



# Biokaasulaskurin käyttöohje

## 21.12.2023

Ville Pyykkönen, Erika Winqvist, Elina Virkkunen, Ville Annunen ja Saija Rasi

Kirjoittajat: Ville Pyykkönen<sup>a</sup>, Erika Winquist<sup>a</sup>, Elina Virkkunen<sup>a</sup>, Ville Annunen<sup>b</sup> ja Saija Rasi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Luonnonvarakeskus (Luke)

<sup>b</sup>Turun ammattikorkeakoulu

### Viittausohje:

Pyykkönen, V., Winquist, E., Virkkunen, E., Annunen, V. & Rasi, S. 2023. Biokaasulaskurin käyttöohje 21.12.2023. Luonnonvarakeskus. Pdf-tiedosto. <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>



Maa- ja metsätalousministeriö



Northern Periphery and  
Arctic Programme  
2014–2020



EUROPEAN UNION

Investing in your future  
European Regional Development Fund



Circwaste-hanke on saanut EU:lta rahoitusta, jolla osa tästä materiaalista on tuotettu. Materiaaleissa esitetty sisältö edustaa kuitenkin ainoastaan hankkeen omia näkemyksiä, joista EU:n komissio ei ole vastuussa.

Sisällys

<b>Johdanto</b> .....	<b>4</b>
<b>Taustaa</b> .....	<b>5</b>
Maatilamittakaavan laitokset Suomessa .....	5
Raaka-aineet .....	5
Prosessit .....	6
<b>Yleistä tietoa Biokaasulaskurista</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Syötteet</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Laitostyyppi</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Tekniikka: märkä- tai puolikuivamädätys</b> .....	<b>14</b>
<b>5. Energia: CHP-tuotanto</b> .....	<b>18</b>
<b>6. Tekniikka: kuivamädätys</b> .....	<b>21</b>
<b>7. Energia: kuivamädätys &amp; liikennepolttoaineen myynti</b> .....	<b>22</b>
<b>8. Ravinteet</b> .....	<b>23</b>
<b>9. Investoinnit: märkä- tai puolikuivamädätys &amp; CHP-tuotanto</b> .....	<b>24</b>
<b>10. Tuotot ja kulut</b> .....	<b>25</b>
<b>11. Kannattavuus</b> .....	<b>27</b>
<b>12. Yhteenveto</b> .....	<b>28</b>
<b>Laskentamenetelmät ja lähtöarvot</b> .....	<b>30</b>
<b>Viitteet</b> .....	<b>37</b>

# Johdanto

Tämä ohjekirja on tarkoitettu käytettäväksi osoitteessa <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas> toimivan laskurin kanssa selittämään laskurin toimintalogiikkaa ja antamaan lisätietoja. Ohjekirjan otsikointi noudattaa laskurin sivujen järjestystä. Biokaasulaskuri on tarkoitettu biokaasulaitoksen alustavan kannattavuuden arviointiin. Sillä voi mm. vertailla erilaisten syötteiden vaikutusta energiantuottoon ja eri energiantuotantomuotojen kannattavuutta. Lisäksi laskurilla on mahdollista vertailla eri reaktoritekniikoita, syötteen ominaisuuksien puitteissa. Laskurin antamat tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia. Laskenta tulee aina tarkentaa ennen investointipäätöksen tekemistä.

Laskuri käyttää laskennassa oletusarvoja, jotka ovat kirjallisuuteen tai asiantuntija-arvioihin perustuvia keskimääräisiä arvoja. Käytännössä arvot voivat vaihdella paljon. Biokaasulaskuri esittää yksinkertaistetun version biokaasuntuotannosta ja ohjekirjassa on esitetty ilman pidempiä ilmiöiden pohdintoja Biokaasulaskuriin valittuja oletuksia ja laskentakaavoja (ks. Laskentamenetelmät ja lähtöarvot).

Biokaasulaskurin viimeisin päivitys on tehty Maa- ja metsätalousministeriön Ravinteiden kiertäytymisen kokeiluohjelman rahoituksella (alkuperäinen julkaisu 20.12.2022, päivitetty 18.12.2023). Aiemmin Laskuria on päivitetty Handiheat-projektissa ja sen on rahoittanut European Regional Development Fund (ERDF), Northern Periphery and Arctic Programme 2014–2020, sekä Työ- ja elinkeinoministeriö ja Luonnonvarakeskus. Circwaste-hanke (LIFE15 IPE FI 004) on rahoittanut osittain tämän ohjekirjan kirjoittamista.

# Taustaa

## Maatilamittakaavan laitokset Suomessa

Suomessa oli vuonna 2023 34 maatilamittakaavan biokaasulaitosta (SBB 2023). Niistä suurin osa on yhden tilan laitoksia ja muutama useamman tilan yhteislaitoksia, joissa käsitellään useamman maatilalan syötteitä. Yhteislaitoksilla käsiteltävät määrät ovat suurempia ja energiaa syntyy enemmän. Yhteislaitoksessa tuotetulle energialle voi olla hankalaa löytää käyttökohteita laitoksen läheltä. Suomessa olevista kolmesta yhteislaitoksesta yksi jalostaa biokaasunsa pelkästään liikennekäyttöön, yksi toimittaa kaasun läheiselle puutarhalle ja yksi toimittaa osan kaasusta läheisille yrityksille ja jalostaa osan liikennekäyttöön.

Biokaasulaitoksen perustamista tuetaan tällä hetkellä (v. 2023) investointituella, joka voi olla maksimissaan 50 % perustamiskustannuksista. Tuki onkin merkittävässä roolissa laitoksen kannattavuutta punnittaessa.

Biokaasulaitoksen tärkein tuote on biokaasu. Biokaasua voi käyttää CHP-yksikön (combined heat and power) avulla lämmön ja sähkön tuottamiseen. Biokaasu on myös jalostettavissa liikennekäyttöön, jolloin sitä saatava myyntihinta on korkeampi. Kaasun jalostukseen tarvitaan kuitenkin erillinen laitteisto, joka nostaa investointikustannusta. Kaasun liikennekäyttöön jalostuksen kannattavuus on aina tapaus- ja tilakohtaista, ja tulee selvittää muun suunnittelutyön yhteydessä.

Maatilakoon biokaasulaitosten määrä on kasvussa ja poliittisilla toimilla pyritään edistämään biokaasun tuotantoa Suomessa. Esimerkkinä kansallinen biokaasuohjelma, jossa on esitetty useita eri toimenpiteitä eri ministeriöille toteutettavaksi vuosina 2020-2023.

## Raaka-aineet

Maatiloilla syntyy sivuvirtoja, jotka soveltuvat erinomaisesti biokaasun tuotannon raaka-aineiksi. Näistä merkittävimmät ovat lanta sen eri muodoissa, erityisesti lietelanta sekä erilaiset kasvibiomassat.

### Lanta

Maatiloilla syntyvän lannan määrä pysyy yleensä tasaisena ympäri vuoden. Laidunnus voi vähentää lannan määrää kesäkaudella, mutta myös energian tarve on kesällä yleensä pienempi. Lanta raaka-aineena on myös melko tasalaatuista ja lietelanta on jo valmiiksi kosteaa, jolloin se on sellaisenaan soveltuvaa märkäprosessia käyttävään laitokseen. Lannalla on korkea puskurointikyky, joka helpottaa prosessille tärkeän pH-arvon vakaana pitämistä (Kymäläinen & Parkarinen 2015). Lisäksi lietelannan käsittely on melko vaivatonta.

Lannan metaanintuottopotentiaali ei ole kovin korkea, sillä eläimet ovat jo hyödyntäneet ravinnosta helpommin hajoavan orgaanisen aineksen. Kaikki lannat ovat erilaisia ja niillä on omat erityispiirteensä. Naudan lannassa on pienempi metaanintuottopotentiaali, kuin muissa lannoissa. Sian ja kanan lanta taas ovat hyvin typpipitoisia, joka aiheuttaa omia haasteitaan prosessille. Typpi on prosessissa tärkeä ravinne, mutta liian korkea typpipitoisuus häiritsee metaania tuottavia mikrobeja. Liika typpi voi alkaa rajoittaa metaanin tuotantoa ja pahimmillaan keskeyttää metaanin tuotannon.

Kuivalannassa käytetyillä kuivikkeilla on jonkin verran merkitystä metaanintuottopotentiaaliin. Olki ja turve kuivikkeena voivat lisätä potentiaalia, kun taas sahanpuru tai kutterilastu eivät tuota prosessissa kaasua.

Kaikki tämä huomioon ottaen, lanta on erinomaista biokaasulaitoksen perusraaka-ainetta.

## **Kasvibiomassat**

Maatiloilla voi syntyä monenlaisia sivuvirtoja, jotka sisältävät kasvibiomassaa. Näitä ovat esimerkiksi nurmi kesannoilta, suojavyöhykkeiltä tai hoidetuilta, viljelemättömiltä pelloilta, ylijäämärehu, olki tai kasvituotannon sivuvirrat. Ulkomailla kasvatetaan myös nk. energiakasveja biokaasun tuotannon raaka-aineeksi.

Biokaasumielessä kaikkia edellä mainittuja yhdistää yksi tekijä: korkea kuiva-ainepitoisuus. Korkean kuiva-ainepitoisuuden lisäksi orgaanisen kuiva-aineen (VS, volatile solids) osuus kaikesta kuiva-aineesta (TS, total solids) on erittäin korkea, joka tarkoittaa korkeaa metaanintuottopotentiaalia.

Mikäli biokaasua haluaa lähteä tekemään pelkästään tai lähes pelkästään kasvibiomassoista, kuivaprosessi on monesti järkevämpi valinta. Maatilalaitoksilla kuitenkin suositaan usein lannan ja kasvibiomassojen yhdistelmää, jossa kosteaan lietelantaan lisätään käytettävissä olevaa kasvibiomassaa kasvattamaan metaanintuottopotentiaalia, joka pelkällä lannalla jäisi matalaksi. Suhteellisesti pienikin määrä suuren orgaanisen kuiva-ainemäärän sisältävää kasvibiomassaa voi nostaa metaanintuottopotentiaalia merkittävästi (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

## **Prosessit**

Biokaasulaitoksessa käytettävä prosessi määräytyy käytettävissä olevien syötteiden perusteella. Vaihtoehdot ovat märkä-, kuiva-, tai kiintomädätys. Jotkin laitospallit voivat käytännössä olla myös sovelluksia näiden väliltä. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan eri prosessien ominaisuuksista tarkemmin.

### **Märkäprosessi ja puolikuiva prosessi**

Mikäli käytettävissä on lietelantaa, märkäprosessi on hyvä tapa käsitellä sitä. Lietelannalla on pieni kuiva-ainepitoisuus (<12 %), jonka takia se on sellaisenaan käyttökelpoista märkäprosessissa.

Käytössä olevat märkäprosessit ovat lähes aina jatkuvatoimisia, joka tarkoittaa sitä, että prosessia syötetään ja sieltä poistetaan mädätettä tasaisin väliajoin. Lietteen syöttö reaktoriin tapahtuu usein pumppaamalla ja mahdollisen kuivemman syötteen lisäys joko erillisellä syöttölaitteella tai lietteeseen sekoitettuna. Mädätteen, eli prosessin jo läpikäyneen massan poisto tapahtuu joko painovoimaisesti, jolloin uusi syöte syrjäyttää vanhaa ja aiheuttaa ylivuotoa, tai yleisemmin pumppaamalla mädätettä reaktorista.

Jatkuvatoimisessa prosessissa osa poistuvasta mädätteestä sisältää vielä hajoamatonta orgaanista ainesta, jonka takia sitä käyttöön laitoksiin liitetään usein jälkikaasuuntumisallas (Kymäläinen & Pakarinen, 2015). Prosessista poistuva mädäte siirretään jälkikaasuuntumisaltaaseen, jossa muodostuu jonkin verran lisää kaasua, joka otetaan talteen.

Jatkuvatoimisessa märkäprosessissa oleellista on, että reaktorimassan kuiva-ainepitoisuus on sellainen, että massa pysyy pumpattavana. Pumpattavuuden ylärajana pidetään 15% kuiva-

ainepitoisuutta (Kymäläinen & Pakarinen 2015). Kun massa on pumpattavaa, sitä on helppo sekoittaa. Jatkuvatoimisia märkäprosesseja sekoitetaan, jotta voidaan varmistaa massan tasa-laatuisuus mm. mikrobialtistuksen ja lämmön suhteen. Sekoitus myös edesauttaa kaasun vapautumista massasta.

