP-tuotannolla saatiin laitokselta sähköä 83 MWh ja lämpöä 119 MWh, eli yhteensä 202 MWh. Kun tilan navetan ja asuinrakennuksen vuotuinen energiankäyttö on yhteensä noin 160 MWh, jää tuotettua energiaa käyttämättä noin 40 MWh. Tämä voidaan hyödyntää vaikka tilan kuivurilla, joka 200 tunnin vuotuisella käytöllä kuluttaa lämmitysenergiaa noin 60 MWh (Koskinieniemi 2009, 24.) Kuivurin energiankäyttö on kuitenkin lyhytaikaista ja kohdistuu noin 2-3 viikon jaksolle syksyllä, jää energiaa kesällä käytettäväksi muuhun kohteeseen, esimerkiksi autokorjaamohallin ja maalaamon lämmittämiseen. Koska lähes kaikki navetan ja asuinrakennuksen energiakulut, sekä kuivurin tai korjaamohallin lämmittämiseen tarvittava energia saadaan tuotettua biokaasulaitoksen tuottamalla sähköllä ja lämmöllä, energian kustannukset putoavat noin 6900 € vuodessa. Tässä laskelmassa ei ole otettu huomioon laitoksen rakennuskustannuksia eikä ylläpitokustannuksia lukuun ottamatta laitoksen omaa energian käyttöä.

$$8450 \text{ €} - 1560 \text{ €} = 6890 \text{ €}$$

Tilalla B syötteiden kustannukseksi tulevat rehun korjuu- ja kuljetuskustannuksen, 2340€, lisäksi rasvan keräily ja kuljetuskustannukset noin 300€, eli yhteensä 2640€ vuodessa. CHP-tuotannolla laitokselta saadaan 86 MWh sähköä ja 124 MWh lämpöä eli tällä tilalla yhteensä 210 MWh. Tilalla laskelmieni mukaan kuluu energiaa asunnossa ja sikaloissa noin 255 MWh vuodessa. Laitoksen tuottamalla energialla tästä saadaan korvattua huomattava osa, jolloin ostoenergian määräksi jää noin 45 MWh. Energian ostokuluissa tämä tarkoittaa vuositasolla 11 100 € pudotusta kustannuksiin. Kun syötteiden kustannukset laitokselle ovat yhteensä 2640 € vuodessa, biokaasulaitoksella tuotetun energian arvo on noin 8500 €. Tässäkään laskelmassa ei ole otettu huomioon laitoksen rakennus- ja ylläpitokustannuksia lukuun ottamatta laitoksen omaa energian käyttöä.

$$45 \text{ MWh} \cdot 52,8 \text{ €/MWh} = 2376 \text{ €}$$

$$13500 \text{ €} - 2376 \text{ €} = 11124 \text{ €}$$

$$11124 \text{ €} - 2640 \text{ €} = 8484 \text{ €}$$

#### 4.3 Kuljetusmatkojen vaikutus energiantuotannon kannattavuuteen

Toisissa esimerkkilaskelmissa mietin laitoksen sijoituspaikkaa muualle kuin maatilakeskuksen yhteyteen. Lähdin ajatuksessani siitä, miten paljon laitoksen ulkopuolella hyödynnettävissä olevaa energiaa 1 tonni kutakin syötettä tuottaa. Energian hinnaksi määritin tämän opinnäytetyön tekemisen aikaisen sähkön tukkuhinnan 52,8€/MWh. Laitoksen omaan käyttöön laskin tuotetusta energiasta kuluvan 30% kokonaistuotosta ja hyötysuhteena yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa 85%. Näin laskin jokaiselle syötteelle, naudon- ja sian lietelannalle, säilörehulle ja rasvalle, niiden tuottaman energian arvon tonnia kohden.

Avaan tässä yhden esimerkkilaskun, sian lietteelle; sian lietteen metaanintuottopotentialiaali on 18m<sup>3</sup> metaania/tonni lietettä. Kuten edellisissä esimerkeissä olen havainnollistanut, yksi m<sup>3</sup> metaania vastaa 10 kWh energiaa. Näin yksi tonni sian lietettä tuottaa energiaa 180 kWh. Kun kaasu muunnetaan sähköksi ja lämmöksi, hyötysuhteena käytän 85%, joten käyttöön jää 153 kWh energiaa sähkön ja lämmön muodossa. Tästä 30% kuluu laitoksen omaan käyttöön, joten jäljelle jää 107 kWh käytettäväksi laitoksen ulkopuolelle. Nykyisellä sähkön hinnalla 52,8 €/MWh, hyödynnettäväksi jäävän energian hinnaksi jää noin 5,65 €. Näin ollen yhden sianlietelanta tonnin arvo energiaksi muutettuna on 5,65 €/tonni.

