



BIOKAASUKATTILOIDEN TAKUUMITTAUKSET

Opinnäytetyö

Olli Pärjälä

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Automaatio- ja mittaustekniikka

Vesihuoltotekniikka

Hyväksytty _____.____._____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Olli Pärjälä

Työn nimi

Biokaasukattiloiden takuumittaukset

Työn laji

Insinöörityö

Päiväys

02.03.2011

Sivumäärä

61 + 37

Työn valvoja

yliopettaja Merja Tolvanen

Yrityksen yhdyshenkilö

Janne Nuutinen

Yritys

Symo Oy

Tiivistelmä

Tämän insinöörityön aiheena oli laatia Symo Oy:lle menetelmäohjeistus biokaasulaitosten lämpökattiloiden takuumittausten suorittamiseksi. Ohjeistusta tarvitaan koska Symo Oy aikoo laajentaa palvelutarjontaansa biokaasulaitosten mittauksilla. Biokaasulaitokset ovat viime vuosina lisääntyneet Suomessa, ja varsinkin maatilalaitokset ovat 2000-luvulla yleistyneet. Suomessa suurin osa tuotetusta biokaasusta hyödynnetään lämmöntuotannossa.

Ohjeistus oli tarkoitus tehdä noudattamaan samaa linjaa yrityksen muiden menetelmäohjeiden kanssa. Ohjeistus pyrittiin tekemään niin pitkälle kuin mahdollista standardien mukaiseksi. Biokaasulaitosten mittaamiseen ei ole ainakaan toistaiseksi olemassa omia standardeja. Biokaasulaitokset käyttävät yleisesti lämmöntuotantoon vesikiertoon perustuvia lämpökattiloita joiden takuu- ja päästömittausten suorittamiseksi on olemassa standardit. Ohjeistus laadittiin näiden standardien mukaiseksi.

Laadittu ohjeistus sisältää mittausohjeet lämpökattilan hyötysuhteen ja päästöjen mittaamiseen, mittauspöytäkirjat, tulosten laskentataulukot ja raportointimallin. Ohjeistuksen avulla yritys voi suorittaa takuumittauksia biokaasulaitosten lämpökattiloille. Työn tuloksia voidaan pienillä muutoksilla hyödyntää myös muita polttoaineita käyttävien lämpökattiloiden mittaamiseen.

Avainsanat

Menetelmäohje, biokaasu, lämpökattila, takuumittaus, hyötysuhde, päästöt

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Environmental Engineering

Author

Olli Pärjälä

Title of Project

Acceptance Tests on Biogas Firing Thermal Boilers

Type of Project

Final Project

Date

2.March.2011

Pages

61 + 37

Academic Supervisor

Ms. Merja Tolvanen, Principal Lecturer

Company Supervisor

Mr. Janne Nuutinen

Company

Symo Ltd.

Abstract

The purpose of this thesis was to provide Symo Ltd. with instructions on the performance of acceptance tests on biogas firing thermal boilers. Such instructions are needed since Symo Ltd. plans on expanding its services with measurements on biogas firing boilers. In Finland biogas plants have increased in number in the last few years and especially relatively small plants in agricultural farms are becoming popular. Most of the biogas produced in Finland is utilized in heat production.

It was intended that the instructions would follow the same pattern as other procedure instructions in the company. It was aspired that the instructions were made in accordance with existing standards. At the moment there are no standards for the performance of tests on biogas plants. There are several standards on tests for boilers which are used to heat water. Since biogas plants usually use similar boilers as, for example oil burning plants, the instructions were made in accordance with these standards.

The testing instructions that were drawn up include the instructions on measuring the boiler's thermal efficiency and emissions, the measurement memorandums, the charts for calculating results and a report model for reporting the results. With these, the company is able to perform acceptance tests on biogas firing boilers. With slight modifications these instructions could be applied to the acceptance tests on boilers that fire other fuels as well.

Keywords

Instructions, biogas, boiler, acceptance test, thermal efficiency, emission

Confidentiality

Public

ALKUSANAT

Työn aikana pääsin tutustumaan Symo Oy:n mittaustoimintaan niin työn aiheeseen liittyen kuin muutenkin. Tein tätä työtä kyseisen yrityksen palveluksessa yhteensä noin kahden kuukauden ajan. Tuon ajan ja tämän työn lisäksi mukaan mahtui myös muita tehtäviä. Lämpölaitosten päästömittausten näkeminen ja tekeminen auttoi hahmottamaan tämän työn sisältöä käytännössä ja kiinnittämään huomiota sellaisiin asioihin joita ei ilman käytännön mittauskokemusta olisi välttämättä osannut ottaa huomioon. Yhteistyöyritys Envitecpolis Oy:n projektipäällikön Toni Taavitsaisen yhdessä MTT:n Maaninnan biokaasulaitoksen yhteyshenkilön kanssa järjestämä vierailu ja heidän esittämänsä kokemukset ja ajatukset antoivat arvokasta tietoa ja kokemusta myös biokaasulaitoksista. Lisäksi laaja standardien tutkiminen toi mukanaan tietoa ja näkemystä energiantuotannon erilaisista vaatimuksista ja energiantuotantolaitosten mittauksista. Nämä kokemukset tulevat olemaan minulle hyödyksi tulevaisuudessa.

Haluan ilmaista kiitollisuuteni kaikille työssä mukana olleille henkilöille, ohjaajista yritysten yhteyshenkilöihin. Haluan kiittää koko Symo Oy:n henkilökuntaa ja erityisesti yrityksen toimitusjohtajaa Janne Nuutista tuesta työn tekemisessä.

Kuopiossa 2.3.2011

Olli Pärjälä

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto.....	7
1.1	Tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Työn rajausta	7
2	Symo Oy	9
3	Biokaasulaitokset Suomessa	10
3.1	Jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitokset	11
3.2	Maatalouden biokaasulaitokset.....	12
3.3	Yhteiskäsittelylaitokset	12
3.4	Kaatopaikkojen biokaasulaitokset	12
4	Biokaasun tuotanto	14
4.1	Biokaasulaitoksen toiminta	14
4.1.1	<i>Esikäsittely</i>	14
4.1.2	<i>Biokaasureaktorin toiminta</i>	16
4.1.3	<i>Prosessin hallinta</i>	18
4.1.4	<i>Biokaasun käyttö</i>	20
4.1.5	<i>Energiantuotantoyksikön toiminta</i>	21
4.2	Biokaasulaitosten laitteistot	24
4.2.1	<i>Yleisimmät reaktoriyytit</i>	24
4.2.2	<i>Energiantuotanto</i>	26
5	Takuumittaukset	30
5.1	Lämpökattiloiden takuumittaukset	30
5.2	Biokaasukattilan mittauksen erityispiirteet.....	32
6	Biokaasulaitoksen lämpökattilan takuumittausten menetelmäohjeet	34
6.1	Hyötysuhde	34
6.1.1	<i>Vesiputkikattilat</i>	34
6.1.2	<i>Tulitorvikattilat</i>	45
6.2	Päästöt	49
7	Menetelmäohjeiden käyttöönotto	57
8	Johtopäätökset	58
	Lähteet.....	60
	LIITE 1: Menetelmäohje hyötysuhteen mittaamiseen vesiputkikattiloista (vain tilaajan käyttöön)	
	LIITE 2: Menetelmäohje hyötysuhteen mittaamiseen tulitorvikattiloista (vain tilaajan käyttöön)	
	LIITE 3: Menetelmäohje päästöjen mittaamiseen biokaasukattiloista (vain tilaajan käyttöön)	
	LIITE 4: Kuvia vesiputkikattiloiden laskentataulukosta	
	LIITE 5: Hyötysuhdemittauksen mittauspöytäkirja	

LIITE 6: Päästömittauksen mittauspöytäkirja

LIITE 7: Raportointimalli (vain tilaajan käyttöön)

1. JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Symo Oy on yksityinen ympäristöalan yritys. Yrityksen tarjontaan kuuluvat mm. päästö- ja melumittaukset, ilmanlaatumittaukset, kattiloiden takuumittaukset ja meluselvitykset. Yrityksen asiakkaita ovat pääasiassa erilaiset teollisuuden yritykset, kunnat ja kaupungit.

Biokaasulaitokset tulevat tämän hetkisten näkymien mukaan yleistymään energiantuotannossa. Yrityksen tulevaisuuden suunnitelmiin kuluu palvelujen tarjoaminen erikokoisille biokaasulaitoksille. Tästä syystä takuumittausten testausohjelman laatiminen on yritykselle tärkeää.

Tämän työn tarkoituksena oli luoda Symo Oy:lle valmiudet suoriutua biokaasulaitosten takuumittauksiin liittyvistä mittaus, laskenta ja raportointitöistä. Työn lopullinen tavoite oli tehdä Symo Oy:n käyttöön menetelmäohje takuumittausten suorittamiseksi, laskentataulukko tulosten laskentaan ja raportointimalli mittausten raportoisesta. Ensisijaisesti menetelmäohje oli tarkoitus tehdä biokaasulaitosten mittaamiseen tarkoitettujen standardien mukaiseksi, mutta koska tällaisia standardeja ei ainakaan vielä ole, päädyttiin menetelmäohje tekemään lämpölaitosten takuumittausten menetelmäohjeen ja lämpölaitosten takuumittaus-standardien perusteella. Biokaasulaitosten takuumittauksiin voidaan kuitenkin soveltaa samoja standardeja kuin perinteisempiäkin polttoaineita käyttävien laitosten mittauksissa.

1.2 Työn rajaus

Työtä suunniteltaessa oli tarkoituksena, että menetelmäohje kattaisi koko biokaasulaitoksen, eli biokaasun tuotantoon käytettävän reaktorin ja energiantuotantoon käytettävän kattilalaitoksen mittaukset. Maaningan MTT:n biokaasulaitokselle tehdyn vierailun yhteydessä selvisi, että mittauksia ei ole kustannus- ja aikataulullisista syistä järkevää tehdä kattamaan koko biokaasulaitosta. Biokaasun muodostuminen kestää kokemuksien mukaan keskimäärin parista viikosta aina yli 30 vuorokauteen. Pitkä muodostumisaika tarkoittaa sitä, että myös mittauksien kesto olisi yhtä pitkä. Kestosta johtuen se ei olisi kannattavaa mittauk-

sia tekevän yrityksen eikä myöskään tilaajan kannalta. Tästä syystä menetelmäohje päädyttiin tekemään pelkästään laitosten lämmöntuotantoyksiköille. Sähkön tuotanto jätettiin tässä vaiheessa ohjeen ulkopuolelle. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska yhden henkilön tekemänä työmäärä olisi kasvanut merkittävästi. Lisäksi tähän vaikutti se, että pienet biokaasulaitokset eivät ainakaan toistaiseksi kuulu sähkön syöttötariffin piiriin.

Menetelmäohje rajattiin kattamaan perinteisellä, vesikiertoon perustuvalla tekniikalla toimivat, lämpöä tuottavat yksiköt. Kaikki polttotekniikat kattava ohjeistus olisi vaatinut niin suurta työmäärää, ettei sellaisen ohjeistuksen tekeminen ollut tässä vaiheessa vielä tarkoituksen mukaista. Näin ollen menetelmäohjetta ei voida soveltaa kaasumootoreihin, kaasuturbiineihin sekä höyry- ja mikroturbiineihin. Lämmöntuotantoyksikön menetelmäohjeeseen kuuluvat hyötysuhdemittausohje ja päästömittausohje, sekä niihin liittyvät mittauspöytäkirjamallit, laskentataulukot ja raportointimalli. Menetelmäohjeen mukaan tehtäviä mittauksia oli myös tarkoitus testata jollain laitoksella, mutta ajan puutteen vuoksi testi päätettiin siirtää myöhemmäksi tulevaisuuteen.

2. SYMO OY

Symo Oy on 10 vuotta alalla toiminut yksityinen, Kuopiosta käsin operoiva ympäristöalan yritys. Yritys on omistusmuodoltaan osakeyhtiö ja sillä on kolme pääosakasta. Yritys tarjoaa palveluja koko valtakunnan alueelle. Yrityksen osaaminen perustuu monipuoliseen kokemukseen ympäristökysymyksissä. Yritys tekee tiivistä yhteistyötä erilaisten tutkimuslaitosten, asiantuntijayritysten ja viranomaisten kanssa. Yritys on tehnyt yhteistyötä esimerkiksi Kuopion yliopiston kanssa jo useita vuosia. Symo Oy uskoo toiminnassaan joustavuuteen, täsmällisyyteen ja asiantuntevuuteen. Yritys on aina pitänyt tärkeänä nopeaa raportointia ja tätä osa-aluetta pyritään nopeuttamaan entisestään, mm. mittausten yhteydessä suoritettavalla pikaraportointipalvelulla. [1]

Yrityksen palveluihin kuuluvat erilaiset teollisuuden selvitykset, kuten päästökartoitukset ja melu- ja värinämittaukset, energiantuotannon hyötysuhteen ja päästöjen mittaukset, erilaiset melukartoitukset ja melumittaukset, ulkoilman ja sisäilman laatuun liittyvät selvitykset, turvetuotannon selvitykset ja kaavoitusselvitykset. Vuonna 2008 Symo Oy:lle siirtyi Suomen Analyysipalvelu Oy:n päästömittaustoiminta. Tässä yhteydessä yrityksen palvelutarjonta kasvoi kattiloiden hyötysuhde- ja takuuarvomittauksilla. Edellä mainittujen lisäksi Symo Oy:lle on vuoden 2011 alussa valmistumassa laboratorio tulisijatestauksia varten. Laboratorio sijaitsee Kuopiossa. [1]

Yrityksellä on käytössään kattava valikoima laitteita ja menetelmiä edellä mainittujen palvelujen tuottamiseen. Symo Oy:n laitekantaan kuuluu muun muassa laaja valikoima erilaisia päästömittauslaitteistoja. Esimerkiksi jatkuvatoimiset kaasuanalyysiaattorit ovat olleet osa yrityksen laitevalikoimaa jo vuosia. Myös melumittauslaitteisto on nykyaikaista, ja haastavat ja useita yhtäaikaisia mittauspisteitä vaativat melumittaukset ovat yritykselle arkipäivää. Symo Oy:llä on tällä hetkellä 6 vakituista työntekijää. Yritys kasvaa koko ajan ja erilaisten ympäristövaatimusten kiristytessä kysyntä yrityksen tarjoamille palveluille kasvaa. [1]

3. BIOKAASULAITOKSET SUOMESSA

Suomessa ensimmäiset biokaasulaitokset ovat aloittaneet toimintansa 1960-luvulla. Vanhimmat jätevedenpuhdistamojen laitokset, jotka on rakennettu vuonna 1962, ovat Tampereella ja Mikkelissä. Suuri osa laitoksista on rakennettu ennen 1990-lukua. Maatilakohtaiset laitokset ja ns. yhteiskäsittelylaitokset on kaikki kuitenkin rakennettu vasta 2000-luvulla. Vuonna 2009 suomessa oli toiminnassa 16 jätevedenpuhdistamon yhteydessä olevaa laitosta, 10 maatilalaitosta, 6 yhteiskäsittelylaitosta, 2 koelaitosta ja suunnitteilla oli 14 laitosta. Kaatopaikoilta biokaasua kerättiin 35 paikkakunnalla. Silloisista suunnitteilla olleista laitoksista ainakin kaksi on tätä kirjoitettaessa jo toiminnassa. Laitosten sijainti jakautuu alueellisesti melko tasaisesti, lukuun ottamatta aivan pohjoisinta suomea, jossa laitoksia ei ole. [2; 3]

Biokaasulaitosten määrä on Suomessa kasvussa ja kun paine bioenergian käytön kasvattamisesta suurenee, tullaan Suomeen hyvin suurella todennäköisyydellä perustamaan lisää biokaasulaitoksia tasaiseen tahtiin. Esimerkiksi kaatopaikoilla on tällä hetkellä ongelmia biojätteen kanssa ja lisäksi on tulossa pakote kerätä biojäte erikseen, mikä mahdollistaisi siitä tuotettavan esimerkiksi biokaasua. Tämä kasvu tulee kiihtymään, jos myös pienet biokaasulaitoksen lue-taan tulevaisuudessa syöttötariffin piiriin. Ainakaan tällä hetkellä pienet, eli käytännössä maatilalaitokset, eivät kuulu tariffin piiriin.

