

Biokaasun tuotanto maatilalla



Sisällysluettelo

Johdanto	2
Biokaasun tuotannon biologinen tausta	3
Prosessin neljä vaihetta	4
Metaania muodostavat bakteerit	4
Happi	4
Lämpötila	5
pH-arvo	6
Ravinteet	6
Prosessille haitalliset aineet	7
Biokaasun muodostuminen käytännössä	8
Biokaasun raaka-aineet	8
Mädätettävän aineksen käsittelyvaatimukset ja laitoksen luvitus	9
Kaasuntuotanto ja kaasun laatu	10
Viipymäaika	11
Reaktorin kuormitus	12
Sekoittaminen	12
Mädätysjäännös	13
Tuotantotekniikka	14
Metaanin spontaani muodostuminen	14
Yksinkertaisia biokaasulaitoksia	14
Märkämädätyslaitokset	15
Kuivamädätys	17
Kaasun käyttökohteet	18
Arvokas polttoaine	18
Lämmöntuotanto	18
Sähkön ja lämmöntuotanto	18
Kaasun myyminen paikallisesti	20
Kaasun syöttäminen maakaasuverkkoon	20
Kaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi	21
Esimerkki: Biokaasuntuotanto maitotilalla	23
Lanta raaka-aineena	23
Energianurmi raaka-aineena	24
Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	24
Prosessilämpö	24
Biokaasulaitoksen mitoitus	25
Biokaasulaitoksen kannattavuus	25

Johdanto

Biokaasusta on kaksi kolmasosaa metaania ja kolmasosa hiilidioksidia. Sitä voidaan käyttää lämmöntuotannon polttoaineena kaasukattiloissa tai kaasumootorissa lämmön ja sähkön tuottamiseksi tai jalostaa liikennepolttoaineeksi.

Biokaasu on mätänemisen eli biologisen hajoamisprosessin tulos, jota tapahtuu luonnossa hapettomissa ympäristöissä. Maatiloilla biokaasua voi tuottaa mädättämällä eloperäistä ainesta, kuten lantaa tai rehua, valvotuissa olosuhteissa. Myös biojätteet ovat erinomaisia biokaasun raaka-aineita.

Suomessa elintarviketurvallisuusvirasto Evira asettaa vaatimukset hyväksyttävälle biokaasun käsittelylaitoksille ja -prosesseille.

Toivomme tämän oppaan antavan hyvää lähtötietoa biokaasun tuotantoa suunnitteleville tai muuten asiasta kiinnostuneille.

Motiva Oy

Biokaasun tuotannon biologinen tausta

Biokaasu on biologisen hajoamisprosessin tulos. Luonnossa sitä muodostuu muun muassa hapettomissa järvien ja soiden pohjasedimenteissä, märehitijöiden pöteissä ja muissa paikoissa, joissa eloperäinen aines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Hapettomuus on keskeistä sille, että orgaanista materiaalia voidaan mädättämällä muuttaa poltettavaksi kaasuseokseksi. Mikäli happea on läsnä, biologinen hajoaminen tapahtuu kompostoitumisen kautta.

Biokaasu on kaasuseos (taulukko 1), joka koostuu noin kahdesta kolmasosasta metaania ja yhdestä kolmasosasta hiilidioksidia. Kaasua voidaan käyttää lämmöntuotannon polttoaineena kaasukattiloissa tai polttaa kaasumoottorissa lämmön ja sähkön tuottamiseksi (kuva 1). Lisäksi kaasua voidaan jalostaa liikennepolttoaineeksi.

Aine	%
Metaani, CH ₄	55–75
Hiilidioksidi, CO ₂	25–45
Hiilimonoksidi, CO	0–0,3
Typpi, N ₂	1–5
Vety, H ₂	0–3
Rikkivety, H ₂ S	0,1–0,5

Taulukko 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus

Kuva 1. Biokaasun tuotantolaitoksen ansiosta tila voi olla energiaomavarainen.



Prosessin neljä vaihetta

Biokaasun muodostuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen, joissa kussakin toimii eri pieneliöryhmät. Nämä vaiheet ovat: liukoistuminen (hydrolyysi), happokäyminen (asidogeneesi), etikkahappokäyminen (asetogeneesi) ja metaanikäyminen (metanogeneesi) (kuva 2).

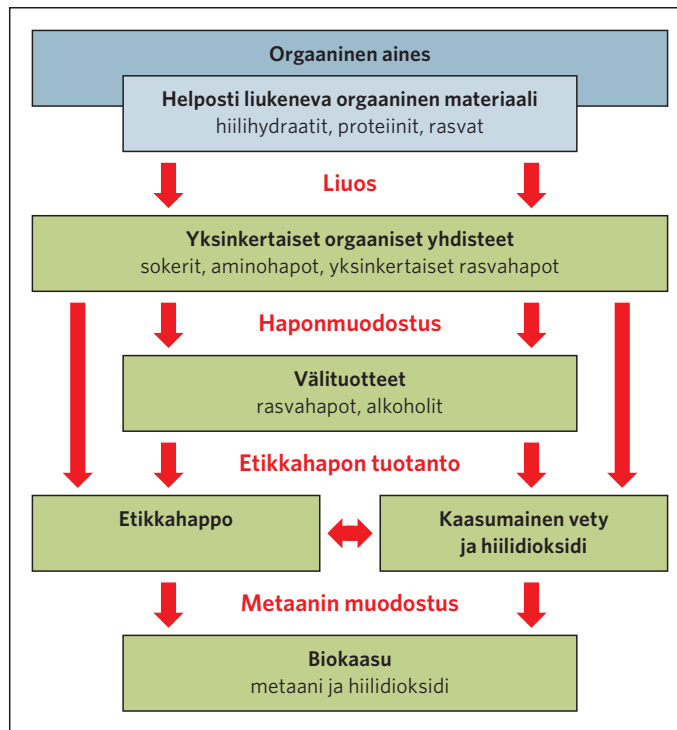
Liukoistumisvaiheessa mädätettävän aineen kiinteät hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat pilkkoutuvat ja liukenevat veteen yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi kuten sokereiksi, rasvahapoiksi ja aminohapoiksi. Pilkkoutuminen tapahtuu pieneliöiden erittämien solun ulkoisten entsyymien avulla.

Happokäymisessä muodostuu liuenneista aineista yksinkertaisempia rasvahappoja, kuten propioni-, voi- ja etikkahappo. Nämä edelleen hajoavat etikkahapoksi ja hiilidioksidiksi.

Metaani syntyy etikkahaposta sekä reaktioiden välituotteina syntyvistä vedystä ja hiilidioksidista. Käymisvaiheissa syntyvät rasvahapot ja vety ovat suurempina pitoisuuksina haitallisia pieneliöille, joten on tärkeää, että ne poistuvat metaanintuotannossa samaa tahtia kuin niitä syntyy. Biokaasutuotannon vaiheet eivät ole toisistaan erillisiä, vaan ne tapahtuvat samanaikaisina.

Metaania muodostavat bakteerit

Metaania muodostavat eliöt kuuluvat arkkeliöiden ryhmään, ja ne ovat maapallomme vanhimpia elämänmuotoja. Ne ovat peräisin ajalta, jolloin maapallon ilmakehä oli täysin erilainen kuin tänä päivänä. Monet nykyään elävistä arkkeliöistä ovat sopeutuneet äärimmäisiin elinympäristöihin, kuten



Kuva 2. Biokaasun muodostuminen jaetaan neljään eri vaiheeseen, joissa eri pieneliöt ovat aktiivisia. Metaani muodostuu useiden välituotteiden kautta.

korkeisiin lämpötiloihin tai suolapitoisuuksiin. Yhteistä kaikille metaania muodostaville arkkeliöille on, etteivät ne siedä hapetta.

Biokaasun tuotannon eri vaiheisiin osallistuville eliöille parhaiten soveltuvat olosuhteet poikkeavat eri ryhmien välillä happipitoisuudeltaan, lämpötilaltaan ja pH-arvoltaan hieman. Metaania muodostavia eliöitä pidetään yleisesti vaatimuksiltaan tarkimpina ja myös hitaimmin lisääntyvinä. Tämän vuoksi olosuhteet biokaasulaitoksissa pyritään sopeuttamaan metaania muodostavien bakteereiden tarpeiden mukaan.

Happi

Metaania muodostaville eliöille happi on myrky. Huolimatta siitä, että biokaasulaitosten käytön yhteydessä pyritään välttämään materiaalin joutumista kosketuksiin hapen kanssa, biokaasureaktoriin pääsee pieniä määriä hapetta syötemateriaalin mukana ja sitä saatetaan syöttää rikin hapettamiseksi kaasutilaan. Niin kauan kuin määrät ovat pieniä, ongelmia ei synny, koska biokaasun muodostuksen ensimmäiseen vaiheeseen osallistuvat fakultatiiviset anaerobiset bakteerit ja rikkiä hapettavat bakteerit pystyvät kuluttamaan hapen.

Lämpötila

Mitä korkeampi lämpötila on, sitä nopeampia kemialliset ja biologiset reaktiot yleensä ovat. Tämä koskee myös biokaasun muodostumista, mutta niissä rajoissa kuin prosessiin osallistuvat eliöt sietävät.

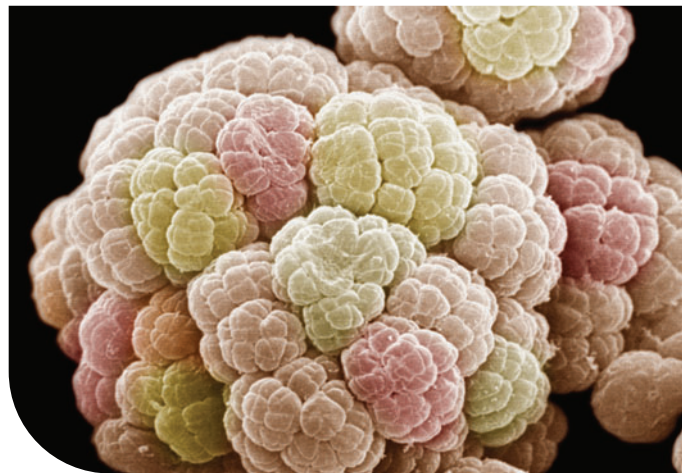
Toisin kuin kompostoinnissa, biokaasun tuotannon aikana syntyy vain hyvin vähän lämpöä. On esitetty arvioita että 3-5 prosenttia eloperäisen aineen energiasisällöstä muuttuu elintoimintojen kautta lämmöksi. Meidän ilmasto-oloissamme mädätyssäiliöiden tulee olla sekä hyvin eristettyjä että lämmitettyjä, jotta haluttua nopeaa hajoamista ja kaasuntuotantoa voitaisiin ylläpitää. Biokaasua muodostaville bakteereille on tärkeää, ettei mädätyssäiliön lämpötilassa tapahdu suuria muutoksia. Hitaat muutokset aiheuttavat vähemmän ongelmia kuin nopeat muun muassa siksi, koska eliöt ehtivät silloin paremmin sopeutua muuttuneisiin olosuhteisiin.

Kuva 3. Suomen ilmasto-oloissa mädätyssäiliöiden pitää olla hyvin eristettyjä ja lämmitettyjä, jotta biokaasuprosessi pysyisi vakaana.



Kuva 4.

Metaania muodostavat bakteerit ovat yksinkertaisia arkkeliöitä, jotka eivät siedä hapetta, Methanosarsina mazei -bakteereita elektronimikroskooppikuvassa.



Kuva Ralph Robinson / Getty Images

Paljon hiilihydraatteja sisältävän materiaalin mädäntyessä syntyy lämpöä, joka voidaan suurissa reaktoreissa havaita. Tällöin reaktorista voi tulla itsestään lämpiävä. Jotta tällaista lämpenemistä voidaan edes havaita, tulee ulkolämpötilan olla korkea ja reaktorin vaipan hyvin eristetty, sekä syötettävän

materiaalin kuiva-ainepitoisuudeltaan korkea. Pääsääntöisesti lämpöenergian käyttö on kuitenkin biokaasuntuotannon edellytys.