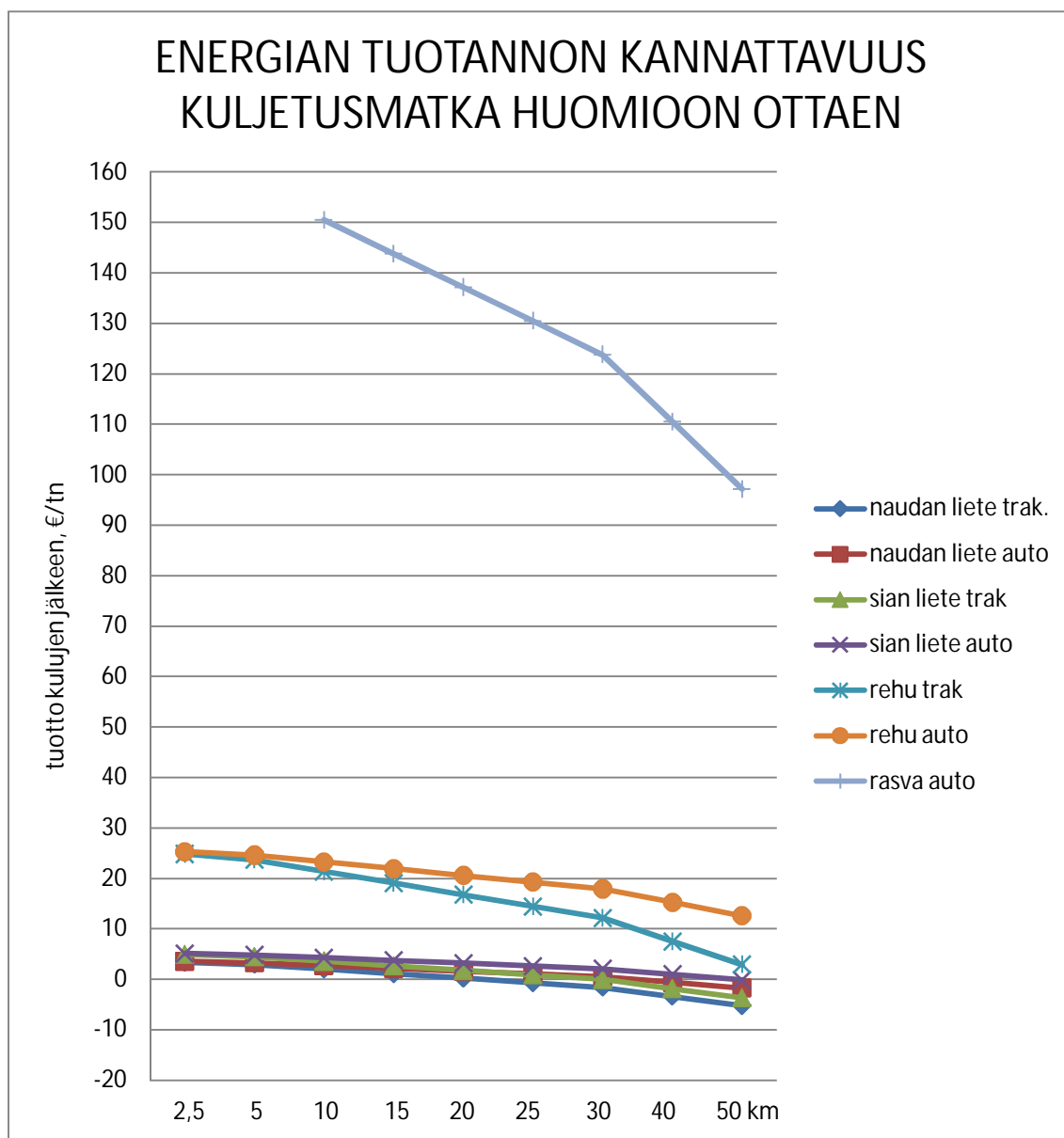
Muiden syötteiden kohdalla laskin samoin niiden arvot energiaksi muutettuna ilman kuluja;

sian lietelanta 5,65€/tn  
 naudon lietelanta 4,08€/tn  
 säilörehu 40€/tn  
 rasva 174€/tn

Liitteenä olevaan taulukkoon laskin syötteille kuljetuskustannukset aina kannattavuuden rajan saakka. Kannattavuuden raja-arvona pidin syötteen tuottaman energian arvoa verrattuna syötteen korjuu- ja kuljetuskustannuksiin. Kun tuotto laski alle nollan, on kyseisen raaka-aineen kuljettaminen laitokselle kannattamatonta. Laskurina käytin liitteenä olevaa taulukkolaskentaa korjuu- ja kuljetuskustannukset. Laskurissa kuljetusmatkaa muuttamalla saa selville tonnikohtaisen kuljetuskustannuksen. Säilörehulla korjuukustannus on aina vakio 12,5€/tonni riippumatta kuljetusmatkasta.