Suomalaiset biokaasulaitokset, laitostyyppistä riippumatta, käyttävät suurimman osan tuotetusta kaasusta lämmön tuottamiseen. Vuonna 2009 suomessa tuotettiin biokaasulla noin 380 gigawattituntia (GWh) lämpöä ja noin 60 gigawattituntia sähköä. Suurin osa tästä energiasta tuotettiin kaatopaikoilta kerätyllä biokaasulla. Reaktorilaitoksilla tuotettiin vuonna 2009 suomessa yhteensä noin 150 GWh. Biokaasua menee myös hukkaan esimerkiksi kaasun soihtupoltossa. Vuonna 2009 suomessa jäi hyödyntämättä arviolta noin 208 GWh biokaasun sisältämää energiaa. [2; 3]

Suomessa toimivat, biokaasua reaktoreissa tuottavat biokaasulaitokset voidaan jakaa niiden koon ja toiminnan perusteella kolmeen ryhmään, jätevedenpuhdis-

tamojen laitokset, maatalouden laitokset ja yhteiskäsittelylaitokset. Teollisuuden laitokset (puhdistamolaitokset ja yhteiskäsittelylaitokset) ovat kooltaan suurempia kuin maatilalaitokset suurempien raaka-ainevirtojen takia ja näin ollen myös tuottavat enemmän energiaa. Puhdistamojen laitoksissa käytetään biokaasun tuottamiseen teollisuuden jätteitä, useimmiten jäteveden puhdistuksessa syntyvää lietettä. Maatalouden laitoksilla käytetään raaka-aineena pääosin lietelantaa ja erilaisia kasvijätteitä. Yhteiskäsittelylaitoksilla voidaan käyttää sekä teollisuuden jätteitä että maatalouden jätteitä biokaasun tuottamiseen. [2]

Kaatopaikkojen biokaasulaitokset eroavat merkittävästi edellisistä, ns. reaktori-laitoksista. Kaatopaikoille läjitetty jäte muodostaa vuosien saatossa biokaasua, joka purkautuu ilmakehään jätekerroksen läpi. Tätä kaasua voidaan pumpata käytettäväksi energiantuotannossa. Biokaasua voidaan tuottaa myös erilliskeräytystä biojätteestä. [3]

Biokaasulaitokset ovat tällä hetkellä laajalti käytössä myös useissa muissa maissa. Esimerkiksi Saksassa oli vuonna 2010 5 000 maatalouden biokaasulaitosta, 174 teollisuuden jätevettä käsittelevää laitosta ja 74 kotitalouksien biojätettä käsittelevää laitosta. Saksa on yksi maailman johtavista maista biokaasun tuotannossa. Muita biokaasuntuottajia maita ovat mm. Kanada, Norja, Itävalta, Brasilia, Tanska, Ranska, Irlanti, Ruotsi, Sveitsi, Hollanti, Turkki ja Iso Britannia. Kanadassa oli vuoden 2010 lokakuussa 20 maatalouden biokaasulaitosta. Vuonna 2010 Norjassa tuotettiin biokaasulla 159 GWh energiaa. [4; 5; 6]

3.1 Jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitokset

Jätevedenpuhdistamojen biokaasulaitokset ovat puhdistamojen yhteydessä toimivia ja niiden jätteistä saadulla biokaasulla energiaa tuottavia laitoksia. Näissä laitoksissa voidaan hyödyntää myös muualta teollisuudesta saatuja raaka-aineita. Jätevedenpuhdistamoilla on ollut biokaasulaitoksia jo kymmeniä vuosia ja useimmat laitokset on rakennettu jo 1980-luvun aikana. Tyypillisesti näissä laitoksissa käsitellään teollisissa prosesseissa syntyviä jätevesiä ja sivutuotevesiä. Näiden laitosten reaktorikapasiteetti vaihtelee alle 1 000 m³:n reaktoreista noin 6 000 m³:n reaktoreihin. Helsingin veden biokaasureaktori on vielä selkeästi suurempi, 10 000 m³. Biokaasua näissä reaktoreissa tuotetaan hieman

alle 100 000:sta kuutiometristä vuodessa (m^3/a) aina Helsingin veden reaktorin 10 000 000 kuutiometriin vuodessa (m^3/a). Yleensä laitokset tuottavat sähköä ja lämpöä CHP-menetelmällä (yhdistetty lämmön ja sähköntuotanto) omaan käyttöön ja mahdollisesti myös syöttävät tuotettua sähköä verkkoon. [2]

3.2 Maatalouden biokaasulaitokset

Maatalouden laitokset ovat useimmiten pieniä, yhden tai muutaman tilan liete-lantaa käsitteleviä laitoksia. Lanta on karjan ja sikojen lantaa. Suurin osa laitok-sista käsittelee vain oman tilan lantaa. Usein laitokselle otetaan kuitenkin lantaa myös muilta lähellä sijaitsevilta tiloilta, mikäli ne ovat järkevän kuljetusetäisyy-den sisällä. Lisäksi näillä laitoksilla käsitellään usein myös omia ja lähialueilta saatuja kasvijätteitä. Kyseiset laitokset ovat merkittävästi pienempiä kuin jäte-vedenpuhdistamojen - ja yhteiskäsittelylaitokset. Maatilalaitosten reaktorikapa-siteetti on pienimmillään noin 50 m^3 ja suurimmillaan noin 300 m^3 . Suurimmilla reaktoreilla saadaan tuotettua noin $1\,000\,000 \text{ m}^3$ biokaasua vuodessa. Laitokset tuottavat lämpöä ja/tai sähköä omaan tarpeeseensa, mutta myös sähkön myynti verkkoon on mahdollista. Sähkön tuotanto ja myynti verkkoon tulee yleistymään, mikäli myös nämä pienemmät laitokset saavat syöttötariffin. [2]

3.3 Yhteiskäsittelylaitokset

Yhteiskäsittelylaitoksilla pystytään käsittelemään maatalouden liete-lantaa, teol-lisuuden lietteitä ja esimerkiksi kerättyä biojätettä. Yhteiskäsittelylaitokset ovat Suomessa melko uusi laitostyyppi, lukuun ottamatta Vaasan Stormässenin kah-ta reaktoria, jotka on rakennettu vuosina 1990 ja 1994. Nämä laitokset ovat tyy-pillisesti reaktorikapasiteetiltaan suuria, noin $2\,000 \text{ m}^3$:stä noin $6\,000 \text{ m}^3$:iin, ja biokaasua tuotetaan parhaimmillaan noin 2 miljoonaa m^3 vuodessa. Samoin kuin jätevedenpuhdistamojen laitosten tapauksessa biokaasulla tuotetaan useimmiten sähköä ja lämpöä CHP-menetelmällä. Erinäisten tutkimusten mu-kaan tämä laitostyyppi näyttää yleistyvän suomessa. [2]

3.4 Kaatopaikkojen biokaasulaitokset

Biokaasua muodostuu ja tuotetaan Suomessa myös kaatopaikoilla. Kaatopai-koilla biokaasua ei yleensä muodosteta rakennetuissa reaktoreissa, vaan kaasua muodostuu jäteläjäytyksessä. Vuosien saatossa jätetäytössä muodostunut kaasu purkaantuu jätekerroksen läpi täyttöön tätä tarkoitusta varten asennettujen

putkien kautta. Kaatopaikat joko käyttävät kaasun omalla laitoksellaan tai pumpppaavat sen muille laitoksille hyödynnettäväksi energian tuotannossa. Vaihtoehtoisesti kaatopaikat polttavat kaasun soihdussa. Näin toimittaessa kaasusta ei saada talteen energiaa, mutta kaasun sisältämän metaanin ilmakehälle haitallista kasvihuonekaasuvaikutusta saadaan pienennettyä verrattuna siihen että kaasu päästettäisiin sellaisenaan ilmakehään. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia suodatuskerroksia kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi, jos kaasun kerääminen ja hyödyntäminen ei ole jostain syystä kannattavaa. [3]

On arvioitu että suomalaisilla kaatopaikoilla muodostuu vuosittain noin 200 miljoonaa kuutiometriä (m^3) biokaasua. Vuonna 2009 tästä kerättiin talteen noin puolet, 110,9 milj. kuutiometriä. Energiaa tällä biokaasu määrällä tuotettiin 286 GWh. [3]

4. BIOKAASUN TUOTANTO

Biokaasulaitosten takuumittausten ja eri mitattavien parametrien ymmärtämiseksi on syytä ensin käydä läpi biokaasulaitoksen toimintaperiaatteet. Kuten aiemmin on jo mainittu, biokaasua saadaan tuotettua useista eri raaka-aineista. Seuraavassa kerrotaan biokaasulaitoksen toiminnasta.

4.1 Biokaasulaitoksen toiminta

Biokaasulaitos voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, biokaasureaktoriin ja energiantuotantoyksikköön. Biokaasureaktorissa raaka-aineena käytettävästä biomassasta muodostuu biokaasua ja energiantuotantoyksikössä tätä kaasua käytetään energiantuotantoon. Energiantuotantoyksikkö ei ole laitokselle välttämätön, mutta taloudellisesti järkevä, koska sillä saadaan tuotettua reaktorin tarvitsemaa lämpöä ja laitteiden tarvitsemaa sähköä. Laitoksilla on yleensä yksi ensisijainen syöte, eli raaka-aine. Reaktoriin voidaan kuitenkin lisätä toissijaista syötettä, joka saattaa kasvattaa biokaasun saantia tai nostaa metaanipitoisuutta. Esimerkiksi maatilalaitoksilla toissijaiseksi syötteenä kelpaavat mm. erilaiset kasvijätteet. Uusia syötteitä ja niiden yhdistelmiä kokeillaan koko ajan. Taulukossa 1 on esitetty erilaisten syötteinä käytettävien biomassojen metaanintuototokyky.

Taulukko 1 Eri biomassojen metaanintuottokyky. [7]

Lähde	Metaani / 1 000 kg
Jätevesiliete, esikuivattu	33 m ³ (n)
Biojäte	123 m ³ (n)
Teurastamojätteet	150 m ³ (n)
Sian lietelanta	16 m ³ (n)
Vihreä biomassa	52 m ³ (n)

4.1.1 Esikäsittely

Ennen kuin raaka-aineet voidaan syöttää reaktoriin, täytyy ne useimmiten esikäsitellä. Esikäsitellyn tarkoitus on parantaa syötteen laatua, esimerkiksi pienentää palakokoa, jos on kyse kiinteästä syötteenä, tai tehdä syöte tasa-laatuiseksi. Lisäksi esikäsitelyssä syötteen kuiva-ainepitoisuus ja orgaani-

nen kuorma on säädettävä halutulle tasolle. Esikäsitteilyn hyvällä teknisellä toteutuksella taataan laitoksen toiminnalle hyvät perustukset. Jos esikäsitteily on toteutettu huonosti, voi olla, ettei prosessi toimi niin kuin on tarkoitus. Joskus myös syötteen hygienisointi ja jopa sterilointi voi olla tarpeen. Reaktorin ja koko laitoksen toiminnan lisäksi esikäsitteilytekniikkaan vaikuttavat myös käsitteilyjäännöksen ja jatkokäsittelyn vaatimukset. Yleisimpiä esikäsitteilymenetelmiä ovat mm. murskaus, homogenisointi, sakeutus ja välppäys. [2]

Maatilalaitoksilla esikäsitteily on useimmiten melko vähäistä, koska syöte tai syötteet ovat hyvin tasalaatuisia. Jos lisäsyötteenä käytetään kasvibiomassaa, voidaan se esikäsitellä, muttei se ole välttämätöntä. Myös jätevedenpuhdistamojen laitoksilla esikäsitteilyn tarve on melko vähäinen johtuen homogeenisesta syötteestä. Yhteiskäsitteilylaitoksilla tarvitaan käytännössä aina esikäsitteilyä, ja se on tärkeässä osassa prosessin toiminnan kannalta. Eri laitoksilla voi olla teknisesti hyvinkin erilaisia ratkaisuja, koska eri laitosten syötteet ja niiden yhdistelmät voivat vaihdella esimerkiksi biojätteestä teollisuuden lietteisiin. [2]

Laitoksen toiminnan kannalta yksi oleellisimpia asioita ovat syötteen kuiva-ainepitoisuus ja sen hehkutushäviö. Hehkutushäviön avulla voidaan arvioida orgaanisen aineen pitoisuutta. Näihin parametreihin voidaan myös vaikuttaa esikäsitteilyllä. Esimerkiksi maatilalaitosten yleensä käyttämä märkäprosessi ei kestä liian korkeaa kuiva-ainepitoisuutta, koska sekoittimet ja muut komponentit on suunniteltu pienille kuiva-ainepitoisuuksille. Tästä seurauksena voi olla huono sekoittuminen, jolloin käsittely ei ole tehokasta, tai laitteiden rikkoutuminen. [2]

Jotta käsittely olisi mahdollisimman tehokasta, eli syötteestä saataisiin suurin mahdollinen määrä biokaasua, on tärkeää, että orgaaninen aines hajoaa mahdollisimman täydellisesti. Koska biokaasu on pääosin metaania (CH_4), jota muodostuu orgaanisen aineen hajotessa, on biokaasun saanti sitä suurempaa mitä enemmän syötteessä on helposti hajoavaa orgaanista ainesta. Orgaaninen kuorma, eli syötetty orgaanisen aineksen määrä, ei kuitenkaan saa olla liian suuri, koska mikrobien kyky käsitellä ainesta on rajallinen. Jos orgaanista ainesta syötetään liikaa, biokaasun tuotanto laskee ja käsitteilyjäännös ei ole sellaista kuin halutaan. Tyypillisesti orgaaninen kuorma on biokaasulaitoksilla noin 3-9 kiloa orgaanista ainetta reaktorin nestetilavuutta ja vuorokautta kohti (kgVS/r -

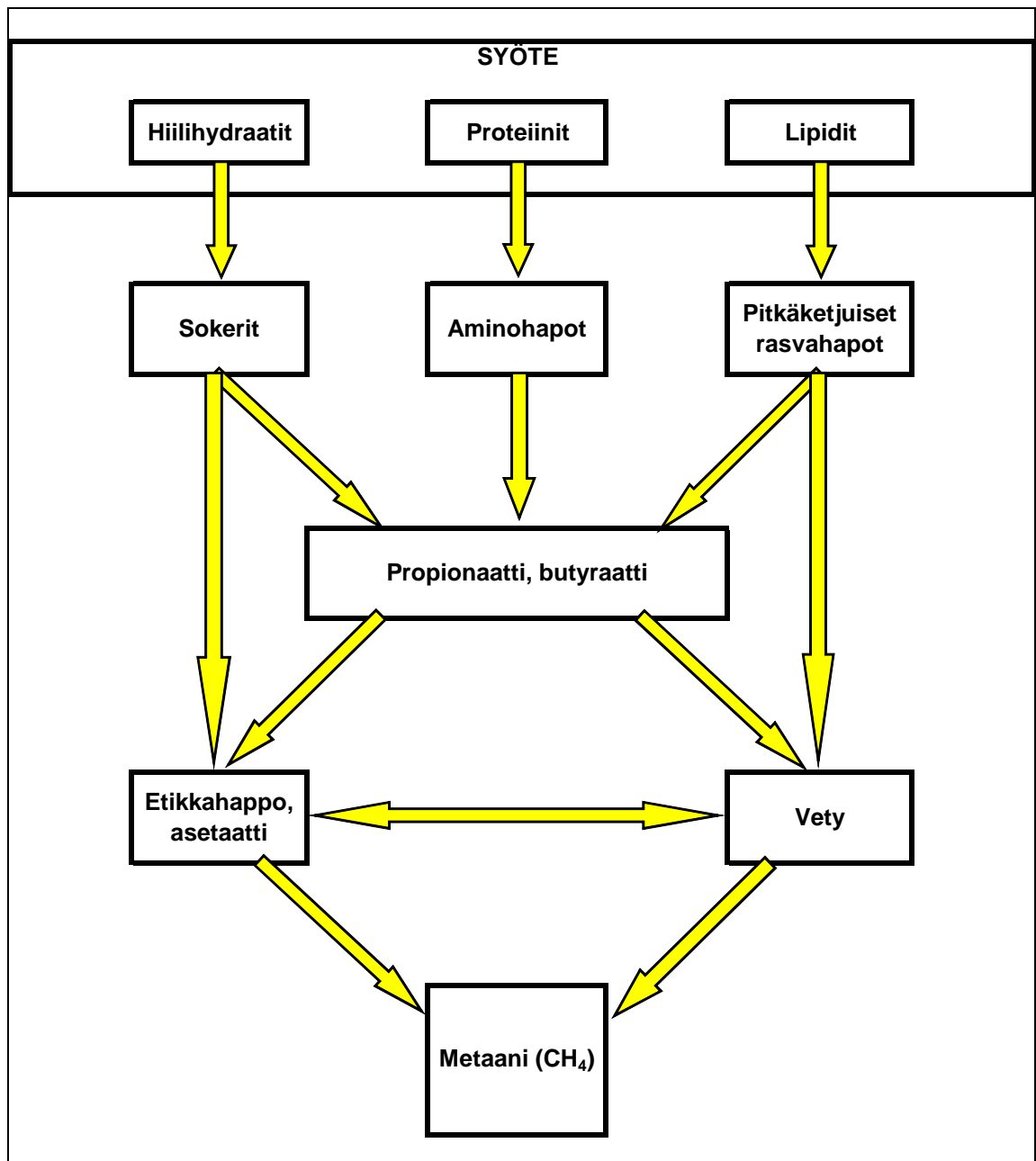
m³/d). Kyseisessä yksikössä VS (volatile solids) tarkoittaa helposti haihtuvaa, kiinteää orgaanista ainesta. [2]

4.1.2 Biokaasureaktorin toiminta

Biokaasulaitokset voivat käyttää joko märkä- tai kuivaprosessia. Märkäprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on luokkaa 5 – 15 % ja kuivaprosessissa 15 – 60 %. Molemmat prosessit ovat periaatteeltaan samanlaisia, lukuun ottamatta kuiva-ainepitoisuutta ja laitteistoa. Kuivaprosessissa kaasun tuotanto verrattuna tarvittavaan reaktoritilavuuteen ja rejektin määrään on suurempi kuin märkäprosessissa, johtuen suuremmasta kuiva-ainepitoisuudesta. Rejektillä tarkoitetaan reaktorista poistettavaa käsiteltyä massaa. [2]

Biokaasureaktorissa biokaasun tuotanto tapahtuu raaka-aineiden orgaanista ainetta ja sen hajoamistuotteita ravintonaan käyttävien mikrobien toiminnan tuotteena. Tämä toiminta tapahtuu anaerobisissa, eli hapettomissa olosuhteissa. Näin ollen reaktoriin ei tulisi syöttää sellaisia syötteitä, jotka ovat anaerobisissa oloissa huonosti hajoavia. Tämä tarkoittaa sitä, että syötteen koostumus on tunnettava ennen kuin sitä kannattaa syöttää reaktoriin. Reaktori voi toimia kahdella eri lämpötila-alueella, mesofiilisella ja termofiilisella. Mesofiilisella alueella toimivan reaktorin lämpötila on noin 35 - 37 °C ja termofiilisella alueella toimivan noin 50 – 55 °C. [2]

Mikrobien hajotustoiminta voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen, hydrolyysivaiheeseen, happokäymisvaiheeseen ja asetogeneesivaiheeseen. Raaka-aineissa orgaaninen aine on mm. hiilihydraattien, proteiinien ja lipidien muodossa. Hydrolyysivaiheessa mikrobit pilkkovat nämä aminohapoiksi, sokereiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Happokäymisvaiheessa muodostuu propionaattia ja butyraattia. Asetogeneesivaiheessa propionaatti ja butyraatti hajoavat etikkahapoksi ja vedyksi. Etikkahaposta ja vedystä muodostuu mikrobien toimesta metaania. Kuvassa 1 on esitetty hajoamisen vaiheet. [2]



Kuva 1. Syötteen hajoaminen. [2]

Biokaasu on suurimmaksi osaksi metaania. Muita biokaasun ainesosia ovat hiilidioksidi, joka on kaasun toinen pääkomponentti, sekä muita pienemmässä määrin esiintyviä aineita, kuten vesihöyryä ja rikkivetyä (H_2S). Puhtaan metaanin (CH_4) energiasisältö on noin 10 kWh/m^3 ja biokaasun energiasisältö noin 6 kWh/m^3 [8].