Mädätysprosessiin syötettyjen raaka-aineiden sisältämät ravinteet säilyvät niissä koko prosessin ajan ja osa niiden sisältämästä orgaanisesta tyyppistä muuttuu prosessin aikana kasveille paremmin käyttökelpoiseksi ammoniumtyypeksi. Lisäksi lantapohjainen mädätysjäännös aiheuttaa peltolevityksessä vähemmän hajuhahtaa, kuin itse lanta. Mädätysjäännöksestä on mahdollista erottaa typpipitoinen nestejake ja fosforipitoinen kiinteä jake.

Jos syöteseoksen (kokonaissyöte) kuiva-ainepitoisuus on yli 15 %, voidaan syötettä tai reaktori-letettä laimentaa esimerkiksi kierrättämällä prosessiin takaisin mädätteestä separoitua nestejakea. Tätä kutsutaan Biokaasulaskurissa puolikuivaksi mädätykseksi.

### **Kuivaprosessi**

Mikäli käytössä on vain kuivaa materiaalia, kuten kasvibiomassaa tai kuivalantaa, kuivaprosessi on potentiaalinen vaihtoehto. Kuivaprosessille on tyypillistä märkäprosessia korkeampi kuiva-ainepitoisuus, yleensä 20 – 40 %. Tällainen materiaali on koostumukseltaan lapioitavaa.

Kuivaprosessissa reaktorissa on vähemmän vettä. Tämä mahdollistaa pienemmän reaktorikoon, sillä pienempään tilaan saadaan mahdutettua enemmän orgaanista kuiva-ainetta, joka on kaasuntuotannon varsinaista raaka-ainetta. Kuivaprosessissa hajoaminen kestää kauemmin, joten sanotaan, että sillä on pitempi viipymä. Viipymä kertoo, kuinka kauan syötetyn massan on oltava reaktorissa, jotta voidaan katsoa, että riittävän suuri osa orgaanisesta aineksestä on hajonnut.

Kuiva materiaali on usein heterogeenisempää kuin märkä ja tästä syystä prosessin tekninen hallinta on hankalampaa kuin märkäprosessin. Tämä aiheuttaa myös haasteita mädätteen jatkokäytössä ja usein mädätettä joudutaan käsittelemään kompostoimalla, jolloin sen sisältämiä ravinteita ei saada hyödynnettyä täysimittaisesti (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

Kuivaprosesseja on kahdentyyppisiä: panostoinen ja jatkuvatoiminen. Jatkuvatoimisia ei ole Suomessa toistaiseksi käytössä.

### **Panostoinen**

Panostoinen prosessi käytetään vain kuivalle materiaalille. Siinä materiaalit syötetään reaktoriin, suljetaan reaktori ja annetaan kaasun syntyä. Prosessin aikana kierrätetään prosessista suotautunutta nestettä massan päälle. Tällä säädellään kosteutta, mikrobimäärää ja -altistusta, materiaalin hajoamista sekä kaasuntuottoa.

Prosessin kaasuntuotto ei ole tasaista, vaan se on alussa vähäistä, kasvaa keskivaiheilla ja alkaa vähentyä loppua kohti. Tuotettavan kaasun määrää voidaan optimoida käyttämällä useampaa eri vaiheessa olevaa reaktoria samanaikaisesti.

### **Jatkuvatoiminen**

Jatkuvatoiminen kuivaprosessi perustuu useimmiten vaakasuorassa sylinterinmuotoisessa reaktorissa tapahtuvaan tulppavirtaukseen, jossa massa kulkee hitaasti syöttöpäästä kohti poistopäätä, hajoten matkalla mikrobien toimesta.

Prosessin mikrobimäärän ylläpitämiseksi osan syötettävästä materiaalista on oltava jo prosessin läpikäynyttä. Toinen vaihtoehto on syöttää prosessiin jo hajonneesta mädätteestä erotettua nestejätettä. Tällä pystytään mikrobitason ja -altistuksen lisäksi säätämään prosessin kuiva-ainepitoisuutta.

# Yleistä tietoa Biokaasulaskurista

Biokaasulaskuria sopii parhaiten maatilan biokaasulaitosten alustavaan suunnitteluun, kun syötemäärä on enintään noin 35 000 tonnia vuodessa. Biokaasulaskurin avulla voidaan arvioida eri syötteistä saatavissa olevaa metaanimäärää, vertailla eri energiantuotanto- ja -hyödyntämissuotojen kannattavuutta sekä arvioida alustavasti mahdollisen biokaasulaitosinvestoinnin suuruutta. Laskuri on vapaasti käytettävissä netissä.

**Taulukko 1.** Biokaasulaskurin syötteet ja tuotokset.

SYÖTE	TUOTOS
<ul style="list-style-type: none"><li>- Biokaasulaitoksen syötteiden ja niiden ominaisuuksien valinta</li><li>- Biokaasulaitoksen ja sen tuottaman mädätteen käsittelyn tekniset ratkaisut</li><li>- Laitoksen operointiparametrit</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Syötteiden metaanintuottopotentiali ja laitoksessa toteutuva tuotto</li><li>- Mädätteen ravinnemäärät ja -pitoisuudet</li><li>- Tulot lämmöstä, sähköstä ja/tai liikennepolttoaineesta</li><li>- Investointi- ja käyttökustannukset sekä kannattavuus</li></ul>

Laskuri rakentuu yhdeksästä vaiheesta, joissa syötetään arvoja ja tehdään valintoja. Vaiheesta toiseen siirrytään sivun alareunan painikkeella "Seuraava". Palaaminen aiempiin vaiheisiin on rajoitettua. Ainoastaan ensimmäiseen "Syötteet" -vaiheeseen voi palata (klikkaamalla "Syötteet" -välilehteä sivun yläreunasta), ja tämän jälkeen navigoida uudelleen vaihe kerrallaan ja muuttaa syötettyjä arvoja. Suurin osa valinnoista jää tallelle, mutta ne tulee käydä uudelleen läpi. Vastaavasti, kun aloitetaan kokonaan uusi suunnitelma, on suositeltavaa ladata sivu uudestaan, jolloin tehdyt valinnat poistuvat. Navigoi samalla välilehdellä kohdasta toiseen hiiren avulla, älä paina enter-näppäintä, koska tällöin laskuri siirtyy seuraavalle välilehdelle.

Laskurissa on tutkimuksiin perustuvia oletusarvoja erilaisille syötteille ja prosessin hyötysuh-teille. Jos käyttäjällä on omaan tapaukseensa paremmin soveltuvaa tietoa, laskennassa käytettäviä arvoja pääsee säätämään kynä-merkkien kohdilta.

## Selaintuki

Laskurin on testattu toimivan ainakin Google Chromen ja Mozilla Firefoxin uudehkoilla versioilla. (Internet Exploreria ei tueta.) Laskuri tarvitsee näyttölaitteelta riittävän resoluution – etenkin vaakasuunnassa tilaa tarvitaan melko runsaasti. Laskuria ei ole suunniteltu mobiilikäyttöön. Älä päivitä nettiselainta laskurin käytön aikana, koska muuten syöttämäsi tiedot nollataan ja laskuri palaa alkuun.

## Vastuuvapauslauseke

Biokaasulaskuri on tarkoitettu biokaasulaitosinvestoinnin alustavaan kannattavuuden arviointiin. Laskurin laskelmat perustuvat keskimääräisiin arvoihin, ja sen antamat tulokset ovat suuntaa antavia. Biokaasulaitoksen tuotot, kulut ja investointikustannukset ovat aina tapauskohtaisia. Investointi tulee aina perustaa tarkempiin laskelmiin. Tekijät eivät vastaa laskurin tuottamien tulosten oikeellisuudesta, laskurissa mahdollisesti olevista virheistä eivätkä niistä aiheutuneista välittömistä tai välillisistä vahingoista.

## Kuinka tätä ohjetta käytetään?

Biokaasulaskuria esitellään esimerkkien kautta. Eri laitostyypeistä esitetään esimerkit vain niiltä välilehdiltä, jotka eroavat merkittävästi toisistaan. Valittavissa on kaksi laitostyyppiä: Märkä- tai puolikuivamädätys tai Kuivamädätys. Märkämädätys on kyseessä silloin, jos syöteseoksen eli kokonaissyötteen kuiva-ainepitoisuus (ka) on alle 15 %. Puolikuivamädätyksessä syötteen ka on 15-20 % ja syöte laimennetaan 15 %:iin mädätteestä eli käsittelyjäännöksestä ruuvipuristimella separoidulla nestejakeella (märkämädätykseen verrattuna lisäinvestointina separaattori ja nestejakeen kierrätyslaitteet). Puolikuivamädätyksen voi valita myös syöteseoksen kuiva-ainepitoisuuden ollessa yli 20 %, mutta tällöin syöteseos laimennetaan vedellä 20 %:iin. Kuivamädätys voidaan valita vain, jos syöteseoksen ka-pitoisuus on yli 20 %.

**Taulukko 2.** Laitostyyppien (mädätystekniikoiden) luokittelu Biokaasulaskurissa.

	<b>Märkämädätys</b>	<b>Puolikuivamädätys</b>	<b>Kuivamädätys</b>
Syöteseos	Kuiva-ainepitoisuus (ka) < 15 %	ka 15-20 %, vesilaimennuksella myös yli 20 % ka-pitoisuus mahdollinen	ka > 20 %
Prosessityyppi	Sekoitussäiliöreaktori (continuous stirred-tank reactor, CSTR), mesofiilinen lämpötila (+35 °C)	Sama kuin märkämädätys, mutta lisänä syötteen laimennus mädätteestä separoidun nestejakeen kierrätys	Panosreaktori, ei sekoi-tusta, mesofiilinen lämpötila (+35 °C)
Reaktortyyppi	Maan päälle rakennettu ja eristetty reaktorisäiliö (+ mahdollisesti jälkikaasuuntumisallas), prosessitekniikka rakennettu kontteihin	Sama kuin märkämädätyksessä	Siilomainen suotopetireaktori, perkolaationesteen kierrätys suotopedin läpi
Välilehdet, joista on esimerkkejä tässä ohjeessa	Syötteen Laitostyyppi Tekniikka Energia Ravinteet Investoinnit Tuotot ja kulut Kannattavuus Yhteenvedo	Tekniikka	Tekniikka Energia

Käytännön vinkkejä:

- Jos tulee tarve muokata aiempien välilehtien tietoja, palaa ensimmäiselle välilehdelle (muille välilehdille ei voi palata suoraan). Suurin osa käyttäjän eri välilehdille syöttämistä tiedoista pysyy tallennettuna, mutta muutokset kannattaa tarkastaa. Toisaalta, jos aloitat uuden suunnitelman, kannattaa selaimen välilehti ladata uudestaan, jos uudessa suunnitelmassa halutaan käyttää oletusarvoja.
- Käytä hiiren osoitinta ja vasenta näppäintä, kun muokkaat tietoja kullakin välilehdellä. Älä paina Enter-näppäintä lukujen muuttamisen jälkeen, koska sen painaminen siirtää laskelman seuraavalle välilehdelle.

# 1. Syötteet

## Syötteet

Muokkaa ominaisuuksia	Syötteen nimi	Määrä (t/a)
	Naudan lietelanta	3500
	Naudan lietelannasta separoitu kuivajae	0

- Oikeanpuoleiseen sarakkeeseen lisätään vuoden aikana käytettävissä olevat raaka-ainemäärät (t/a).
- Jos haluat muokata valitun syötteen ominaisuuksia, napsauta muokkauspainiketta (kynä). Tällöin avautuu Määritä ominaisuudet -ikkuna:

## Määritä ominaisuudet – naudnan lietelanta

Ominaisuus	Oletusarvo	Käyttävä	Käytettävä arvo	Yksikkö	Lisätietoja
Kuiva-aine	9,00 Käytä	<input type="text"/>	9,00	%	
Orgaaninen aine (VS)	80,00 Käytä	<input type="text"/>	80,00	%/Kuiva-aine	
Metaanintuottopotentiaali	200,00 Käytä	<input type="text"/>	200,00	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / t VS	
Biokaasun metaanipitoisuus	0,65 Käytä	<input type="text"/>	0,65	%	
Kokonaistyyppi (kok-N)	5,00 Käytä	<input type="text"/>	5,00	g/kg (tuorepaino)	
Vesiliukoinen tyyppi (liuk-N)	2,90 Käytä	<input type="text"/>	2,90	g/kg (tuorepaino)	
Kokonaisfosfori (P)	0,90 Käytä	<input type="text"/>	0,90	g/kg (tuorepaino)	
Kokonaiskalium (K)	4,50 Käytä	<input type="text"/>	4,50	g/kg (tuorepaino)	
Lämpötila	9,50 Käytä	<input type="text"/>	9,50	°C	
Kiinteä syöte – syötetään reaktoriin ruuvilla	<input checked="" type="radio"/> ei <input type="radio"/> kyllä				
Olomuoto	<input checked="" type="radio"/> lietemäinen <input type="radio"/> kiinteä				
Tiheys	1000 Käytä	<input type="text"/>	1000	kg/m <sup>3</sup>	

Tallenna ja sulje

- Määritä ominaisuudet-ikkunassa voidaan täyttää uudet arvot. Yhden arvon muokkaaminen voi vaikuttaa muihin arvoihin, esim. kuiva-ainepitoisuuden muuttaminen vaikuttaa biokaasulaitoksen lämmönkulutukseen ja metaanintuottoon.
- Lisätietoja näkee tietopainikkeessa, kun hiiren osoitin siirretään i-painikkeen päälle (toimii koko Biokaasulaskurissa).
- Tämä on arvio syötteen vuotuisesta keskilämpötilasta. Myöhemmin Energia-välilehdellä voidaan haluttaessa antaa kuukausittaiset keskilämpötilat syötteille.
- Tässä voidaan tarvittaessa muuttaa syötteen olomuoto. Olomuoto-tietoa käytetään Tekniikka-välilehdellä lietesyoitesäiliön ja kiinteän syötteen varaston mitoituksessa:

lietemäisille (lietteet, nesteet, vesi) tiheydeksi oletetaan  $1000 \text{ kg/m}^3$  ja kiinteille  $500 \text{ kg/m}^3$ .