Verrattuna syötteiden energia-arvoon tonnia kohden, kannattavuuden raja tulee ensimmäisenä vastaan naudon lietelannalla traktorilla kuljetettuna 20 kilometrin kohdalla. Tällöin tuotoksi jää enää noin 0,2€/tonni. Sian lietettä laskelman mukaan kannattaa kuljettaa noin 30 kilometrin matkan päästä. Säilörehua kannattaa kuljettaa selvästi lietettä pidemmältä matkalta. Säilörehun kuljetus on kannattavaa traktorilla kuljetettuna vielä 50 kilometrin takaa ja

autolla vielä tätäkin pidemmältä, 90 kilometrin takaa. Rasvan kohdalla jäätiin kannattavuudessa 50km:n kuljetusmatkalla vielä 97€ plussalle tonnia kohden ja kannattavuuden raja tuli vastaan 120 kilometrin matkalla. Tulokset olen esittänyt kuvaajassa 1.



Kuvio 1: Energian tuotannon kannattavuuden kuvaaja kuljetusmatkan perusteella

Naudan ja sian lietelannan osalta kuljetuskustannusta voidaan alentaa, mikäli lietettä tuottava tila pystyy ottamaan käsiteltyä lietettä vastaan paluukuormassa. Tällöin kuljetuskustannus syötteelle koskee vain yhden suuntaista matkaa kun paluukuljetuksen kustannus siirtyy käsitellylle lietteelle.

Tein laskelmasta myös toisen kuvaajan (kuvaaja 2), jossa havainnollistin laitokselle kuljetettavan syötteen taloudellisesti kannattavan kuljetusmatkan. Kuvaajasta näkee, miltä säteeltä kuljetus kannattaa laitokselta katsottuna verraten raaka-aineen kaasuntuottokykyyn ja siitä saatavaan energiaan.



Kuvio 2: Syötteen taloudellisesti kannattava kuljetusetäisyys laitokselta

Näiden tulosten valossa laitoksen sijoittaminen teollisuusalueen viereen kauemmaksi karjaloista ei ole ongelma. Taulukosta on kuitenkin havaittavissa, että lietelannan kuljetuksen kannattavuus tulee kuitenkin vastaan lyhyemmillä matkoilla kuin säilörehun tai varsinkaan rasvan. Taulukosta käy selvästi ilmi raaka-aineen kaasuntuottopotentiaalin vaikutus kannattavan kuljetusmatkan pituuteen. Esimerkiksi rasvan kaasuntuottopotentiaali on yli 40-kertainen verrattuna lietelannan kaasuntuottopotentiaaliin. Vaikka rasvan keräilykulut ovat suuremmat kuin lietelannan kuljetuskustannukset tonnia kohti, kannattaa rasvan tuonti laitokselle huomattavasti pidemmän matkan takaa. Säilörehun kuljetus laitokselle kannattaa myös pidem-

män matkan takaa kuin karjan lietteiden, mutta toisaalta laitos tarvitsee nestemäistä lietettä taatakseen lietteen pumpattavuuden laitoksella. Lietteenä tosin voidaan käyttää myös yhdyskuntalietettä, mutta tällöin laitoksen luvitus ja prosessin hygienisointivaatimukset muuttuvat. Rasva luokitellaan samaan käsittelyn vaatimusluokkaan kuin lantakin, jolloin riittää temofiilinen, 55°C, prosessi, 24h käsittelyaika ilman uuden aineen prosessiin syöttöä, viipymäaika vähintään 20vrk ja enimmäispartikkelikoko 40mm. Mädätteen pitää kuitenkin täyttää hygieniavaatimukset. Erillistä pastörintiyksikköä ei siis tarvita (maa- ja metsätalousministeriö 2004).