Raaka-aine-erän käsittely reaktorissa kestää noin kahdesta viikosta yli kuukauteen asti. Käsittelyaika riippuu oleellisesti mm. käsiteltävästä syöttestä ja prosessityypistä. Jotta mikrobien ja syötteen välillä olisi hyvä kontakti ja läm-

mön jakaantuminen reaktorissa olisi mahdollisimman hyvä, jotta kaasun muodostuminen olisi optimaalista, on reaktorissa olevaa ainesta sekoitettava. [2]

4.1.3 *Prosessin hallinta*

Biokaasuprosessin hallinta on suhteellisen yksinkertaista ja samanlaista riippumatta siitä, onko kyseessä märkäprosessi tai kuivaprosessi ja tapahtuuko se mesofiilisella vai termofiilisella lämpötila-alueella. Prosessissa on sen yksinkertaisuudesta huolimatta useita parametrejä, joita on tarkkailtava, jotta voidaan varmistaa prosessin häiriötön toiminta. [2]

Ensinnäkin on pidettävä huoli, että prosessin lämpötila pysyy halutulla alueella. Mesofiilisessa prosessissa lämpötilan on oltava noin 35 - 37 °C. Suurin osa suomalaisista laitoksista toimii mesofiilisella alueella. Termofiilisessa prosessissa lämpötilan on oltava noin 50 - 55 °C. Termofiilinen prosessi on herkempi lämpötilan vaihteluille kuin mesofiilinen. Se myös vaatii mesofiilistä prosessia enemmän lisälämmitystä, koska vaadittu lämpötila on korkeampi. Termofiilisella prosessilla on kuitenkin muutamia etuja verrattuna mesofiiliseen. Näitä etuja ovat mm. parempi hygienisointitulos, mahdollisuus käyttää suurempaa kuormitusta ja lyhyempi käsittelyaika. Mesofiilisen prosessin pidempi käsittelyaika tarkoittaa myös sitä, että reaktorin on oltava suurempi kuin termofiilistä prosessia käytävillä laitoksilla. [2]

Myös kuormituksen ja pH:n tarkkailu on tärkeää ja nämä kaksi parametria ovat sidoksissa toisiinsa. Kun prosessin orgaaninen kuorma muuttuu, muuttuu myös pH. Kuormituksen muutos aiheutuu yleensä joko syötteen tai viipymäajan muutoksesta. Jos prosessiin syötetään liikaa raaka-ainetta, kuormitus nousee ja haponmuodostajabakteereista tulee aktiivisempia. Näin ollen rasvahappoja syntyy enemmän, jolloin niiden pitoisuus kasvaa ja pH laskee. pH:n lasku puolestaan heikentää metaania tuottavien bakteerien elinolosuhteita ja metaanin tuotanto laskee, jolloin myös biokaasun tuotanto laskee ja lisäksi tuotettu kaasu sisältää vähemmän metaania. Kun kaasun metaanipitoisuus laskee, pienenee myös sen polttamisesta saatava lämpö- ja/tai sähköenergian määrä. Metaanintuottajabakteerit toimivat parhaiten pH:n ollessa 6,5 - 7,5. Vastaavasti jos syötteen syöttö jostain syystä katkeaa, voi prosessin pH nousta liian korkealle, ja pahimmassa tapauksessa haponmuodostajabakteerit voivat lakata toimimas-

ta ja samalla pysäyttää koko prosessin. Haponmudostajabakteerit toimivat parhaiten pH:n ollessa 5,2 - 6,3. [2]

Viipymäaika seuraamalla saadaan tietoa prosessin toiminnasta. Viipymäaika tarkoittaa syötteen hydraulista viipymää reaktorissa. Viipymän pituuteen, jotta prosessin toiminta olisi optimaalista, vaikuttavat syötteen homogeenisyys, kuiva-ainepitoisuus ja orgaanisen aineksen määrä, sekä prosessissa käytettävä lämpötila, sekoitus ja reaktorin koko. Mitä pidempi on viipymä sitä enemmän prosessista saadaan biokaasua. Samalla paranee orgaanisen aineen määrän reduktio. Pitkä viipymä tarkoittaa kuitenkin myös suurempaa lämmitystarvetta, suurempaa sekoitustarvetta ja suurempaa reaktoria. Näin ollen kustannuksiakin tulee enemmän. Jos viipymä on liian lyhyt, reaktori voi ylikuormittua. Tämä laskee biokaasun tuottoa ja lisäksi syöte ei hajoa tarpeeksi jälkikäsitteilyä tai käyttöä silmällä pitäen. Syötetyypistä riippuva viipymä kannattaa arvioida jo laitoksen suunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan arvioida tarvittava reaktorikoko. Erityyppisten syötteiden vaatimat teoreettiset viipymät voidaan määrittää erilaisia laboratoriotestejä käyttäen. Tarvittava viipymä voidaan määrittää tarkasti vasta laitoksen käyttöönoton jälkeen, ja silloinkin se on etsittävä kokeilemalla erilaisia syöttömääriä. Yleisesti viipymän katsotaan olevan riittävä kun orgaanisen aineen reduktio on 50 - 60 % eikä kaasuntuotto vaihtelee merkittävästi. Mesofiilisessa prosessissa on suositeltu viipymä optimaalisen tuloksen takaamiseksi 21 vuorokautta. Suomalaisilla biokaasulaitoksilla viipymä on tyypillisesti noin kahdesta viikosta noin kuukauteen. [2]

Haihtuvien rasvahappojen pitoisuuden muutoksia seuraamalla voidaan myös seurata prosessin toimivuutta. Jos pitoisuus kasvaa merkittävästi, on orgaaninen kuorma liian suuri. Tällöin prosessin toiminta heikkenee koska rasvahappojen liian suuri määrä inhiboi mikrobitoimintaa. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuuden tulisikin pysyä tasaisena, jolloin myös prosessi toimii vakaasti. Alkaliteettimittauksilla voidaan tarkastella reaktorin puskurikykyä muutoksia vastaan. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuutta ja kokonaisalkaliteettia seuraamalla pystytään prosessissa mahdollisesti tapahtuvat häiriöt huomaamaan ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa pH-tasoon, jonka muutokset voivat pahimmillaan pysäyttää koko prosessin. [2]

Aiemmin mainittu inhibitio tarkoittaa biokaasuprosessin tapauksessa jonkin kemiallisen tai fysikaalisen tekijän aiheuttamaa haittavaikutusta, joka häiritsee prosessin toimintaa ja voi pahimmillaan tappaa reaktorissa toimivat organismit. Selviä merkkejä inhibitiosta ovat biokaasun saannon merkittävä pieneneminen ja/tai kaasun metaanipitoisuuden selvä pieneneminen. [2]

Jo mainittujen parametrien lisäksi täytyy reaktoria tarkkailla myös silmämääräisesti. Syötteen pinnalle voi muodostua vaahtoa. Vaahtoaminen voi aiheutua sekoituksesta, ylikuormituksesta, pinta-aktiivisista yhdisteistä, vettä hylkivistä aineista tai rihmaisista mikrobeista. Vaahto voi tukkia kaasunkeräysputkia. Vaahto myös pienentää tehokasta reaktoritilavuutta. Vaahtoaminen on biokaasulaitoksilla suhteellisen yleinen ongelma. Sitä voidaan kuitenkin ehkäistä esimerkiksi vaahtoamisenestoaineilla. Maatilalaitoksilla on todettu hyväksi vaahtoamisenestomenetelmäksi rypsiöljyn lisääminen syötteen sekaan. Pintaan voi nousta vaahdon lisäksi erinäisiä kevyitä kiinteitä jakeita ja pohjaan painua raskaita jakeita. Näiden pääsy reaktoriin voidaan helposti estää asianmukaisella esikäsitteilyllä. Lisäksi reaktoreissa on usein tyhjennysmahdollisuus alaosassa. [2]

4.1.4 Biokaasun käyttö

Vaikka biokaasu on erinomainen polttoaine energiantuotantoon, riippuu tuotetun kaasun käyttökohde useimmiten laitoksen sijainnista. Sitä ei ole aina kannattavaa polttaa lämmöksi tai sähköksi, jos laitoksen lähellä ei ole lämpöä tai sähköä tarvitsevia kohteita. Useimmiten näin kuitenkin toimitaan. Itse laitoksen tarvitsee toimiakseen noin 10 - 40 % sen tuottaman kaasun sisältämästä energiasta. Biokaasua voidaan hyödyntää tällä hetkellä seuraavilla tavoilla:

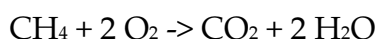
- lämmöntuotannossa
- sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP)
- mekaanisen energian tuotannossa
- liikennekäytössä autoissa ja muissa polttomoottoriajoneuvoissa. [2]

Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto lienee näistä yleisin käyttökohde, koska monien laitosten läheisyydessä tai yhteydessä on runsaasti energiaa tarvitsevia kohteita. Sähkön tuotanto biokaasulla on suurille laitoksille kannattavaa koska

biokaasu on juuri saanut syöttötariffin. Pienillä laitoksilla, eli käytännössä maatilalaitoksilla, tilanne on eri, koska tariffi ei koske niin pieniä laitoksia, ainakaan vielä tällä hetkellä. Maatiloillakin on kuitenkin runsaasti sähköä tarvitsevia toimintoja ja biokaasulla voidaan tuottaa esimerkiksi tilan asukkaiden tarvitsema sähkö. Myös lämpöä tarvitsevia kohteita on maatiloilla useita, kuten asuinrakennukset ja eläinsuojat sekä biokaasureaktori. Biokaasun käyttö mekaanisen energian tuotannossa ja sen jalostaminen liikennekäyttöön ovat Suomessa melko harvinaisia käyttökohteita. [2]

4.1.5 Energiantuotantoyksikön toiminta

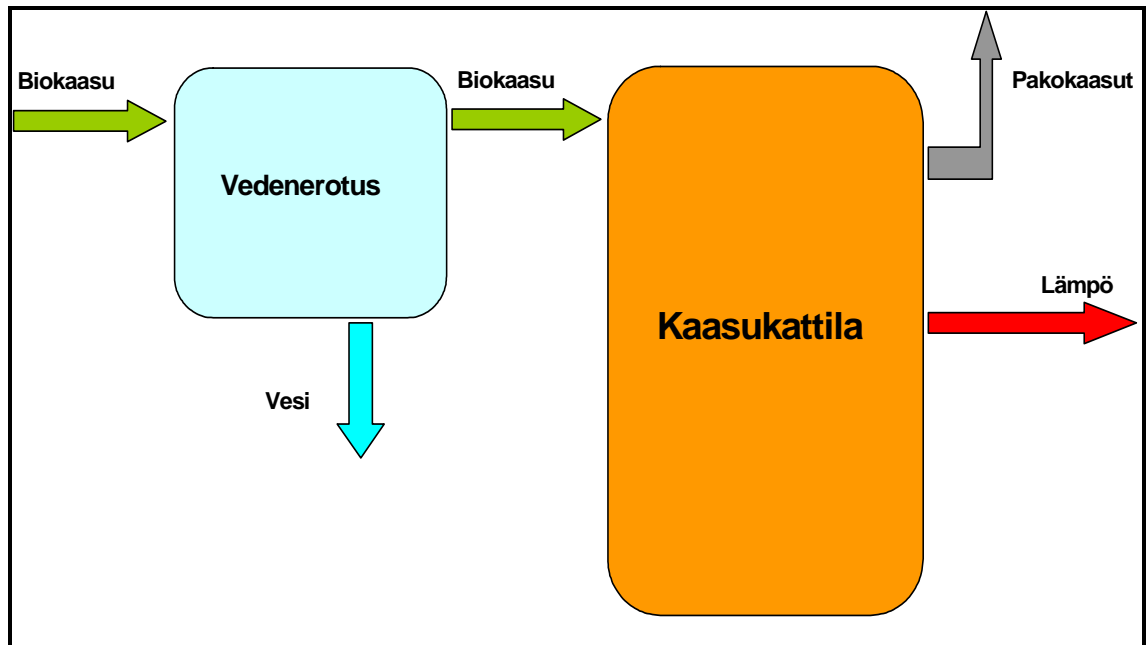
Palamisominaisuuksiltaan biokaasu on hyvin samankaltainen kuin maakaasu ja kyseisten kaasujen palamisreaktiokin on näin ollen hyvin samanlainen. Käytännössä kaasuilla ei ole muuta eroa kuin biokaasun korkeampi hiilidioksidipitoisuus ja siitä johtuva hieman pienempi energiasisältö. Lisäksi biokaasu on maakaasua kosteampaa, mutta kaasusta erotetaan vesi ennen kaasun hyödynnystä. Biokaasun palava komponentti on metaani, josta kaasu pääosin koostuu. Biokaasun metaanipitoisuus on syötteestä riippuen noin 50 – 70 %. Metaani syttyy vain, jos sen pitoisuus ilmassa on 5 – 15 %. Metaanin palamisreaktio on hyvin monimutkainen ja se koostuu sadoista eri reaktioista ja välireaktioista, mutta se voidaan yksinkertaistaa muotoon [2] :



Käytännössä kaikki olemassa olevat laitokset käyttävät ainakin osan biokaasun sisältämästä energiasta lämpönä. Lämmityskäyttö ei vaadi suuria investointeja ja se vaatii suhteellisen vähän huoltoa verrattuna moniin muihin energiankäyttötöratkaisuihin. Laitostyypeistä erityisesti maatilalaitokset käyttävät suuren osan ja usein koko tuotetun energiamäärän asuintilojen ja eläinsuojien lämmitykseen käytettävän lämpimän veden tuottamiseen. Lisäksi lämpöä käytetään reaktorin lämmittämiseen. [2]

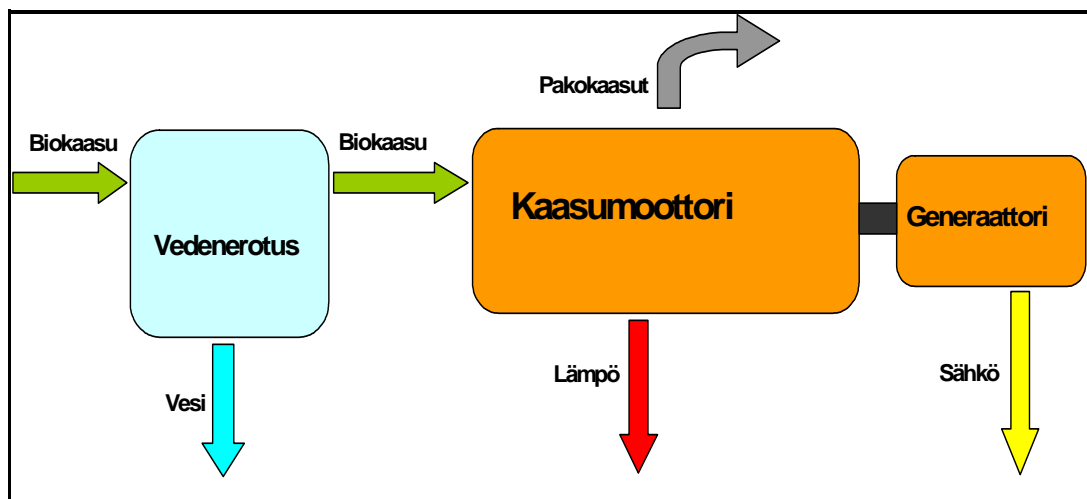
Lämmityskäytössä biokaasua poltetaan kaasupolttimella, yleensä kaasukattilassa. Ennen kaasun syöttöä polttimelle kaasu kuivataan. Kaasu syötetään polttimelle alhaisessa paineessa. Palamisessa syntyvä lämpö lämmittää laitoksen kiertovesijärjestelmässä kiertävää vettä. Vesi johdetaan lämmityskohteisiin, jois-

ta vesi kiertää takaisin kattilalle. Tuotettaessa pelkästään lämpöä voidaan päästää jopa 95 % hyötysuhteeseen. Kuvassa 2 on yksinkertaistettu kaavakuva lämmöntuotannosta. [2]



Kuva 2. Lämmöntuotanto. Lämpö = lämmityspotkistoissa kiertävä lämmin vesi. [2]

Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, lyhyemmin CHP (Combined heat and power), biokaasu syötetään vedenerotuksen jälkeen kaasumootorille. Kaasumootori pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Lämpöä voidaan ottaa talteen pakokaasuista sekä jäähdytysjärjestelmästä. Lämpönä saadaan suhteellisen helposti talteen noin 35 % kaasun sisältämästä energiasta ja investoimalla lämmön talteenottolaitteistoon saadaan lämmön hyötysuhdetta kasvatettua noin 60 %:in. Sähköntuotannon hyötysuhde on parhaimmillaan noin 40 %. Suurimmilla laitoksilla kokonaishyötysuhde voi olla noin 90 %. Kuvassa 3 on yksinkertaistettu kaavio lämmön ja sähkön yhteistuotannosta. Periaatteessa kaasumootorin tilalla voitaisiin käyttää höyrykattilaa ja höyryturbiinia. Suomessa on käytössä myös mikroturbiineja, jotka ovat pienikokoisia kaasuturbiineja. [2]



Kuva 3. Lämmön ja sähkön yhteistuotanto. Lämpö = lämmin vesi. [2]

Kuten on jo mainittu, voidaan biokaasulla tuottaa lämmön ja sähkön lisäksi myös mekaanista energiaa. Mekaanista energiaa tuottavat lähinnä jotkin jätevedenpuhdistamojen laitokset. Puhdistamot tuottavat energiaa paineilman muodossa. Puhdistamot tarvitsevat paineilmaa ilmastukseen. Mekaanisen energian tuotanto vastaa muuten yhdistettyä lämmön ja sähkön tuotantoa, mutta sähkögeneraattorin sijaan kaasumoottorin tuottama energia johdetaan kompressorille, joka tuottaa paineilmaa. [2]