Biokaasuprosessit jaetaan psykro-, meso- ja termofiiliseksi sen mukaan, millä lämpötila-alueella ne tapahtuvat.

Metaania muodostavia prosesseja, jotka tapahtuvat alle 25 °C lämpötilassa, kutsutaan psykrofiiliseksi. Tämäntyyppinen metaanintuotto on hidasta, ja kaasun muodostuminen on melko vähäistä. Tällainen kaasun muodostuminen on tavallista luonnossa soilla ja ihmistoiminnan seurauksena lietealtaissa.

Metaania muodostavia prosesseja, jotka toimivat lämpötilavälillä 32-42 °C, kutsutaan mesofiiliseksi. Useimmat biokaasulaitokset toimivat tällä lämpötilavälillä, joka on sama kuin kotieläimen ruoansulatuskanavan bakteerien toimintalämpötila. Meso-fiilisten prosessien biokaasunmuodostus on hyvä, ja lisäksi prosessi on helppo pitää vakaana.

Termofiilinen mädäntyminen on hajoamista, joka tapahtuu lämpötilavälillä 50–60 °C. Termofiilisessä mädätyksessä materiaalin hajoaminen vie vain puolesta kahteen kolmasosaan siitä ajasta kuin mesofiilisessä mädätyksessä. Näin yksi ja sama laitos voi toimia parhaassa tapauksessa kaksinkertaisella teholla termofiilisellä lämpötila-alueella verrattuna mesofiiliseen alueeseen. Haittapuolena on, että termofiiliset biokaasuprosessit ovat mesofiilisiä prosesseja herempiä häiriöille. Lisäksi energiankulutus on termofiilisissä prosesseissa korkeamman käyttölämpötilan vuoksi suurempi, mikä johtuu lämpöhävikistä ympäristöön ja mädätettävän materiaalin lämmittämiseen tarvittavasta energiasta.

pH-arvo

Biokaasuprosessin eri vaiheisiin osallistuvilla bakteereilla on eri pH-alueita, joissa ne viihtyvät parhaiten. Hydrolysoivat ja hap-

poa muodostavat bakteerit viihtyvät parhaiten selvästi happamalla alueella (pH 4,5–6,3). Nämä bakteerit pystyvät elämään neutraaleissa olosuhteissa, mutta niiden aktiivisuus kuitenkin laskee silloin jonkin verran. Etikkahapon ja metaanin muodostumiseen osallistuvat bakteerit vaativat puolestaan neutraaleja olosuhteita.

Normaalissa mädätysprosessissa mädätyssäiliön pH-arvo on yleensä suunnilleen 7–8. Mutta jos lisätty syötemäärä on liian suuri, eivät metaania muodostavat bakteerit ehdi käyttää kaikkea happoa, jota happoa muodostavat bakteerit ovat tuottaneet. Tämän seurauksena prosessin pH-arvo laskee, mikä vuorostaan haittaa lisää metaania muodostavien bakteerien aineenvaihduntaa. Jos mädätysprosessi muuttuu happamaksi, syötteen lisääminen on lopetettava, ja metaania muodostaville bakteereille on annettava aikaa muuttaa happo metaaniksi ja siten saada prosessi jälleen toimimaan.

Erityisesti runsastyyppistä, valkuaisainepitoista materiaalia mädätettäessä muodostuu merkittäviä määriä ammoniumtyyppiä, jolla voi olla pH-arvoa kohottava vaikutus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lantaa mädättävän biokaasulaitoksen mädätysjätteellä on korkeampi pH-arvo kuin siihen tulevalle lannalla.

Ravinteet

Kaiken eläintuotannon edellytys on rehun sopiva koostumus. Sama koskee mädätys-säiliössä työtään tekeviä bakteereita.

Hiilen ja typen suhde syötemateriaalissa on oltava sopiva. Jos siinä on liikaa hiiltä, mikä on mahdollista silloin kun mädätetään ainoastaan kasvitutotteita, osa materiaalin biokaasun tuotantopotentiaalista jää hyödyntämättä. Jos olosuhteet ovat päinvastaiset, eli substraatti sisältää liikaa tyyppiä suhteessa hiileen, saattaa muodostua ammoniakkia, mikä taas voi vuorostaan aiheuttaa sen, että koko biokaasun tuotantoketju estyy.

Kuva 5. Hiilen ja typen suhde syötemateriaalissa on oltava sopiva. Esimerkiksi sianlanta voi olla sellaisenaan liian tyyppitoista ja prosessiin tarvitaan lisäksi hiilipitoista kasvibiomassaa.



Kuva Jarmo Hiltunen/Envitepolis/Motiva

Mädätettäessä hyvin typpipitoista lantaa, kuten kanan- tai sianlantaa (kuva 5), riskinä on ammoniumpitoisuuden nouseminen liian korkeaksi. Hiilen ja typen suhteen biokaasulaitokseen syötettävässä aineksessa tulisi tutkimusten mukaan olla noin 20:1 (10–30:1) eli materiaalin tulisi sisältää noin 20 kertaa niin paljon hiiltä kuin typpeä. On kuitenkin biokaasulaitoksia, jotka toimivat hyvin myös tämän suhdealueen ulkopuolella. Mädätettävässä materiaalissa on yleensä jäljellä riittävästi hivenaineita. Tämä pätee erityisesti, kun mädätetään pääosin eläinlannasta muodostuvaa materiaalia.

Pelkkien energiakasvien mädätyksessä, mikä on tyypillistä esimerkiksi Saksassa, voi tulla pulaa hivenaineista, kuten koboltista, nikkelistä, molybdeenistä ja seleenistä. Jotta vältetään biokaasun muodostumisen väheneminen hivenaineiden puutteen vuoksi, mädätyssäiliöön syötettävään kasvimaasaan lisätään usein metallisuoloja (kuva 6). Rautasuolojen lisääminen on yksi tapa vähentää rikkivedyn määrää kaasussa, sillä rauta sitoo rikkiä. Rautasuolojen lisäämisen haittapuolena on, että mätänemisjätteen fosfori muuttuu kasveille vähemmän käyttökelpoiseksi, koska se sitoutuu tiiviisti rautaan.

Prosessille haitalliset aineet

Syötteinä käytettävät materiaalit voivat sisältää aineita, jotka voivat liian suurina pitoisuuksina vaikuttaa haitallisesti biokaasun muodostumisprosessiin. Tämä koskee erityisesti antibiootteja ja desinfiointiaineita, kasvimyrkkyjä, suoloja ja raskasmetalleja, joista osa jo hyvin pieninä pitoisuuksina voivat haitata prosessia. Maitotiloilla, joilla on biokaasulaitos, navetan laajemmat antibioottikuurit voivat näkyä biokaasun tuo-



Kuva Sakari Alasuutari / Vastavalo.fi

Kuva 6. Pelkkää kasvibiomassaa, kuten olkea, kaasutettaessa on mädätyssäiliöön lisättävä usein metallisuoloja.

tannon laskuna, mikäli antibioottia sisältävät aineet pääsevät suoraan reaktoriin. Antibiootit hajoavat kuitenkin lannan joukossa päivien tai viikkojen aikana, jos lantaa ei välittömästi syötetä reaktoriin. Syötteen mukana prosessiin tulevien aineiden lisäksi myös prosessiin osallistuvien bakteerien omat aineenvaihduntatuotteet, esimerkiksi ammoniakki, rikkivety ja rasvahapot, voivat haitata prosessia.

**Biokaasun
tuotannon
edellytys on
syötteen sopiva
koostumus.**

Biokaasun muodostuminen käytännössä

Biokaasun raaka-aineet

Periaatteessa kaikki orgaaninen aines voidaan mädättää, mutta tekniikka sopii parhaiten helposti luonnostaankin hajoavalle materiaalille. Maataloudessa se tarkoittaa yleensä lantaa sekä rehua, kuten ruohokasveja, siemeniä, juureksia, maissia ja sokerijuurikkaan naatteja. Biojätteet, biodieselin valmistuksen sivutuotteet sekä elintarviketeollisuuden jätteet ovat myös erinomaisia raaka-aineita, mikäli niitä on käytettävissä.

Paljon kuitua ja ligniiniä sisältävä aines, kuten puu tai olki, kelpaa huonosti mädätykseen.

Suomen nykyisissä noin parissakymmenessä maatalouden biokaasulaitoksessa pääasiallinen raaka-aine on lanta. Saksassa käytetään biokaasun tuotannossa lannan lisäksi suuria määriä energiakasveja, pääasiassa maissia (kuva 7). Maissi korjataan kokonaisena ja silputaan ja varastoidaan säilörehuna pressulla peitettynä laakasiiloihin.

Maissista ja ruohokasveista valmistetaan paljon biokaasua Saksassa, koska pienet sähköntuottajat saavat erittäin hyvän hinnan sähköverkkoon toimittamastaan uusiutuvasti tuotetusta sähköstä. Siellä tyypillinen biokaasusähkön tuottaja saa sähköenergiasta keskimäärin 15 senttiä myytyä kilowattituntia kohti. Lisäksi hinta on taattu kahdeksikymmeneksi vuodeksi. Vihreän sähkön hyvän hinnan ansiosta Saksassa biokaasun tuotantokapasiteetti on noin 59 terawattituntia (TWh). Vertailuksi Suomeen rakenteilla olevan maailman suurimman ydinvoimalaitosyksikön vuosittaiseksi tuotannoksi on arvioitu 14 TWh. Saksalaisten biokaasulaitosten hyvä kannattavuus pohjautuu siihen, että sähköenergian hintaa subventoidaan. Laitoksia oli Saksassa vuoden 2011 lopussa lähes 19 500 kappaletta.

Vuodesta 2011 lähtien biokaasusähkön tuottaja on myös Suomessa voinut saada takuuhintana eli syöttötariffina tuotetusta



Kuva Fredrik Ek

Kuva 7. Tuotetun sähköenergian hyvän hinnan ansiosta sähköntuotanto Saksassa pääasiassa peltokasvi- raaka-aineesta tuotetulla biokaasulla kannattaa.



Kuva 8. Maatalouden sivutuotteet, kuten esimerkiksi sokerijuurikkaan naatit sopivat hyvin biokaasutukseen.

sähköstä jopa 13,35 senttiä kilowattitunnilta. Yksikään biokaasun tuottaja ei ole vuoden kuluttua takuuhinnan käyttöönotosta hakenut tariffijärjestelmään mukaan.

Tariffijärjestelmään pääsy edellyttää muun muassa, ettei laitoksen rakentamiseen ole saatu investointitukia ja ettei siinä ole käytettyjä osia. Lisäksi vaaditaan, että laitoksen generaattoriteho on vähintään 100 kilovolttiampeeria, kVA. Laitoksen sähkötehon tulee siis olla vähintään 100 kilowattia, kW, mikä on niin suuri teho, että vain hyvin harva tila pystyy saavuttamaan sen oman tilan lannalla ja ylijäämähullalla.

Mädätettävän aineksen käsittelyvaatimukset ja laitoksen luvitus

Suomessa elintarviketurvallisuusvirasto Evira asettaa vaatimukset hyväksyttävälle käsittelylaitoksille ja -prosesseille. Evira suorittaa myös valvonnan ja pitää yllä rekisteriä hyväksytyistä laitoksista. Tässä on

esitetty yleisimpiä käytäntöjä käsittelyvaatimuksista, mutta biokaasulaitoksen suunnitteluvaiheessa kannattaa selvittää laitokohtaisesti hyväksytyt käsittelymenetelmät ja lopputuotteen käyttövaihtoehdot.

Maatilakohtaisessa biokaasulaitoksessa eläinten lanta ja turvalliset kasvijätteet eivät tarvitse erityisiä käsittelyjä, mikäli lopputuotetta ei saateta markkinoille vaan käytetään tilalla. Tällainen laitos ei tarvitse laitoshyväksyntää.