Laitoksen sijoittaminen esimerkiksi teollisuusalueen läheisyyteen takaa useimmiten hyvät kulkyhteydet ja tuotetun kaasun käyttäjäkunta on vieressä, jolloin laitoksen kokoa voidaan kasvattaa. Laitoksen kokoa kasvatettaessa pitää kuitenkin miettiä ympäristön rakennetta, jotta raaka-ainetta saadaan laitokselle kuitenkin mahdollisimman läheltä.

## 5 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda laskentataulukko, jolla voidaan helposti määrittää erilaisten raaka-aineiden kuljetusmatkan ja kuljetustavan kannattavuus. Tämän opinnäytetyön ulkopuolelle laskennassa jätin erilaiset biojätteet ja yhdyskuntalietteet ja keskityin agrolodin koulutusohjelman mukaisiin raaka-aineisiin kuten lantaan ja peltobiomassoihin. Erilaiset biomassat otin mukaan kuitenkin käsitellessäni materiaalien kaasuntuottopotentiaaleja vertailun vuoksi. Elintarvikeyrityksiltä saatavan jäterasvan halusin kuitenkin ottaa mukaan laskelmiin sen suuren kaasuntuottopotentiaalin vuoksi. Rasvaa voidaan laitoksella käsitellä samojen säädösten mukaan kuin lantaakin.

Laskin kaksi esimerkkiä laitoksille, jotka sijaitsivat maito- ja sikatiloilla. Kummassakin oli kyseessä maatilakokoluokan laitos, joka käytti raaka-aineena oman tilan tuotetta eli lietelantaa, sekä säilörehua, joka oli korjattu luonnonhoitopelloilta. Lisäksi sikatilan prosessiin sisällytin hieman jäterasvaa nähdäkseni sen vaikutuksen tuotetun kaasun määrään. Maidontuotantotila pystyi vuotuisella lannan määrällä ja 10ha:n säilörehun korjuulla tuottamaan omalle tilalleen navetan ja asuinrakennuksen vuodessa kuluttaman energian määrän ja jäi vielä hieman ylikin käytettäväksi esimerkiksi kuivurilla viljan kuivaamiseen tai lämpimän koneverstaan lämmittämiseen. Sikatilalla vuotuinen energiankäyttö on suurempaa kuin maitotilalla, joten vuotuisella lannantuotolla, 15ha:n säilörehun korjuulla ja 8 tonnin vuotuisella rasvan vastaanottomäärällä laitokselta saadun energian määrä ei aivan riittänyt kattamaan sikalan ja asuinrakennuksen vuotuista kulutusta. Rasvaa tietysti voitaisiin kerätä laajemmalta alueelta, sillä sen kuljetuskustannukset verrattuna kaasuntuottopotentiaaliin ovat parhaimmasta päästä raaka-aineita.

Toisessa vaiheessa laskin liettelannalle, säilörehulle ja rasvalle kuljetusmatkan vaikutuksen muodostuneen kaasun hintaan. Laskin kunkin syötteen kaasuntuottopotentiaalin mukaan miten paljon energiaa kukin syöte tuottaa raaka-aine tonnia kohden. Sisältämän energian arvona käytin tämän hetkistä sähkön tukkuhintaa. Laskin syötteille kuljetuskustannukset eri kilometrimäärillä aina kuljetuksen kannattavuuden rajaan saakka. Lisäksi otin säilörehulla huomioon korjuukustannuksen. Muodostin arvoista taulukon, joka on liitteenä (liite 3). Taulukosta käy ilmi, että vielä tuotaessa 20 kilometrin etäisyydeltä raaka-ainetta laitokselle ei kannattavuus mene miinukselle yhdelläkään syötteistä. Tosin lietteillä kannattavuus alkaa olla jo heikko, kun taas rasvalla kannattavuus jää vielä reilusti plussalle.

Näin ollen myöskään laitoksen sijoittamista teollisuusalueen läheisyyteen en tulosten valossa pidä lainkaan huonona vaihtoehtona. Tällöin laitoksen kokoa voidaan kasvattaa, sillä suuri tuotetun kaasun käyttäjäkunta on lähellä, eikä kaasun siirrosta aiheutuvat kustannukset ja hävikit kasva suureksi. Laitoksen kokoa kasvatettaessa pitää kuitenkin huomioida lähialueen raaka-aineen tuotantopotentiaali peltomäärän ja karjatilojen suhteen. Laitoksen perustamista suunniteltaessa on kartoitettava lähialueen karjanomistajien ja pellon omistajien halukkuus tuottaa raaka-ainetta laitoksen käyttöön ja toisaalta vastaanottaa käsiteltyä lietettä pelloilleen. Käsitellyn lietteen ravinnearvo on sama kuin käsittelemättömällä lietteelläkin, mutta sen hygieniataso on parempi ja hajuhaitat levitettäessä eivät ole niin voimakkaita.