Biokaasua voidaan myös jalostaa liikennekäyttöön. Jos biokaasua aiotaan käyttää ajoneuvoissa, tulee siitä poistaa hiilidioksidi ja rikkiyhdisteet. Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena bi-fuel- tai mono-fuel- autoissa. Bi-fuel -autoissa on polttoainesäiliö kaasulle ja bensiinille, kun taas mono-fuel -autoissa on säiliö ainoastaan kaasulle. Biokaasun jalostukseen on olemassa useita eri tekniikoita, joista yleisimpänä pidetään vesipesua. Suomessa biokaasun jalostus liikennekäyttöön on vähäistä. Tämä johtuu pääosin biokaasulle soveltuvien ajoneuvojen vähäisyydestä. Markkinoilla toki on useita biokaasulle soveltuvia malleja, mutta ne eivät ainakaan toistaiseksi herätä Suomessa suurta kiinnostusta. Tämä johtuu siitä, ettei tankkauspisteitä ole riittävästi. Lisäksi jalostuslaitosten vähäisyyttä voidaan selittää niiden suurilla investointikustannuksilla verrattuna biokaasulaitoksiin. Ruotsissa ollaan biokaasun ajoneuvokäytössä Suomea huomattavasti edellä. Ruotsissa oli vuonna 2009 kymmeniä biokaasua liikennekäyttöön jalostavia laitoksia. [2]

Varsinaisten biokaasun hyödynnystekniikoiden lisäksi lähes jokaisella suomalaisella laitoksella on varalla mahdollisuus polttaa kaasu soihdussa. Ainoastaan

kaikista pienimmillä laitoksilla ei välttämättä ole soihtua, koska sen hankkiminen nostaisi investointikustannuksia tarpeettomasti suhteessa laitoksen muihin kustannuksiin. Soihutupolttoa käytetään, kun kaasun ensisijaista hyödynnys-tekniikkaa ei voida käyttää esim. lyhytaikaisissa vikatilanteissa. Kaasu poltetaan soihdussa, jolloin sen kasvihuonekaasuvaikutusta saadaan pienennettyä merkittävästi. [2]

4.2 Biokaasulaitosten laitteistot

Erilaisten biokaasulaitosten laitteistot eroavat toisistaan riippuen mm. millaisia syötteitä laitos käsittelee. Kaikilla laitoksilla, laitostyypistä huolimatta, on kuitenkin biokaasureaktori, jonkinlainen sekoitusjärjestelmä ja yleensä energiantuotantoyksikkö sekä kaikki näihin liittyvät pienemmät laitteistot. Näitä pienempiä laitteistoja ovat mm. syötteen ja kaasun kuljettamiseen tarvittavat putkistot, automaatiojärjestelmät, mittauskomponentit ja kaasunpuhdistuslaitteistot. Usein laitoksilla on myös erilaisia esikäsittelylaitteistoja. Maatilalaitoksilla ja vedenpuhdistamojen laitoksilla esikäsittely ei kuitenkaan useimmiten ole tarpeen [2]. Laitoksilla voi olla myös erilaisia varastointisäiliöitä, varsinkin suuri-kokoisilla laitoksilla. Seuraavassa kerrotaan yleisellä tasolla reaktoreista ja energiantuotannosta.

4.2.1 Yleisimmät reaktortyyppit

Tyypillisimmät biokaasulaitosten reaktorit ovat joko betonisia tai teräksisiä lie-riön muotoisia pystysäiliöitä. Reaktorit voidaan jakaa kahteen perustyyppiin, täyssekoitusreaktoreihin ja tulppavirtausreaktoreihin. [2]

Täyssekoitusreaktori on Suomessa yleisin reaktortyyppi, riippumatta laitostyypistä. Kyseinen reaktori on nimensä mukaisesti täyssekoitteinen, yksivaiheinen, mesofiilisella lämpötila-alueella toimiva jatkuvatoiminen märkäprosessi. Täyssekoitusprosessiin ei lisätä syötettä jatkuvasti, vaan esimerkiksi tietty määrä kerran tunnissa tai vuorokaudessa. Samoin myös käsittelyjäännöstä poistetaan tietty määrä tietyn ajan kuluttua, yleensä kuitenkin ennen uuden syöte-erän lisäämistä. Näin vältetään oikovirtaukselta, tapahtumalta, jossa juuri syötettyä uutta syötettä poistettaisiin reaktorista. Reaktori rakennetaan usein sellaiseksi, että oikovirtausta ei pääse tapahtumaan. Toinen vaihtoehto oikovirtauksen välttämiseksi on toteuttaa jäännöksen poisto ns. ylivuotoperiaatteella, eli

syöttämällä syötettä pinnan alle, jolloin pinnan nousu johtaa siihen, että osa jäännöksestä poistuu reaktorista poistoputkea pitkin. Oikovirtauksen haitallista vaikutusta voidaan pienentää myös siirtämällä jäännös reaktorista jälkikaasuuntumisaltaaseen. Tämä tekniikka on melko yleisesti käytössä maatilalaitoksilla. Jäännöstä kannattaa pitää jälkikaasuuntumisaltaassa jonkin aikaa, koska jäännös sisältää vielä hajoavaa ainesta ja siitä saadaan ns. jälkikaasua. [2]

Tulppavirtausreaktori soveltuu erityisen hyvin kuivien syötteiden käsittelyyn. Kyseisissä prosessissa syöte kulkee syöttöjärjestyksessä prosessin läpi. Tästä syystä reaktioaika on vakio, toisin kuin täyssekoitusreaktorissa. Tulppavirtausreaktorit ovat putkimaisia, koska täydellistä putkivirtausta ei voida saavuttaa muun muotoisissa reaktoreissa. Syöte syötetään toisesta päästä ja puretaan toisesta. Näin ollen uudella syötteellä ei ole mahdollisuutta päästä sekoittumaan vanhaan syötteeseen. Tulppavirtausreaktoriin joudutaan syötteen seassa syöttämään jo käsiteltyä jäännöstä tai prosessista poistettua nestettä, jotta syötteeseen saadaan tarvittava bakteerimassa. Tulppavirtausreaktori voidaan periaatteessa toteuttaa asentamalla täyssekoitusreaktoriin väliseiniä tai asentamalla useita täyssekoitusreaktoreita sarjaan. Näin päästään lähelle täydellistä tulppavirtausta. Jos tulppavirtaus toteutetaan useassa reaktorissa, tapahtuu kukin prosessin vaihe eri reaktorissa, hydrolyysi yhdessä, happokäyminen seuraavassa ja metaanikäyminen sitä seuraavassa reaktorissa. Tällaisessa tapauksessa kunkin reaktorin olosuhteet on tietenkin säädettävä oikeanlaisiksi jotta prosessi etenee. Kyseinen menetelmä on investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin yksivaiheinen prosessi ja lisäksi monimutkaisempi toteuttaa. [2]

Prosessin onnistumisen kannalta on tärkeää, että syötteen ja mikrobien välillä on hyvä kontakti ja että lämpötila on kaikissa osissa reaktoria oikea. Tästä syystä reaktorissa olevaa ainesta on sekoitettava. Samalla sekoittaminen estää inhibitiota ja pinnan kovettumista sekä helpottaa muodostuneen kaasun keräämistä. Sekoitus voidaan toteuttaa useilla erilaisilla tavoilla. Esimerkkeinä mainittakoon kaasusekoitus ja moottorilla toimiva lapasekoitus. Kaasusekoituksessa reaktorissa muodostunutta biokaasua pumpataan reaktorin pohjalle, jolloin se takaisin ylös noustessaan sekoittaa syötettä. Lapasekoituksessa moottorilla pyöritetään lapasekoitinta. Moottori voi sijaita joko reaktorin sisällä tai sen ulkopuolella. Lisäksi sekoitukseen käytetään eri laitoksilla eri nopeuksia. Pystyakselisessa lapasekoittimessa moottori sijaitsee yleensä reaktorin sisällä. Toinen

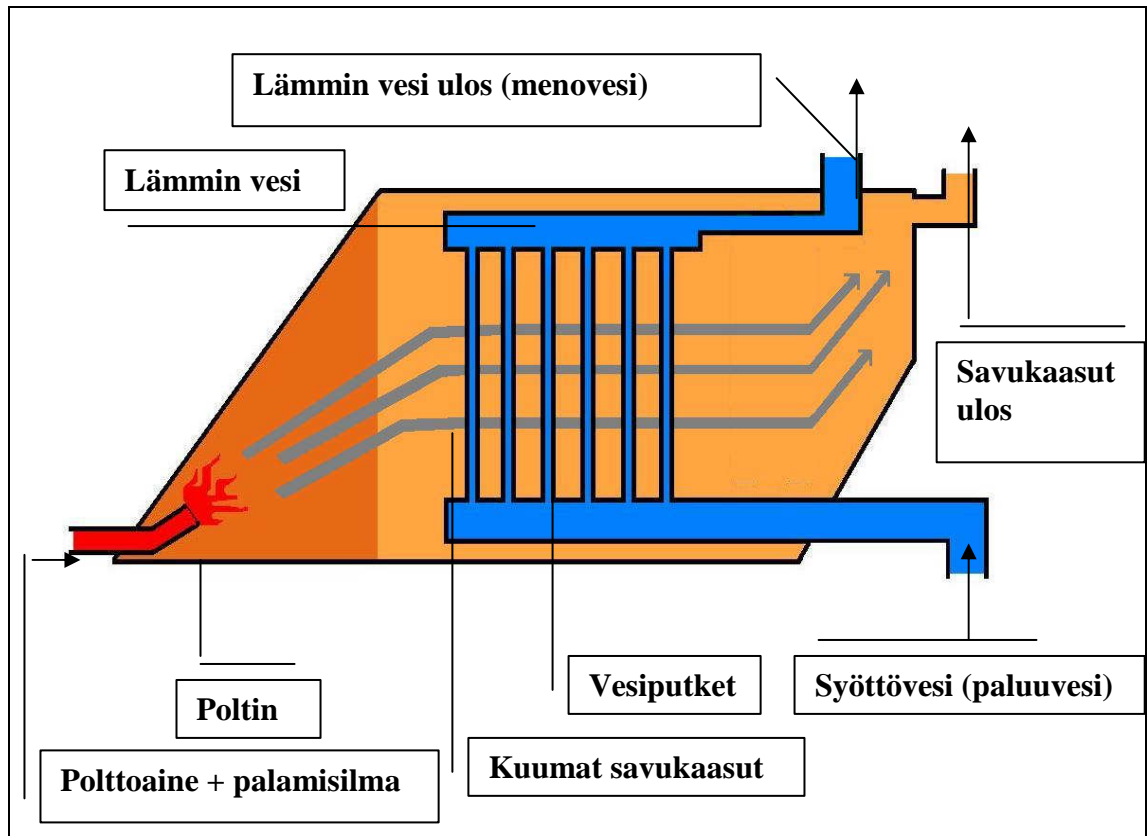
vaihtoehto on asentaa moottori reaktorin ulkopuolelle ja sekoitin ikään kuin poikittain reaktoriin. Tällöin moottorin huoltaminen on huomattavasti helpompaa, mutta sekoitusnopeuden tulee useimmiten olla suurempi kuin pystyaksellisessa lapasekoituksessa. Maatilalaitokset käyttävät sekoitukseen yleensä joko pystyakselistasta lapasekoitinta tai ulkopuolisella moottorilla toimivaa nopeampaa ns. poikittaista lapasekoitusta. Puhdistamolaitokset ja yhteiskäsittelylaitokset käyttävät kaikkia mainittuja menetelmiä. Eri sekoitusmenetelmiä voi myös yhdistellä ja se onkin yleistä. [2]

4.2.2 *Energiantuotanto*

Lämmöntuotannossa käytetään lämpökattiloita. Suurimalla osalla laitoksista kattila on yli 1 MW:n kattila, lukuun ottamatta aivan pienimpiä laitoksia, joissa kattilateho voi olla kilowatteja. CHP-käytössä Suomessa yleisimmät tekniikat lienevät kaasumoottorin ja generaattorin yhdistelmä sekä mikroturbiini [2]. Näiden lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi höyrykattilaa ja generaattoria.

Lämpökattiloista on olemassa useita, tekniikaltaan hieman erilaisia sovelluksia. Perusperiaate on kuitenkin kaikissa sama. Jotain väliainetta lämmitetään polttoaineen palamisen seurauksena vapautuvalla energialla. Yleensä väliaineena toimii vesi. Tämän väliaineen avulla lämpö saadaan viedyksi sinne missä sitä tarvitaan. Hyvin suuria energiamääriä tuotettaessa, eli kun kattila on suuri, ei ole enää järkevää tuottaa ainoastaan lämpöä vaan yleensä tuotetaan myös sähköä.

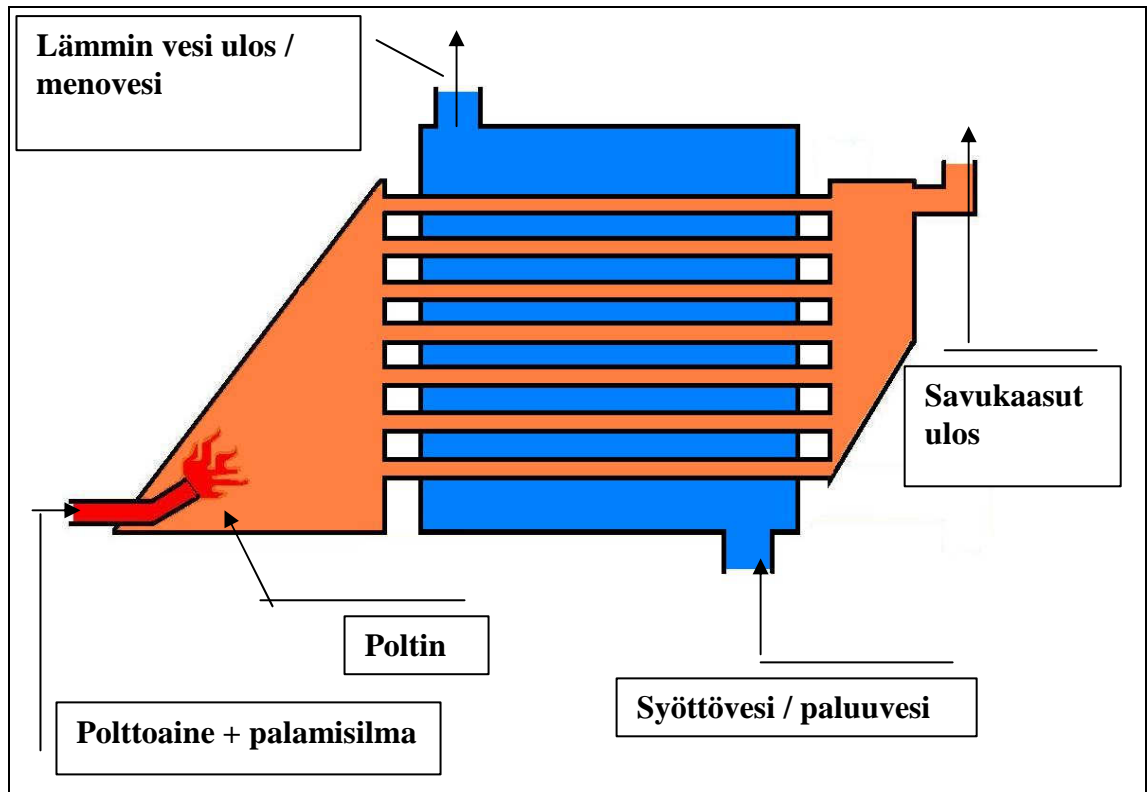
Yksi nykyään yleisesti käytettävä lämpökattilatyyppe on ns. vesiputkikattila (watertube boiler). Vesiputkikattilassa on nimensä mukaisesti putkia, joihin syötetään vettä, tai muuta väliainetta. Polttimella poltetaan polttoainetta, jolloin syntyy kuumia savukaasuja. Nämä kaasut virtaavat vesiputkien ohitse lämmitäten putkissa kiertävää vettä. [9] Lämmin vesi johdetaan haluttuihin käyttökohteisiin. Vesi kiertää putkistossa koko ajan, eli lämmin vesi tulee takaisin syöttövetenä kun se on kiertänyt läpi lämmitettävät kohteet. Savukaasut johdetaan esimerkiksi savukaasupesurin kautta piippuun. Kuvassa 4 on esitetty vesiputkikattilan toimintaperiaate.



Kuva 4. Vesiputkikattilan toimintaperiaate.

Vesiputkikattilalla voidaan tuottaa myös höyryä tai tulistettua höyryä. Höyryn tuotannossa vesi lämmitetään yli höyrystymispisteen. Osa höyrystä tiivistyy takaisin vedeksi ja virtaa takaisin syöttövesiputkeen. Kun halutaan tuottaa tulistettua höyryä, lisätään kokoonpanoon tulistin ennen höyrynpoistoa. Höyry virtaa tulistimelle, jota savukaasut lämmittävät. Tulistettu höyry johdetaan edelleen haluttuun prosessiin.

Toinen yleinen kattilatyyppe on tulitorvikattila (shell boiler). Tulitorvikattila on täytetty vedellä. Kattilan läpi menevien putkien läpi johdetaan kuumaa savukaasua. Savukaasun lämpöenergiaa siirtyy sitä ympäröivään veteen. Kattilassa voi olla putkia useassa kerroksessa, esim. alimmassa kerroksessa voi olla yksi suurempi putki ja ylemmissä kerroksissa useampia pienempiä putkia. [9] Kyseisessä kattilatyypissä on samanlainen vesikierto kuin vesiputkikattilassakin. Vesiputki- ja tulitorvikattila ovat ikään kuin käänteisversiot toisistaan. Vesiputkikattilassa savukaasut ympäröivät vettä ja tulitorvikattilassa päinvastoin. Myös tulitorvikattilalla saadaan niin haluttaessa tuotettua höyryä. Kuvassa 5 on tulitorvikattilan toimintaperiaate.



Kuva 5. Tulitorvikattilan toimintaperiaate.