Mikäli laitos käsittelee useiden tilojen lantaa, kasvimassaa tai jäteperäistä materiaalia, joka saattaa sisältää kasvitaudinaiheuttajia, (esim. peruna ja muut juurekset) ja laitoksen lopputuote saatetaan markkinoille, tarvitaan laitoshyväksyntä. Lannoitevalmistelaki 539/2006 asettaa lopputuotteelle vaatimuksia, joista tavallisimmin kriteeriksi nousee riittävän alhainen *E. coli* -pitoisuus. Hygieenisen laadun varmistamiseksi riittää yleensä termofiilinen mädätys 55 asteen lämpötilassa.

Eläinperäisten sivutuotteiden käyttöä säätelee sivutuoteasetus (EY) N:o 1069/2009. Biokaasulaitoksissa tavallisimmin käsiteltävät eläinperäiset sivutuotteet lannan ohella ovat elintarviketeollisuudesta saatavat jätteet ja biojätteet, joissa ei ole erityistä tautiriskiä. Tällöin käsittelyksi tarvitaan hygienisointi vähintään +70 asteen lämpötilassa yhden tunnin ajan, kun palakoko on alle 12 millimetriä.

Itsestään kuolleiden tai teurastettujen sairaiden eläinten ruhot tai muita mahdollisia tautilähteitä sisältävät materiaalit on steriloitava ennen kuin ne voidaan syöttää biokaasulaitokseen. Sterilointi tarkoittaa käytännössä, että materiaalia kuumennetaan 133 asteen lämpötilassa 3 barin paineessa 20 minuutin ajan palakoon ollessa alle 50 mm.

Lisäksi kansallisin kriteerein voidaan hyväksyä käsiteltäväksi maito- ja munatuotteita sekä entisiä elintarvikkeita ja rehuja. Lisäksi laitoksen prosessi voidaan kokeellisesti todentaa riittäväksi validointimenetelyn kautta.

Laitoshyväksynnän lisäksi biokaasulaitos tarvitsee yleensä ympäristöluvan ammattimaiseen jätteen käsittelyyn, jonka kokoluokasta riippuen voi myöntää kunnan ympäristöviranomaisen tai aluehallintoviranomaisen.

Kunnan rakennusviranomaisen myöntää rakennusluvan, ja yleensä Turvatekniikan keskukselle on tehtävä kemikaali-ilmoitus tai suuremmissa laitoksissa on haettava lupaa kemikaalien varastointiin (biokaasu). Lisäksi myös biokaasulaitoksissa tulee noudattaa **asetusta maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (551/2009)**.

Kaasuntuotanto ja kaasun laatu

Biokaasun tuotanto riippuu käytettävän aineksen koostumuksesta (taulukko 2). Koska erilaisten mädätettävien materiaalien kosteuspitoisuus vaihtelee, lasketaan materiaalin biokaasupotentiaali usein sen kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Lietelannassa kuiva-ainetta on noin 5–8 prosenttia, kun taas apilasäilörehussa sitä on noin 35 prosenttia.

Kuiva-aineen määrää märkämädätyslaitoksissa rajoitetaan pääasiassa siksi, että hyvin sakeaa massaa on hankala käsitellä ja siirtää. Jotta prosessi toimisi käytännössä, aineksen on oltava pumpattavaa. Sen lisäksi että suuri kuiva-ainepitoisuus tekee materiaalista vaikeasti käsiteltävää, myös prosessi kärsii, jos se on liian kuivaa. Tämä johtuu siitä, että pieneliöiden elintoiminnot vaikeutuvat liian kuivassa ympäristössä, ja lisäksi prosessia haittaavien aineiden pitoisuus saattaa suhteellisen alhaisen vesipitoisuuden vuoksi nousta korkeaksi.

Paljon rasvaa sisältävä aines tuottaa korkeamman metaanipitoisuuden ja siten korkeamman lämpöarvon kaasulle kuin paljon hiilihydraatteja sisältävä materiaali. Teurajätteen, ruoantähteiden tai lietalannan m-

ädätyksessä syntyvän biokaasun metaanipitoisuus on suurempi kuin peltokasvien, kuten rehukasvien tai maissin, mädätyksessä syntyvän biokaasun (taulukko 2). Kaasuntuotantoa voidaan parantaa syötteen murskaamisella ja hienontamisella, jolloin hajottavat pieneliöt saavuttavat aineen paremmin.

Taulukko 2.
Metaanipitoisuus
ja kaasun saanti eri
raaka-aineista

Materiaali	Biokaasuntuotanto m³ / tonnia märkäpaino	Kaasun metaanipitoisuus %
Teurajäte	250	70
Biojäte	150–250	65
Peltobiomassa	50–250	55
Sianlanta	25–35	65
Naudanlanta	15–25	60



Kuva Fredrik Ek

Kuva 9. Tässä saksalaisessa laitoksessa mädätetään lantaa, säilörehua ja ruoanjätteitä. Ruoanjätteet käyvät läpi lämpökäsittelyn (70 °C yhden tunnin ajan) vasemmalla olevassa astiassa, ennen kuin ne syötetään biokaasulaitokseen. Lanta ja säilörehu syötetään sellaisenaan.

Tuotetun kaasun määrä riippuu siitä, mitä raaka-ainetta käytetään. Aines, joka sisältää vain vähän vettä ja paljon helposti pilkkoutuvaa orgaanista materiaalia, tuottaa paljon kaasua. Yksinomaan lietalannan mesofiilisellä mädätyksellä mädättäminen tuottaa vuorokaudessa harvoin enempää kuin yhden kuutiometrin biokaasua biokaasureaktorin lietetilavuutta kohti vuorokaudessa. Jos syöte lisäksi sisältää energiapitoisempaa materiaalia, kuten kasveja, elintarviketeollisuuden jätettä ja ruoantähteitä, on mahdollista tuottaa 2–3 kuutiometriä biokaasua biokaasureaktorin lietetilavuutta kohti vuorokaudessa.

Biokaasun teknisesti ongelmallisin ainesosa on rikkivety ja muut rikkijyhdisteet, vaikka sitä on biokaasussa tyypillisesti alle tilavuusprosentti. Rikkivety on pahanhajuinen kaasu, jota yleisesti kuvataan mädän ka-

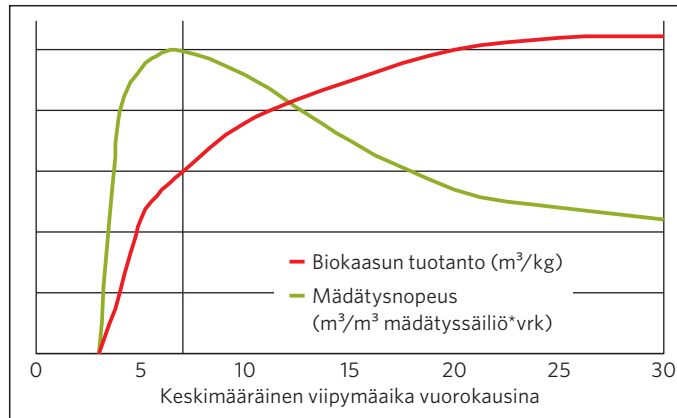
nanmunan hajuksi. Ennen kuin biokaasua voidaan polttaa moottorissa tai kaasukattilassa, rikkivedyn pitoisuutta on usein alennettava, jotta vältetään moottoreiden ja kaasukattiloiden syöpmisvauriot.

Yksinkertaisimmillaan rikkivedyn poistaminen tapahtuu lisäämällä biokaasuun noin 1-3 prosenttia ilmaa. Rikkivedyn poistaminen tapahtuu biologisella prosessilla, jossa *Sulfobacter oxydans* -bakteeri hapettaa rikkivedyn alkuainerikiksi. Bakteereita on luonnostaan lannassa ja muissa syötteissä, eikä niitä siksi tarvitse erikseen lisätä. Jotta poistaminen toimii tehokkaasti, tarvitaan pintoja, joissa *Sulfobacter oxydans* voi elää. Sopivia kasvualustoja bakteereille ovat mädätys säiliön katon tai kaasusäiliön rakenteet tai täytekappaleet erillisessä, rikinpoistoa varten rakennetussa säiliössä.

Jos on tarkoitus tuottaa maakaasun tasois- ta biokaasua, ilman lisääminen kaasuun ei käy päinsä. Rikkivedyn erottaminen voidaan silloin tehdä lisäämällä reaktoriin erilaisia rautasuoloja. Rautasuolat (esim. rautatrikloridi) sitovat rikkiä siten, että se poistuu prosessista yhdessä mädätysjätteiden kanssa, sen sijaan että se poistuisi biokaasun mukana. Lisäkeinona rikkivedyn puhdistamisessa voidaan käyttää aktiivihiihluoda- tintoa, vesi- tai kemikaalipesua.

Viipymäaika

Kun rakennetaan biokaasulaitos, on tehtävä kompromisseja toisaalta investointikustan- nusten suuruuden ja toisaalta materiaalin mädätysasteen suhteen. Aineksen täydellinen mädättäminen vaatii materiaalin pit- kää viipymäaika mädätys säiliössä ja siten suurta säiliötilavuutta, mikä nostaa inves- tointia ja käyttökuluja.



Kuva 10. Kaasun suurin tuotantonopeus (vihreä viiva) tietyllä syötteellä mädätys säiliössä saavutetaan hyvin lyhyellä viipymäajalla, kun taas lopullisen saannon maksimi saavutetaan pitkällä viipymäajalla (punainen viiva). Jos keskimääräinen viipymäaika on liian lyhyt, biokaasuprosessi lakkaa toimimasta koska metaania muodostavia pieneliöitä huuhtoutuu liikaa pois.

Yleisimmän biokaasulaitostyyppin toiminta perustuu mädätykseen täyssekoitteisessa reaktorissa. Materiaalin jatkuvasta sekoitumisesta johtuen on mahdotonta tietää kuinka pitkään yksittäinen molekyyli on reaktorissa. Aineksen keskimääräinen viipymä- aika voidaan kuitenkin laskea hyvin yksin- kertaisesti. Sen viipymä biokaasulaitokses- sa määritellään mädätys säiliön tilavuudella jaettuna päivittäin poistetun aineksen tila- vuudella. Kun kyse on biokaasulaitoksista, joissa on useita sarjassa toimivia reaktorei- ta, viipymäaika lasketaan kullekin reaktoril- le erikseen ja saatu summa lasketaan yh- teen. Viime aikoina viipymäajat ovat kasva- neet yhä pitemmiksi ja laitosten rakentami- nen on muuttunut siten, että kaksivaiheis- ten laitosten lisäksi rakennetaan jopa kolmi- vaiheisia laitoksia.

Kun mädätetään pelkkää lantaa biokaasu- laitoksessa, jossa on vain yksi reaktori, käy-

tetään yleensä noin kuukauden viipymäai- kaa. Energiakasvit vaativat yleensä pidem- män, jopa 80-120 päivän viipymäajan, jotta materiaali ehtii kunnolla hajota eikä kuormi- tus kasva liian suureksi. Biojätteitä käyttä- vissä laitoksissa viipymä on usein tältä välil- tä. Biokaasulaitoksissa, joissa on varsinais- en mädätys säiliön lisäksi myös jälkimäda- tussäiliö, pitkästi yli sadan vuorokauden vii- pymäajat ovat tavallisia.

Mitä enemmän materiaalia syötetään reak- toriin vuorokaudessa, sitä lyhyemmäksi vii- pymä muodostuu. Metaania muodostavat bakteerit lisääntyvät suhteellisen hitaasti. Jos mädätys säiliöön syötetään selvästi enemmän materiaalia kuin mitä sen koko edellyttää, vaarana on että metaania muo- dostavien pieneliöiden poishuuhtoutumi- nen on suurempaa kuin niiden lisääntymi- nen (kuva 10).

Reaktorin kuormitus

Kuormitus on käsite, jolla ilmaistaan, kuinka paljon eloperäistä materiaalia mädätyssäiliöön voidaan aikayksikköä kohti syöttää. Mädätyssäiliön kuormitus määritellään seuraavasti: reaktoriin vuorokaudessa syötetty eloperäisen materiaalin määrä jaettu reaktorin koolla.