Tekemissäni laskelmissa ei otettu huomioon laitoksen rakennus investoinnin ja ylläpitokulujen vaikutusta tuottojen suuruuteen. Näiden kustannusten vaikutus saataviin tuottoihin on kuitenkin huomattava ja se on laskettava laitospohjaisesti. Kun nämä kustannukset alentavat raaka-aineiden kaasunmuodostuksen kautta saatavia tuottoja, muuttuvat kannattavat kuljetusmatkat huomattavasti lyhyemmiksi ja totuudenmukaisemmiksi kuin omassa laskelmassani. Biokaasulaitos investointina on niin suuri, että sen takaisinmaksuaika on useamman vuoden mittainen, jolloin heti suunnitteluvaiheessa kannattaa ottaa realistinen kustannus laskelmaan mukaan tuotettua kaasukuutiota kohden.

## 6 Työn arviointi

Omasta mielestäni en onnistunut tämän opinnäytetyön tekemisessä kovinkaan hyvin. Aihe oli ajankohtainen, mutta haastava. Jouduin ajan rajallisuuden vuoksi rajaamaan aihepiiriä mielestäni liikaa, jotta työstä voisi olla konkreettista hyötyä biokaasulaitoksen rakentamista suunnitteleville. Vaikka pystyinkin lopussa tuomaan esille seikkoja, jotka vaikuttivat tulosten "liian positiiviseen" kuvaan, en mielestäni saanut tuloksista riittävän totuuden mukaisia.

Suurimpana syynä epäonnistumiseeni oli ajan puute. Tein alussa paljon turhaa työtä kun kirjoitin teoria-osuuteen asioita liian laajasti. Pyyhin suunnitelmaseminaarin jälkeen lähes puo-

let kirjoittamastani tekstistä pois ja järjestelin ajatukset uudestaan. Tämän jälkeen työ suuntautui vahvasti tekniseen suuntaan, jonka koin itselleni haastavaksi. Lisäksi sain työpaikan oman tilan ulkopuolelta, joka pisti kaikki aikataulut uusiksi. Kaikki avun pyynnöt asiantuntijoille ja opinnäytetyöni ohjaajalle jouduin välittämään sähköpostilla kun tapaamiset eivät enää onnistuneetkaan. Työn loppuvaiheessa kuitenkin sain apua taulukoiden ja kuvaajien teossa ja liittämässä työhön, josta oli suuri apu. Tiedon keruu lähteistä vei paljon aikaa, vaikkakin lähteitä oli aika paljon saatavilla. Tiedot olivat onneksi melko yhdensuuntaisia, eikä suuria eroavaisuuksia esimerkiksi eri syötteiden kaasuntuottopotentiaaleissa ollut. Itse laskentatyökalun laadintaan jäi lopuksi valitettavan vähän aikaa. Heti alussa oli selvää, että teen laskentatyökalun mahdollisimman yksinkertaiseksi käyttää, jotta se palvelisi kaikkia käyttäjiä laskentaohjelman käyttökokemuksesta riippumatta. Aluksi laskentatyökaluun oli tarkoitus sisällyttää useampia osa-alueita kuten lopputuotteiden koostumukset ja niiden myötä saatavat tuotot. Tämä olisi kuitenkin vaatinut paljon enemmän aikaa perehtyä lopputuotteiden lannoituskäyttöön, lannoitusvaikutuksiin ja hintoihin, joten tämä osa päätettiin ohjaajani kanssa jättää pois opinnäytetyöstä.

Suurimpana ongelmana työssäni koin laskelmista saatavien tulosten oikeellisuus. Laskelmissa ei otettu huomioon biokaasulaitoksen rakentamisen ja ylläpidon kustannuksia, joka mielestäni vääristää tulosta huomattavasti. Nämä kustannukset ovat kuitenkin laitospkohtaisia ja niiden arvioiminen kattavasti olisi ollut mahdotonta. Yritin kyllä useassa vaiheessa laskelmia huomauttaa tästä seikasta, jotta lukija ei saa laskelmista liian positiivista kuvaa laitoksen kannattavuudesta.



## Lähteet

### Kirjalliset julkaisut

Ek, F. 2007. Produktion av biogas på gården. Helsinki: ProAgria Svenska lantbrukssällskapens förbund.