7. Tarvittaessa voidaan muuttaa kunkin syötteen tiheyttä. Tiheyden muuttaminen vaikuttaa ko. syötteen varaston hyötytilavuuden laskentaan Tekniikka-välilehdellä (jos Laitostyyppi-välilehdellä on valittu "Märkä -tai puolikuivamädätys").

## 2. Laitostyyppi

Laitostyyppi-välilehdellä voi valita kahdesta vaihtoehdosta: märkä- tai puolikuivamädätys tai Kuivamädätys.

Syötteiden yhteenlasketun kuiva-ainepitoisuuden (17,40 %) perusteella käytettäväksi menetelmäksi (laitostyyppiä) soveltuisi **Märkä- tai puolikuivamädätys**. Kuiva-ainepitoisuuden laskemiseksi syötteeseen voidaan lisätä vettä ja näin mahdollistaa märkämädätys

### Märkä- tai puolikuivamädätys

- Soveltuu parhaiten syöteseokselle, jonka kuiva-ainepitoisuus  $\leq 20\%$
- Jos syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus on yli 15 ja enintään 20 %, sitä laimennetaan käsittelyjäännöksestä separoidulla nestejakeella 15 %:iin. Jos syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus on yli 20 %, sitä laimennetaan vedellä 20 %:iin.
- Jatkuvatoiminen prosessi, jossa jatkuva tai puolijatkuva sekoitus

### Kuivamädätys

- Soveltuu syöteseokselle, jonka kuiva-ainepitoisuus  $> 20\%$
- Panosprosessi, ei sekoitusta
- Perustuu suotopetiteknikkaan, jossa suotonestettä kierrätetään siilossa olevan massan läpi

1. Valitse märkä- tai puolikuivamädätys

2. Syöte on liian kostea kuivamädätykseen. (Palaa tarvittaessa edelliseen vaiheeseen muokkaamaan syötteitä.)

3. < Edellinen

4. Seuraava >

1. Tähän esimerkkiin valittu syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus (valittujen syötteiden kuiva-ainepitoisuuden painotettu keskiarvo) on 17 %, eli alle 20 %, joten syöte soveltuu märkä- tai puolikuivamädätykseen. Jos syöteseoksen (kokonaissyötteen) kuiva-ainepitoisuus on alle 15 %, kyseessä on perinteinen märkämädätystekniikka. Jos syötteen ka-pitoisuus on 15-20 %, on kyseessä puolikuivamädätys, jolloin syötteen kuiva-ainepitoisuus laimennetaan 15 %:iin mädätteestä eli käsittelyjäännöksestä separoitavalla nestejakeella. Jos syöteseoksen ka-pitoisuus on yli 20 %, sitä laimennetaan vedellä 20 %:iin.
2. Kuivamädätyksen voi valita vain, jos syöteseoksen eli kokonaissyötteen kuiva-ainepitoisuus on yli 20 %. Kuvassa valitun syöteseoksen kokonaiskuiva-ainepitoisuuden perusteella kuivamädätystä ei voi valita.
3. Tästä vaiheesta on edelleen mahdollista palata ensimmäiseen vaiheeseen ja tehdä muutoksia syötteisiin.
4. Kun laitostyyppi on valittu painamalla vihreästä painikkeesta "Valitse...", painetaan Seuraava-näppäintä, joka siirtää käyttäjän Tekniikka-välilehdelle.

### 3. Tekniikka: märkä- tai puolikuivamädätys

Jos edellisessä vaiheessa on valittu märkä- tai puolikuivamädätys, Tekniikka-välilehden yläosassa valitaan lietemäisten ja kiinteiden syötteiden mahdolliset esikäsittelymenetelmät.

Syötteiden esikäsittely ja syöttölaitteet reaktoriin

Lietesyötesäiliö  Kyllä  Ei

**Syötteet**

Lietemäiset syötteet

Naudan lietelanta

**Säiliöt**

Lietesäiliöt	Määrä (t/a)	Monen vrkn syöte?	Säiliön	Säiliösekoitin	Pumppu
Lietesäiliö 1	6 000,00	10	164,38	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Lietesäiliö 2	0,00	10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Lietesäiliö 3	0,00	10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Valikko: Ei säiliötä, Lietesäiliö 1, Lietesäiliö 2, Lietesäiliö 3, Lietesäiliö 4

1. Tässä valitaan, kuuluuko biokaasulaitokseen ollenkaan lietemäisen/nestemäisen syötteiden säiliötä. Jos valitaan "kyllä", avautuvat valikot, joissa lietemäiset syötteet voidaan jakaa enintään neljään eri säiliöön
2. Tässä näkyvät Syötteet-välilehdellä valitut lietemäiseksi luokitellut syötteet
3. Tässä valitaan pudotusvalikosta, missä säiliössä kukin lietemäinen syöte on ennen syöttöä biokaasulaitokseen. Samaan säiliöön voi laittaa useamman eri lietemäisen/nestemäisen syötteen. Jos laitokseen syötetään laimennusvettä (syöteseoksen kapitoisuus yli 20 %), sillekin voidaan valita oma säiliönsä. Voidaan valita myös syötekohtaisesti "ei säiliötä", esimerkiksi jos lietelanta tulee suoraan navetasta tai vesi tulee suoraan vesijohtoverkosta.
4. Valitaan, kuinka monen vuorokauden syötemäärä (keskiarvo vuodessa) ko. liettettä/lietteitä täytyy mahtua ko. säiliöön. Kukin valittu säiliö näkyy Investoinnit-välilehdellä omana investointinaan, samoin niille valitut sekoittimet ja pumput. Säiliön hyötytilavuus lasketaan vuotuisen syötemäärän puskuritarpeen ("Monen vrk:n syöte?") perusteella. Hyötytilavuuslaskennassa oletetaan lietteiden ja nesteiden tiheydeksi 1000 kg/m<sup>3</sup>. Syötteet-välilehdellä kunkin syötteen muokkaa-valikosta (kynä-painike) voi tarvittaessa muuttaa syötteen tiheyttä.
5. Valitaan, kuuluuko lietesäiliöön sekoitin ja/tai pumppu reaktoriin syöttöä varten. Näiden valinta näkyy investoinneissa ja laitoksen sähkönkulutuksessa.

## Kiinteän syötteen varasto

Ei (kuulu biokaasulaitokseen)

Kyllä, kattamaton varasto (esim. siilo) ← **6.**

Kyllä, katettu varasto

Syötteen				
Kiinteät syötteen				
Säilörehu (nurmiheinät) <b>7.</b>				
Säiliöt				
Kiinteiden syötteiden säiliöt	Määrä (t/a)	Monen vrk:n syöte?		Säiliön hyötytilavuus
Kiinteiden säiliö 1 ← <b>7.</b>	4 000,00	10 ← <b>8.</b>		219,18
Kiinteiden säiliö 2	0,00	10		
Kiinteiden säiliö 3	0,00	10		

Ei säiliötä

Kiinteiden säiliö 1 ← **8.**

Kiinteiden säiliö 2

Kiinteiden säiliö 3

Kiinteiden säiliö 4

**9.**

6. Valitaan, kuuluuko kiinteän syötteen varasto biokaasulaitokseen. Valitaan "Ei", jos biokaasulaitoksella ei ole kiinteitä syötteitä tai jos esim. maatilalla on olemassa oleva siilo tai muuta varastotila, eikä sitä lasketa osaksi biokaasulaitosinvestointia. Voidaan valita kattamaton tai katettu varasto, kattaminen näkyy kalliimpana investointihinta.
7. Tässä näkyvät Syötteen-välilehdellä valitut kiinteiksi luokitellut syötteen
8. Valitaan pudotusvalikosta, missä säiliössä kukin kiinteä syöte on ennen syöttöä biokaasulaitokseen. Samaan säiliöön voi laittaa useamman eri kiinteän syötteen. Voidaan valita myös syötekohtaisesti "ei säiliötä".
9. Valitaan, kuinka monen vuorokauden syötemäärä (keskiarvo vuodessa) ko. syötettä/syötteitä täytyy mahtua ko. säiliöön. Kukin valittu säiliö näkyy Investoinnit-välilehdellä omana investointinaan. Säiliön hyötytilavuus lasketaan vuotuisen syötemäärän puskuritarpeen ("Monen vrk:n syöte?") perusteella. Hyötytilavuuslaskennassa oletetaan kiinteiden syötteiden tiheydeksi  $500 \text{ kg/m}^3$ .

Seuraavassa kohdassa valitaan mädätyksen prosessiparametreja, syötteen hygienisointi ja käsittelyjännöksen separointi:

# Tekniikka

Laitokseen kuuluu

1.  reaktori ja jälkikaasuuntumisallas  
 pelkkä reaktori

## Tekniset tiedot

Reaktorin viipymä

2.  d

Jälkikaasuuntumisaltaan viipymä

d

Reaktorin lämpötila

3.  °C

Jälkikaasuuntumisaltaan lämpötila

°C

Reaktorin prosessitilavuus

222 m<sup>3</sup>

Jälkikaasuuntumisaltaan koko

222 m<sup>3</sup>

Syötteen kuiva-ainepitoisuus

10,91 %

Reaktorin orgaaninen kuormitus

2,57 kg VS / (m<sup>3</sup> d)

Käsittelyjäännöksen separointi kuiva- ja nestejakeiksi

4.  ei separointia  
 separoidaan ruuvipuristimella  
 separoidaan dekantterilingolla

Raaka-aineiden metaanintuottopotentiali

83 475 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / a

Metaanintuottopotentialin toteuma

84,31 %

Hygienisointiyksikkö

- Ei  
 Kyllä 5.

Hygienisoitava syötemäärä

m<sup>3</sup>/a

Hygienisointiastian koko

0,82 m<sup>3</sup>

1. Märkä- ja puolikuivamädätyksessä voidaan valita joko pelkkä reaktori tai "reaktori- ja jälkikaasuuntumisallas". Jos valitaan vain reaktorisäiliö, laskuri ehdottaa automaattisesti pidempää viipymäaika reaktorille, jotta riittävän pitkä kokonaisviipymä biokaasulaitoksessa voidaan taata. Tällöin maksimoidaan biokaasun tuottopotentialin toteutuminen hyödyntäminen ja minimoidaan mädätteeseen jäävä biokaasupotentiaali ja siten vähennetään metaanipäästöjä varastoinnin aikana.
2. Syötteen viipymä on mahdollista säätää erikseen reaktorisäiliölle ja jälkikaasualtaalle. Tällä on vaikutusta syötteen biokaasun tuotantopotentialin toteutumiseen: pitkällä viipymällä saadaan suurempi metaanintuotto, mutta investointikustannus ja (reaktorin) lämmönkulutus kasvavat.
3. Reaktorin ja/tai jälkikaasualtaan lämpötilan valintamahdollisuus. Reaktorin korkeampi lämpötila kasvattaa metaanintuottoa, mutta lisää samalla lämpöenergiankulutusta. Jälkikaasualtasta ei yleensä lämmitetä, joten se on esimerkiksi 10-20 % viileämpi kuin reaktori (oletuslämpötila reaktorille 35 °C ja jälkikaasualtaalle 30 °C, kun molemmilla

on sama tilavuus). Jälkikaasualtaan lämpötilaan vaikuttavat esim. ympäristön lämpötila, eristeet, tilavuus ja viipymäaika. Laskurissa jälkikaasualtaan lämpötila ei vaikuta laitoksen lämmönkulutukseen.