Reaktorin suurin kuormitus määräytyy mädätettävän materiaalin ominaisuuksien mukaan. Ruoantähteiden tai energiakasvien mädätys mahdollistaa suuremman kuormituksen kuin eläinlannan tai olkien mädätys. Täyssekoitteen biokaasureaktorin tyypillinen kuormitus on noin kolme kiloa orgaanista ainetta biokaasureaktorin kuutiometriä kohti vuorokaudessa.

Sekoittaminen

Jotta biokaasun tuotanto olisi tehokasta, hajotustyötä tekevien pieneliöiden on päästävä hyvin kosketuksiin mädätettävän materiaalin kanssa. Se varmistetaan sekoittamalla mädätyssäiliön sisältöä. Jos materiaalia ei sekoiteta, se kerrostuu siten, että pääosa eliömassasta kerääntyy mädätyssäiliön pohjan läheisyyteen, kun taas pääosa syötteestä kertyy lähelle pintaa.

Vaikka materiaalin kunnollinen sekoittaminen on välttämätöntä, sitä ei pidä kuitenkaan sekoittaa liian paljon tai liian voimakkaasti, sillä tällä on havaittu joissain tutkimuksissa olevan kaasuntuottoa alentava vaikutus, ja liika sekoitus kuluttaa turhaan energiaa.

Yleisin tapa varmistaa, ettei reaktorin sisältöä sekoiteta liian voimakkaasti, vaan sopivasti, on käyttää hitaasti liikkuvaa sekoit-

Lannantuotanto 150 lypsylehmän tilalla

- 150 lypsylehmää + uudistuseläimet tuottaa noin 10 000 kg lietelantaa vuorokaudessa
- 10 000 kg lietelantaa = 10 m³
- Lietelanta sisältää noin 10 % kuiva-ainetta
- Noin 80 % kuiva-aineesta on orgaanista materiaalia

Orgaanisen materiaalin määrä

10 000 kg/vuorokausi * 10 % * 80 % = 800 kg/vuorokausi.

Oletetaan, että 150 lypsylehmän maitotilalla on biokaasulaitos, jonka mädätyssäiliön tilavuus on 300 m³. Laitoksen mädätyssäiliön kuormitus ja viipymäaika ovat seuraavat:

Mädätyssäiliön kuormitus:

800 kg orgaanista materiaalia vuorokaudessa / 300 m³ mädätyssäiliötilavuus = 2,67 kg orgaanista materiaalia/m³ mädätyssäiliötilavuutta ja vuorokautta kohti.

Viipymäaika:

300 m³:n mädätyssäiliötilavuus / 10 m³ lietelantaa vuorokaudessa = 30 vuorokautta.



Kuva Mauri Mahlamäki / Vastavalo.fi

Kuva 11. Ruoantähteitä mädätettäessä kuormitus voi olla suurempi kuin eläinlannan tai olkien mädätyksessä.

tinta, jonka nopeutta voidaan lisäksi sää-
tää suuremman tehon saavuttamiseksi
ajoittain.

Sekoittaminen on tärkeää myös siksi, ettei
reaktorin pohjalle muodostuisi saostumia.
Hiekasta ja muista raskaista materiaaleista
niitä muodostuu helposti, ja ajan mittaan ne
pientävät mädätyssäiliön aktiivista tila-
vuutta, jolle niitä poisteta. Kertymät voi-
daan poistaa joko säännöllisesti yläkautta
laitoksen tyhjentämisen jälkeen tai jatkuva-
na poistona siihen tarkoitukseen rakenne-
tulla järjestelmällä.

Biojätteen tai kananlannan mädätyksessä
muodostuu suuria määriä saostumia, jotka
aiheuttavat nopeasti mädätyssäiliön täyt-
tymistä. Lehmänlantaa ja energiakasveja
mädätettäessä niitä muodostuu sitä vas-
toin vain hyvin vähän. Esimerkiksi biojät-
teen mädätyksen yhteydessä biokaasulai-
tokseen muodostuvien saostumien poista-
miseksi on käytettävissä useita mahdolli-
sia ratkaisuja. Mädätyssäiliön pohja voi-
daan rakentaa kartiomaiseksi tai säiliöön
voidaan asentaa mekaanisia raappoja ja
kuljetusruuveja. Ne tekevät laitoksesta kui-
tenkin kalliimman, ja siksi tämäntyyppisiä
järjestelmiä on yleensä vain suurimmissa
laitoksissa.

Mädätysjäännös

Kaikki mädätyssäiliöön syötettävässä ma-
teriaalissa olevat ravinteet ovat biokaasu-
prosessin jälkeen jäljellä mädätysjätteissä,
joka on arvokasta lannoitus- ja maanparan-
usainetta. Mädätysjäännöksen ravintosi-
sältö vaihtelee muun muassa sen mukaan,
mitä materiaalia mädätetään, millaista bio-
kaasuprosessia käytetään ja kuinka kauan
aine on viipynyt mädätyssäiliössä.



Kuva Iiris Lappalainen

*Kuva 12. Mädätysjätteiden erottelua kiinteään ja nestemäiseen osaan
Envor Biotechin biokaasulaitoksella Forssassa.*

Biokaasuprosessissa käsitellyn lannan levit-
tämisestä pelloille sen sijaan, että käytet-
täisiin lantaa sellaisenaan, on monia etuja.
Kun lanta hajoaa, suuri osa valkuaisaineisiin
sitoutuneesta tyvestä muuttuu tai minerali-
soituu ammoniumtyypeksi, jota kasvit voivat
helpommin hyödyntää. Kun lanta mädäte-
tään, typen huuhtoutuminen viljelysmaasta
vähenee, ja lisäksi mädättäminen vähentää
lannan aiheuttamia hajuhaittoja, kun haise-
vat orgaaniset yhdisteet hajoavat proses-
sissa. Mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoi-
suus on alempi kuin syötteillä, ja se on tasa-
laatuisempaa. Se voidaan levittää samalla
tekniikalla kuin lanta. Kuivamädätyslaitos-
ten mädätysjäännös on kiinteässä muodos-
sa, ja ne levitetään samoin kuin kiinteä lan-
ta. Mädätysjäännöksen hyödyntämistä pel-
toviljelyssä koskevat samat määräykset
typpipäästöjen vähentämiseksi kuin lannan
levityksessä.

Mädätysjätteen erottelulla kiinteään ja nes-
temäiseen osaan saadaan kahdenlaista lan-
noitusainetta. Pääosa fosforista on kiinteäs-
sä osassa, kun taas nestemäinen osa sovel-
tuu typpilannoitteeksi. Jos biokaasulaitok-
sen läheisyydessä viljelymaalla on ylimäärä
fosforia, mädätysjämmien erottelu mahdol-
listaa kiinteän fosforipitoisen osuuden kul-
jettamisen kauemmaksi, kun taas vesipitoi-
nen, runsastyppinen osa voidaan levittää
läheisille pelloille.

Tuotanto- tekniikka

Metaanin spontaani muodostuminen

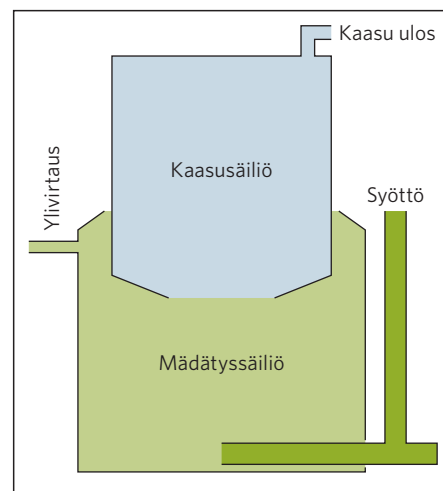
Biokaasua tuotetaan lukemattomilla erilaisilla järjestelmillä. Metaania muodostuu biomassasta spontaanisti lähes kaikkialla, missä on orgaanista materiaalia ja enemmän tai vähemmän hapettomat olosuhteet. Jos ruoantähteitä sisältävän roskapussin sitoo kiinni kunnolla, sen sisällä alkaa jonkin ajan kuluttua muodostua metaanikaasua.

**Suomen
sääoloissa
mädätyssäiliön
yläpohjaan
tarvitaan
lisäeristys.**

Yksinkertaisia biokaasulaitoksia

Maailmalla on kymmeniä miljoonia pieniä, rakenteeltaan yksinkertaisia biokaasulaitoksia. Sellaisen mädätyssäiliö koostuu kahdesta kaasutiiviistä astiasta, jotka on asetettu sisäkkäin. Alempi ja hieman suurempi astia on avoin ylöspäin, kun taas ylempi ja hieman pienempi astia on avoin alaspäin (kuva 13). Kahden astian pohjien välinen välitila on täytetty veden ja lannan tai ruoantähteiden sekoituksella. Materiaalin hajotessa muodostuu biokaasua, joka kertyy ylösalaisin olevan ylemmän, kaasukellona toimivan astian alle. Järjestelmä tiivistyy kaasutiiviiksi alemmaa astiaa vasten vesilukkoperiaatteella. Tuotettu kaasu johdetaan kaasukellon päältä letkulla keittiöön, jossa sitä käytetään ruoanvalmistuksen energianlähteenä.

Kuinka paljon reaktorissa on käytettävissä olevaa kaasua, on helppo todeta tarkastamalla, miten ylhäällä kaasukello kelluu. Jotta laitokset toimisivat kunnolla, mädätettävä materiaali pitää hienontaa, ennen kuin se syötetään prosessiin. Lisäksi edellytyksenä



Kuva 13. Yksinkertainen biokaasulaitos

on, että ilmasto on riittävän lämmin. Huolimatta siitä, että etelän talvet ovat merkittävästi meidän talviemme lämpimämmät, nämä yksinkertaiset lämmittämättömät ja eristämättömät laitokset toimivat huonosti talven kylmimpinä kuukausina.

Märkämädätyslaitokset

Kehittyneempi biokaasunvalmistustekniikka perustuu pumpattavien jakeiden jatkuvatoimisiin täyssekoitteisiin biokaasureaktoreihin (kuva 14). Reaktori on muodoltaan kuin sylinterimäinen, teräksestä tai teräsbeetonista valmistettu säiliö, joka on yleensä peitetty kahdella tiiviillä kalvolla.