Pienillä laitoksilla käytetään yleensä melko yksinkertaisen vesikierron omaavia kattiloita ja mitä suurempi laitos on kyseessä, sitä monimutkaisempi on yleensä vesikierto. Pienten laitosten lämpökattilat ovatkin yleensä tulitorvikattiloita tai niitä vastaavia kattiloita. Suurten, lämpöä tuottavien laitosten käytössä molemmat kattilatyypit ovat yleisiä.

CHP-laitoksilla yleisesti käytetty kaasumoottori toimii tavanomaisen polttomoottorin tapaan. Moottori pyörittää mekaanisesti generaattoria, joka tuottaa sähköä. Muita mahdollisia ratkaisuja ovat mm. kaasuturbiinit, mikroturbiinit ja höyrykattilan ja höyryturbiinin yhdistelmä. Höyrykattilana voi olla esimerkiksi vesiputkikattila yhdellä tai useammalla tulistimella varustettuna, jonka tuottamalla höyryllä pyöritetään höyryturbiinia, joka puolestaan pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Lämpöä saadaan tällöin kerättyä lauhduttimelta. Prosessissa voi olla myös väliottoja lämmölle. Kyseinen tekniikka on yleisesti käytössä sähkö ja kaukolämpövoimaloilla.

Mikroturbiinit ovat yleistymässä etenkin pienillä biokaasulaitoksilla CHP käytössä [2]. Mikroturbiinin etuja ovat sen pieni koko ja että laitosta voidaan helposti laajentaa lisäämällä turbiinien määrää [2]. Mikroturbiiniin syötetään polt-

toainekaasua joka voidaan haluttaessa paineistaa polttoainekompressorilla. Samaan aikaan toinen kompressori syöttää polttimelle paineistettua ja mahdollisesti esilämmitettyä palamisilmaa. Polttoaine palaa polttimella, jolloin syntyy kuumia pakokaasuja. Pakokaasut pyörittävät turbiinia, joka puolestaan pyörittää generaattoria. Edelleen lämpimät pakokaasut johdetaan lämmönvaihtimelle, joka lämmittää palamisilmaa. Pakokaasuista otetaan vielä jäljelle jäänyt lämpöenergia talteen. Polttoaineen syötössä käytettävä kompressori on optio, eikä sitä välttämättä tarvita. Myöskään lämmönvaihdin ei ole turbiinin toiminnan kannalta pakollinen, mutta se mahdollistaa lämmön hyödyntämisen, joka parantaa hyötysuhdetta merkittävästi, ja sen avulla palamisilma saadaan lämpimämmäksi, mikä myös parantaa hyötysuhdetta. Mikroturbiini toimii siis kuten perinteinen, suurempi kaasuturbiini, mutta pienemmän kokonsa takia se toimii suuremmilla kierrosnopeuksilla [10].

Perinteisessä, suuremmassa kaasuturbiinissa on ennen generaattoria usein ns. alennusvaihte, joka mahdollistaa suuremman kierrosnopeuden nostamatta generaattorin kierrosnopeutta. Generaattorin nopeuden nostaminen muuttaisi sähköön taajuutta, jolloin sitä ei voitaisi syöttää verkkoon. Mikroturbiineissa alennusvaihdetta ei tarvita koska siinä on ennen sähköön verkkoon syöttöä taajuusmuuntaja. Taajuusmuuntaja muuttaa generaattorin tuottaman vaihtovirran ensin tasavirraksi ja sen jälkeen vaihtovirraksi, halutulla taajuudella. [10]

5. TAKUUMITTAUKSET

Takuumittausten tarkoitus on erilaisilla mittauksilla todentaa, että laitteet toimivat laitevalmistajien laitteille asettamien takuuarvojen sisällä. Valmistajat antavat takuuarvoja esimerkiksi hyötysuhteelle ja suurimmalle jatkuvalla teholla. Tämä tarkoittaa sitä että tiettyjen olosuhteiden vallitessa, esim. poltettaessa biokaasua, kattila toimii tietyllä hyötysuhteella ja kattilasta saadaan tietty teho. Otettaessa käyttöön uutta laitosta, tai jotain sen komponenttia kuten kattilaa, tulee sille tehdä takuumittaukset. Takuumittaukset tunnetaan myös nimellä vastaanottokokeet. Lisäksi laitosten on seurattava päästöjen muodostumista, ja ne tulee mittaustaa tietyin väliajoin. Tämä vaatimus tulee yleensä viranomaiselta. Mutta vaikkei viranomainen mittauksia vaatisikaan, on tietenkin myös laitoksen edun mukaista tietää toimivatko laitteet niin kuin pitää vai tarvitseeko laitteistoon tehdä säätöjä. Näin voidaan mm. mahdollisesti säästää kustannuksissa ja pidentää laitteiston elinikää.

5.1 Lämpökattiloiden takuumittaukset

Lämpökattiloiden takuumittauksilla pyritään todentamaan, että kattila toimii niin kuin on tarkoitus. Pääasiassa pyritään selvittämään kattilan hyötysuhde ja häviöt. Erilaisille kattilatyypeille tehtävät mittaukset eroavat jonkin verran toisistaan, mutta periaate on kaikissa sama. Eniten käytetyille kattilatyypeille on laadittu EU-tasolla ja esimerkiksi Saksassa standardit, joiden mukaan mittaukset tulee suorittaa. Näitä standardeja on omaksuttu myös suomalaisiksi SFS-standardeiksi. Tällaisia kattilatyyppejä ovat mm. vesiputkikattilat ja tulitorvikattilat. Kun mittausmenettely on standardoitu, voidaan eri laitoksilla tehtyjen ja eri toimijoiden tekemien mittausten tuloksia verrata keskenään.

Eri valmistajilla voi olla eri takuuarvoja, mutta muutamat parametrit kuuluvat yleensä jokaisen valmistajan takuuarvoihin. Tällaisia parametreja ovat, höyryn tuotannossa höyryn paine ja lämpötila, hyötysuhde tai häviöt ja suurin jatkuva teho [11; 12]. Lisäksi on olemassa suuri joukko parametreja, jotka voivat olla takuun alaisia. Takuun alaisten parametrien selvittämiseksi voi olla, ja usein onkin, tarpeellista mitata myös useita muita parametreja. Myös siinä tapaukses-

sa, että kattilan komponentit ovat eri valmistajien toimittamia, voidaan joutua mittaamaan ylimääräisiä parametreja [11; 12].

Kuten on jo mainittu, mittaukset ovat tarkasti standardein säädelty. Lämpökattiloiden tapauksessa hyötysuhteen tai häviöiden mittaamiseen on oma standardi ja kaasumaisten päästöjen ja kiintoainepäästöjen mittaamiseen omat standardit. Hyötysuhteen tai häviöiden mittaamiseen on eri kattilatyypeille vielä eri standardit. Vesiputkikattiloiden hyötysuhde tai häviöt voidaan mitata käyttäen standardia SFS-EN 12952-15 ja tulitorvikattiloiden hyötysuhde tai häviöt käyttäen standardia SFS-EN 12953-11. Näiden lisäksi voidaan käyttää ulkomaisia standardeja, esimerkiksi saksalaista DIN 1952 standardia. Kyseisen standardin pohjalta on laadittu standardi SFS-EN 12952-15. Kaasumaiset päästöt voidaan mitata standardin SFS 3869 mukaisesti ja kiintoainepäästöt standardin SFS 3866 mukaan. Savukaasun tila määritetään standardin SFS 5624 mukaisesti. Lisäksi tulee noudattaa standardia SFS 5625 (Mittausyhteiden asentaminen kanavaan). Eri kattilatyypin päästöjen mittaamiseen sovelletaan samoja standardeja.

Hyötysuhteen tai häviöiden mittaamiseen standardit (esimerkiksi SFS-EN 12952-15) asettavat useita erilaisia vaatimuksia. Standardit määrittävät menetelmät hyötysuhteen määrittämiseen ja parametrin, jotka on mitattava, jotta hyötysuhde saadaan määritettyä. Standardit asettavat vaatimukset ympäröiville olosuhteille ja kattilan olosuhteille mittausten aikana. Olosuhteita on tarkkailtava mittauksen aikana, jotta huomataan mikäli olosuhteet muuttuvat sellaisiksi, että testiä ei voi niiden takia hyväksyä. Standardeissa mainitaan testin suositellut kestot eri olosuhteissa, hyväksyttävät mittauslaitteistot ja menetelmät sekä sallitut vaihtelut niin mitattaville parametreille kuin olosuhteillekin. Lisäksi annetaan vaihtoehtoja mitattavalle kokoonpanolle. Mitattavalla kokoonpanolla tarkoitetaan niitä komponentteja, jotka testiin aiotaan sisällyttää. Näiden lisäksi standardit antavat yhtälöt, joita tulosten laskemiseen on käytettävä. Edellä mainittujen asioiden lisäksi mainitaan mahdolliset muut standardit, joita tulee soveltaa. Kaiken kaikkiaan hyväksyttävät mittausmenetelmät ja laitteistot, sekä tulosten tuottaminen ovat standardeissa hyvin tarkasti rajattu.

Päästömittausstandardit käsittävät käytännössä kaikki samat kohdat kuin hyötysuhteen mittaamiseen sovellettavat standarditkin.

5.2 Biokaasukattilan mittauksen erityispiirteet

Biokaasua energianlähteenään käyttävien kattiloiden mittaamiseen ei ole ainaakaan vielä laadittu omaa standardia. Toisaalta, biokaasukattilan mittaaminen ei juuri eroa muita kaasuja, kuten maakaasua, käyttävien kattiloiden mittaamisesta. Maakaasu ja biokaasu ovat koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Ainoat merkittävät erot ovat biokaasun korkeampi CO₂ -pitoisuus ja pienempi lämpöarvo. Lisäksi maakaasun koostumus on suhteellisen vakioitunut, kun taas biokaasun koostumus vaihtelee enemmän. Esimerkiksi kosteuspitoisuus vaihtelee biokaasussa maakaasua enemmän, ja se on suurempi kuin maakaasussa.

Biokaasukattila voidaan mitata pääosin samojen standardien mukaan kuin esim. öljykattila tai maakaasu kattila. Biokaasukattila voidaan mitata esimerkiksi seuraavien standardien mukaisesti:

- hyötysuhde tai häviöt (SFS-EN 12952-15 tai SFS-EN 12953-11)
- polttoaineen lämpöarvo, tiheys, suhteellinen tiheys ja wobbe-indeksi (SFS-EN ISO 6976)
- kaasumaiset päästöt (SFS 3869)
- kiintoainepäästöt (SFS 3866)
- savukaasun tila (SFS 5624)
- mittausyhteiden asentaminen kanavaan (SFS 5625).

Ainoa mittausparametreihin liittyvä ero muita polttoaineita käyttävien kattiloiden mittaamiseen on se, että esimerkiksi öljyn lämpöarvo ja tiheys ovat usein tiedossa, kun taas biokaasun tapauksessa näin ei ole juuri koskaan. Tai vaikka kaasun koostumus olisikin selvitetty jollain laitoksella, ei se välttämättä myöhemmin ole enää sama. Biokaasun koostumus vaihtelee syötetyypistä ja syöteen laadusta riippuen. Näin ollen kaasun eri komponenttien, esim. metaanin, pitoisuus vaihtelee eri laitoksilla ja eri aikoina yhdelläkin laitoksella. Tästä johtuen kaasun kemiallinen koostumus tulisikin määrittää joka testin yhteydessä, vaikka samalla laitoksella olisi tehty mittauksia aikaisemmin. Muuten biokaasukattilan testaamista koskevat siis samat standardien antamat ohjeistukset kuin muitakin kattiloita.

Mittausteknisesti ero tavanomaisen lämpökattilan mittaamiseen voi olla suurempi. Suuret laitokset vastaavat mittausteknisesti muita lämpölaitoksia, mutta pienten biokaasukattiloiden mittaamisessa voi olla tiettyjä eroavaisuuksia. Pienillä laitoksilla laitteistot ovat kooltaan pieniä. Pieni koko tarkoittaa yleensä myös pienempää teknistä tilaa. Varsinkin konttimallisissa laitoksissa kattila-huone ja automaatiotila voivat olla hyvinkin pienessä rakennuksessa. Tämä voi aiheuttaa haasteita mittausten standardien mukaisen, hyväksyttävän suorittamisen kannalta. Kaikkia mittauslaitteistoja ei tilanpuutteesta johtuen voida käyttää. Voi myös olla, ettei laitoksen suunnitteluvaiheessa ole otettu huomioon mahdollisia testaus- tai muita mittaustarpeita. Joillain laitoksilla mittausyhteet voivat puuttua kokonaan, tai ne voivat olla sijoitettu niin, ettei standardien mukaisia mittauksia voida suorittaa. Jos mittausyhteiden sijainnit eivät mahdollista standardien mukaista mittausta, mutta niistä pystytään muuten mittaamaan, voidaan mittauksen epävarmuutta kasvattaa [1] tai käyttää esimerkiksi jonkinlaisia kokemusperäisiä ja toimivaksi todettuja korjauskertoimia tuloksia laskettaessa.

6. BIOKAASULAITOKSEN LÄMPÖKATTILAN TAKUUMITTAUSTEN MENETELMÄOHJEET

Työn tuloksena syntyivät biokaasulaitosten lämpökattiloiden takuumittausten suorittamiseksi menetelmäohjeet, laskentataulukot, pöytäkirjat ja raportointimalli. Menetelmäohje ja laskentataulukko laadittiin erikseen vesiputkikattiloille ja tulitorvikattiloille. Menetelmäohje antaa tarvittavat tiedot taakuumittausohjelman läpiviemiseksi. Menetelmäohje ja laskentataulukko vesiputkikattiloille on tehty standardien SFS-EN 12952-15, SFS-EN ISO 6976, SFS 3866, SFS 3869, SFS 5624 ja SFS 5625 mukaiseksi. Tulitorvikattiloiden menetelmäohje ja laskentataulukko on tehty standardien SFS-EN 12953-11, SFS-EN ISO 6976, SFS 3866, SFS 3869, SFS 5624 ja SFS 5625 mukaiseksi. Pöytäkirjat on laadittu erikseen hyötysuhdemittauksiin ja päästömittauksiin.

6.1 Hyötysuhde

Tässä kuvataan hyötysuhdetestissä tehtävät mittaukset, tulosten laskenta ja raportointi. Itse mittausten suoritusohje laadittiin osana tätä opinnäytetyötä vain tilaajan omaa käyttötarkoitusta varten.

6.1.1 Vesiputkikattilat

Mittauksen tavoitteena on käytettävästä menetelmästä riippuen joko selvittää kattilalle syötetty energia ja siltä saatu energia (suora menetelmä) tai kaikki mahdolliset häviöt (epäsuora menetelmä). Suoralla menetelmällä tarkoitetaan hyötysuhteen määrittämistä suoraan tulevien ja lähtevien energiamäärien suhteena. Epäsuoralla menetelmällä mitataan häviöt ja määritetään hyötysuhde sitä kautta. Epäsuorassa menetelmässä hyötysuhteen oletetaan olevan 100 % ilman häviöitä ja kun tästä vähennetään mitatut häviöt, saadaan hyötysuhde. Suoraa menetelmää käytettäessä tulee mitata kaikki kattilalle tuotava energia. Käytännössä tämä tarkoittaa kattilalle tulevien polttoaine-, vesi- tai höyry- ja ilmapvirtausten, sekä kattilalta lähtevien vesi-, höyry- ja savukaasuvirtausten tarkkaa määrittämistä. Epäsuoraa menetelmää käytettäessä tulee kaikki biokaasun polttamisessa ja lämmön siirtämisessä tapahtuvat häviöt määrittää tarkasti. Yleensä

suurimmat häviöt määritetään kuitenkin myös suoraa menetelmää käytettäessä. [11]

Hyötysuhteen mittaamiseen voidaan siis käyttää joko suoraa menetelmää tai epäsuoraa menetelmää. Aina kun polttoaineen virtaama voidaan helposti määrittää/mitata, on kannattavaa käyttää suoraa menetelmää. Myös siinä tapauksessa, että kyseessä on pieni kattila, voi olla parempi käyttää suoraa menetelmää, koska epäsuorassa menetelmässä määritettävien säteily- ja johtumishäviöiden määrittämiseen liittyy paljon epävarmuuksia. Vastaavasti silloin, kun polttoaineen virtaamaa ei voida tyydyttävästi mitata, kannattaa käyttää epäsuoraa menetelmää. Epäsuoran menetelmän käyttö on järkevämpää myös siinä tapauksessa, että polttoaineen ominaisuudet vaihtelevat paljon. [11] Biokaasun koostumus ei käytännössä koskaan ole vakio, vaan se vaihtelee jonkin verran.

Testiä aloitettaessa tulee lämpökattilan toimia tasaisesti, eikä esim. virtauksissa tai paineissa saa tapahtua suuria muutoksia. Testin aikana olosuhteiden tulee pysyä mahdollisimman muuttumattomia. Eli esimerkiksi virtauksien ja paineiden tulisi pysyä läpi koko testin mahdollisimman muuttumattomina. Testin kesto on suositeltavaa olla noin kaksi tuntia. [11]

Mittauksissa kannattaa mahdollisuuksien mukaan hyödyntää automatisoitua mittausta ja datan tallennusta. Tällöin epävarmuudet ovat pienemmät. Jos mittausarvot kirjataan manuaalisesti, arvojen kirjaamisvälin tulisi virtauksien osalta olla n. 3 minuuttia, savukaasuanalyysin osalta n. 5 minuuttia, paine- ja lämpötila-arvojen osalta noin 10 min ja näytteen osalta noin 15 min. [11]

Höyryä tuotettaessa höyryn, ja lämmintä vettä tuotettaessa veden, massavirtaus ei saa testin aikana vaihdella enemmän kuin 3 - 10 % mittauskeskiarvosta. Savukaasun lämpötilan, kylmän veden tai ilman lämpötila ei saisi vaihdella enempää kuin $\pm 3\%$. [11]

Mittauslaitteistoksi käy sama laitteisto jolla voidaan mitata esim. öljykattila. Lämpötilat voidaan mitata esim. termoelementillä, paine erilaisilla manometreilla ja virtaukset Pitot-putkilla. Virtaukset ja tilavuudet voidaan myös kerätä laitoksen omista mittauksista. Polttoaineen tiheyden ja lämpöarvon selvittämiseksi tulee sen kemiallinen koostumus analysoida esim. kaasuanalysaattorilla.