4. On mahdollista valita, separoidaanko lietemäinen mädäte fosforipitoiseksi kuivajakeeksi ja typpipitoiseksi nestejakeeksi. Biokaasulaskurissa separointi voidaan tehdä joko edullisella ruuvipuristimella tai kalliimmalla, paremmin fosforia kuivajakeeseen erottelevalla dekantterilingolla.
5. Tässä esimerkissä tarvitaan hygienisointia, koska syöte sisälsi yhdyskuntien biojätteitä 300 t/a. Hygienisointikapasiteetin arvioidaan olevan 300 m<sup>3</sup>/a (tässä oletetaan, että hygienisoitavan materiaalin tiheys on 1000 kg/m<sup>3</sup>). Jos syötteenä käytetään vain maatilän omia materiaaleja, hygienisointia ei tarvita.

Molemmat valinnat, separointi ja hygienisointi, vaikuttavat biokaasulaitoksen energiankulutukseen ja investointikustannuksiin. Hygienisoinnin aiheuttama energiankulutuksen kasvu on melko vähäistä (vain sähkönkulutus huomioitu), koska laskuri olettaa, että hygienisointiyksikössä 70-asteiseksi lämmitetty materiaali syötetään reaktoriin välittömästi (vähentää reaktorin lämmitystarvetta, reaktori pidetään 35 asteen lämpötilassa).

## 5. Energia: CHP-tuotanto

### Energiantuotantosuunnan valinta

Biokaasulaitoksen kokonaisenergiantuotto (tuotetun biokaasun energiasisältö) on 930 MWh/a. Sitä vastaava reaktorin kaasuteho on 106 kW. Tuotetun biokaasun/raakakaasun tilavuus on 153 204 m<sup>3</sup>.

Huom! Biokaasulaitoksen oma lämmön tarve katetaan lämmön tuotannolla biokaasusta. Vaihtoehtoisesti laitoksen oma lämmön tarve voidaan tuottaa myös CHP-tuotannolla. Säädä tällöin manuaalisesti lämmön tuotanto nolnaan.


Muokkaa	Energiantuotantomuoto	Tuotantomuodon jakauma	Energiantuotto (kWh/a)	Keskiteho (kW)
	Lämmön tuotanto	0 %	0	0
<b>2.</b>	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)	100 % <b>1.</b>	-	-
→	CHP: lämmön osuus		576 540	66
→	CHP: sähkön osuus		288 270	33
	Liikennepolttoaine	0 %	0	-
<input type="checkbox"/>	Myydään omalta tankkausasemalta			
	Siirto ja myynti kaasuna	0 %	0	-
	Poltto soihdussa / hävikki	0 %	0	-
	<b>Yhteensä:</b>	<b>100 %</b>	<b>864 809 kWh/a</b>	

- Laskurissa biokaasulaitoksen tarvitsema lämpöenergia (reaktorin lämmitys) tuotetaan aina biokaasusta. Tämän vuoksi oletusarvona on, että osa kaasusta menee lämpökattilalle. Vaihtoehtoisesti laitoksen tarvitsema lämpö voidaan tuottaa CHP-yksiköllä (sähkön ja lämmön yhteistuotantoyksikkö, esim. sähkögeneraattori, jota pyörittää lämmön talteenotolla varustettu ottomoottori). Jos kaikki lämpö halutaan tuottaa CHP-yksiköllä, lämmöntuotanto voidaan muuttaa liukusäätimestä nolaksi, jonka jälkeen CHP-tuotannon osuus voidaan asettaa 100 %:iin.
- CHP-yksikön lämpöhyötysuhde ja sähköhyötysuhde voidaan muuttaa muokkaa-painikkeesta. Laskurin oletusarvona on, että laite muuttaa biokaasun energiasisällöstä 31 % sähköksi ja 62 % lämmöksi (lopun 7 % on hukkalämpöä).
- Syötteiden jakaantumista vuoden eri kuukausille voidaan muuttaa muokkaa-painikkeesta. Oletuksena on syötteiden jakaantuminen tasaisesti vuoden jokaiselle päivälle.
- Jos kuukausittaista ulkolämpötilaa tai syötteiden lämpötiloja voidaan muuttaa muokauspainikkeen kautta. Ulkolämpötilat perustuvat Jyväskylän dataan ja edustavat keskimääräisesti Suomen olosuhteita.
- Oman yrityksen (esim. maatilan) ja biokaasulaitoksen energiankulutus voidaan muuttaa tämän kynä-painikkeen kautta.
- Tämä ikkuna tulee näkyviin napsauttamalla yllä mainittua linkkiä (numero 5). Varsinkin CHP-tuotannossa valitaan, oletetaan usein, että suurin osa biokaasusta tuotetusta lämmöstä ja sähköstä käytetään tilalla. Lisää tähän arvio maatilan vuotuisesta lämmönkulutuksesta. Se voidaan antaa kuukausittain napsauttamalla oikealla olevaa muokkaa-painiketta. Jos käyttäjä muuttaa kuukausikohtaisia kulutuksia, vuosikulutus lasketaan automaattisesti uudelleen.

## Käytettävien syötteiden jakautuminen vuodelle

Lähtökohtaisesti vuotuisten syötteiden oletetaan jakautuvan tasaisesti vuoden kaikille kuukausille. Tarvittaessa jakautumista voi (rajoitetusti) säätää tästä:  **3.**

## Kuukausittaiset ulko- ja syötelämpötilat

Laskennassa käytettävä ulkoilman kuukausittaisia keskilämpötiloja voi tarkastella ja säätää tästä:  **4.**

## Biokaasulaitoksen ja oman yrityksen energiankulutus

Mikäli energiaa on tarkoitus tuottaa oman yrityksen (esim. maatilan) käyttöön, voi yrityksen oman sähkö- ja lämpöenergian kulutuksen ilmoittaa muokkaussivulla, jonne pääsee -merkin kohdalta. Yrityksen sähkönkulutus oletetaan tasaiseksi vuositasona, mutta lämmönkulutus riippuu usein vuodenajasta.

Biokaasulaitos tarvitsee sähköenergiaa mm. pumppujen ja sekoittimien toimintaan sekä lämpöenergiaa syötteiden lämmitykseen ja korvaamaan reaktorin lämpöhäviöitä. Laskuri arvioi nämä laitoksen tarpeet syötettyjen tietojen perusteella.

Muokkaa	Energia	Laitoksen kulutus (kWh/a)	Oman yrityksen kulutus (kWh/a)
<b>5.</b> 	Lämpö	125 618	0
	Sähkö	52 726	0

Näytä/piilota kuukausittaiset energiankulutuskaaviot

## Energiankäytön yhteenveto

Energiamuoto	Tuotantomäärä (kWh/a)	Laitoksen oma käyttö (kWh/a)	Yrityksen oma käyttö (kWh/a)	Myyntipotentiaali (kWh/a)	Potentiaalista myydään (%)	Myytävä määrä (kWh/a)	Ylijäämäenergia (kWh/a)
Lämpö	576 540	125 618	0	450 922	100	450 922	0
Sähkö	288 270	52 726	0	235 544	100	235 544	0
Liikennepolttoaine	0	-	0	0	100	0	0
Siirto ja myynti	0	-	-	0	100	0	0

Näytä/piilota kuukausittaiset energiantuotantokaaviot

- Lisää tähän arvio oman yrityksen (maatilan) vuotuisesta sähkönkulutuksesta. Oletuksena on kulutuksen jakaantuminen tasaisesti vuoden kaikille päiville. Kulutus voidaan antaa kuukausittain napsauttamalla oikealla olevaa muokkaa-painiketta. Jos kuukausikohtaisia kulutuksia muutetaan, laskuri laskee vuosikulutuksen uudestaan.
- Valmiiksi laskettuja biokaasulaitoksen lämmön ja sähkön kulutuksia on mahdollista muuttaa vuosi- tai kuukausitasolla.
- Energia-välilehden alaosassa on yhteenvetotaulukko energiantuotannosta sekä biokaasulaitoksen ja oman yrityksen (maatilan) kulutuksesta. Usein kaikkea energiaa ei saada käytettyä biokaasulaitoksessa ja omassa yrityksessä, jolloin ylijäämäenergia on potentiaalisesti myytävissä, voi olla myytävissä (myyntipotentiaali). Laskurissa on oletuksena, että ylijäämälämmön myyntipotentiaali on 0 % (ei ole esim. kaukolämpöverkkoa, johon myydä). Kuvan esimerkissä kuitenkin oletetaan, että kaikki ylijäämälämpö saadaan myytyä kasvihuoneelle, jolloin myyntipotentiaaliksi on valittu 100 %. Ylijäämä-sähkön myyntipotentiaaliksi on oletettu 100 %, koska se voidaan myydä verkkoon.

# Biokaasulaitoksen ja oman yrityksen energiankulutus-tietojen muokkaus

Lämpö		
<u>Biokaasulaitoksen lämmönkulutus</u>		
Biokaasulaitos kuluttaa lämpöä	125618 kWh/a	<a href="#">Muokkaa kuukausittain</a>
→ Kulutus tuotetun energian kokonaismäärästä n	14 %	
<u>Oman yrityksen lämmönkulutus</u>		
Oman yrityksen lämmönkulutus	<input type="text" value="200000"/> kWh/a	<a href="#">Muokkaa kuukausittain</a>
Sähkö		
<u>Biokaasulaitoksen sähkönkulutus</u>		
Biokaasulaitos kuluttaa sähköä	52726 kWh/a	<a href="#">Muokkaa kuukausittain</a>
<u>Oman yrityksen sähkönkulutus</u>		
Oman yrityksen sähkön kokonaiskulutus	<input type="text" value="200000"/> kWh/a	<a href="#">Muokkaa kuukausittain</a>

**6.** → **7.** → **8.**

[Tallenna ja sulje](#)

## 6. Tekniikka: kuivamädätys

Kuivamädätykseen sopivan syötteen kuiva-ainepitoisuus on vähintään 20 %. Kuivamädätykseen menevä syöteseos voi koostua esimerkiksi seuraavista syötteistä:

- siipikarjan lanta 100 t/a
- hevosen lanta 400 t/a
- säilörehu (heinä) 1500 t/a

Tällöin kokonaissyötteen määrä olisi 2000 t/a ja seoksen kuiva-ainepitoisuus olisi 31 %. Kun Laitostyyppi-välilehdellä on valuttu kuivamädätys, Tekniikka-välilehdellä avautuu seuraava ikkuna:

### Tekniikka

Laskuri olettaa laitokseen kuuluvan kaksi samankokoista reaktorisiltoa, joita täytetään vuorotellen, jotta on useampia. Yhdessä reaktorisilossa voi olla 2, 3 tai 4 panosta vuodessa. Käyttäjä valitsee panosten l. tyhjennysrytmi sopii tilalle. Pienempi panosten lukumäärä mahdollistaa pidemmän viipymän ja korkear panosten lukumäärä pienentää tarvittavaa reaktoritilavuutta.

#### Tekniset tiedot

Reaktorisiltojen lkm	2
Panosten lkm vuodessa siltoa kohti	3
Panoksen viipymä	122 d
Yhden reaktorisiloon tilavuus	833 m <sup>3</sup>
Raaka-aineiden metaanintuottopotentiaali	167 615 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / a
Metaanintuottopotentiaalın toteuma	89 %

Hygienisointiyksikkö

Ei  
 Kyllä

---

#### Syöte ja mädäte

Syötteen kuiva-ainepitoisuus	31 %
Syötteen kokonaismäärä	2 000 t
Reaktorisiltojen varastointikapasiteetti	1 667 m <sup>3</sup>
Lisävarastointitilan tarve käsittelyjäännökselle	1 667 m <sup>3</sup>

Laskuri olettaa, että laitoksella on kaksi samankokoista reaktorisiltoa, joita täytetään vuorotellen tasaisen kaasuntuoton varmistamiseksi. Todellisuudessa kuivamädätyssiiloja voi olla useita.

1. Reaktoriin voidaan ladata 2, 3 tai 4 panosta vuodessa. Käyttäjä voi valita panoksien määrän esimerkiksi sen mukaan, miten reaktoreiden täyttö- ja tyhjennysaikataulu sopii yhteen tilan muiden toimintojen kanssa. Pienempi määrä panoksia vuodessa johtaa pidempään viipymäaikaan ja siihen, että syötteiden metaanintuottopotentiaalista saadaan hyödynnettyä suurempi osa. Toisaalta suurempi panosten lukumäärä vuodessa vähentää tarvittavaa reaktoritilavuutta.
2. Tässä esimerkissä käytetään vain maatalan syötteitä, jolloin hygienisointia ei tarvita.