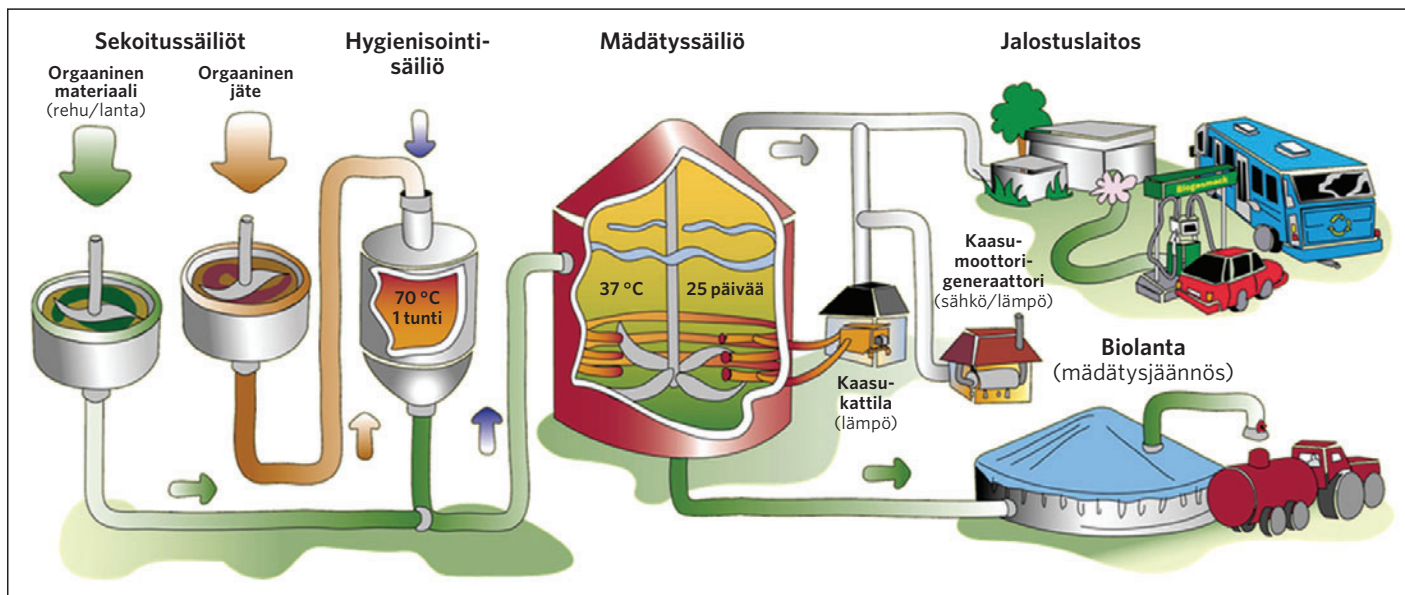
Alemman kalvon alla oleva tila toimii kaasunarastona, kun taas ylempi kalvo toimii säilönä. Ylempi kalvo pidetään muodossa heikon ylipaineen avulla, mikä saadaan aikaan pienellä puhaltimella, joka puhaltaa ilmaa kahden kalvon välillä olevaan tilaan. Tämä järjestely aiheuttaa sen, että alemman kalvon alla olevan kaasun määrä voi vaihdella ja se vaikuttaa samalla mädätys-

säiliön lämpöeristykseen. Keskieurooppalaisissa biokaasulaitoksissa ei ole yleensä käytössä muuta yläpohjan eristystä kuin se, jonka kahden kalvon välissä oleva ilma muodostaa. Suomen oloissa hyvä lisäeristäminen on tarpeen.

Toisin kuin yksinkertaisissa laitoksissa, kehittyneemmissä biokaasulaitoksissa reaktori on eristetty ja varustettu sekoittimella ja lämminvesiputkilla lämmitystä varten. Koska materiaalia lisätään koko ajan, sitä täytyy myös poistaa tasaisesti reaktorista. Koska reaktorista poistuvalla materiaalilla on edelleen jäljellä osa biokaasuntuotopotentialia, se siirretään kaasutiiviseen jälkikaasualtaaseen odottamaan levittämistä lannoitteena pellolle. Noin 10–25 prosenttia biokaasun kokonaistuotannosta tapahtuu yleensä mädätysjätevarastossa.

Keski-Euroopassa on viime aikoina alettu edellyttää, että mädätysjätteet varastoidaan katettuihin säiliöihin, jotta vältetään metaanikaasupäästöt. Jos laitoksella on avovarasto, sitä ei hyväksytä mukaan taakuuhintajärjestelmään. Suomessa ei vielä ole vastaavia määräyksiä, mutta ilman peitettyä mädätysjätevarastoa, joka toimii jälkimädätys säiliönä, menetetään merkittävä osa biokaasun tuotannosta. Jos laitos optimoidaan maksimaaliseen energiantuotantoon, samalla minimoidaan metaanipäästöt. Jos taas laitos optimoidaan mahdollisimman suurelle käsittelykapasiteetille reaktorikokoon nähden, samalla metaanipäästöt lisääntyvät.

Kuva 14. Kehittyneempi ja teknisesti monimutkaisempi biokaasun tuotantotekniikka perustuu esimerkiksi mesofiiliseen mädätykseen täyssekoitteisessa mädätys säiliössä. Tuotettu kaasu hyödynnetään yleensä sähkön ja energiantuotannossa, kun taas mädätysjäännökset levitetään lietelannan tavoin.



Kiinteiden aineiden syöttö märkämädätyslaitokseen voidaan tehdä kahdella tavalla. Lanta ja kiinteä biomassa voidaan joko sekoittaa keskenään erityisessä sekoitussäiliössä, josta materiaali pumpataan mädätys-säiliöön, tai kiinteä aine voidaan siirtää siirtoruuvien avulla suoraan mädätys-säiliöön. Hyvin toimivat järjestelmät kiinteiden materiaalien käsittelyyn ovat edellytys sille, että biokaasulaitos toimii käytännössä.

Tavallinen ratkaisu energiakasvien syöttämiseen biokaasulaitokseen on nautojen ruokinnassakin käytettävä apevaunu. Siinä kasvimaassa hienonnetaan ja syötetään ruuvien avulla mädätys-säiliön nestepinnan alle.

Vähemmän käytetty biokaasulaitosten toimintaperiaate perustuu vaiheittaiseen mädäntymiseen säiliössä, joka täytetään, mädätetään ja tyhjennetään. Märkämädätyslaitoksissa tätä periaatetta ei käytetä juuri lainkaan, mutta niin sanotussa kuivamädätyksessä panoskäyttö on tavallista. Panosperiaatteella kaasuntuotanto vaihtelee siten, että se on alussa vähäistä, minkä jälkeen se saavuttaa maksimin, ja tämän jälkeen kaasuntuotanto vähitellen lakkaa. Tasainen kaasuntuotanto on panosperiaatteella toimivassa järjestelmässä mahdollista, jos käytetään useampaa rinnakkaista reaktoria, jotka täytetään ja tyhjennetään eri aikoihin. Panossyötöllä viipymäaika on helppo määrittää yksiselitteisesti.

Vesi on tärkeä osa prosessia myös kuivamädätyksessä.



Kuva Sakari Alasuutari / Vastavalo.fi

Kuva 15. Lietelanta yhdistettynä kiinteään biomassaan sopii hyvin mädätettäväksi.

Kuva 16. Salaattijätteen ja kananlannan vastaanottopiste biokaasulaitoksella Juvan Turakkalassa.



Kuva Fredrik Ek

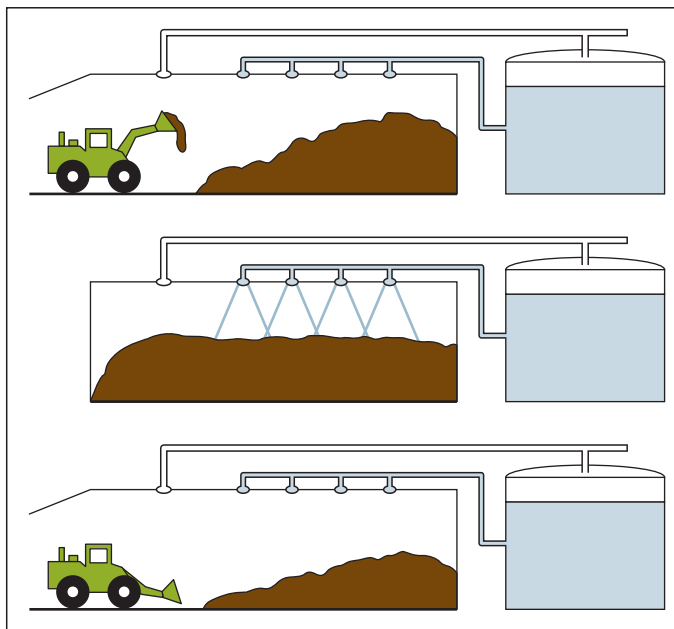
Kuivamädätys

Nimitys kuivamädätys on harhaanjohtava, sillä kuivamädätys kuten märkämädätyskin on täysin riippuvainen vedestä. Märkämädätysprosessit toimivat pumpattavalla materiaalilla, jonka kuiva-ainepitoisuus on enintään noin 15 prosenttia. Kuivamädätyksessä käytetään kiinteitä materiaaleja, joiden kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 30 prosenttia.

Kuivamädätystekniikka on alun perin lähtöisin kaatopaikoilta, missä jätteiden läpi valunut sadevesi on koottu ja pumpattu takaisin materiaalin päälle. Tällä menettelyllä kaasunmuodostumisaika on samalla lyhentynyt. Biokaasun tuotanto kaatopaikoilla ei periaatteessa eroa kovin paljon kuivamädätyksestä, mutta kaasun metaanipitoisuus on alhaisempi kuin reaktorissa tuotettavalla kaasulla ja hajoamisprosessi kestää paljon kauemmin.

Kuivamädätyslaitoksia on erilaisia. Yleisimmin käytetyn laitoksen toimintaperiaate on sellainen, että mädätettävän materiaalin päälle pumpataan kierrätettävää nestettä autotallityyppisen mädätyskammion katos-sa sijaitsevasta suihkusuukappaleesta. Neste ja nesteen liuottamat aineet valuvat hitaasti syötekerrosten läpi. Suodattunut neste kootaan ja pumpataan takaisin materiaalin päälle (kuva 17).

Jotta valumavesi leviää tasaisesti mädätys-säiliössä olevan jätteen päälle, sen on oltava koostumukseltaan suhteellisen karkeaa. Samalla sen on oltava riittävän hienojakoista, jotta bakteerien tarttumispinta on mahdollisimman suuri. Nämä vaatimukset ovat keskenään ristiriitaisia ja käytännössä kuivamädätys vaatii pitemmän viipymän kuin märkämädätys, jotta aines ehtii kunnolla



Kuva 17. Kiinteä aine voidaan mädättää kuivamädätyksellä. Mädätys-säiliö on ilmatiivis, autotalli-mainen tila, joka on varustettu nesteen kierrätyksellä ja lämmitysjärjestelmällä.

hajota. Kasan korkeus on rajattava noin kahteen metriin, jottei sen pohjalla oleva materiaali tiivistyisi liikaa. Pitemmästä viipymäajasta huolimatta siihen muodostuu yleensä huonosti hajonneita taskuja. Kun mädätys-säiliötä tyhjennetään ja täytetään pyöräkuormaajalla, riittämättömästi mädännyttä materiaalia viedään usein jatkomädätykseen. Lisäksi osa mädätysjäännöksestä lisätään uuteen syötteeseen riittävän, hajoamisen käynnistävän pieneliöpopulaation varmistamiseksi. Jotta aineksen käsittely pyöräkuormaajalla olisi mahdollista, mädätys-säiliöiden edessä on oltava riittävän suuri asfaltti- tai betonikenttä.

Tämäntyyppisiä kaupallisia kuivamädätyslaitoksia on viime vuosina tullut markkinoille, mutta ne edustavat edelleen vain muutamaa prosenttia kaikista rakennettavista laitoksista.

Tavallisten kuivamädätyslaitosten ongelmana on aineksen riittämätön sekoittuminen. Ongelma on pyritty ratkaisemaan kehittämällä kuivamädätyslaitoksia, joissa käytetään karkeita siipiratastyyppisiä sekoitusjärjestelmiä. Lisäksi on laitoksia, joiden toimintaperiaate on eräänlainen märkä- ja kuivamädätyksen välimuoto, jossa hyvin saakea, korkean kuiva-ainepitoisuuden omaavaa massaa pumpataan ruuvipumpuilla.

Kaasun käyttökohteet

Arvokas polttoaine

Biokaasu on arvokas polttoaine, jota voidaan käyttää lukuisiin erilaisiin tarkoituksiin, kuten lämmöntuotantoon, yhdistettyyn lämmön ja sähköntuotantoon sekä jalostuksessa muodossa liikennepolttoaineena tai maakaasuverkkoon syötettävänä kaasuna.

Lämmöntuotanto

Yksinkertaisin ja halvin tapa hyödyntää tuotettua kaasua on polttaa se lämpimän veden tuotantoon tarkoitetussa kaasukattilassa lämmitystarkoituksiin tai käyttää kaasua energianlähteenä keittiössä. Tyypillistä maatilakokoluokan biokaasulaitokselle on, että energiantuotanto laitoksissa ylittää moninkertaisesti tilan oman lämpöenergian tar-

peen. Lisäksi lämmön tarve on vähäisempää kesäaikaan. Tilalla sijaitsevilla biokaasulaitoksilla on yleensä siirrytty yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon.