Harmoinen, H (toim). ProAgria keskusten liitto. 2009. Maatalouskalenteri 2010. Burde Förlags AB

Koskiniemi, E. (toim). Metsäkeskukset. 2009. Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella - opas. Sastamala: Vammaspaino.

Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House.

Soininen, H., Kiukas, I., Mäkelä, L. 2007. Biokaasusta bioenergiaa Eteläsvomalaisille maaseutuyrityksille. Mikkelin ammattikorkeakoulu: A: Tutkimuksia ja raportteja 24. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Taavitsainen, T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Kuopio: Kuopion kaupungin painatuskeskus.

### Elektroniset julkaisut

Bioste Oy - bioenergian ammattilainen - bioenergia - biokaasu. Viitattu 27.2.2011.  
[http://www.bioste.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2&Itemid=10](http://www.bioste.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=10)

Biovakka Oy. Moniravinne. Viitattu 30.3.2011. <http://www.biovakka.fi/Moniravinne>

Energianet.fi. Sähkön hinnat huhtikuussa 2011. 15.04.2011. Viitattu 10.2.2011.  
<http://www.energianet.fi/#98>

Elintarviketurvallisuusvirasto. 2009. Koulutuspäivä biokaasulaitosten toiminnasta ja lannoitevalmistelainsäädännöstä. Lahti 2.-3.6.2009. Luentomateriaalit. Viitattu 1.3.2011.  
[http://www.evira.fi/attachments/kasvintuotanto\\_ja\\_rehut/lannoitteet/biokaasukoulutus/esitykset\\_1.pdf](http://www.evira.fi/attachments/kasvintuotanto_ja_rehut/lannoitteet/biokaasukoulutus/esitykset_1.pdf)

Lakeuden Etappi Oy. Maanparannusrae. Viitattu 30.3.2011.

<http://www.etappi.com/?page=palvelut&subid=111&lang>

Latvala, M. Suomen ympäristökeskus. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Edita Prima Oy. Viitattu 27.2.2011.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=106756&lan=fi>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2004. Soveltamisopas V, Kompostointi- ja biokaasulaitokset sekä lantaa teknisesti käsittelevät laitokset. Päivitetty 08.07.2004. Viitattu 20.3.2011.

<http://wwwb.mmm.fi/el/julk/pdf/biokaasukompostilaitokset.pdf>

Marttinen, S. 2007. Biokaasu maatiloilla, energiapäivä 13.2.2007 Pripoli, Pori. Viitattu 20.3.2011. <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=5&id=204&sid=180>

Mykkänen E. Jyväskylän Yliopisto. 2008. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Biokaasun tuottaminen säilörehusta lehmänlantaa käsittelevällä biokaasulaitoksella. Viitattu 16.5.2011.

[https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200806265558.pdf?sequence=1](https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18715/URN_NBN_fi_jyu-200806265558.pdf?sequence=1)

Pohjois-Suomen lihanautakerho. Huomio ruokinnan suunnitteluun. Viitattu 2.5.2011.

[http://www.pohjoissuomenlihanautakerho.net/arkisto/tonkkaposti\\_102006.pdf](http://www.pohjoissuomenlihanautakerho.net/arkisto/tonkkaposti_102006.pdf)

VamBio Oy. Tuotteet, lannoitevalmistetuotanto. Viitattu 30.3.2011.

<http://www.vambio.fi/DowebEasyCMS/?Page=Lannoitevalmistetuotanto>

Julkaisemattomat lähteet

Ervasti, S. 2010. Biokaasun mahdollisuudet maatilalla ja yhteisyrityksissä. ProAgrian biokaasupäivä 3.11.2010. Jokioinen. Power Point-esitys.

## Kuvat

Kuva1. Kaaviokuva biokaasun muodostumisprosessista .....	7
--	---

## Kuviot

Kuvio 1. Energian tuotannon kannattavuuden kuvaaja kuljetusmatkan perusteella.....	29
Kuvio 2. Syötteen taloudellisesti kannattava kuljetusetäisyys laitokselta.....	30