## 7. Energia: kuivamädätys & liikennepolttoaineen myynti

### Energiantuotantosuunnan valinta

Biokaasulaitoksen kokonaisenergiantuotto (tuotetun biokaasun energiasisältö) on 1 492 MWh/a. Sitä vastaava reaktorin kaasuteho on 170 kW. Tuotetun biokaasun/raakakaasun tilavuus on 264 867 m<sup>3</sup>.

Muokkaa	Energiantuotantomuoto	Tuotantomuodon jakauma	Energiantuotto (kWh/a)	Keskiteho (kW)
2.	Lämmön tuotanto	14 %	177 571	20
3.	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)	0 %		-
	→ CHP: lämmön osuus		0	0
	→ CHP: sähkön osuus		0	0
5.	Liikennepolttoaine	86 %	1 257 620	-
6.	<input checked="" type="checkbox"/> Myydään omalta tankkausasemalta			
	Siirto ja myynti kaasuna	0 %	0	-
	Poltto soihdussa / hävikki	0 %	0	-
	<b>Yhteensä;</b>	<b>100 %</b>	<b>1 435 191 kWh/a</b>	

- Oletuksena osa biokaasusta käytetään biokaasureaktorin tarvitseman lämmön tuottamiseen lämpökattilalla. Tarvittaessa kaikki biokaasu voidaan käyttää muuhun kuin lämmöntuotantoon (lämpökattilalla tai CHP-yksiköllä), mutta tällöin Tuotot ja kulut -välilehdellä lasketaan kustannus ostolämmölle.
- Lämpökattilan lämpöhyötysuhdetta voidaan muuttaa kynä-painikkeen kautta. Oletusarvona on 85 % hyötysuhde, jolloin kaasun energiasisällöstä menetetään 15 % hukka-lämpönä.
- CHP-yksikön sähköhyötysuhdetta (oletus 31 %) ja lämpöhyötysuhdetta (oletus 62 %) voidaan muuttaa kynä-painikkeen kautta
- Tässä esimerkissä suurin osa biokaasusta jalostetaan ("puhdistetaan") biometaaniksi eli liikennebiokaasuksi.
- Kaasun jalostuslaitteen hyötysuhdetta voidaan muuttaa kynä-painikkeen kautta. Oletusarvona on 98 %, eli että jalostukseen menevän kaasun energiasisällöstä menetetään 2 %.
- Tässä esimerkissä tuotettu biometaani myydään omalta tankkausasemalta (valintaruutu rastitettu). Vaihtoehtoisesti biometaani voidaan myydä polttoaineen jakelijan kautta. Valinta vaikuttaa biokaasulaitoksen investointihintaan ja myyntihintaan (korkeampi myyntihinta myytäessä omalta tankkausasemalta).

## 8. Ravinteet

Ravinteet-välilehti laskee vuoden aikana biokaasulaitoksesta ulos tulevan mädätteen määrän sekä mädätteen sisältämän ravinteiden määrän ja ravinnepitoisuudet (kg/t; typpi, fosfori, kalium ja liukoinen typpi). Esimerkissä on valittu Tekniikka-välilehdellä separointi ruuvipuristimella, joten mädätysjäännöksen tiedot on esitetty kuivajakeena ja nestejakeena.

Tällä välilehdellä käyttäjä ei voi tehdä omia valintoja. Laskuri laskee kuitenkin, kuinka paljon syötteen liukoisen typen määrä ja pitoisuus kasvaa biokaasuprosessissa (partikkelimaista orgaanista tyypeä hajoaa liukoiseksi orgaaniseksi tyypeksi ja edelleen epäorgaaniseksi tyypeksi, lähinnä ammoniumtyypeksi). Typen liukoistumisella on rahallista arvoa, sillä liukoinen typpi on kasveille käyttökelpoista. Tämä näkyy biokaasulaitoksen tuottona Tuotot ja kustannukset -välilehdellä.

### Käsittelyjäännöksen ravinne määrät

Käsittelyjäännöksen kokonaismäärä on 3 903 tonnia vuodessa. Alle on taulukoitu arvot erikseen kuiva- ja nestejakeiden osalta.

Typen osalta ilmoitetaan erikseen kokonaismäärä ja vesiliukoisen typen määrä (joka sisältyy kokonaismäärään). Kaliumin ja fosforin osalta käsitellään kokonaismääriä. Raaka-aineiden orgaanisesta tyypestä osa liukoistuu biokaasuntuotantoprosessin aikana. Liukoisen typen määrä lisääntyy tässä tapauksessa laskennallisesti n. 32 %. Todellinen määrä riippuu useista seikoista.

#### Kuivajae (390 t)

Ravinne	Pitoisuus kuivajakeessa (kg/t)	Ravinne määrä (kg)
Kokonaistyyppi (N)	10,55	4 117
Liukoinen typpi	4,53	1 769
Fosfori (P)	2,76	1 079
Kalium (K)	5,39	2 102

#### Nestejae (3 513 t)

Ravinne	Pitoisuus nestejakeessa (kg/t)	Ravinne määrä (kg)
Kokonaistyyppi (N)	5,00	17 553
Liukoinen typpi	3,37	11 836
Fosfori (P)	0,75	2 641
Kalium (K)	4,84	17 008

### Liukoisen typen määrän lisääntyminen

Liukoisen typen lisääntyminen parantaa syötteen lannoitusarvoa. Jos käsittelyjäännös käytetään lannoitteena omalla tilalla, voidaan lannoitusarvon parantuminen huomioida biokaasulaitoksen tulona.

Tieto	Määrä	Yksikkö
Liukoisen typen määrä lisääntyy	3 274,62	kg/a
Liukoisen typen määrän lisäyksen rahallinen arvo	2 783,43	€/a

Käsittelyjäännöksen pääravinteiden määrät alkuaineiden prosenttiosuuksina tuorepainosta:

Kuivajae: N-P-K: 0,45-0,28-0,54

Nestejae: N-P-K: 0,34-0,08-0,48

## 9. Investoinnit: märkä- tai puolikuivämädätys & CHP-tuotanto

Kokonaisinvestointikustannus koostuu kuvassa esitetyistä osista. Mahdollisia tukia ei ole vielä tässä vaiheessa huomioitu, vaan ne määritetään Kannattavuus-välilehdellä. Biokaasulaitoksen eri osien investointikustannuksia voidaan muuttaa napauttamalla oikeanpuoleisessa sarakkeessa esitettyjä lukuja ja syöttämällä uudet luvut.

1. Käyttäjä voi halutessaan valita laitoksen eri osille oletusarvoista poikkeavia käyttöiä.
2. Mädätysjäännösvarastolle ei ole oletusarvoisesti kustannusta, sillä mautiloilla on yleensä tarkoitukseen sopiva (olemassa oleva) lantavarasto. Käyttäjä voi halutessaan lisätä varaston kustannuksen.

Investointikokonaisuus	Käyttöikä (a)	Arvioitu hinta (€)
Lietesyötesäiliö 1	10	0
Lietesyötesäiliö 2	10	0
Lietesyötesäiliö 3	10	0
Lietesyötesäiliön 1 sekoitin	10	0
Lietesyötesäiliön 2 sekoitin	10	0
Lietesyötesäiliön 3 sekoitin	10	0
Lietesyötesäiliön 1 pumppu	10	0
Lietesyötesäiliön 2 pumppu	10	0
Lietesyötesäiliön 3 pumppu	10	0
Reaktorin rakenteet (sis. pohjalaatat)	10	107 300
Reaktorin sekoitin/sekoittimet	10	10 900
Jälkikaasualtaan rakenteet (sis. pohjalaatat)	10	107 300
Jälkikaasualtaan sekoitin	10	7 000
Muu prosessitekniikka	10	60 500
Muut rakenteet (tekniset tilat, putket, kondenssikaivot)	20	41 800
Lämpökattila	15	10 800
Boileri, putkitukset ja automaatiolaitännät	20	49 700
CHP-yksikkö + kaasun puhallus, aktiivihillit ja kondenssiveden poisto	20	97 500
Yllä mainittujen asennustyöt & käyttöönotto	20	79 600
Projektsuunnittelu, työnjohto ja luvat	20	35 600
Soihtu	20	10 800
Muut (toimittajan rahoituskulut, matkakulut, rahti...)	20	22 800
Jalostin + paineistus 250 bariin, sis. asennus	20	0
Tankkausasema jalostimen yhteydessä, sis. Asennus	20	0
Maatyöt	20	31 700
Säikköliittymä veskkoon	20	27 200
Hygienisointiyksikkö	15	50 000
Käsittelyjäännösvarasto: separoinnin kuivajae	15	0
Käsittelyjäännösvarasto: lietemäinen jäännös tai separoinnin nestejae	15	0
Muu	10	0
<b>Yhteensä; (alv 0 %)</b>		<b>750 500</b>

## 10. Tuotot ja kulut

Kokonaisuus		Tieto	Määrä	Hinta (alv 0 %)	Vuosituotto
<b>Energia</b>					
	Korvaushyöty sähkön omasta käytöstä		200 000,00 kWh/a	0,11 €/kWh	22 000,00 €/a
	Korvaushyöty lämmön omasta käytöstä		200 000,00 kWh/a	0,07 €/kWh	14 000,00 €/a
	Sähköenergian myynti		35 543,78 kWh/a	0,05 €/kWh	1 777,19 €/a
	Lämpöenergian myynti		250 921,56 kWh/a	0,04 €/kWh	10 036,86 €/a
	Siirto ja myynti kaasuna		0,00 kWh/a	0,05 €/kWh	0,00 €/a
<b>Porttimaksulliset syötteen</b>					
	Porttimaksullinen syöte		300 t/a	20,00 €/t	6 000,00 €/a
<b>Käsittelyjäännöksen lannoitusarvo</b>					
	Liukoisen typen lisääntyminen		3 070,70 kg/a	0,85 €/kg	2 610,09 €/a
Tuotot yhteensä					56 424,15 €/a

1. Biokaasulaitos saa tuloja tuottamastaan nettoenergiasta, jota voidaan käyttää omalla maatilalla ja/tai myydä. Energiämäärät kilowattitunteina siirtyvät automaattisesti Energia-välilehdeltä. Laskuri antaa oletusarvoja yksikköhinoista (€/kWh), joita käyttäjä voi muuttaa halutessaan. Lopuksi laskuri laskee vuotuisen tulon.
2. Tässä esimerkissä tuloa saadaan myös porttimaksusta, jota biokaasulaitos saa biojätteen käsittelystä. Käyttäjän täytyy kirjoittaa laatikkoon porttimaksullisen syötteen vuotuinen määrä (t/a) ja yksikköhinta (€/t), joiden perusteella laskuri laskee vuotuisen tuoton.
3. Ravinteet-välilehdellä laskettu prosessissa liukoistuvan typen määrä vuodessa (ka/a) siirtyy tähän automaattisesti. Käyttäjä voi asettaa typpikilolle hinnan ja laskuri laskee vuotuisen tuoton (kuva luvussa 11).
4. Käyttäjä voi asettaa säilörehulle tuotanto- ja varastointikustannuksen sekä murskaus- ja syöttökustannuksen. Tässä esimerkissä säilörehulle ei ole tuotantokustannusta, koska sen oletetaan olevan ilmaista ylijäämänsäilörehua. Murskaukselle ja syötölle käytetään laskurin oletusarvoa 8,5 €/t (traktorikäyttöinen apevaunu ja siitä kuljettimella biokaasureaktorin syöttöruuville).
5. Lisäksi syötteenä valittu yhdyskuntien biojäte täytyy murskata ja syöttää reaktoriin. Tämän kustannuksen voi laittaa kohtaan "Kiinteän raaka-aineen jatkokäsittely, esim. murskaus ja lastaus" (määrä t/a ja kustannus €/t).
6. Biojätteen kuljetuskustannus on lisätty kohtaan "Raaka-aineen kuljetus" (tässä tapauksessa biokaasulaitos maksaa kuljetuksen, vaikka saakin porttimaksun biojätteestä).
7. Syötteistä jäljelle jäävän lietemäisen käsittelyjäännöksen (mädätysjäännös) vuotuinen määrä on laskettu Ravinteet-välilehdellä ja siirretty tähän. Käyttäjä voi lisätä levityskustannuksen tarvittaessa. Esimerkissä ei ole laitettu levityskustannusta, koska maatalo joutuisi joka tapauksessa levittämään lietelantaa pelloilleen.
8. Tässä tapauksessa biokaasulaitos ei joudu ostamaan sähköä eikä lämpöä, koska se tuottaa itse tarvitsemansa sähkön ja lämmön biokaasusta CHP-yksiköllä. Jos biokaasusta ei tuoteta tarpeeksi (tai ollenkaan) sähköä tai lämpöenergiaa, pitää

biokaasulaitoksen tarvitsema energia hankkia ulkopuolelta. Hankintahinnat (€/kWh) voi määrittää itse.