Sähkön ja lämmöntuotanto

Biokaasuun perustuvalle sähkön- ja lämmöntuotannolle (CHP, Combined Heat and Power) on olemassa useita teknisiä ratkaisumahdollisuuksia. Yleisimmin käytetty perustuu biokaasun polttamiseen ottomoottorissa (kuva 18) tai kaasukäyttöiseksi muunnetussa dieselmoottorissa. Moottori vuorostaan pyörittää sähköverkkoon tahdistettua generaattoria vakiokierrosluvulla.

Kaasumoottoria käytettäessä kaasuseos sytytetään sytytystulpalla, kun taas dieselmoottoria käytettäessä kaasuseos sytytetään pienellä dieselpolttoainemäärällä jokaisella sylinteritäytöllä. Dieselin kulutus vastaa tällaisissa laitoksissa noin 2-10 prosenttia siitä määrästä, jota kuluisi puhtaassa dieselkäytössä, tai suunnilleen saman verran kuin mitä kuluu moottorin tyhjäkäynnillä. Viime aikoina on yhä enemmän siirrytty ottomoottoireihin. Dieselmoottoireita käytetään vain pienissä laitoksissa.

Kuva 18. Suurempi biokaasulaitos käyttää useimmiten sähköntuotannossa ottomoottoireita.



Kuva Fredrik Ek

Toinen mahdollinen ratkaisu sähkön- ja lämmöntuotannossa on käyttää stirling-moottoreita tai mikroturbiineita. Stirling-moottorit ovat mäntämoottoreita, joissa palaminen tapahtuu moottorin ulkopuolella, ja niiden tulisi periaatteessa toimia vähemmällä huollolla pitempään kuin moottoreiden, joiden sisäpuolella palaminen tapahtuu. Stirlingmoottorit vievät yleensä paljon tilaa ja ovat kalliita, joten niitä ei juuri käytetä.

Mikrokaasuturbiinia on käytetty jonkin verran biokaasulaitoksilla. Suomessa mikrokaasuturbiineja käytetään muun muassa muutamilla kaatopaikoilla. Kaasuturbiinissa on yksi ainoa liikkuva osa, minkä takia sen pitäisi kestää pitkään ja vaatia vähän huoltoa. Tällä hetkellä mikroturbiinit ovat kuitenkin kalliimpia kuin vastaavat mäntämoottorit ja niiden mekaaninen hyötysuhde on usein jonkin verran huonompi kuin mäntämoottorien.

Hyvän mekaanisen hyötysuhteen ja alhaisen hinnan ansiosta mäntämoottorit ovat yleensä käytetyin ratkaisu pienimuotoisessa sähkön- ja lämmöntuotannossa. Mäntämoottori edustaa lisäksi erittäin vakiintunutta tekniikkaa, jonka kaikki koneiden parissa työskentelevät tuntevat. Huolimatta siitä, että mäntämoottorikonsepti on hyvin toimiva, siihen liittyy myös eräitä haittapuolia. Mäntämoottorissa on useita liikkuvia osia, jotka kuluvat. Mäntämoottori on riippuvainen säännöllisestä huollosta, kuten öljynvaihdosta ja sytytystulppien vaihdosta. Noin viiden-kymmenen vuoden jatkuva käyttö edellyttää moottorin täydellistä peruskunnostusta tai moottorin vaihtoa.

Biokaasulla toimiva pieni polttomoottori pystyy muuttamaan noin 30 prosenttia biokaasun energiasisällöstä sähköenergiaksi,



Kuva Fredrik Ek

Kuva 19.
Biokaasulaitoksen
ylijäämälämpöä
käytetään tässä
puutavaran
kuivaamiseen
siirtolavalla.

ja lopusta tulee lämpöä. Suuret kaasut ja dieselmoottorit voivat toimia jopa yli 40 prosentin hyötysuhteella. Suurin osa biokaasun energiasisällöstä muutetaan yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa lämmöksi, etenkin pienemmässä kokoluokassa. Sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksen sijoituspaikkaa valittaessa kannattaa pyrkiä siihen, että tuotetulle lämmölle saadaan mahdollisimman hyvä ja tasainen käyttö. Jos lämmölle ei ole käyttöä biokaasulaitoksen yhteydessä, kannattaa harkita mahdollisuutta johtaa kaasut pois putkiston kautta hyödynnettäväksi toisessa paikassa, jossa lämpö voidaan hyödyntää.

Lämmön- ja sähköntuotannon pakokaasut voivat myös itsessään muodostaa arvokkaan resurssin. Keski-Euroopassa on esimerkkejä siitä, miten biokaasumoottoreiden päästöjä on hyödynnetty kasvihuoneiden hiilidioksidilannoituksessa, kun päästöt on puhdistettu typpioksideista.

Lämpöä ja sähköä tuottava biokaasulaitos käyttää moottorin ylijäämälämpöä biokaasulaitoksen lämmitykseen ja usein myös läheisten rakennusten lämmitykseen. Erityisesti kesäisin, kun lämpöenergialla on vähän käyttöä, suuri osa lämmöntuotantokapasiteetista jää pääasiassa hyödyntämättä.

Siitä huolimatta että sähkön- ja lämmön- tuotannossa lämpöä tuotetaan enimmillään kaksinkertaisesti sähköön verrattuna, tapana on laskea että suunnilleen yhtä monta kilowattituntia lämpöä kuin sähköäkin voidaan hyödyntää laitoksen ulkopuolella. Merkittäviä määriä lämpöenergiaa kuluu reaktoriin syötettävän uuden materiaalin lämmittämiseen ja reaktorin lämpöhävikkien kattamiseen.

Kaasun myyminen paikallisesti

Maanviljelys tapahtuu yleensä melko kaukana yhdyskunnista, joissa tuotettua lämpöenergiaa voisi käyttää. Pitkien putkistoverkkojen rakentaminen on kallista ja johtaa lisäksi suuriin lämpöhävikkeihin. Biokaasun kuljettaminen putkistoissa käyttöpisteeseen sähkön tai lämmön kuljettamisen asemesta on energiataloudellisesti järkevää. Kaasulla, joka on energiaa kemiallisessa muodossa, on paremmat varastointi- ja kuljetusominaisuudet kuin lämmöllä, joka on energiaa fysikaalisessa muodossa. Kaasujohdon kaivaminen maahan on halvempaa kuin lämpöputkistojen.

Viime aikoina on tullut yhä yleisemmäksi johtaa kaasu kaasuputkea pitkin pois varsinaisesta biokaasulaitoksesta suoraan poltettavaksi tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokseen, joka on yhteydessä suuriin lämmönkuluttajiin tai kaukolämpöverkoon. Jos kaasu johdetaan pois muualla hyödynnettäväksi, biokaasulaitoksen lämmitys on ratkaistava muulla tavalla. Eräs tapa on pienen kaasukattilan tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen käyttö biokaasulaitoksen yhteydessä, vaikka pääosa kaasusta johdetaan pois. Toinen tapa on käyttää hakekattilaa biokaasulaitoksen lämmitykseen. Biokaasun myynnin yhtey-

dessä biokaasulaitoksen omistaja voi valita, myykö hän tuotetun kaasun läheisessä yhdyskunnassa sijaitsevalle energialaitokselle vai onko hänellä oma laitos.

Kaasun syöttäminen maakaasuverkkoon

Vaihtoehto biokaasun hyödyntämiselle paikallisesti tai biokaasulaitoksen läheisyydessä on johtaa puhdistettu kaasu maakaasuverkkoon. Maakaasuputkistojen läheisyydessä sijaitseville tiloille tämä voi olla hyvä vaihtoehto.

Maakaasuverkkoa koskevat määräykset ovat samantyyppisiä kuin sähköverkkoa koskevat. Uusiutuvista resursseista tuotettua sähköä voidaan myydä vihreänä sähkönä riippumatta siitä, missä tuotanto tapahtuu. Vastaavasti voidaan myydä sama määrä kaasua biokaasuna kuin biokaasulaitoksesta ostettava kaasumäärä.

Jos tuotettu biokaasu myydään maakaasuverkkoon, sen tulee vastata voimassa olevien määräysten mukaan maakaasua sekä lämpöarvoltaan että hajultaan. Maakaasu vaihtelee koostumukseltaan jonkin verran tuotantopaikan mukaan. Venäläinen maakaasu, jota Suomessa käytetään, muodostuu pääosin pelkästään metaanista. Biokaasu tuleekin jalostaa lähes vastaamaan sitä metaanipitoisuudeltaan, samalla kun rikkivety, hiilidioksidi ja kosteus tulee poistaa.

Biokaasu on puhdistettava liikennepolttoainekäyttöä varten.

Kuva 20. Biokaasukäyttöisen auton tankkaus vuonna 2011 rakennetulla biokaasuasemalla Erkki Kalmarin tilalla Laukaassa.



Kuva Metener Oy

Kaasun jalostaminen liikennepolttoaineeksi

Kun biokaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi tai maakaasuverkkoon syöttämistä varten, kaasu puhdistetaan ensin rikkivedystä ja hiukkasista, jonka jälkeen hiilidioksidi erotetaan kaasusta (kuva 21). Hiilidioksidi ei sinällään ole haitallinen ainesosa eikä sitä tarvitse poistaa kaasusta, jos kaasu poltetaan kaasukattilassa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa. Kun biokaasua jalostetaan liikennepolttoaineeksi, siitä pyritään poistamaan mahdollisimman paljon hiilidioksidia, koska hiilidioksidi alentaa kaasun lämpöarvoa.

Tavallisin tekniikka hiilidioksidin erottamiseksi biokaasusta perustuu siihen, että hiilidioksidi liuotetaan veteen vesipesurilla. Sekä hiilidioksidi että rikkivety liukenevat helpommin veteen kuin metaani, ja ne voidaan molemmat erottaa biokaasusta samalla pesurilla. Käytännössä vesipesu tapahtuu siten, että kaasu paineistetaan noin 10 bariin kahdessa tai useammassa vaiheessa ja johdetaan ylös täytekappaleilla täytettyyn säiliöön. Samalla vettä huuhdellaan alaspäin täytekappalealustassa, jolloin lähes kaikki hiilidioksidi ja jäljellä oleva rikkivety liukenee veteen (kuva 22). Kun vesi johdetaan pesurista pois ja paine lasketaan, kaasut vapautuvat, jonka jälkeen vesi voidaan käyttää uudelleen pesuvedenä.

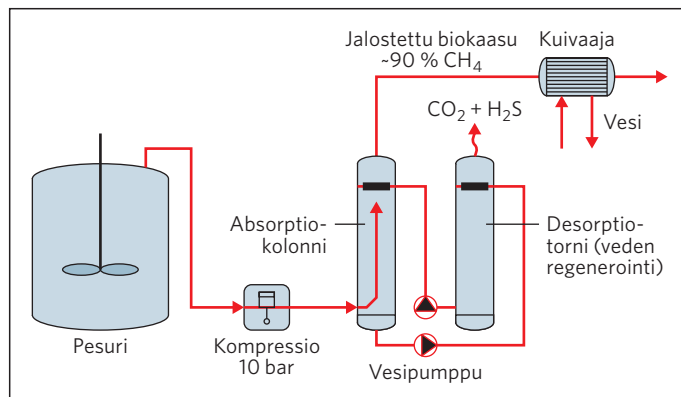
Metaanikaasun suuria päästöjä on vältettävä erotusprosessin aikana. Metaanikaasu on yli 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Siten metaanipäästö biokaasulaitoksesta, joka itsessään on rakennettu vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä, johtaa helposti haitallisiin vaikutuksiin, jos päästöjä ei minimoida.

Kuva 21.
Erkki Kalmarin
biokaasun puhdistus-
laitos Laukaassa.



Kuva Metener Oy

Kuva 22.
Kaaviokuva biokaasun
jalostamisesta
polttoaineeksi.