## Taulukot

Taulukko1. Eräiden syötemateriaalien metaanintuottopotentiaaleja.....	9
Taulukko 2. Syötteinä käytettävien raaka-aineiden kaasuntuottopotentiaaleja .....	14
Taulukko 3. Eräiden syötteinä käytettävien peltobiomassojen kaasuntuottopotentiaaleja	14
Taulukko 4. Säilörehun korjuukustannuslaskelma.....	16
Taulukko 5. Säilörehun kuljetuksen tuntihinnat.....	17
Taulukko 6. Säilörehun kuljetuskustannuslaskelma .....	17
Taulukko 7. Lietteiden pumppauksen kustannuslaskenta .....	18
Taulukko 8. Lietelannan siirron kustannuslaskenta .....	19
Taulukko 9. Rasvan keräily- ja siirron kustannuslaskenta .....	20
Taulukko 10. Esimerkkitalan säilörehun siirron tuntihinnat.....	24
Taulukko 11. Esimerkkitalan säilörehun kuljetuskustannuslaskelma .....	24
Taulukko 12. Esimerkkitalan rasvan keräily- ja kuljetuskustannuslaskelma .....	25

## Liite 1 Sivutuotteiden luokitus

### Luokan 1 sivutuotteet

TSE-riskimateriaali (osat joissa saattaa esiintyä TSE-taudin aiheuttajaa esim. nautojen BSE "hullun lehmän tauti" eli yli 12kk nautaeläinten aivot, kallo, silmät, risat, selkäranka, selkäydin, suolisto, lampaat ja vuohet kuten edellä, sekä perna).

Itsestään kuolleet naudat, vuohet, lampaat ja biisonit.

Vaarallista tai helposti leviävää eläintautia sairastavat eläimet (esim. suu- ja sorkkatauti).

Eläintarhaeläimet, lemmikkieläimet, sirkuseläimet, koe-eläimet.

### Luokan 2 sivutuotteet

Lanta ja ruuansulatuskanavan sisältö.

Eläinperäiset tuotteet, jotka sisältävät eläinlääkkeiden tai saasteiden jäämiä yli sallitun tason.

Itsestään kuolleiden siipikarjan, sian, hevosen, poron tai turkiseläinten raadot.

Lihantarkastuksessa hylätyt ruhot/ruhonosat, joissa on merkkejä ihmisiin/eläimiin tarttuvista taudeista esim. salmonella positiivisten eläinten sivutuotteet, tulehduspesäkkeet; paiseet, utaretulehdus, märkivä.

Kalat, joissa on kliinisiä merkkejä tarttuvista taudeista.

Luokan 3 aines, jos sisältää luokan 2 ainesta.

Aines, joka ei kuulu luokkaan 1 tai 3.

### Luokan 3 sivutuotteet

Vuodat, nahat, sorkat, sarvet, kaviot, sian harjakset, rasva, höyhenet ja sulat ante mortem-tarkastetuista eläimistä, jotka on todettu ihmisravinnoksi kelpaaviksi.

Ante mortem tarkastettujen muiden kuin märehitijöiden veri.

Tuotteet, jotka saatu elintarvikkeiden tuotannosta mm. rasvan poistossa syntyvä proteiinijäännös, luut, joista poistettu rasva.

Entiset eläinperäiset elintarvikkeet.

## TUOTESELOSTEET

VALMISTAJA	TUOTE	SYÖTE	KOSTEUS %	ORG. AINES % ka:sta	N kok g/kg ka	N kok kg/m3	N liuk g/kg ka	N liuk kg/m3	P kok g/kg ka	P kok kg/m3	P liuk g/kg ka	P liuk kg/m3	K kok g/kg ka	K kok kg/m3
Lakeuden Etappi Oy	Maanparannus-rae	puhdistamoliete, ruokajäte 3lk eläinper. sivutuot.	8	48	30	27,6	2	1,8	29	26,7	0,54	0,5	1,9	1,8
MTT	pelletti 2008		8,84		27		2,19		38		0,68		1,9	
	pelletti 2009		8,1		30		2,025		29		0,54		1,9	
			8,3	48,0	29,0	27,6	2,1	1,8	32,0	26,7	0,6	0,5	1,9	1,8
VamBio	perus	lanta, teoll.3lk biohaj. sivutuot.puhdistamoliete	93,5	56,5	72,3	4,8	34	2,3	26	1,8	0,21	0,01	7,7	0,53
	extra		96			5				1,5				
BioVakka	moniravinne	lanta, teoll. biohaj. sivutuotteet	97,4	54,6	210	5,5	190	4,9	25,2	0,7	16	0,42	48	1,2
	rejektivisi	lanta, teoll. biohaj. sivutuotteet	96,3	51,1	220	8,1	173	6,4	20	0,7	10	0,4	50	1,9
			95,8	54,1	167,4	5,9	132,3	4,5	23,7	1,2	8,7	0,3	35,2	1,2
			KOSTEUS %	ORG. AINES % ka:sta	N kok g/kg ka	N kok kg/tn	N liuk g/kg ka	N liuk kg/tn	P kok g/kg ka	P kok kg/tn	P liuk g/kg ka	P liuk kg/tn	K kok g/kg ka	K kok kg/tn
VamBio	maanparannus-lannos	lanta, teoll.3lk biohaj. sivutuot.puhdistamoliete	77,7		36,5	8,6	3,5	0,81	30,3	7,1	0,03	0	2,5	0,58
BioVakka	Humusvoima	yhdyskuntaliete	74,1	46,5	41	10,6	3,14	0,8	31	8	0,13	0	2,9	0,8
	Humusvoima	lanta, teoll. biohaj. sivutuotteet	68,2	31,8	28	8,9	9,74	3,1	19	6	0,7	0,2	5	1,6
	Humusvoima	yhdyskuntaliete	69,2	38,5	27	8,3	3,4	1	21	6,5	0,37	0,1	5,6	1,7
	Humusvoima	yhdyskuntaliete	74	49,5	40	10,4	2,97	0,77	33,9	8,81	0,16	0,04	2,4	0,62
	Humusvoima	lanta, teoll. biohaj. sivutuotteet	68,8	43,2	29	9	9,1	2,8	21	6,6	0,42	0,1	5,5	1,7
	Humusvoima	lanta, teoll. biohaj. sivutuotteet	67,7	32,3	24	5,8	3,78	0,9	16,2	3,9	0,6	0,15	4,4	1,07
			71,4	40,3	32,2	8,8	5,1	1,5	24,6	6,7	0,3	0,1	4,0	1,2