9. CHP-yksikön huolto- ja ylläpitokustannus voi olla merkittävä kustannus biokaasulaitokselle, joten se ilmoitetaan erikseen, euroina tuotettua sähkökilowattituntia kohden (€/kWh<sub>el</sub>). Kilowattituntikohtainen kustannus on yleensä sitä pienempi, mitä suurempi laitos.
10. Tässä märkämädätysesimerkissä ei ole konetyön kustannuksia. Konetyö voi olla esimerkiksi kuivämädätyslaitoksen reaktoreiden tyhjennystä ja täyttöä.

## Käyttökustannukset

Kokonaisuus	Kululaji	Määrä	Hinta (alv 0 %)	Vuosikustannus
<b>Syötteet ja käsittelyjäännös</b>				
	Rehun tuotanto ja varastointi	4000 t/a	4. 20,00 €/t	80 000,00 €/a
	Rehun murskaus ja lastaus	4000 t/a	8,5 €/t	34 000,00 €/a
	Kiinteän raaka-aineen jatkokäsittely, esim. murskaus ja lastaus	100 t/a	5. 8,5 €/t	850,00 €/a
	Lietemäisen raaka-aineen jatkokäsittely	0 t/a	0,00 €/t	0,00 €/a
	Raaka-aineen kuljetus	6. 1000 t/a	10,00 €/t	10 000,00 €/a
	Käsittelyjäännöksen rahti ja levitys	9 328,38 t/a	0,00 €/t	0,00 €/a
<b>Ostohyödykkeet</b>				
	Ostosähkö	0,00 kWh/a	0,11 €/kWh	0,00 €/a
	Ostolämpö	0,00 kWh/a	0,07 €/kWh	0,00 €/a
	Kemikaali- ja käyttövesikustannukset			0,00 €/a
<b>Ylläpito-, huolto- ja korjauskustannukset</b>				
	CHP	944 826,56 kWh (sähkö) / a	9. 0,013 €/kWh	12 282,75 €/a
	Liikennekaasun jalostus			0,00 €/a
	Tankkausasema (sis. maatyöt)			0,00 €/a
	Laitoksen muu tekniikka ja rakenteet			7779,00 €/a
	Konetyö	0 h/a	0,00 €/h	0,00 €/a
	Päivittäinen työ (tarkastus + pienet korjaukset)	567,47 h/a	25,80 €/h	14 640,73 €/a
	Hallinnollinen työ			2000,00 €/a
<b>Vakuutukset ja muut kulut</b>				
	Vakuutus (oletus: 0,5 % investointihinnasta)			3433,50 €/a
	Muu kustannus			0,00 €/a
<b>Kustannukset yhteensä</b>				<b>164 985,97 €/a</b>

# 11. Kannattavuus

## Kannattavuus

### Kannattavuuden laskennan perustiedot

Investointikustannukset	490 200,00 €
Tuki	1. → 50 %
Tuen määrä	245 100,00 €
Investointikustannus tuen jälkeen	245 100,00 €
Laskentakorkokanta	2. → 4 %

### Kannattavuuden tunnusluvut

Annuiteettimenetelmä	
Annuiteetti tuki huomioiden	-23 909,54 €
Kate	28 842,09 €
Tulos	3. → 4 932,54 €
Takaisinmaksuajan menetelmä	
Takaisinmaksuaika tuki huomioiden	4. → 8,50 a

1. Tässä kohdassa käyttäjä voi valita liukusäätimestä biokaasulaitoksen investoituen tason. Esi-merkiksi maatilan biokaasulaitos, jonka tuottamasta nettoenergiasta suurin osa käytetään maatilalla, voi saada 50 % investointituen (tilanne 2022).
2. Annuiteetin laskentaa varten tarvitaan laskentakorkokanta, jonka käyttäjä voi valita liukusäätimestä (oletusarvona 4 %).
3. Jos annuiteettimenetelmällä laskettu tulos on positiivinen, biokaasulaitos on kannattava.
4. Laskuri laskee biokaasulaitoksen takaisinmaksuajan, huomioiden investointituen. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika, sitä kannattavampi laitos. Biokaasulaitoksen eri osien laskennalliset käyttöiät vaihtelevat yhdeksän (esim. sekoittimet) ja kahdenkymmenen (reaktorirakenteet) vuoden välillä.

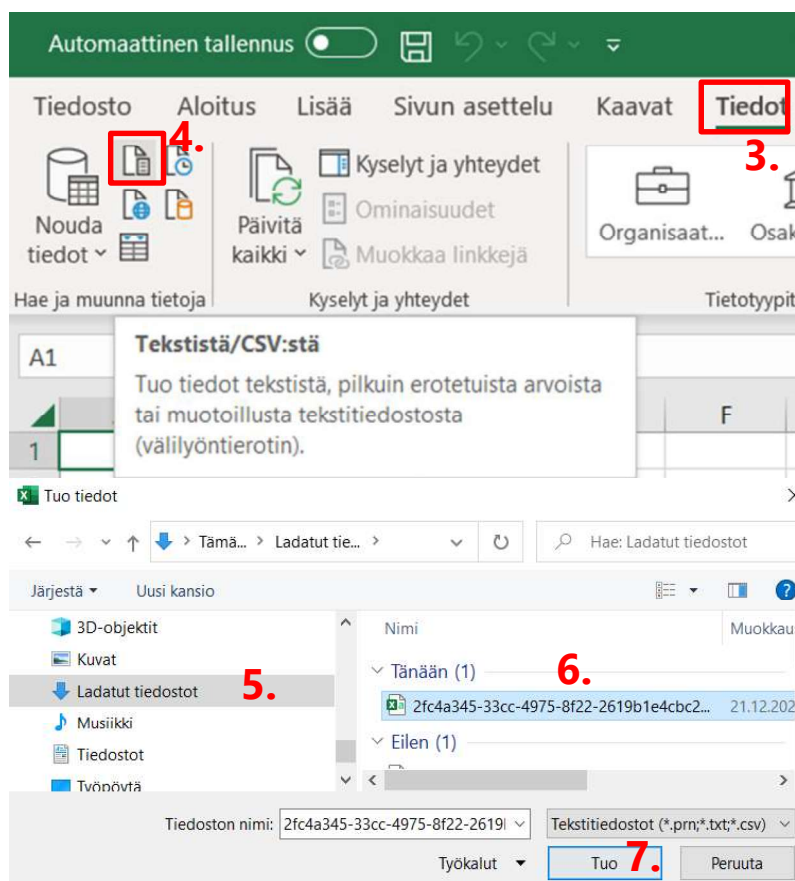
## 12. Yhteenvedo

Yhteenvedossa on esitetty tärkeimmät tiedot syötteistä, biokaasulaitoksesta, energiantuotannosta ja kannattavuudesta. Yhteenvedon voi tallentaa csv- tai pdf-tiedostona.

Yhteenvedo		
Syötteet		
Syötelista		
	Naudan liettelanta	3 500 t/a
	Yhdyskuntien biojäte	300 t/a
	Säilörehu (nurmiheinät)	300 t/a

Yhteenvedon ä- ja ö-kirjaimet näkyvät oikeassa muodossa, kun CSV-tiedosto avataan Excelissä:

1. Paina "Lataa CSV" Biokaasulaskurin Yhteenvedo-sivulla
2. Avaa Excel
3. Mene Tiedot-välilehdelle
4. Paina painiketta "Tekstistä/CSV:stä"
5. Valitse "Ladatus tiedostot"
6. Valitse Biokaasulaskurista lataamasi CSV-tiedosto
7. Paina painiketta "Tuo"
8. Paina "Lataa"



2fc4a345-33cc-4975-8f22-2619b1e4cbc2.csv

Tiedoston alkuperä: 65001: Unicode (UTF-8) Erotin: Puolipiste Tietotyypin tunnistus: Perustuu ensimmäi

Syötteet	_1	_2
Syötelista	<i>null</i>	
Naudan lietelanta	10000	t/a
Säilörehu (nurmiheinät)	3000	t/a
Syötteet yhteensä	<i>null</i>	
Yhteismäärä	13000	t/a
Kuiva-aineen määrä	1800	t/a
Kuiva-ainepitoisuus	13,85	%
Laimennusveden määrä	0	m3/a
Tekniikka	<i>null</i>	

8.

Lataa

# Laskentamenetelmät ja lähtöarvot

## Syötteiden ominaisuudet

Laskurissa on käytetty syötteiden ominaisuuksina seuraavassa taulukossa 3 esitettyjä oletusarvoja.

**Taulukko 3.** Biokaasulaskurin syötteiden ominaisuudet. BMP (Biochemical Methane Potential) = syötteen orgaanisen aineen (VS, Volatile Solids) metaanintuottopotentiaali.

Syöte	Kuiva- aine %	Org. aine % ka:sta	BMP	N kg/t	Liuk. N kg/t	P kg/t	K kg/t	CH <sub>4</sub> - pit. %	Lämpö °C	Olo- muoto
Naudan lietelanta	9	80	200	5	2,9	0,9	4,5	65	9,5	Liete
Siipikarjanlanta, muu siipikarja	68	85	155	27,3	6,7	12	20	65	4	Kiinteä
Sian lietelannasta separoitu kuivajae	27	82	305	4,6	1,5	1,8	0,9	65	4	Kiinteä
Naudan lietelannasta separoitu kuivajae	24	85	190	6,4	2,1	1,3	4,1	65	4	Kiinteä
Vihannesjäte	27	88	320	5,3	0,6	0,6	2,2	55	4	Kiinteä
Sian lietelanta	8,2	82	320	4,6	2,9	1	1,7	65	9,5	Liete
Siipikarjalanta, munivat	35	75	260	18,6	9,5	6,1	9	65	4	Kiinteä
Elintarvikejalostuksen puhdistamoliete	20	70	300	8	3,2	4	2	65	9,5	Liete
Sian kuivikelanta	21	85	230	8,2	3,6	2,9	4	65	4	Kiinteä
Maitojäte (hera)	6	90	420	3	1,5	0,5	1,4	60	4	Liete
Rasvajäte	40	90	800	1,2	0,4	0,4	4	70	4	Kiinteä
Säilörehu (nurmiheinät)	30	90	350	7,7	0,3	0,9	8,4	55	4	Kiinteä
Suojavyöhyke- ja LHP-nurmi	40	90	280	5	0,4	0,6	5,4	55	4	Kiinteä
Glyseroli	95	99	580	0	0	0	0	70	4	Liete
Lohen perkuujäte	71	99	730	8,1	0,1	1,3	1,2	70	4	Kiinteä
Yhdyskuntien jätevesiliete	20	60	250	11	2,5	5,6	2	65	9,5	Liete
Leipomojäte	74	99	410	14	0	1,1	1,5	50	4	Kiinteä
Naudan kuivikelanta	30	85	200	5,4	1,9	1	5	65	4	Kiinteä
Metsäteollisuuden jätevesien primääriliete	20	70	130	2	0	0	0,7	55	9,5	Liete
Säilörehu (apila - timotei)	26	92	290	11	0,4	0,7	0,3	55	4	Kiinteä
Järviruoko, tuoreena korjattu	32	97	250	3,2	0,2	0,3	9,6	55	4	Kiinteä
Laimennusvesi	0	0	0	0	0	0	0	0	4	Liete
Makeisjäte	90	95	380	13,5	6,8	3,6	9	50	4	Kiinteä
Yhdyskuntien biojäte	28	91	450	6,2	0,3	1	2,8	60	4	Kiinteä
Olki	90	94	280	4,5	0	0,9	12,8	55	4	Kiinteä
Teurasjäte	35	90	600	31,5	1,8	2,5	4	70	4	Kiinteä
Sisävesikala	21	80	370	24	0,6	7,4	2,8	65	4	Kiinteä
Viljan lajittelujäte	87	90	230	4,4	2,2	0,9	13,1	55	4	Kiinteä
Metsäteollisuuden biol. puhdistamon liete	20	76	100	12,7	0,3	0,7	0,3	65	9,5	Liete
Öljykasvien korret	90	92	250	14,4	0,7	0,9	9	55	4	Kiinteä
Lampaan/vuohenlanta	25	80	100	7,1	2,8	1,4	7	65	4	Kiinteä
Turkiseläintenlanta	33	79	235	29,6	20,6	13,4	2,3	65	4	Kiinteä
Hevoslanta	35	85	160	4,2	1,7	0,8	5	65	4	Kiinteä

## Hydraulisen viipymän ja orgaanisen kuormituksen laskenta

Märkä- ja puolikuivamädätyksessä syötteen hydraulinen viipymä (HRT, Hydraulic Retention Time) reaktorissa sekä jälkikaasuuntumisaltaassa laskettiin kaavalla 1:

$$HRT = V_R / V \quad (1)$$

jossa HRT on hydraulinen viipymä (d)  $V_R$  reaktorin tai jälkikaasualtaan prosessi- eli lietetilavuus.