Huolimatta siitä, että absorptiokolonniteknikka (kuva 22) on käytetyin biokaasun jalostusmenetelmä, sillä on myös haittansa. Haittapuolia ovat esimerkiksi, että metaani liukenee osittain veteen ja kaasun kompressoinnissa käytettävän sähkön määrä on suhteellisen korkea. Jotta metaanihävikkejä saadaan pienennetyiksi, käytetään vesipesurin ja veden elvytyksen välissä välivaihetta. Tässä välivaiheessa paine laskee nopeasti, jotta pääosa veteen liuenneesta metaanikaasusta vapautuu jälleen. Vapautettu kaasu johdetaan sen jälkeen takaisin varsinaisiin pesureihin, kun taas vesi ja pääosa hiilidioksidista johdetaan vedenelvytyssäiliöön, desorptiokolonniin, jossa hiilidioksidi vapautetaan vesiliuoksesta. Poistettavassa jätekaasussa metaania on yleensä noin 1–3 prosenttia. Pesureissa voidaan veden lisäksi käyttää myös erityisiä liuotusaineita, joiden avulla hiilidioksidin erotus tapahtuu tehokkaammin, mikä mahdollistaa matalamman paineen käytön sekä pienemmät metaanihävikit.

Biokaasun jalostuksen toinen tekniikka, joka ei edellytä kaasun voimasta paineistusta, perustuu liuottimella (amiini) pesemiseen, joka regeneroidaan lämmön avulla. Tekniikka mahdollistaa lämpöenergian käytön säh-

kön asemesta jalostuksessa ja lisäksi menetelmällä on pienempi metaanihävikki.

Ennen kuin puhdistettua kaasua voidaan käyttää ajoneuvojen polttoaineena, se paineistetaan noin 200 barin paineeseen. Erilliseltä asemalta tankattava, liikennepolttoaineena käytettävä biokaasu tulee lisäksi turvallisuussyistä hajustaa lisäämällä siihen tetrahydrotiofeeniä, rikkiä ja hiilivety-yhdistettä, jolla on voimakkaan epämiellyttävä haju. Biokaasulla on itsellään tietty haju, mutta puhdistusprosessissa tapahtuvan rikkivedyn poistamisen jälkeen kaasusta tulee lähes hajuton.

*Kuva 23.
Erkki Kalmari, yksi
Suomen biokaasualan
edelläkävijöistä,
tankkaa Suomen toista
biokaasukäyttöstä
traktoria tilan
biokaasuasemalla.*



Kuva Metener Oy

Esimerkki: Biokaasuntuotanto maitotilalla

Lanta raaka-aineena

Yksi lypsylehmä + nuorkarja tuottavat noin 65 kg lietelantaa vuorokaudessa. Lannan kuiva-ainepitoisuus on noin 10 prosenttia ja kuiva-aineesta noin 80 prosenttia koostuu orgaanisesta aineesta. Oletetaan, että 150 lypsylehmän tila päättää investoida biokaasulaitokseen ja haluaa selvittää, kuinka paljon energiaa lannasta saadaan tuotetuksi. Lypsylehmien määrän ollessa 150 lannan määrä vuorokaudessa on noin 10 000 kg ($150 \cdot 65$ kg). Jos eläimet ovat sisätiloissa vuoden ympäri, lantamäärä vuositasolla on noin 3 650 tonnia. Orgaanisen materiaalin määrä lannassa voidaan laskea seuraavasti:

Vuorokaudessa: $10\,000\text{ kg} \cdot 10\% \cdot 80\% = 800\text{ kg}$
Vuodessa: $3\,650\text{ tonnia} \cdot 10\% \cdot 80\% = 292\text{ tonnia}$

Naudan lietelannasta saadaan tonnista orgaanista kuiva-ainetta noin 360 kuutiometriä biokaasua, jonka metaanipitoisuus on noin 60 prosenttia.

Metaanikaasun tuotantokapasiteetti 150 lehmän lannantuotannolla on yhdessä vuodessa seuraava:

$292\text{ tonnia} \cdot 360\text{ m}^3\text{ biokaasua/tonni} \cdot 60\% \text{ metaania/}$
 $\text{biokaasu} = 63\,000\text{ m}^3\text{ metaania}$



Kuva Ari Andersin / Vastavalo.fi

Kuva 24. Naudan lietelannasta saadaan tonnista orgaanista kuiva-ainetta noin 360 kuutiota biokaasua, jossa on metaania noin 60 prosenttia.

Kuutiometri metaania sisältää suunnilleen yhtä paljon energiaa kuin litra öljyä, eli 10 kilowattituntia. Tuotetun biokaasun energiasisältö on siten 630 000 kilowattituntia tai 630 megawattituntia.

Karkeasti arvioiden lietelannan metaanikaasutuotantopotentiaalista voidaan käyttää seuraavaa oletusta: 14 kuutiota metaania lietelanta-kuutiometriä kohti. Metaanipitoisuuden ollessa noin 60 prosenttia tämä vastaa noin 23 kuutiometriä biokaasua. Metaanintuotanto vähenee varastoinnin ja laimentumisen johdosta; esimerkiksi pesu- tai sadevesi voi laimentaa lantaa.

Energianurmi raaka-aineena

Maatila, jolla on 150 nautaa, voi lisätä energiantuotantopotentiaaliaan merkittävästi lannan mädätyksen ohella myös nurmen mädätyksellä biokaasulaitoksessa, mutta silloin on rakennettava suurempi laitos. Oletetaan, että tilan läheisyydessä on 50 hehtaaria viljelysmaata, jolle ei ole mielekästä käyttöä ja jolla voidaan aloittaa timotein ja apilan tuotanto biokaasulaitosta varten. Ruohokasvien vuosisadon oletetaan olevan 17 400 kg kuivattua tuorepainoa hehtaartilta, mikä vastaa keskiarvoa Suomessa vuonna 2011. Nurmen kuiva-aineisuus on 35 prosenttia, ja kuiva-aineesta 90 prosenttia oletetaan olevan orgaanista materiaalia.

Viidenkymmenen hehtaarin tuottaman orgaanisen kuiva-aineen määräksi muodostuu:

$$50 \text{ ha} * 17,9 \text{ tonnia/ha} * 35 \text{ prosenttia} * 90 \text{ prosenttia} = 282 \text{ tonnia}$$

Tonni nurmen orgaanista materiaalia tuottaa noin 550 m³ biokaasua, jonka metaanipitoisuus on 55 prosenttia. Viidenkymmenen hehtaarin ruohokasvituotannon potentiaali tuottaa metaanikaasua on siten:

$$282 \text{ tonnia} * 550 \text{ m}^3 \text{ biokaasua/tonni} * 55 \text{ prosenttia metaania/biokaasu} = 85\,300 \text{ m}^3 \text{ metaania}$$

Energiasisältö 85 300 kuutiota metaania vastaa noin 850 megawattituntia kaasuenergiaa eli noin 35 prosenttia enemmän kuin mitä 150 naudan vuodessa tuottama lietalanta.

Biomassan viljelystä biokaasuntuotantoa varten aiheutuu kuitenkin kustannuksia, kun taas lannan voidaan katsoa olevan karjan kasvatuksen sivutuotteena ilmaista.

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Kun tarkastellaan pelkästään lantaa biokaasuntuotannon raaka-aineena, esimerkkilaitos tuottaa kaasua 630 megawattituntia. Jos biokaasun energiasisältö halutaan muuntaa sähköksi, voidaan biokaasugeneraattorilla olettaa olevan noin 30 prosentin hyötysuhde, eli vajaa kolmasosa tuotetun kaasun energiasisällöstä voidaan muuttaa sähköksi. Noin 55 prosenttia energiasisällöstä muuttuu samalla lämmöksi, kun taas 15 prosenttia menee hukkaan pakokaasuja säteilyhävikkeinä.

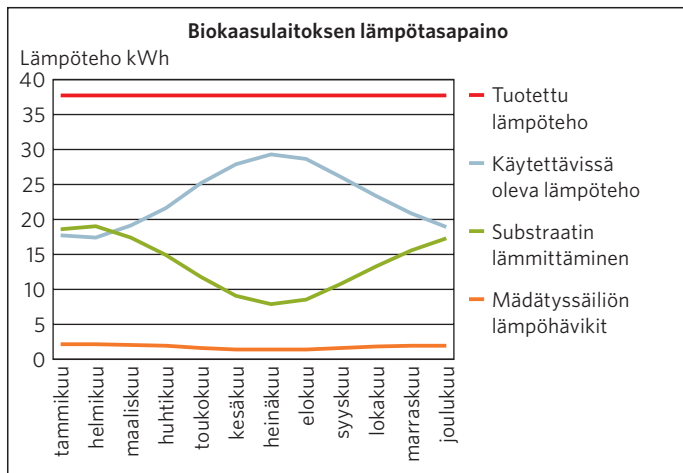
Esimerkkilaitoksen sähköteho on hieman alle 22 kW (630 000 kWh/vuosi / 8 760 tuntia/vuosi * 30 prosenttia)

$$\begin{aligned} \text{Sähköntuotanto} &= 30 \text{ prosenttia} * 630 \text{ MWh} = 189 \text{ MWh} \\ \text{keskimääräinen teho} &= 444\,000 \text{ kWh} / \text{vuosi} / \\ &8\,760 \text{ tuntia} / \text{vuosi} = 21,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lämmöntuotanto} &= 55 \text{ prosenttia} * 630 \text{ MWh} = 347 \text{ MWh} \\ \text{keskimääräinen teho} &= 347\,000 \text{ kWh} / \text{vuosi} / \\ &8\,760 \text{ tuntia} / \text{vuosi} = 39,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

Prosessilämpö

Varsin merkittäviä määriä energiasta kuluu reaktoriin syötettävien raaka-aineiden lämmittämiseen ja reaktorin lämpöhävikkien kattamiseen. Edellä olevassa 150 lypsylehmän esimerkissä pelkästään lietalantaan perustuvalla sähkön ja lämmön yhteistuotannolla vuositasolla noin 40 prosenttia tuotetusta lämmöstä kuluu prosessin ylläpitämiseen. Tämä vastaa noin viidesosaa tuotetun kaasun energiasisällöstä. Syötteen lämmitys kuluttaa yleensä huomattavasti enemmän energiaa kuin mitä hyvin eristetyn mädätyssäiliön lämpöhävikkien kattamiseen kuluu. Poistettavan prosessijäännöksen lämmön siirto syötteisiin on hyvä tapa vähentää lämmitykseen tarvittavaa energiaa. Kun mädätetään vähän vettä sisältävää substraattia, jonka biokaasupotentiaali on suurempi kuin lannalla, prosessin kuluttama energian määrä pienenee.



Kuva 25. Lämpötase esimerkin biokaasulaitoksessa.

Kesäaikaan, kun lämmöntarve on muutenkin pienin käytettävissä on eniten lämpöä, koska itse laitoskin tarvitsee silloin vähiten lämpöä. Syötteen lämmitys kuluttaa yleensä huomattavasti enemmän energiaa kuin mitä reaktorin lämpöhävikkien tasaukseen kuluu (kuva 25). Tässä esimerkissä on kyseessä hyvin eristetty 300 kuutiometrin reaktori, jossa on betonikatto. Katto on eristetty 200 millimetrin polystyreenillä ja U-arvo on 0,19 W/m² K. Käytännössä olisi viisaampaa, että siirryttäisiin tilavuudeltaan jonkin verran suurempaan reaktoriin, kun otetaan huomioon mahdollinen energiakasvien tai muiden jätteen syöttäminen mädätykseen pelkän lannan lisäksi. Varsinaisen reaktorin lisäksi tarvitaan vielä katettu jälkikaasuallas, jossa tuotetaan noin 20 prosenttia kaasusta. Jälkikaasutuksen ei tarvitse olla varustettu lämmitysjärjestelmällä.