Analyysituloksen perusteella voidaan lämpöarvo ja tiheys laskea käyttäen standardia SFS-EN ISO 6976. Polttoaineesta, eli biokaasusta voidaan tarvittaessa ottaa näytteitä. Näytteet tulee ottaa standardin SFS-EN ISO 10715 mukaisesti. Näytteet voidaan kerätä lasisiin näytesylintereihin. Näytteet voidaan analysoida esimerkiksi kaasukromatografilla. Savukaasujen kemiallinen koostumus täytyy myös selvittää. Se voidaan määrittää polttoaineen tapaan kaasuanalysointilla. Jos mitattavaan kokoonpanoon kuuluu sähkölaitteita, tulee niiden testin aikana kuluttama energia mitata esimerkiksi sähkönkulutusmittarilla. [11]

Referenssilämpötilana takuumittauksissa on lähes poikkeuksetta, ellei toisin sovita, 25 °C. Jos kuitenkin käytetään jotain muuta referenssilämpötilaa, tulee se huomioida laskettaessa tuloksia. [11]

Polttoaineen lämpöarvo, suhteellinen tiheys ja tiheys voidaan määrittää standardin SFS-EN ISO 6976 mukaisesti. Jos kaasuanalysointori antaa kaasun koostumuksen tilavuusosuuksina, on ne muutettava mooli- tai massaosuuksiksi. Laskennassa on huomioitava kaikki kaasun komponentit, joiden mooliosuus on suurempi kuin 0,00005 %. Määritetyn mooliosuuksien summan tulee olla kokonaisluku (1), promillen (0,0001) tarkkuudella. [13]

Jos mooliosuudet joudutaan laskemaan tilavuusosuuksien pohjalta, ovat epävarmuudet hieman suuremmat. Periaatteessa lämpöarvo voidaan laskea myös tilavuusosuuksien pohjalta. Tällöin kaasun koostumukselle on voimassa seuraavat rajoitukset. Kaasun sisältämän typen (N_2) mooliosuus saa olla korkeintaan 30 %. Hiilidioksidia (CO_2) ja etaania (C_2H_6) ei kumpaakaan saa olla kaasussa yli mooliosuutta 15 %. Muut komponentit, metaanin ja edellä mainittujen lisäksi, eivät saa ylittää 5 % mooliosuutta kaasussa. Myös metaanin pitoisuudelle on olemassa rajoitus. Sitä ei saa olla kaasussa mooliosuutta 50 % vähempää. Jos nämä ehdot täyttyvät, voidaan laskelman tarkkuuden olettaa olevan 0,1 %. [13]

Nämä vaatimukset eivät ole sitovia, vaan enemmän suosituksia. Näistä vaatimuksista johtuen on kaasuanalysointorin kuitenkin käytännössä ilmoitettava tulokset mooliosuuksina tai tilavuusosuudet on muunnettava ennen lämpöarvon laskemista mooli- tai massaosuuksiksi. Biokaasu sisältää hiilidioksidia jopa

30 - 60 %, joten tilavuusosuuksien pohjalta laskemalla epävarmuus muodostuu kohtuuttoman suureksi.

Laskemisen sijaan lämpöarvo voidaan määrittää myös kaasukalorimetrillä. Kalorimetrin käyttäminen on mahdollisuuksien mukaan suositeltavaa, koska sitä käyttämällä saadaan lämpöarvo selville helpommin kuin laskemalla. Kyseisiä laitteita ei kuitenkaan ole paljoa markkinoilla, ainakaan tällä hetkellä. Periaatteessa kalorimetri voidaan valmistaa myös itse.

Hyötysuhteen määrittämiseksi suoralla menetelmällä tulee selvittää seuraavat parametrit:

- tuotetun höyryn massavirtaama tai syöttöveden massavirtaama sekä kaikki muut veden ja/tai höyryn massavirtaamat
- kaikkien kattilalle tulevien ja siltä lähtevien höyry- ja vesivirtauksien lämpötila ja paine
- polttoaineen massavirtaus
- polttoaineen lämpöarvo, kosteuspitoisuus ja täydellinen polttoaine-analyysi
- polttoaineen ja palamisilman lämpötilat
- palamisilman kosteuspitoisuus
- jos käytetään suutinväliainetta, sen paine, lämpötila ja massavirtaus
- savukaasuanalyysi (CO_2 - tai O_2 - ja CO -pitoisuudet). [11]

Lisätiedon saamiseksi voidaan määrittää myös seuraavat suureet:

- ulkolämpötila, lämpötila tulipesässä ja ilmanpaine
- savukaasun lämpötila. [11]

Jos käytetään epäsuoraa menetelmää tulee hyötysuhteen määrittämiseksi selvittää seuraavat parametrit:

- polttoaineen lämpöarvo, kosteuspitoisuus ja täydellinen polttoaine-analyysi
- savukaasuanalyysi (CO_2 - tai O_2 - ja CO -pitoisuudet)
- poistuvan savukaasun lämpötila

- polttoaineen ja palamisilman lämpötila
- palamisilman kosteuspitoisuus
- jos käytetään suutinväliainetta, sen paine, lämpötila ja massavirtaus
- sähkökäyttöisten komponenttien teho
- jos tuotetaan höyryä ja sitä käytetään palamisilman lämmittämiseen, höyryn paine, lämpötila ja virtaus (tulo ja lähtö)
- jäähdytysveden lämpötila ja massavirtaus (tulo ja lähtö)
- kaikki kattilaan liittyvät höyryn ja/tai veden massavirtaukset
- kaikkien höyryn ja/tai veden massavirtausten lämpötila ja paine
- ulkoilman lämpötila, tulipesän lämpötila ja ilmanpaine. [11]

Standardin SFS-EN 12952-15 mukaan tulisi aina mitata myös savukaasun sisältämän pölyn massavirtaus ja palamattoman aineksen massavirtaus sekä niiden lämpöarvot. Koska polttoaineena käytetään kaasua, ei kiintoainetta pitäisi palamisessa muodostua. Tai ainakin hiukkaspäästö on hyvin lähellä nollaa. Vesiputkikattiloiden hyötysuhteen mittaamiseen käytettävän menetelmäohjeen sisältö on liitteenä 1.

Mittausarvot kirjataan mittauksia varten tehtyihin pöytäkirjoihin. Pöytäkirjat ovat liitteinä 5 ja 6. Arvot voidaan myös syöttää suoraan laskentataulukon mittauspöytäkirja-välilehdelle, jolloin tulokset saadaan heti mittauksen päätyttyä ja tilaajalle voidaan raportoida heti suuntaa antavat tulokset. Lopulliset tulokset voidaan kuitenkin raportoida vasta, kun polttoaineen koostumus on analysoitu ja on tarkistettu että laskenta on oikein. Periaatteessa polttoaineen koostumus voidaan määrittää analysaattorilla myös paikan päällä.

Tulokset saadaan laskettua sijoittamalla mitatut parametrit vesiputkikattiloita varten tehtyyn laskentataulukkoon. Taulukossa on omat välilehdet höyryntuotannon hyötysuhteelle, lämminvesituotannon hyötysuhteelle, päästöille, erinäisille tarpeellisille tiedoille, pöytäkirjoille, lämpöarvoille ja tiheyksille, polttoaineanalyysille ja tulosteille. Laskentataulukosta on kuvia liitteessä 4. Taulukkoon on tehty valmiiksi tarvittavat laskentayhtälöt ja se laskee tulokset automaattisesti kun siihen syötetään mittausarvot. Taulukossa on laskentavälilehdet erikseen lämmintä vettä ja höyryä tuottavien kattiloiden hyötysuhteen laskemiseen. Laskenta eroaa hieman, riippuen siitä kumpaa kattilalla tuotetaan. Taulukoiden käyttöä on pyritty helpottamaan merkitsemällä taulukkoon itse syötettävät ar-

vot tietyllä värillä ja merkittävimmät tulokset tietyllä värillä. Lisäksi taulukoissa on opasteet siihen mitä mittausarvoja tarvitaan syöttää. Yhtälöt on tehty käyttäen Excel-ohjelman perusfunktioita ja sovelletuissa standardeissa annettuja kaavoja.

Laskenta etenee taulukossa vaihe vaiheelta. Esimerkkinä laskennan etenemistä käytetään lämmintä vettä tuottavan kattilan laskentaa. Tässä ei esitetä kaikkia laskennassa tarvittavia parametreja eikä kaikkia tarvittavia kaavoja, vaan ainoastaan ns. pääparametrit ja niiden laskukaavat. Ensimmäisenä lasketaan kattilalta saatava hyötylämpö. Hyötylämpö lasketaan kaavalla

$$\dot{Q}_{Nsta} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1), \quad (1)$$

jossa

\dot{Q}_{Nsta} = vakaissa olosuhteissa kattilalta saatava hyötylämpö;

\dot{m} = lämpimän veden massavirtaus;

h_1 = veden entalpia keskimääräisessä tulolämpötilassa ja

h_2 = veden entalpia keskimääräisessä lähtölämpötilassa. [11]

Jos veden lämpötila vaihtelee paljon, lasketaan suurin sallittu lämpötilan vaihtelu. [11]

Seuraava laskettava parametri on polttoaineen syöttöön suhteessa oleva lämmönsyöttö. Tämä tarkoittaa polttoaineen sisältämää kemiallista lämpöä ja palamisilman sisältämää lämpöenergiaa. Parametri saadaan laskettua kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \cdot H_{(N)tot}, \quad (2)$$

jossa

$\dot{Q}_{(N)ZF}$ = poltettuun polttoaineeseen suhteutettu lämmönsyöttö;

\dot{m}_F = polttoaineen massavirtaus ja

$H_{(N)tot}$ = kaikkien syötettyjen aineiden kokonaislämpöarvo referenssilämpötilassa (25 °C). [11]

Lämpöarvolaskelmissa voidaan laskea joko tehollinen lämpöarvo (NCV) tai kalorimetrinen lämpöarvo (GCV) [13]. Kalorimetrinen lämpöarvo, tai ylempi lämpöarvo, kuvaa 1 kg polttoainemäärän täydellisessä palamisessa syntyvää energiamäärää. Tehollinen lämpöarvo, tai alempi lämpöarvo, tarkoittaa sitä lämpöenergiamäärää joka vapautuu kun polttoaineen sisältämä vesi ja palamisessa syntynyt vesi ovat vesihöyrynä. Näin ollen tehollinen lämpöarvo ottaa huomioon polttoaineen kosteuden saatavaa energiamäärää määritettäessä. Laskelmissa esiintyvä termi, (N), viittaa siihen että laskelmassa käytetään tehollista lämpöarvoa. Laskentataulukossa käytetään ensisijaisesti tehollista lämpöarvoa, mutta taulukko laskee kaikki parametrit myös kalorimetrisellä lämpöarvolla.

Tämän lisäksi pitää laskea kaikki muu kattilalle tuleva lämpö, kuten kattila-huoneen sähkölaitteiden lämmitysvaikutus. Huomioon on otettava kaikkien sellaisten laitteiden teho joilla voi olla merkitystä. Muu tuotu lämpö saadaan laskettua kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)Z} = P_A + P_B + P_C \dots, \quad (3)$$

jossa

$\dot{Q}_{(N)Z}$ = muu kattilalle tuotu lämpö;

P_A = laitteen A teho;

P_B = laitteen B teho ja

P_C = laitteen C teho. [11]

Tämän jälkeen taulukko laskee kattilalle tuodun kokonaislämmön kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}, \quad (4)$$

jossa

$\dot{Q}_{(N)Ztot}$ = tuotu kokonaislämpö;

$\dot{Q}_{(N)ZF}$ = tuotu lämpö suhteessa poltettuun polttoaineeseen ja

$\dot{Q}_{(N)Z}$ = muu kattilalle tuotu lämpö. [11]

Lämmön syötön jälkeen taulukko laskee aiheutuvat häviöt. Ensimmäisenä lasketaan savukaasuhäviöt kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)G} = \dot{m}_F \cdot (J_{(N)G} - J_{(N)Gr}), \quad (5)$$

jossa

$Q_{(N)G}$ = savukaasuhäviöt;

\dot{m}_F = polttoaineen massavirtaus;

$J_{(N)G}$ = savukaasun entalpia mitatussa savukaasun lämpötilassa lämpöarvolaskelman mukaan ja

$J_{(N)Gr}$ = savukaasun entalpia referenssilämpötilassa lämpöarvolaskelman mukaan. [11]

Savukaasuhäviöiden jälkeen taulukossa lasketaan palamattomasta CO:sta (häästä) aiheutuva häviö. Nämä lasketaan kaavalla

$$\dot{Q}_{CO} = \dot{m}_F \cdot V_{Gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COn}, \quad (6)$$

jossa

Q_{CO} = palamattoman hään aiheuttama häviö;

\dot{m}_F = polttoaineen massavirta;

V_{Gd} = kuivan savukaasun tilavuus;

y_{COd} = kuivan savukaasun CO-pitoisuus (pitoisuus tilavuudessa) ja

H_{COn} = CO:n lämpöarvo/m³ standardi olosuhteissa. [11]

Kuonan ja savukaasupölyn entalpiasta ja palamattomista palavista aineista aiheutuvat häviöt lasketaan kaavalla 7. Kyseisten häviöiden laskemiseen voidaan käyttää erilaisia kaavoja riippuen siitä mitä parametreja on mitattu ja mitä ei. Tässä on esimerkkinä tapaus jossa savukaasupölyn massavirtaus mitataan ja kuonan massavirtaus määritetään tuhkatasapainosta. Taulukko laskee kaikki vaihtoehdot joita standardissa SFS-EN 12952-15 on esitetty.

$$\dot{Q}_{SF} = \dot{m}_F \cdot J_{SL} + \dot{Q}_{FA}, \quad (7)$$

jossa

Q_{SF} = kuonan ja savukaasupölyn entalpiasta ja palamattomista palavista aineista aiheutuvat häviöt;

m_F = polttoaineen massavirta;

J_{SL} = kuonan entalpia ja

Q_{FA} = savukaasupölystä aiheutuva häviö. [11]

Kuonan ja savukaasupölyn entalpiasta ja palamattomista palavista aineista aiheutuvilla häviöillä ei ole biokaasukattiloiden tapauksessa merkitystä, koska kaasun palamisessa ei pitäisi syntyä kiinteitä aineita. Nämä häviöt voidaankin jättää huomioimatta. Laskentataulukko laskee myös kyseiset häviöt, mutta ellei savukaasu sisällä pölyä tai palamisessa synny kuonaa, tulee näiden häviöiden arvoksi 0, jolloin niillä ei ole vaikutusta laskelman lopputulokseen.

Jo mainittujen häviöiden lisäksi tulee määrittää säteily- ja johtumishäviöt (Q_{RC}) sekä muut aikaan liittyvät häviöt (other, time-related losses). Säteily ja johtumishäviöitä ei käytännössä koskaan pystytä mittaamaan. Mittaustietojen sijaan käytetään empiirisiä arvoja, joita löytyy kuvaajan muodossa standardista SFS-EN 12952-15 [11]. Tehdyssä laskentataulukossa käytetään kaavaa johon kuvaaja perustuu. Standardissa on esitetty kuvaajat erilaisia polttoaineita polttaville kattiloille, mutta biokaasukattilalle ei ole kuvaajaa. Tästä johtuen laskentataulukossa on jouduttu käyttämään maakaasukattilan arvoja. Mutta kuten on jo mainittu maakaasun ja biokaasun koostumus on hyvin samankaltainen. Biokaasua voidaan polttaa myös maakaasulle räätälöidyssä kattilassa, joten taulukoissa on päädytty käyttämään maakaasukattiloille empiirisesti määritettyjä arvoja.

Muihin, aikaan liittyviin häviöihin kuuluu mm. ulkoisten jäähdytysjärjestelmien aiheuttamat häviöt [11]. Nämä riippuvat laitoksen laitteistoista. Mahdollisen vedellä toimivan jäähdytysjärjestelmän häviöt on taulukkoon sisällytetty, mutta jos laitoksella on muita laitteita jotka voivat kyseisiä häviöitä aiheuttaa tulee ne lisätä taulukkoon manuaalisesti.

Kokonaishäviöt muodostuvat edellä mainituista häviöistä. Tässä kohtaa tulee erotella polttoainevirtaan suhteessa olevat häviöt (Q_{LF}), polttoainevirrasta riippumattomat häviöt (Q_L) ja säteily- ja johtumishäviöt (Q_{RC}) [11]. Polttoainevirtaan suhteessa oleviin häviöihin sisältyvät biokaasun ollessa polttoaineena savukaasuhäviöt ($Q_{(N)G}$) ja palamattoman CO:n aiheuttama häviö (Q_{CO}) [11]. Polt-

toainevirrasta riippumattomiin häviöihin kuuluvat biokaasun ollessa polttoaineena yleensä vain muut aikaan liittyvät häviöt [11]. Kokonaishäviöt lasketaan kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)tot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_{RC}, \quad (8)$$

jossa

$Q_{(N)tot}$ = kokonaishäviö;

$Q_{(N)LF}$ = polttoainevirtaan suhteessa olevat häviöt;

Q_L = polttoainevirrasta riippumattomat häviöt ja

Q_{RC} = säteily- ja johtumishäviöt. [11]

Lisäksi taulukko laskee palamisilman ja savukaasun massojen suhteet polttoaineen massaan, tarvittavat ominaislämpökapasiteetit, massavirrat ja tarvittavat lämpöarvot. Taulukkoon syötetään polttoaineanalyysin tulokset, joista taulukko laskee polttoaineen koostumuksen mooliosuuksina ja massaosuuksina, suhteellisen tiheyden ja tiheyden sekä kalorimetrinen että tehollisen lämpöarvon.