$V$  reaktorin syötteen tilavuus aikayksikössä ( $m^3/d$ ,  $1 m^3 = 1$  tonni)

Biokaasulaitoksen (reaktorin) ja jälkikaasualtaan orgaaninen kuormitus (OLR) laskettiin kaavalla 2:

$$OLR = m * C / V_R \quad (2)$$

jossa OLR on orgaaninen kuormitus ( $kgVS/(m^3*d)$ )  $m$  syötteen tuoremassa ( $t/d$ ),  $C$  on syötteen orgaanisen aineen (VS) pitoisuus ja  $V_R$  reaktorin lietetilavuus.

## Metaanintuotto / metaanintuottopotentiaalın toteuma märkä- ja puolikuivamädätyksessä

Märkä- ja puolikuivamädätyksessä reaktorin ja jälkikaasuuntumisaltaan metaanintuotot laskettiin Chenin & Hashimoton (1978) staattisella mallilla, kaavalla 3:

$$G = B_0 * L * (1 - K / (\mu_m * \theta - 1 + K)) \quad (3)$$

jossa  $G$  = reaktorin tuotto ( $m^3 CH_4/m^3$  reaktorinestettä),  $B_0$  = kokonaissyötteen BMP eli metaanintuottopotentiaali ( $m^3 CH_4/kg VS$ ),  $L$  = orgaaninen kuormitus eli OLR ( $kgVS/m^3$  reaktorinestettä\*d)  $K$  = kineettinen parametri (ks. Kaava 4),  $\mu_m$  = maksimi spesifi kasvunopeus (mikrobit) (ks. kaava 5) ja  $\theta$  = syötteen hydraulinen viipymä reaktorissa eli HRT (d)

Kaavan 3 kineettinen parametri  $K$  laskettiin kaavalla 4, jota oli muokattu vastaamaan Luke Maaningan biokaasulaitoksen naudan lietelannan ja kasvimassan yhteiskäsittelykokeissa saatuihin tuloksiin (Pyykkönen ym. 2013):

$$K = 2 + (0,0016) * EXP(0,06 * S_0) \quad (4)$$

jossa  $S_0$  on kokonaissyötteen orgaanisen aineen (VS) pitoisuus ( $kg VS/t$ , oletustiheys kaikille syönteille  $1000 kg/m^3$ ).

Maksimaalinen spesifi mikrobien kasvunopeus  $\mu_m$  laskettiin kaavalla 5 (Hashimoto ym. 1981):

$$\mu_m = 0,013 * T - 0,129 \quad (5)$$

jossa  $T$  = reaktorin ( $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ) tai jälkikaasuuntumisaltaan ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) lämpötila.

**Taulukko 4.** Esimerkki kaasuntuoton Metaanintuottopotentiaalın toteuman laskennasta märkä- tai puolikuivamädätyksessä.

Suure ja yksikkö	Esimerkkiarvo	Kaava / huomio
------------------	---------------	----------------

G = CH <sub>4</sub> -tuotto (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d/m <sup>3</sup> reaktorinestettä)	0,52	$G=B_0*L*(1-K/(\mu_m*\theta-1+K))$
B <sub>0</sub> = BMP (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS)	0,250	Huom. yksikkö: m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg VS
L = OLR (kgVS/(m <sup>3</sup> reaktorinestettä*d))	2,5	Orgaanisen aineen kuormitus
S <sub>0</sub> = syötteen VS-pitoisuus (kg/t)	89	Huom. yksikkö: orgaanisen aineen (VS) pitoisuus prosentteina * 10
K = kineettinen parametri	2,33	$K = 2+(0,0016)*EXP(0,06*S_0)$
μ <sub>m</sub> = mikrobien max kasvunopeus	0,326	μ <sub>m</sub> = 0,013*T-0,129, jossa T on prosessilämpötila (reaktorissa 35 °C ja jälkikaasuuntumisalalla 30 °C)
θ = reaktorin hydraulinen viipymä (HRT) (d)	35	Viipymä = Reaktorin prosessitilavuus / syötemäärä vuorokaudessa
CH <sub>4</sub> -tuotto m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /d	349	Metaanintuotto vuorokaudessa = G* reaktorin prosessitilavuus
BMP-toteuma reaktorissa (osuus)	0,82	Toteuma = Reaktorin tuotto / metaanintuottopotentiaali

### **Metaanintuottopotentiaalın toteuma kuivamädätyksessä**

Kuivamädätyksen metaanintuotto laskettiin Luke Jokioisten Biopajan pilot-mittakaavan panostoimisten suotopetireaktoreiden (tilavuus 2\*1 m<sup>3</sup>) tulosten perusteella, kaavalla 6:

$$\text{Metaanintuottopotentiaalın toteuma (osuus)} = -0,00003*\theta^2+0,0122*\theta-0,15 \quad (6)$$

jossa θ on syötepanoksen viipymäaika reaktorissa.

### **Käsittelyjäännöksen tuoremassan ja ravinnepitoisuuksien laskenta**

Märkä- ja puolikuivamädätyksessä reaktorilietteen ja ulostulevan mädätteen tiheydeksi oletettiin 1000 kg/m<sup>3</sup>. Mädätteen tuoremassa laskettiin vähentämällä syötteen massasta biokaasuprosessissa syntyvän biokaasun massa; biokaasun oletettiin muodostuvan pelkästään metaanista (0,717 kg/m<sup>3</sup>, lämpötila 0 °C ja paine 101,325 kPa) ja hiilidioksidista (1,977 kg/m<sup>3</sup>). Syötteiden metaanipitoisuudet on ilmoitettu taulukossa 3. Orgaanisen aineen (VS) hajoaminen laskettiin syötteiden metaanintuottopotentiaalın sekä niistä syntyvän biokaasun tilavuuspitoisuuden sekä metaanin ja hiilidioksidin tiheyksien perusteella. Mädätteen pääravinteiden (NPK) pitoisuudet (kg/t) laskettiin jakamalla syöteseoksen ravinne-määrä mädätteen tuoremassalla. Biokaasuprosessissa liukoistuvan eli mineralisoituvan tyypin määrä laskettiin olettaen, että orgaanisen tyypin (kokonaistyyppi – liukoinen tyyppi) ja orgaanisen aineen (VS) hajoamisen suhdeluku on 0,6.

### **Separaattoreiden massan ja ravinteiden erottelutehokkuudet**

Märkä- ja puolikuivamädätyksen tuottama lietemäinen käsittelyjäännös voidaan separoida ruuvipuristimella tai dekantterilingolla. Taulukossa 5 on esitetty tuoremassan, kuiva-aineen,

orgaanisen aineen ja ravinteiden erottelutehokkuudet kuivajakeeseen (lopun massakomponenteista päätyvät nestejakeeseen).

**Taulukko 5.** Separaattoreiden erotustehokkuudet (% kustakin massakomponentista kuivajakeeseen) (Pyykkönen & Ervasti 2019).

	Tuore-massa	Kuiva-aine	Org. aine	N	Liuk. N	P	K
Ruuvipuristin	10	45	51	19	13	29	11
Dekanterilinko	18	56	63	31	18	75	15

### **Biokaasulaitoksen energiankulutus märkä- ja puolikuivamädätyksessä**

Märkä- ja puolikuivamädätyslaitosten sähkönkulutus laskettiin taulukossa 5 esitetyillä oletusarvoilla. Osa datasta on saatu kirjallisuudesta. Lopun lukemat valittiin Doranova Oy:n (Saalasti 2022), Metener Oy:n (Lehtonen & Luostarinen 2022) ja Luken Maaningan biokaasulaitoksen datasta johdettujen keskiarvojen ja arvioiden perusteella.

**Taulukko 5.** Märkä- tai puolikuivamädätyslaitosten sähkönkulutuksen laskentaperusteet.

Laite	Arvo	Yksikkö	Lähde
Reaktorin sekoittimet	0,072	kWh/d/m <sup>3</sup> R prosessitil.	Saalasti 2022
Reaktorin kaksoismembraanin puhallin	0,008	kWh/d/m <sup>3</sup> R prosessitil.	Saalasti 2022
Jälkikaasualtaan sekoitin	0,048	kWh/d/m <sup>3</sup> JKA prosessitil.	Luke Maaninka
Jälkikaasualtaan kaksoismembraanin puhallin	0,008	kWh/d/m <sup>3</sup> JKA prosessitil.	Saalasti 2022
Ilman syöttö reaktoriin	0,3	kWh/t kokonaissyötettä	Saalasti 2022
Lietteiden syöttöpumppu	0,4	kWh/t lietesyötettä	Saalasti 2022
Lietesyötesäiliön sekoitin	0,0132	kWh/d/m <sup>3</sup> säiliötilavuutta	Arvio
Syöttöruuvi	0,54	kWh/t kiinteää syötettä	Luke Maaninka
Murskain (apevaunu) + syöttölaite	3,5	kWh/t kiinteää syötettä	Saalasti 2022
Reaktorin lämmityskierron pumput	0,6	kWh/t kokonaissyötettä	Saalasti 2022
Biokaasupuhallin (CHP-yksikkö ja/tai lämpökattila)	0,1	kWh/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	Luke Maaninka
Muu prosessitekniikka	72	kWh/d	Saalasti 2022
Hygienisointiyksikkö	0,085	kWh/t hygienisoitavaa materiaalia	Timonen ym. 2019
Jalostus liikennebiokaasuksi	0,02	kWh/kWh liikennekaasua	Lehtonen & Luostarinen 2022
Liikennebiokaasun paineistus	0,03	kWh/kWh liikennekaasua	Lehtonen & Luostarinen 2022
Tankkausasema	0,005	kWh/kWh liikennekaasua	Lehtonen & Luostarinen 2022
Ruuvipuristin syötteen laimentamisessa	0,6	kWh/t kierrätettävää mädätettä	Pyykkönen & Ervasti 2019

Biokaasureaktori pidetään jatkuvasti halutussa prosessilämpötilassa (Biokaasulaskurissa 35 °C) ja se vaatii siten lämpöenergiaa syötteiden lämmittämiseksi sekä kompensoimaan reaktorirakenteiden läpi tapahtuvaa lämmön johtumista ilmaan (katto, seinät) ja maaperään (pohja). Biokaasulaskurissa käytetyssä mallissa reaktorin lämpöenergian tarvetta vähentää sekoituksen tuottama lämpöenergia. Reaktorin lämpöenergian kokonaistarve (Eyhteensä) laskettiin kaavalla 7:

$$E_{\text{yhteensä}} \text{ (kWh)} = E_{\text{syöte}} + E_{\text{ilma}} + E_{\text{maa}} - E_{\text{sekoitus}} \quad (7)$$

Syötteen lämmitykseen tarvittava energia ( $E_{\text{syöte}}$ ) laskettiin kaavalla 8:

$$E_{\text{syöte}} \text{ (kWh)} = (4,19 - 0,0275 \cdot C_{\text{TS}} / 3,6 \cdot m_{\text{syöte}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{syöte}}) \quad (8)$$

jossa  $C_{\text{TS}}$  on syötteen TS-pitoisuus (ka-pitoisuus),  $m_{\text{syöte}}$  on syöteseoksen tuomassa,  $T_{\text{reaktori}}$  on reaktorin prosessilämpötila (35 °C) ja  $T_{\text{syöte}}$  on syöteseoksen lämpötila.

Lämmön johtuminen reaktorin katon ja seinien läpi ilmaan ( $E_{\text{ilma}}$ ) laskettiin kaavalla 9:

$$E_{\text{ilma}} \text{ (kWh)} = U \cdot (A_{\text{katto}} + A_{\text{vaippa}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{ilma}}) / 1000 \quad (9)$$

jossa  $U$  lämmönläpäisykerroin (3,0 W/(m<sup>2</sup>\*K)),  $A_{\text{katto}}$  on katon pinta-ala (m<sup>2</sup>, katon päällä yleensä sijaitsevaa membraanikaasuvarastoa ei huomioitu lisäeristeenä),  $A_{\text{vaippa}}$  on sylinterinmuotoisen reaktorin vaipan ala (m<sup>2</sup>). Reaktorin mitoituslaskelmissa reaktorin lämmitettävä kokonaistilavuus oli 1,15\*nestetilavuus.