	korjuukustannus, €/tn	kuljetuskustannus, €/tn		kuljetusmatka, km	kustannus yhteensä €/tn		energia-arvo, €/tn		tuotto kulujen jälkeen, €/tn				
		traktori	auto		traktori	auto	nauta	sika	nauta	traktori	nauta au-		sika trakto-
											to	ri	
naudan ja sian lietelanta		0,72	0,53	2,5			4,08	5,65	3,36	3,55	4,93	5,12	
		1,17	0,81	5			4,08	5,65	2,91	3,27	4,48	4,84	
		2,08	1,36	10			4,08	5,65	2	2,72	3,57	4,29	
		2,98	1,92	15			4,08	5,65	1,1	2,16	2,67	3,73	
		3,88	2,47	20			4,08	5,65	0,2	1,61	1,77	3,18	
		4,78	3,03	25			4,08	5,65	-0,7	1,05	0,87	2,62	
		5,69	3,58	30			4,08	5,65	-1,61	0,5	-0,04	2,07	
		7,49	4,69	40			4,08	5,65	-3,41	-0,61	-1,84	0,96	
		9,3	5,81	50			4,08	5,65	-5,22	-1,73	-3,65	-0,16	
säilörehu	12,5	2,66	2,24	2,5	15,16	14,74	40			rehu traktori	rehu auto		
	12,5	3,81	2,91	5	16,31	15,41	40			24,84	25,26		
	12,5	6,12	4,24	10	18,62	16,74	40			23,69	24,59		
	12,5	8,43	5,58	15	20,93	18,08	40			21,38	23,26		
	12,5	10,74	6,91	20	23,24	19,41	40			19,07	21,92		
	12,5	13,06	8,24	25	25,56	20,74	40			16,76	20,59		
	12,5	15,37	9,58	30	27,87	22,08	40			14,44	19,26		
	12,5	19,99	12,24	40	32,49	24,74	40			12,13	17,92		
	12,5	24,61	14,91	50	37,11	27,41	40			7,51	15,26		
	12,5	29,23	17,58	60	41,73	30,08	40			2,89	12,59		
	12,5	33,86	20,24	70	46,36	32,74	40			-1,73	9,92		
	12,5	38,48	22,91	80	50,98	35,41	40			-6,36	7,26		
	12,5	43,1	25,58	90	55,6	38,08	40			-10,98	4,59		
	12,5	47,72	28,24	100	60,22	40,74	40			-15,6	1,92		
										-20,22	-0,74		
rasva		23,53	10				174				rasva auto	150,47	
		30,2	15				174				143,8		
		36,87	20				174				137,13		
		43,53	25				174				130,47		
		50,2	30				174				123,80		
		63,53	40				174				110,47		
		76,87	50				174				97,13		
		116,87	80				174				57,13		
		143,53	100				174				30,47		
		170,2	120				174				3,8		
	210,2	150				174				-36,2			