Lopullisena tuloksena taulukosta saadaan kattilan hyötysuhde. Taulukko laskee lämpöhyötysuhteen aiemmin laskettujen syötettyjen energia määrien ja häviöiden avulla kaavoilla 9 ja 10. Kaava 9 on suoraa menetelmää ja kaava 10 epäsuoraa menetelmää varten.

$$\eta_{(N)B} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_{(N)Ztot}}, \quad (9)$$

jossa

$\eta_{(N)B}$ = lämpöhyötysuhde;

Q_N = vakaisissa olosuhteissa kattilalta saatava hyötylämpö ja

$Q_{(N)Ztot}$ = tuotu kokonaislämpö. [11]

$$\eta_{(N)B} = 1 - \frac{\dot{Q}_{Ltot}}{\dot{Q}_{(N)Ztot}}, \quad (10)$$

jossa

$\eta_{(N)B}$ = lämpöhyötysuhde;

Q_{Ltot} = kokonaishäviö ja

$Q_{(N)Ztot}$ = tuotu kokonaislämpö. [11]

Lopuksi taulukko laskee laskelmalle epävarmuuden ja erilaisia mahdollisesti kyseeseen tulevia korjauksia. Korjaukset voivat tulla kysymykseen jos esimerkiksi referenssilämpötila ei ole 25 °C. Yleensä referenssilämpötilana kuitenkin käytetään juuri kyseistä lämpötilaa. Standardi antaa eri parametrien epävarmuuksille ohjeellisia arvoja joita epävarmuuslaskennassa noudatetaan. Useiden parametrien, kuten polttoaineen ominaislämpökapasiteetin epävarmuuden katsotaan kuitenkin olevan 0. Lopullinen hyötysuhteen epävarmuus suoraa menetelmää käytettäessä lasketaan virheen summautumislain mukaan kaavalla 11. Epäsuoraa menetelmää käytettäessä epävarmuudet lasketaan samaan tapaan, mutta koska laskennassa käytettävät parametrit ovat eri, on myös kaava hie- man erilainen. Kyseistä kaavaa ei tässä esitetä koska periaate on sama kuin suo- ran menetelmän tapauksessa.

$$\varepsilon_{\eta_{(N)B}} = \sqrt{\left(\frac{m_F \cdot H_{(N)tot}}{Q_{(N)Ztot}}\right)^2 \cdot (\varepsilon_{m_F}^2 + \varepsilon_{H_{(N)tot}}^2 + \varepsilon_{AU}^2) + \left(\frac{Q_{(N)Z}}{Q_{(N)Ztot}}\right)^2 \cdot \varepsilon_{Q_{(N)Z}}^2 + \varepsilon_{QN}^2}, \quad (11)$$

jossa

$\varepsilon_{\eta_{(N)B}}$ = hyötysuhteen epävarmuus ja

ε = kunkin parametrin epävarmuus. [11]

Kun mitataan kaikki ohjeessa määritetyt parametrit, voidaan hyötysuhde las- kea sekä suoralla että epäsuoralla menetelmällä. Tästä on se hyöty että tuloksia voidaan verrata. Ja näin ollen ilmoitetaan se tulos jossa on pienempi epävar- muus.

Tulokset raportoidaan raportointimallia hyväksi käyttäen. Samalla raportilla raportoidaan sekä hyötysuhtemittaus että päästömittaus, koska ne liittyvät oleellisesti toisiinsa. Eikä hyötysuhdetta voida määrittää, jos päästöjä ei tunne- ta. Raportissa kerrotaan lyhyesti laitoksesta, jossa mittaukset on tehty ja sen toi- minnasta. Selvitetään mikä mittauksen tarkoitus on, kuka mittaukset on suorit-

tanut ja milloin ne on tehty. Mittauskohteet, eli kattila tai kattilat, kuvataan mahdollisimman tarkasti. Kattilasta on hyvä kirjata raporttiin vähintään seuraavat asiat: Omistaja, sijainti, kattilan nimi (jos sellainen on), kattilan malli, polttoaine (biokaasu), polttotapa, mahdolliset savukaasupuhdistimet, mittaus-teho tai mittaustehot ja kattilan käyttötarkoitus. Mittausteholla tarkoitetaan tässä yhteydessä kattilan kuormitusastetta. Mittausteho voi siis olla esimerkiksi 100 % tai 50 % maksimitehosta.

Käytetyt mittauspisteet kuvataan raportissa vähintään sanallisesti. Jos mahdollista voidaan mittauspisteet kuvata raportissa valokuvin. Mittausolosuhteet tulee esittää raportissa vähintään yleisellä tasolla. Mittausmenetelmissä kuvataan käytetyt menetelmät ja standardit, joihin ne pohjautuvat. Mittauslaitteiston toimintaperiaatteet tulee selvittää ja näytteiden käsittelymenetelmät selostaa. Myös mahdolliset laitteistojen toimintakunnon todistukset kannattaa tässä kohdassa mainita. Raportissa tulee esittää tulosten ja epävarmuuksien laskentaan käytetyt yhtälöt ja standardit. Kaikkia yhtälöitä ei kuitenkaan ole tarkoituksen mukaista raporttiin laittaa.

Tuloksissa esitetään määritetyt hyötysuhteet prosentteina kullakin mittausteholla erikseen. Myös polttoaineen ominaisuudet ja takuuarvot tulee esittää. Kattiloista voidaan raportin liitteeksi laittaa ns. tasekuvat, jotka kuvaavat kattilan toimintaa testin aikana. Kuvassa esitetään mm. häviöt, hyötysuhde ja virtaamat. Lisäksi raportissa tulisi tulkita tuloksia ja tehdä johtopäätöksiä kattilan toiminnasta. Tehdyn malliraportin sisällys on liitteenä 7.

6.1.2 Tulitorvikattilat

Tulitorvikattiloiden menetelmäohje on pääosin sama kuin vesikiertokattiloillekin. Erot johtuvat siitä että tulitorvikattilat ovat termodynaamisesti yksinkertaisempia. Termodynaamisella yksinkertaisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että kattilalla on vain yksi lämmönlähde ja yksinkertainen vesikierto (tai höyrykierto) [12].

Vesikiertokattiloista poiketen tulitorvikattiloita testattaessa voidaan standardin SFS-EN 12953-11 mukaiseksi tehtyä ohjetta soveltaen käyttää vain epäsuoraa menetelmää. Testin kestolle ei varsinaisesti ole olemassa vaatimuksia. Testin

voidaan katsoa olevan riittävän pitkä kun otetaan 6 sarjaa mittauksia /8/. Näin ollen kun esimerkiksi savukaasun lämpötila mitataan 10 min välein, riittää testin kestoksi 60 minuuttia. Mittausparametrien tallennusvälinä voidaan käyttää samoja aikavälejä kuin vesikiertokattiloiden kohdalla. Kattilan on toimittava vakaasti testin aikana. Olosuhteiden katsotaan olevan vakaat, kun savukaasun lämpötila ei vaihtele 10 °C enempää ja savukaasun happipitoisuus pysyy 0,5 % sisällä keskiarvosta. [12]

Mittalaitteina käyvät samat laitteet kuin vesikiertokattiloiden mittauksissa. Referenssilämpötilana tulisi olla 25 °C, mutta vaikka referenssilämpötilana olisikin joku muu lämpötila, ei laskettuja lämpöarvoja tarvitse korjata [12]. Polttoaineen tiheyden, suhteellisen tiheyden ja lämpöarvon määrittämiseen polttoaineen koostumusta koskevat samat vaatimukset kuin vesikiertokattiloidenkin kohdalla (katso kohta 6.1.1). Polttoaineen kemiallinen koostumus pitää määrittää aina [12].

Tulitorvikattilan hyötysuhteen määrittämiseksi tulee mitata seuraavat parametrit:

- polttoaineen sisältämä palava aine, lämpöarvo (NCV tai GCV), kosteuspitoisuus ja täydellinen polttoaineanalyysi
- savukaasuanalyysi (CO₂- ja/tai O₂- ja CO - pitoisuudet)
- poistuvan savukaasun lämpötila
- polttoaineen ja palamisilman lämpötila
- palamisilman kosteuspitoisuus
- ulkoilman lämpötila, tulipesän lämpötila ja ilmanpaine
- syötetyn polttoaineen määrä. [12]

Näiden lisäksi kaikki parametrit joilla kuvataan vakaita olosuhteita tulee mitata. Näitä ovat:

- höyryn paine, jos tuotetaan höyryä
- höyryn ja syöttöveden lämpötila (lämminvesigeneraattoreilla lähtö- ja paluuveden lämpötila) ja niiden virtaukset. [12]

Tilaajalle laaditussa ohjeessa on yksityiskohtaiset, askel askeleelta etenevät ohjeet mittauksen suorituksesta. Tehdyn menetelmäohjeen sisällys on liitteenä 2.

Mittausarvot kirjataan tehtyyn mittauspöytäkirjaan joko käsin, tai suoraan laskentataulukon pöytäkirjavälilehdelle. Pöytäkirjat ovat liitteinä 5 ja 6. Pöytäkirjaan kirjatut arvot syötetään laskentataulukkoon joka laskee kattilan hyötysuhteen.

Laskentataulukko on tehty samankaltaiseksi kuin vesikiertokattiloiden laskentataulukko. Taulukko eroaa edellä mainitusta oikeastaan vain siinä, ettei se sisällä epävarmuuden laskemista, koska standardi SFS-EN 12953-11 ei sitä vaadi. Taulukko sisältää omat välilehdet hyötysuhteelle, lämpöarvoille ja tiheyksille, polttoaineanalyysille, päästöille, pöytäkirjoille ja tulosteille. Jos niin halutaan, voidaan epävarmuudet laskea erikseen hyväksikäyttäen yksityiskohtaista epävarmuuksien arviointia [12].

Laskenta etenee samaan tapaan vaihe vaiheelta kuin vesiputkikattiloiden laskentataulukko. Laskenta on huomattavasti yksinkertaisempi kuin vesikiertokattiloiden tapauksessa. Tämä johtuu muun muassa siitä että kattila on termodynaamisesti yksinkertaisempi. Tässä on esimerkkinä lämmintä vettä tuottavan kattilan laskennan päävaiheet. Taulukko laskee ensin lämmönsyötön suhteessa poltettuun polttoaineeseen kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{m}_F \cdot H_{(N)tot} , \quad (12)$$

jossa

$Q_{(N)Ztot}$ = poltettuun polttoaineeseen suhteutettu lämmönsyöttö;

\dot{m}_F = polttoaineen massavirtaus ja

$H_{(N)tot}$ = polttoaineen lämpöarvo referenssilämpötilassa (25 °C). [12]

Seuraavaksi lasketaan häviöt. Ensimmäisenä taulukko laskee savukaasuhäviöt kaavalla

$$\dot{Q}_{(N)G} = \dot{m}_F \cdot (J_{(N)G} - J_{(N)Gr}) , \quad (13)$$

jossa

$Q_{(N)G}$ = savukaasuhäviöt;

m_F = polttoaineen massavirtaus;

$J_{(N)G}$ = savukaasun entalpia mitatussa savukaasun lämpötilassa lämpöarvolaskelman mukaan ja

$J_{(N)Gr}$ = savukaasun entalpia referenssilämpötilassa lämpöarvolaskelman mukaan. [12]

Tulitorvikattiloiden tapauksessa palamattomasta CO:sta aiheutuvaa häviötä ei tarvitse ottaa huomioon [12]. Myöskään tuhkan ja savukaasupölyn entalpiasta ja palamattomista aineista aiheutuvat häviöitä ei tarvitse ottaa huomioon koska poltetaan kaasumaista polttoainetta [12]. Säteily- ja johtumishäviöt määritetään samaa empiiristä kaavaa ja kuvaajaa käyttäen kuin vesikiertokattiloiden tapauksessa.

Seuraavaksi taulukko laskee menetetyt ominaislämmöt tai toisin sanottuna häviöt kaavoilla 14 ja 15.

$$l_{(N)G} = \frac{\dot{Q}_{(N)G}}{\dot{Q}_{(N)Ztot}}, \quad (14)$$

jossa

$l_{(N)G}$ = savukaasuhäviö;

$Q_{(N)G}$ = savukaasuhäviöt ja

$Q_{(N)Ztot}$ = poltettuun polttoaineeseen suhteutettu lämmönsyöttö. [12]

$$l_{(N)RC} = \frac{\dot{Q}_{RC}}{\dot{Q}_{(N)Ztot}}, \quad (15)$$

jossa

$l_{(N)RC}$ = säteily- ja johtumishäviö,

Q_{RC} = säteily- ja johtumishäviöt ja

$Q_{(N)Ztot}$ = poltettuun polttoaineeseen suhteutettu lämmönsyöttö. [12]

Hyötysuhteen taulukko laskee edellisten parametrien avulla käyttäen kaavaa

$$\eta_{(N)B} = 1 - l_{(N)G} - l_{(N)RC} , \quad (16)$$

jossa

$\eta_{(N)B}$ = lämpöhyötysuhde;

$l_{(N)G}$ = savukaasuhäviö ja

$l_{(N)RC}$ = säteily- ja johtumishäviö. [12]

Lisäksi taulukko laskee vielä tuotetun hyötylämmön kaavalla

$$\dot{Q}_E = \eta_{(N)B} \cdot \dot{Q}_{(N)Ztot} , \quad (17)$$

jossa

Q_E = tuotettu hyötylämpö;

$\eta_{(N)B}$ = lämpöhyötysuhde ja

$Q_{(N)Ztot}$ = poltettuun polttoaineeseen suhteutettu lämmönsyöttö. [12]

Kuten on jo mainittu, standardin SFS-EN 12953-11 mukaan laskelmalle ei tarvitse laskea epävarmuutta. Useimmiten on kuitenkin hyvä määrittää laskelman tarkkuus vähintään arvioimalla. Edellä käsiteltyjen parametrien lisäksi taulukko laskee lämpöarvot, tiheydet, ominaislämpökapasiteetit ja palamisilman/savukaasun massojen suhteet polttoaineen massaan.

Laskentataulukosta on kuvia liitteessä 4. Tulitorvikattilan takuumittaukset raportoidaan samaa raportointimallia ja samoja periaatteita käyttäen kuin vesikiertokattilatkin.

6.2 Päästöt

Päästöt mitataan molempien ohjeen kattavien kattilatyypin tapauksessa saman ohjeen mukaan. Ohje on tehty standardien SFS 3866, SFS 3869, SFS 5624 ja SFS 5625 mukaiseksi. Ohjeessa kuvataan päästömittausprosessi vaihe vaiheelta. Päästömittausten menetelmäohje laadittiin vain tilaajan käyttöön, mutta ohjeen sisälllys on liitteenä 3.

Normaalisti lämpökattilan päästömittauksessa määritetään sekä kaasumaiset että kiinteät päästöt (hiukkaspäästöt). Kaasukattiloiden tapauksessa kiinteät päästöt voidaan jättää huomioimatta, koska niitä ei pitäisi kaasun palaessa muodostua. Päästöjen määrittämiseksi on määritettävä savukaasun tila, johon päästöt suhteutetaan.

Jotta päästöt voidaan määrittää, tulee mitata seuraavat parametrit:

- dynaaminen paine
- staattinen paine
- lämpötila
- kaasun kosteuspitoisuus
- kaasun kemiallinen koostumus
- kaasun nopeus
- kanavan mitat
- imetty kaasutilavuus ja
- kiintoaineen massa. [14; 15; 16]

Mittauslaitteistoksi käy sama laitteisto kuin hyötysuhteen mittaamiseen. Paineet voidaan mitata Pitot-putkella ja manometrillä. Lämpötilan mittaamiseen soveltuu esimerkiksi termoelementti. Savukaasun kosteus määritetään lauhduttamalla savukaasua lauhduttimella ja punnitsemalla lauhtunut vesi. Kaasun nopeus saadaan määritettyä dynaamisten paineiden avulla. [14; 15; 16]

Savukaasun kemiallinen koostumus voidaan mitata savukaasuanalyssaattorilla. Kaasuanalyssaattorit voivat toimia useilla eri toimintaperiaatteilla. Yleisimpiä ovat mm. infrapunaspektrometria (IR) ja FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). IR-tekniikka perustuu siihen että kukin kaasukomponentti absorboi infrapunasäteitä, kukin sille ominaisella aallonpituudella. Myös FTIR perustuu infrapunasäteilyyn. Useilla analyssaattoreilla voidaan mitata suoraan kanavasta kuumaa ja kosteaa savukaasua. Tämä helpottaa mittausta merkittävästi. [17]

Parametrien määrittystarkkuuksille on annettu seuraavia vaatimuksia. Lämpötila on mitattava ± 1 % tarkkuudella, savukaasun kosteus on määritettävä ± 10 % tarkkuudella ja kanavan mitat ± 2 % tarkkuudella. [14; 15]

Mittauspisteiden lukumäärä ja sijainti savukaasukanavassa riippuu kanavan koosta, muodosta ja yhteiden lukumäärästä. Mittauspisteiden lukumäärän selvittämiseksi tulee laskea kanavan hydraulinen halkaisija. Se voidaan laskea suorakaiteen muotoisille kanaville kaavalla

$$D = \frac{4 \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (18)$$

jossa

D = kanavan hydraulinen halkaisija;

A = kanavan poikkileikkauspinta-ala ja

r = kanavan säde. [14; 15]

Pyöreissä kanavissa hydraulinen halkaisija on suoraan kanavan halkaisija. [14; 15]

Mitä pidempi on häiriötön etäisyys ennen ja jälkeen mittaustason, sitä pienempi määrä mittauspisteitä tarvitaan luotettavan mittaustuloksen saamiseksi. Häiriötön etäisyys riippuu kanavan hydraulisesta halkaisijasta. Häiriöttömän etäisyyden tulisi olla ennen mittaustasoa 5 kertaa hydraulinen halkaisija ja tason jälkeen 1 kertaa hydraulinen halkaisija. Mikäli näitä vaatimuksia ei voida täyttää tulee häiriöttömän etäisyyden olla ennen mittaustasoa 5 kertaa tason jälkeinen häiriötön etäisyys. [14; 15]

Mittauspisteiden sijainnit tulisi valita niin että mittaustuloksia saadaan tietyin välein koko kanavan halkaisijalta. Luotettavin tulos saadaan jos yhteitä on enemmän kuin yksi, mutta usein yhteitä on samassa tasossa vain yksi.