Lämmön johtuminen reaktorin pohjan läpi maahan ( $E_{\text{maa}}$ ) laskettiin kaavalla 10:

$$E_{\text{maa}} \text{ (kWh)} = U \cdot (A_{\text{pohja}}) \cdot (T_{\text{reaktori}} - T_{\text{maa}}) / 1000 \quad (10)$$

jossa  $A_{\text{pohja}}$  on reaktorin pohjan pinta-ala ja  $T_{\text{maa}}$  on maan lämpötila. Reaktorin lämmönkulutuslaskelmissa käytetyt oletusarvot syötteen ja ympäristön lämpötiloille on esitetty taulukossa 5. Käyttäjä voi muuttaa kuukausittaisia lämpötiloja Biokaasulaskurin Energia-välilehdellä kynäpainikkeen takaa.

**Taulukko 5.** Syötteen ja ympäristön lämpötilojen kuukausittaiset oletusarvot Biokaasulaskurissa.

Kuukausi →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Liete-/nestesyötteen (°C)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Kiinteät syötteen (°C)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ilma (°C)	-8,5	-8,6	-3,9	2,2	8,8	13,7	16,5	14,1	9,0	3,8	-2,0	-6,2
Maa (°C)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

### **Kuivamädätyslaitoksen energiankulutus**

Kuivamädätyslaitoksen lämmönkulutus oletettiin olevan 0,385 kWh reaktorikuutiometriä kohti vuorokaudessa. Sähkönkulutus oletettiin olevan 7,3 kWh/syötetonne (Luostarinen 2020).

### **Energiamuunnoslaskelmat**

Yksi normaalikuutio (0 °C, 1 atm) metaania (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>) on alemmalta lämpöarvoltaan 10 kWh energiaa. Liikennebiokaasun oletettiin hintalaskelmissa olevan 100 % metaania, jolloin liikennekaasu-kilogramman energiasisältö (alempi lämpöarvo) on 13,9 kWh.

### **Biokaasulaitoksen osien investointihinnat, käyttöiät ja ylläpitokustannukset**

Märkä- ja puolikuivamädätyksen osien investointikustannuskaavat, poistoajat ja ylläpitokustannusten laskentaperusteet on ilmoitettu taulukossa 6. Kaavat on johdettu Doranova Oy:n (Saalasti 2022), Metener Oy:n ja Landia A/S:n (Maagaard 2020) antamista tiedoista. Ylläpitokustannus lasketaan % investointikustannuksesta vuodessa (mukailtu Hahn 2011), paitsi CHP-yksiköllä c/tuotettu sähkökilowattitunti.

**Taulukko 6.** Märkä- tai puolikuivamädätyslaitosten investointikustannukset, käyttöikien oletusarvot ja ylläpitokustannuksen laskentaperusteet. Hintojen laskentakaavoissa oleva kerroin 1,08 on v. 2023 hinnankorotus (Saalasti 2023) v. 2022 verrattuna. Kerroin 1,05 on v. 2023 hinnankorotus biokaasun jalostimen ja tankkausasemien (Lehtonen 2023) vuonna 2023 verrattuna vuoteen 2022.

Biokaasulaitoksen osa tai laite	Investointihinnan (€) laskentakaava	Lähde	Käyttöikä (v)	Ylläpito lask.per.
Lietesyötesäiliö	$= (26,491 * V_{\text{varasto}} + 28273) * 1,08$ jossa $V_{\text{varasto}}$ on varaston tilavuus, ei membraanikatetta	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Lietesyötesäiliön sekoitin	$= 6\,000 * 1,08$	KTBL 2013, Saalasti 2023		
Lietesyötesäiliön pumppu	$= 10\,500 * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	10	5 %
Kattamaton kiinteiden syötteiden varasto	$= (43,863 * V_{\text{varasto}} + 10435) * 1,08$ , jossa $V_{\text{varasto}}$ on varaston tilavuus	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Katettu kiinteiden syötteiden varasto	$= (87,727 * V_{\text{varasto}} + 20870) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Kiinteän syötteen syöttöruuvi ja -suppilo	$= 11\,500 * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	15	1 %
Kiinteän syötteen murskaus- ja syöttölaite (apevaunu 10 m <sup>3</sup> ja syöttöyhde)	$= 61\,700 * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	15	5 %
Mädätevarasto	$= (26,491 * V_{\text{varasto}} + 28273) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Reaktorin rakenteet (sis. pohjalaatat)	$= (84,55125 * V_R + 80599,05) * 1,08$ , jossa $V_R$ on reaktorin prosessitilavuus	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Reaktorin sekoitin/sekoittimet	$= (13,2132 * V_R + 7150,185) * 1,08$ jossa $V_R$ on reaktorin prosessitilavuus	Saalasti 2022 ja 2023	10	5 %
Jälkikaasualtaan rakenteet (sis. pohjalaatat)	$= (84,55125 * V_I + 80599,05) * 1,08$ , jossa $V_I$ on jälkikaasualtaan prosessitilavuus	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Jälkikaasualtaan sekoitin	$= ((13,2132 * V_I + 7150,185) / 2) * 1,08$ , eli puolet halvempi kuin reaktorin sekoitin. $V_I$ on jälkikaasualtaan prosessitilavuus	Saalasti 2022 ja 2023	10	5 %
Muu prosessitekniikka	$= 56\,600 * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	10	5 %
Muut rakenteet (tekniset tilat, putket, kondenssivesikaivot)	$= (3,34257 * V_R + 38007,9) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	1 %
Lämpökattila	$= (105 * P + 6562,5) * 1,08$ , jossa P on kattilan lämpöteho (kW)	Saalasti 2022 ja 2023	20	2 %
Boileri, putkitukset ja automaatioliitännät	$= 46\,000 * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	2 %
CHP-yksikkö + kaasun puhallus, aktiivihii-lisuodatus ja kondenssiveden poisto	$= (2388,225 * \text{EKSPONENTTI}(-0,003 * P) * P + 45950) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	10	1,3 c/kWh <sub>el</sub>
Yllä mainittujen asennustyöt & käyttöönotto	$= (10,282125 * V_R + 71452,5) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	0 %
Suunnittelu ja projektin johto	$= (5,95371 * V_R + 41373,15) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	0 %
Soihtu	$= 10\,000 * 1,08$	Arvio	20	0 %
Muut (toimittajan rahoituskulut, matkakulut, rahti...)	$= (1,011045 * V_R + 20887,65) * 1,08$	Saalasti 2022 ja 2023	20	0 %
Hygienisointiyksikkö	$= (2680,2 * V_H + 44113) * 1,08$ , jossa $V_H$ on hygienisointisäiliön tilavuus (m <sup>3</sup> )	Maagaard 2020, Saalasti 2023	15	5 %
Syötteen laimennus käsittelyjäännöksen nestejakeella (separointi ja nestejakeen kierrätys), sis. asennus	$= 50\,000 * 1,08$	Arvio	12	5 %

Vesipesujalostin + paineistus 250 bariin, sis. asennus	$= (2720,5 * [\text{raakakaasu m}^3/\text{h}] + 114812) * 1,05$	Lehtonen & Luostarinen 2022, Lehtonen 2023	20	3 %
Tankkausasema jalostimen yhteydessä, sis. Asennus	$= 120\,000 * 1,05$ (jos raakakaasukapasiteetti on 60-150 m <sup>3</sup> /h), 150 000 * 1,05 € jos 300 m <sup>3</sup> /h tai enemmän	Lehtonen & Luostarinen 2022, Lehtonen 2023	20	3 %
Maatyöt (45 €/m <sup>2</sup> )	$= (45 * A) * 1,08$ , jossa A on maatöiden pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Saalasti 2022 ja 2023	20	0 %
Sähkölityntä verkkoon	$= 10\,000 * 1,08$	Arvio	20	0 %

Kuivämädätyksessä koko biokaasulaitoksen hinta (sis. maatyöt, suunnittelu ja tekniikka) laskettiin kaavalla 11:

$$\text{Kuivämädätyslaitoksen investointihinta (€)} = ((145,25 * V_R + 423763) * 1,15) * 1,05 \quad (11)$$

jossa  $V_R$  on kuivämädätyslaitoksen kaikkien reaktoreiden yhteistilavuus ja 1,05 on hinnankorotuskertoimen vuoden 2022 ja 2023 välillä (Lehtonen 2023). Suunnittelun osuus on 10 %, prosessitekniikan osuus (mukaan lukien putkistot, sähkö ja automaatio) 15 % ja tekniikan asennuksen osuus 10 % koko laitoksen hinnasta (Luostarinen 2022).

### **Kannattavuuslaskelmat**

Investoinnin annuiteetti ( $A$ ) laskettiin kaavalla 12:

$$A = I * (p(1 + p)^n) / ((1 + p)^n - 1) \quad (12)$$

jossa  $A$  = annuiteetti,  $I$  = investointikustannus,  $p$  = laskentakorko (esim. 0,04) ja  $n$  = käyttöikä.

Takaisinmaksuaika (vuotta) laskettiin jakamalla tuettu investointikustannus vuotuisella nettotuotolla.

## Viitteet

- Chen, Y. R. & Hashimoto, A. G. 1978. Kinetics of methane fermentation. Biotechnology and Bioengineering Symposium 8.
- Hahn, H. 2011. Guideline for financing agricultural biogas projects - Training material for biogas investors. [http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.7\\_IWES\\_EN.pdf](http://www.biogasin.org/files/pdf/WP3/D.3.7_IWES_EN.pdf)
- Hashimoto, Varel, V.H. & Chen, Y.R. 1981 . Ultimate methane yield from beef cattle manure: Effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age. Agricultural Wastes 3: 241-256. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141460781900111>
- Kymäläinen, M., & Pakarinen, O. (2015). BIOKAASUTEKNOLOGIA Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Lehtonen, Jukka & Luostarinen, Juha 2022. Metener Oy. Metener Oy:n vesipesutekniikkaan perustuvan biokaasun jalostuslaitteiston investointikustannus- ja sähkönkulutustiedot. Henkilökohtaiset tiedonannot Ville Pyykköselle 16.-25.3.2022.
- Lehtonen, Jukka 2023. Metener Oy. Arvio kuivamädätyslaitosten, jalostuslaitteiston ja tankkaus- aseman hintatason korotuksesta v. 2023 verrattuna v. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 7.8.2023.
- Luostarinen, Juha 2020. Metener Oy. Metener Oy:n kuivamädätyslaitoksen energiankulutus. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 15.10.2020.
- Luostarinen, Juha 2022. Metener Oy. Metener Oy:n kuivamädätyslaitosten investointihinnat. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 28.10.2022.
- Maagaard, T. 2020. Landia A/S. Vastaus hintatiedusteluun. Henkilökohtainen tiedonanto Satu Ervastille sähköpostilla 20.10.2020.
- Pyykkönen, V. & Ervasti, S. 2019. Separoinnin mahdollisuudet ja kannattavuustekijät. Teoksessa: Lanta liikkeelle ja ravinteet kierto. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja 3/2019. ISBN 978-952-203-262-1 (PDF). [https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu\\_final.pdf](https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu_final.pdf)
- Pyykkönen, V. & Ervasti, S. 2019. Separoinnin mahdollisuudet ja kannattavuustekijät. Julkaisussa: Pulkka E., Rantala T., Antikainen S., Eskelinen P. & Partanen J. 2019. Lanta liikkeelle ja ravinteet kierto: Ravinnerenki- ja Lantalogistiikka-hankkeiden tulosjulkaisu. Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Pyykkönen, V. Luostarinen, S. & Rintala, J. 2013. 5 Maatilanmittakaavan biokaasukokeiden tulokset Teoksessa: Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla 1 : Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi – käytännön kokemuksia MTT:n maatalakohtaiselta laitokselta. MTT Raportti 113: 98 p. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481263/mtrraportti113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SBB 2023. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. Tilastot. <https://biokierto.fi/tilastot/>.
- Saalasti, Mikko 2022. Doranova Oy. Doranova Oy:n biokaasulaitosten investointikustannus- ja sähkönkulutusarviot. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 21.2.2022.

Saalisti, Mikko 2023. Doranova Oy. Arvio yleisestä hintatason korotuksesta v. 2023 verrattuna v. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto Ville Pyykköselle 16.6.2023.

Timonen, K., Sinkko, T., Luostarinen, S., Tampio, E. & Joensuu, K. 2019. LCA of anaerobic digestion: Emission allocation for energy and digestate. *Journal of Cleaner Production* 235: 1567-1579.



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Latokartanonkaari 9  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000