Energiasisältö:

1 m³ metaanikaasua = 1 litra öljyä = 10 kWh

1 m³ biokaasua ~ 6 kWh

1 m³ biokaasua ~ 2 kWh sähköä

Biokaasulaitoksen mitoitus

Reaktorin koko määräytyy laitokseen syötettävän syötteen määrän sekä sen ominaisuuksien mukaan. Syötteen määrän lisäksi on tiedettävä kuinka pitkän viipymääjan seos vaatii ja kuinka korkeaa kuormitusta voidaan käyttää. Lietelannalla tapahtuvassa mesofiilissä mädätyksessä käytetään yleisesti kuormitusta kolme kiloa orgaanista ainetta reaktorin yhtä kuutiometriä kohti vuorokaudessa ja viipymääjan ollessa vähintään noin kolme-neljä viikkoa.

Biokaasulaitoksen kannattavuus

Oletetaan, että 150 lehmän maitotilalla sähkönkulutus on vuosittain 150 000 kilowattituntia (kWh), mikä sähkönhinnan ollessa 10 senttiä/kWh tarkoittaa 15 000 euron vuotuisia sähkökuluja. Jos biokaasulaitos toimii ainoastaan tilan omalla lannalla, sopii tilan sähkön käyttö erinomaisesti yhteen laitoksen sähköntuotannon kanssa. Sähkön myyminen sähköverkkoon ei kannata, kun laitoksen teho on alle 100 kilowattia, sillä Suomessa pienet laitokset eivät ole mukana syöttötariffijärjestelmässä. Sähkön myyminen sähköverkkoon ei ole kannattavaa, koska tuottaja saa maksun vain sähköstä mutta menettää siirron ja sähköveron osuuden, jonka taas hyötyy ostosähköä korvatesa.

Huolimatta siitä, että sähkönkulutus ja sähköntuotanto vuosisatasalla osuvat hyvin yhteen esimerkkitapauksessa, todellisuus on kuitenkin aivan toisenlainen. Maitotilan sähköntehon tarve vaihtelee vuorokauden eri aikoina sen mukaan, mitä toimenpiteitä navetassa on käynnissä. Tämän takia CHP-laitteen tulisi olla mitoitettu lähelle huippukuormaa ja kyetä säätyämään pienemmille kulutusmäärille.

Järjestelmä, jolla nettosähkönkulutuksen ja -tuotannon voisi mitata, parantaisi pienten energiantuottajien mahdollisuuksia käyttää laitoksiaan rationaalisesti. Järjestelmä mahdollistaisi sähköverkon käytön akkana. Periaate perustuu siihen, että sähkönkäyttäjä voi nollata oman sähkölaskunsa kokonaan tai osittain syöttämällä sähköä verkkoon menettämättä sähkön hintaan kuuluvaa siirtomaksu-osuutta. Vastaavanlaisia järjestelyjä on käytössä eri puolilla maailmaa ja niistä on keskusteltu myös meillä. Nettomittaus ei ole ainaakaan vielä mahdollista suomalaisille sähkön pientuottajille.

Lämmitysenergian kustannukset riippuvat siitä, millä tavalla lämpö tuotetaan. Voidaan esimerkiksi ajatella, että tila kuluttaa 10 000 litraa polttoöljyä rakennusten lämmitykseen. Verottomalla öljynhinnalla 900 €/m³ (huhtikuu 2012) muodostuu vuosittaisen öljynkulutuksen hinnaksi 9000 euroa. Kun oletetaan, että öljykattilan hyötysuhde on 90 prosenttia, merkitsee 10 000 litran öljyn kulutus 90 000 kilowattitunnin lämmöntarvetta. Lämmitystarpeen jakautuminen eri kuukausille on seuraavassa esimerkissä laskettu sen perusteella, miten lämmitystarve jakautuu tilastollisesti vuoden aikana (kuva 26).

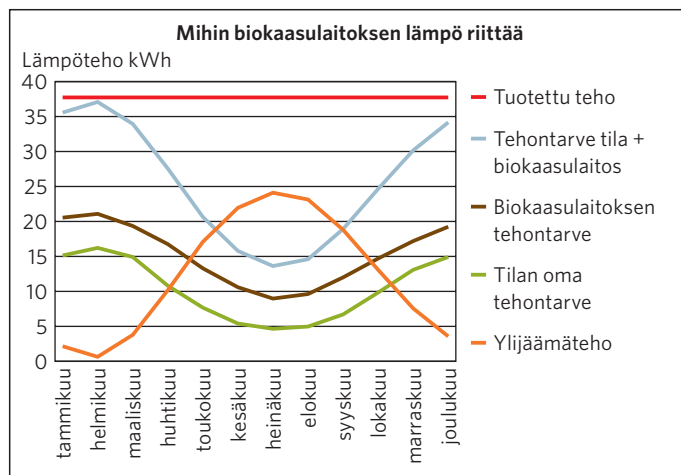
Käytännössä biokaasulaitoksen tehontuotantoa voidaan osittain ohjata siten, että talvella biokaasulaitokseen syötetään enemmän materiaalia kuin kesällä. Tässä tapauksessa on pelkästään laskettu, että lietelantaa käytetään yhtä suuria määriä kaikkina päivinä ympäri vuoden. Esimerkissä, jossa on maitotila, 150 lypsylehmää ja lannan mädätysmahdollisuus, lannan tuottamana sähköenergia riittää juuri sopivasti kattamaan tilan oman sähköntarpeen. Noin 200 000 kilowattituntia lämpöenergiaa jää tosin käyttämättä. Eniten sitä jää käyttämättä kesäkuukausina. Jos tilalla olisi mahdollisuus syöttää ylijäämälämpö aluelämpöverkkoon vuoden ympäri, voitaisiin siitä laskea saatavan lisätuottoa. Jos lämmölle ei ole järkevää käyttöä, se on arvotonta. Ylijäämälämpöä voidaan käyttää kesällä myös esimerkiksi heinän tai hakkeen kuivaamiseen.

Tarjolla syöttötariffi ja investointitukea

Biokaasulaitosten suuri menestys Saksassa perustuu kokonaan sille, että myydystä vihreän sähkön kilowattitunnista saa hyvän hinnan. Saksalainen biokaasusähkön tuottaja saa noin 15 senttiä myymästään kilowattitunnista, kun taas vastaava summa Suomessa on 13,35 senttiä, mutta vain laitoksissa, joiden sähköntuotantoteho on yli 100 kilowattia (generaattoriteho vähintään 100 kVA). Alle 100 kilowatin laitoksille, jotka haluavat syöttää sähköä verkkoon, käytössä on sähkön markkinahinta, joka on noin 4 senttiä/kWh (huhtikuu 2012).

Biokaasulaitos, joka ei liity syöttötariffijärjestelmäjärjestelmään, voi saada investointitukea, kun taas tariffijärjestelmään liittyvä laitos ei voi sitä saada. Tariffijärjestelmään liittyviä laitoksia koskee lisäksi määräys, ettei niissä saa olla käytettyjä osia.

Pienemmille laitoksille on kannattavampaa vastaanottaa investointitukea ja mukauttaa laitoksen koko siten, että itsellä on käyttöä tuotetulle sähkölle. Lämmön- ja sähköntuotannossa lämpö on aina



Kuva 26. Kuukausittaisten keskilämpötilojen mukaan laskettuna laitoksen tuottama lämpöteho riittää biokaasulaitoksen ja tilan rakennusten yhteenlaskettuun tehon tarpeeseen ympäri vuoden, mutta ankarien pakkasjaksojen aikana lämmöstä tulee pulaa. Keskellä kesää liiallista tehontuotantoa on noin 25 kWh.

päätuote. Kannattaa siis pyrkiä siihen, että lämmölle löytyy järkeviä käyttökohteita. Jollei se ole mahdollista omalla tilalla, saattaa olla kannattavaa harkita kaasulinjan vetämistä lähellä sijaitsevaan teollisuuslaitokseen, kuntakeskukseen tai vastaavaan.

Kannattavuuden parantaminen

Tänä päivänä Suomessa käytössä olevat biokaasulaitokset saavat kannattavuutensa pääasiassa biokaasulaitokseen käsiteltäväksi tuotavan biologisesti hajoavan jätteen niin sanotuilla porttimaksuilla. Porttimaksut koskevat yleensä suuria biokaasulaitoksia, mutta myös pienet laitokset voivat ottaa vastaan ja käsitellä biologisesti hajoavaa jätettä ja saada siitä maksun. Suomessakin on esimerkkejä tällaisista porttimaksullisia jätteitä vastaanottavista, laitoshyväksynnän saaneista maatalouden biokaasulaitoksista.

Jotta lannan tai säilörehun käyttöön perustuva maatalouden biokaasulaitos voisi olla kannattava, vaaditaan toisaalta, että laitos on edullinen ja toimiva, ja toisaalta, että tuotetusta energiasta saa hyvän taloudellisen tuoton. Yksi tapa saavuttaa parempi kannattavuus

on jalostaa kaasu liikennepolttoaineeksi, edellyttäen, että kaasu käy kaupaksi. Ajoneuvokaasun tuotannolla päästään eroon ylijäämälämmön aiheuttamasta ongelmasta kesäisin, ja lisäksi tuotetusta energiasta saa noin kaksinkertaisen hinnan verrattuna sähkön ja lämmön tuotantoon. Samalla laitoksesta tulee kuitenkin kalliimpi, ja lisäksi kaasunmyynnin hoitaminen sitoo enemmän resursseja kuin sähkön tai lämmön tuotanto.

Mitä esimerkin biokaasulaitos saa sitten maksaa ollakseen kannattava?

Tila voi karkeasti ottaen tuottaa oman sähkönsä biokaasulaitoksessa. Vuoden 2012 energian hinnoilla sähköntuotannon arvo olisi noin 15 000 euroa ja lämmitysenergian arvo noin 9 000 euroa vuodessa eli yhteenlaskettuna 24 000 euroa. Jos otetaan huomioon pelkäättään investointikustannukset, laitos saisi maksaa tilalle enintään

200 000 euroa, jotta se energiantuotannon avulla maksaisi itsensä 10 vuodessa, jos korko on kolme prosenttia. Maataloudelle perustuvan biokaasulaitoksen sekä maaseudulla toimivan yritysmuotoisen biokaasulaitoksen rakentamiseen on viime vuosina voinut saada investointitukea. Mahdollisista tuista ja tukiprosenteista saa lisätietoa Maaseutuvirastosta (www.mavi.fi) ja ELY-keskuksista.

Niillä edellytyksillä, joita meillä on maatalouteen perustuville biokaasulaitoksille, ei jokainen lantaa tuottava tila pysty rakentamaan itselleen omaa laitosta. Maatalouteen perustuvat biokaasulaitokset eivät yleisty meillä kuten esimerkiksi Saksassa. Siitä huolimatta mahdollisuuksia biokaasulaitosten kannattavalle käytölle tiloilla on olemassa, myös ilman porttimaksuja tuottavan jätteen mädätystä. Ennen investointipäätöstä on joka tapauksessa tehtävä kannattavuuslaskelmat huolella, riippumatta siitä onko kyse sähkön ja lämmöntuotannosta tilalla vai kaasun myynnistä.

Kuva 27. Biokaasun tuotannon kannattavuuslaskelmat on syytä tehdä huolella ennen investointipäätöstä.



Kuva Pentti Sormunen / Vastavalo.fi

Biokaasun tuotanto maatilalla

Opas sisältää perustietoja biokaasun tuotannon mahdollisuuksista. Opas on suunnattu maataloille ja muille biokaasun tuotannosta kiinnostuneille tahoille.

Alalta on tähän asti puuttunut yhtenäinen suomenkielinen perusaineisto, vaikka siitä ollaan laajasti kiinnostuneita.

Oppaan pohjana on käytetty Fredrik Ekin kirjoittamaa Produktion av biogas på gården -opasta, jonka on julkaissut Svenska lantbrukssällskapens förbund. Käännetyin tekstin on tarkastanut Juha Luostarinen Metener Oy:stä ja aineistoa on muokattu myös Motivassa. Motiva on tuottanut oppaan työ- ja elinkeinoministeriön tilaamana.



Kuva Pirkko Kanervisto / Vastavalo.fi

Motiva

Urho Kekkosen katu 4-6 A
PL 489
00101 Helsinki
Puhelin 0424 2811
www.motiva.fi