Tulokset saadaan kun mitatut arvot syötetään laskentataulukkoon. Laskentataulukko laskee tulokset standardien SFS 3869 ja SFS 3866 mukaisesti. Päästöille tehtiin oma laskentataulukko, mutta molempiin hyötysuhdetaulukkoihin on

sisällytetty kyseinen päästötaulukko koska savukaasun virtaukset ja päästöt on tiedettävä hyötysuhteen määrittämiseksi. Päästöt voidaan siis laskea suoraan hyötysuhdetaulukossa tai omassa taulukossaan. Päästötaulukko on toteutettu Excel-ohjelmiston perusfunktioilla ja laskenta tapahtuu automaattisesti kun mitatut arvot syötetään taulukon pöytäkirja-välilehdelle. Laskentataulukossa on omat välilehdet kaasumaisille päästöille, kiintoainepäästöille, erinäisille tiedoille, pöytäkirjoille ja eri komponenttien epävarmuuslaskennalle.

Kiintoainepäästön laskennan kulkua ei tässä esitetä koska kiintoainepäästöjä ei pitäisi kaasumaisia polttoaineita poltettaessa syntyä. Periaatteessa on myös mahdollista, että kaasumaisia savukaasukomponentteja ei tarvitse laskea ollenkaan, jos mittaus suoritetaan kaasuanalysaattorilla. Tällöin voidaan raportoida suoraan kaasuanalysaattorin ilmoittamat pitoisuudet. Epävarmuudet pitää kuitenkin tässäkin tapauksessa laskea. Seuraavaksi esitetään kaasumaisten päästöjen laskennan kulku ja taulukossa esiintyvät keskeiset yhtälöt.

Ensimmäisenä taulukko laskee savukaasun tiheyden. Kaasun tiheys normaalitilassa saadaan kaavalla

$$\rho_n = \frac{M}{V_m}, \quad (19)$$

jossa

ρ_n = kaasun tiheys normaalitilassa;

M = kaasun moolimassa ja

V_m = kaasun moolitilavuus. [14; 15]

Koska kaasu on yleensä kosteaa, lasketaan seuraavaksi kostean kaasun tiheys normaalitilassa kaavalla

$$\rho_{wn} = \rho_{dn} \cdot \frac{1 + w_v}{\left(1 + \frac{w_v \cdot \rho_{dn}}{\rho_{vn}}\right)}, \quad (20)$$

jossa

ρ_{wn} = kostean kaasun tiheys normaalitilassa;

ρ_{dn} = kuivan kaasun tiheys normaalitilassa;

ρ_{vn} = vesihöyryn tiheys normaalitilassa ja

x_s = veden ja kuivan kaasun massasuhte kanavassa. [14; 15]

Taulukko laskee seuraavaksi kostean kaasun tiheyden kanavassa kaavalla

$$\rho_{ws} = \rho_{wn} \cdot \frac{T_n \cdot p_s}{T_s \cdot p_n}, \quad (21)$$

jossa

ρ_{ws} = kostean kaasun tiheys kanavassa;

ρ_{wn} = kostean kaasun tiheys normaalitilassa;

T_n = lämpötila normaalitilassa;

p_s = paine kanavassa;

T_s = lämpötila kanavassa ja

p_n = ilmanpaine normaalitilassa. [14; 15]

Kostean kaasun nopeus kanavassa saadaan kaavalla

$$v_{ws} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{dyn}}{\rho_{ws}}}, \quad (22)$$

jossa

v_{ws} = kostean kaasun nopeus kanavassa;

p_{dyn} = kaasun dynaaminen paine ja

ρ_{ws} = kostean kaasun tiheys kanavassa. [14; 15]

Taulukko laskee keskiarvon kaasun nopeudelle kanavassa. Sen jälkeen taulukko laskee kostean kaasun tilavuusvirran kanavassa kaavalla

$$q_{ws} = \bar{v}_{ws} \cdot A, \quad (23)$$

jossa

q_{ws} = kostean kaasun tilavuusvirta kanavassa;

v_{ws} = kostean kaasun keskimääräinen nopeus kanavassa ja
 A = kanavan poikkileikkauspinta-ala. [14; 15]

Kostean kaasun tilavuusvirta normaalitilassa saadaan kaavalla

$$q_{wn} = q_{ws} \cdot \frac{T_n \cdot p_s}{T_s \cdot p_n}, \quad (24)$$

jossa

q_{wn} = kostean kaasun tilavuusvirta normaalitilassa;

q_{ws} = kostean kaasun tilavuusvirta kanavassa;

T_n = lämpötila normaalitilassa;

p_s = paine kanavassa;

T_s = lämpötila kanavassa ja

p_n = ilmanpaine normaalitilassa. [14; 15]

Seuraavaksi taulukossa lasketaan kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa kaavan 25 avulla.

$$q_{dn} = q_{wn} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{x_s \cdot \rho_{dn}}{\rho_{vn}}\right)}, \quad (25)$$

jossa

q_{dn} = kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa;

q_{wn} = kostean kaasun tilavuusvirta normaalitilassa;

ρ_{dn} = kuivan kaasun tiheys normaalitilassa;

ρ_{vn} = vesihöyryn tiheys normaalitilassa ja

x_s = veden ja kuivan kaasun massasuhde kanavassa. [14; 15]

Kuivatun näytteen kaasun tilavuus normaalitilassa lasketaan kaavalla

$$V_{dn} = V_{wa} \cdot \frac{T_n}{T_a} \cdot \frac{p_a}{p_n} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{x_a \cdot \rho_{dn}}{\rho_{vn}}\right)}, \quad (26)$$

jossa

V_{dn} = kuivatun näytekaasun tilavuus normaalitilassa;

V_{wa} = kostean näytekaasun tilavuus mittarin tilassa;

T_n = lämpötila normaalitilassa;

T_a = lämpötila mittarin tilassa;

p_a = paine mittarin tilassa;

p_n = paine normaalitilassa;

x_s = veden ja kuivan kaasun massasuhde mittarissa;

ρ_{dn} = kuivan kaasun tiheys normaalitilassa ja

ρ_{vn} = vesihöyryn tiheys normaalitilassa. [14; 15]

Tämän jälkeen päästään laskemaan kaasumaisia päästöjä. Kuivatun näytekaasun sisältämien kaasukomponenttien pitoisuudet normaalitilassa saadaan laskettua kaavalla 27. Taulukko laskee jokaisen kaasukomponentin pitoisuuden erikseen.

$$c_n = \frac{m}{V_{dn}} , \quad (27)$$

jossa

c_n = kaasukomponentin pitoisuus normaalitilassa;

m = kaasukomponentin massa ja

V_{dn} = kuivatun näytekaasun tilavuus normaalitilassa. [14; 15]

Viimeiseksi taulukko laskee kunkin kaasukomponentin päästön kaasuvirrassa kaavalla

$$q_e = c_n \cdot q_{dn} , \quad (28)$$

jossa

q_e = kaasuvirran kaasukomponentin päästö;

c_n = kaasukomponentin pitoisuus normaalitilassa ja

q_{dn} = kuivan kaasun tilavuusvirta normaalitilassa. [14; 15]

Lisäksi taulukko laskee kaikille kaasukomponenteille epävarmuudet. Mittaus-epävarmuudet tulevat standardin SFS-EN 12952-15 kaavojen ja ohjearvojen, FINAS S 12/1992 suosituksen ja ISO:n GUM 1995 oppaan mukaan.

Kuten on jo mainittu päästömittaus ja hyötysuhdemittaus raportoidaan samalla raportilla, tehdyn raportointimallin mukaisesti. Raportissa tulee päästöjen osalta esittää käytetyt mittausmenetelmät ja laitteet. Käytettäessä kaasuanalysointia kannattaa mainita analysointilaitteen toimintaperiaatteet ja muut oleelliset tiedot, kuten käytetty mittausalue. Mittausalueella tarkoitetaan sitä pitoisuusaluetta jonka analysointilaitteisto kykenee näyttämään. Mittausalue voi olla esimerkiksi hapen (O_2) kohdalla 0-25 %. Muuttamalla kaasuanalysointilaitteen mittausaluetta kapeammaksi saadaan tarkempia tuloksia. Raportissa esitetään savukaasujen komponenttien pitoisuudet (esim. $mg/m^3(n)$) ja päästöt (esim. mg/MJ) sekä niiden epävarmuudet. Lisäksi tulosten yhteydessä mainitaan millä teholla tai tehoilla mittaukset on tehty.

7. MENETELMÄOHJEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO

Menetelmäohjeet on tarkoitus ottaa käyttöön heti, kun niitä on testattu vähintään yhdellä suomalaisella biokaasulaitoksella. Testi tehdään näillä näkymin kesällä 2011. Ohjeistukseen voidaan tehdä muutoksia tehtävän testin jälkeen jos se on tarpeen. Ohjetta ei varsinaisesti pystytä testaamaan muuten kuin tekemällä mittaukset sen mukaisesti. Laskentataulukkoja voidaan testata laitoksilta saaduilla arvoilla ja näin onkin toimittu.

Tällä hetkellä näyttää todennäköiseltä että myös pienet biokaasulaitokset tulevat saamaan sähkönsyöttötariffin. Jos myös pienemmät biokaasulaitokset saavat syöttötariffin, tullaan menetelmäohjeistus laajentamaan sähköntuotannon hyötysuhteen mittausohjeella. Laajennuksen jälkeen voitaisiin mitata myös biokaasulaitosten kokonaishyötysuhde.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn lopputulos on hyvä ja yrityksen on tarkoitus ottaa ohjeistus tulevaisuudessa käyttöön. Pöytäkirjat selkeyttävät tulosten kirjaamista ja niitä käyttämällä voidaan aina olla varmoja, ettei mitään tarvittavia parametreja jää epähuomiossa mittaamatta. Menetelmäohjeet helpottavat biokaasulaitosten lämpökattiloiden takuumittausten sisäistämistä. Aina kun mittaukset tehdään menetelmäohjeita noudattaen, tulevat mittaukset tehtyä samalla tavalla. Näin käytettyjen menetelmien jäljitettävyyks ja toistettavuus on parempi. Menetelmäohjeesta on helpompi tarkistaa mittauksen suoritusohjeet kuin osittain jopa vaikeaselkoisista standardeista. Ohjeistuksesta pyrittiinkin tekemään mahdollisimman lyhyt, selkokieline ja helposti ymmärrettävä. Tässä tavoitteessa myös onnistuttiin. Raportointimalli pyrittiin tekemään yhdenmukaiseksi yrityksen muiden raportointitottumusten kanssa. Raportti on helpompi kirjoittaa, kun se noudattaa samaa kaavaa yrityksen muiden raporttien kanssa. Kun raportti laaditaan mallia hyväksi käyttäen, tulee raportista aina samanlainen, eikä esimerkiksi eri tilaajille tehdyistä raporteista tule erilaisia. Näin helpottuu raporttien vertailu. On kaikkien yrityksen työntekijöiden etu, että kaikki raportit noudattavat samaa kaavaa. Tämä lyhentää raportointiin käytettävää aikaa.

Laskentataulukot ovat Symo Oy:n kannalta tärkein osa ohjeistusta. Mittaukset pystytään viemään läpi ilman menetelmäohjettakin, mutta raportointi olisi vaikeaa, ja ennen kaikkea hidasta ilman tehtyjä laskentataulukkoita. Kuten aiemmin on jo mainittu, voidaan tilaajalle antaa alustavia tuloksia jo mittauksen päätyttyä jos mittaustulokset kirjataan suoraan laskentataulukoihin eikä pelkästään käsin pöytäkirjoihin. On hyvä kirjata tulokset myös paperille pöytäkirjoihin jo siitä syystä, että esimerkiksi tietokoneen hajotessa samalla häviäisivät myös kaikki mittaustulokset ja mittaus jouduttaisiin suorittamaan uudelleen.

Laskentataulukoiden laajuus näkyi selvästi myös työhön käytetyn ajan jakaantumisessa työn eri osa-alueiden kesken. Laskentataulukoiden tekemiseen käytettiin ylivoimaisesti enemmän aikaa kuin mihinkään muuhun työn osa-alueeseen. Taulukoita on testattu kahdelta suomalaiselta ja yhdeltä saksalaiselta biokaasulaitokselta saaduilla seurantamittaustuloksilla. Saadut tulokset vaikut-

tavat oikeansuuntaisilta. Laskentataulukoiden toimivuus on lisäksi testattu laskemalla laskelmat läpi käsin. Lopullisesti hyötysuhdetaulukoiden toimivuus voidaan kuitenkin todentaa vasta kun mittausohjelma on viety läpi vähintään kerran ja taulukoihin syötetään oikeat mittausarvot ja polttoaineen koostumus. Päästömittaustaulukot on testattu Symo Oy:n tekemien lämpölaitosten päästömittausten tuloksia hyväksi käyttäen. Tuloksia on tämän jälkeen verrattu Symo Oy:llä olemassa olevilla päästölaskentatyökaluilla laskettuihin tuloksiin. Vertailun mukaan taulukot laskevat päästöt oikein.

Menetelmäohjeisiin, laskentataulukoihin, pöytäkirjoihin ja raportointimalliin on tarkoituksella sisällytetty myös kiintoainepäästöjen mittaaminen ja laskeminen. Näin toimittiin siitä syystä, että niin haluttaessa ohjeistusta, taulukoita ja muita voidaan käyttää myös muita polttoaineita kuin biokaasua polttavien laitosten mittauksissa. Tosin Symo Oy:llä on jo käytössään kiinteän polttoaineen kattiloiden takuumittauksia varten tehty menetelmäohje ja laskentatyökalu. Biokaasukattiloille tehdystä laskentataulukosta oli tarkoitus tehdä helpompikäyttöinen kuin olemassa olevasta kiinteän polttoaineen kattiloiden vastaavasta. Tähän pyrittiin mm. sisällyttämällä päästöjen laskenta samaan taulukkoon hyötysuhteen kanssa ja sillä että taulukkoon tarvitsee ainoastaan syöttää mitatut arvot, ja laskenta etenee sen jälkeen itsekseen. Siitä huolimatta on aina hyvä tarkistaa laskelman paikkansapitävyys itse. Parhaassa tapauksessa tehdyt laskentataulukot nopeuttavat raportointia kun tulosten laskentaan ei tarvitse käyttää yhtä paljon aikaa kuin ennen.

Kokonaisuutena työ onnistui odotusten mukaisesti. Alkuperäisen aikataulun mukaan työn piti valmistua vuoden 2010 kesällä, mutta aikataulua muutettiin kesän aikana. Alun perinkin optiona ollut ohjeiden ja laskentataulukoiden pilotointi päätettiin toteuttaa tämän työn ulkopuolella, jossain vaiheessa vuotta 2011. Työ valmistui loppuvuodesta 2010.

LÄHTEET

1. Symo Oy
2. Latvala, Markus. 2009. *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT), Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä*. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Edita.
3. Kuittinen Ville, Huttunen Markku J. & Leinonen Simo. 2010. *Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 13*. Itä-Suomen Yliopisto.
4. Weiland, P. *IEA Bioenergy Task 37: Country report Germany* [verkkójulkaisu]. Johann Heinrich von Thunen-Institute (vTI), Bundesforschungsanstalt für Ländlichen Raum, Wald und Fischerei. Germany. [viitattu 3.1.2011]. Saatavissa: <http://www.iea-biogas.net>
5. National Resources Canada. *IEA Bioenergy Task 37: Update of the Agricultural Biogas Industry in Canada* [verkkójulkaisu]. Canada. (viitattu 3.1.2011). Saatavissa: <http://www.iea-biogas.net>
6. Govasmark, Espen. Dr. *IEA Bioenergy Task 37: Country report Norway* [verkkójulkaisu]. Norwegian Institute of Agricultural and Environmental Research, Division of Soil and Environment. Norway. [viitattu 3.1.2011]. Saatavissa: <http://www.iea-biogas.net>
7. Gustafsson, Magnus. Dosentti. 2008. *Biokaasun hyödyntämisen käsikirja - jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi*. Åbo Akademin teollisuustalouden laboratorio.
8. Lundberg, Asko. *Biokaasusta energiaa* [verkkójulkaisu]. [viitattu 15.2.2010]. Saatavissa: www.metaenergia.com/materiaalit

9. P.C. McKenzie Company-yrityksen kotisivut. [verkkosivu]. [viitattu 4.1.2011]. Saatavissa:
<http://www.mckenziecorp.com>
10. Rantanen, Kalevi. 2009. Mikroturbiini tekee saasteestakin sähköä. *Tiede-lehti* [verkkolehti] 2.4.2009 [viitattu 10.12.2010]. Saatavissa:
<http://www.tiede.fi/artikkeli/1031>
11. SFS-EN 12952-15 2003. *Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot*. Osa 15: vastaanottokokeet. Teknologiateollisuus ry. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
12. SFS-EN 12953-11 2003. *Tulitorvikattilat*. Osa 11: vastaanottokokeet. Teknologiateollisuus ry. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
13. SFS-EN ISO 6976 2006. *Maakaasu, aineen lämpöarvon, tiheyden, suhteellisen tiheyden ja wobbe-indeksin laskeminen*. Öljy- ja Kaasualan Keskusliitto. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
14. SFS 3866 1990. *Ilmansuojelu, päästöt, kiintoaineen määrittäminen manuaalisella menetelmällä*. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
15. SFS 3869 1982. *Ilmansuojelu, kaasumaisten päästöjen määrittäminen*. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
16. SFS 5624 1990. *Ilmansuojelu, päästöt, savukaasun tilan määrittäminen*. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
17. VTT-prosessit. 2007. *Päästömittausten käsikirja OSA 1, Päästömittaustekniikan perusteet* [verkkojulkaisu]. [viitattu 18.12.2010] Saatavissa:
<http://www.isy.fi/osa1.pdf>

**LIITE 1: Menetelmäohje hyötysuhteen mittaamiseen vesiputkikattiloista
(vain tilaajan käyttöön)**



1/8

Menetelmäohje/biokaasukattilat1/OP/2010

**MENETELMÄOHJE
PALAMISEN HYÖTYSUHDE – VESIPUTKIKATTILAT –
POLTTOAINEENA BIOKAASU**

Standardin SFS-EN 12952-15 mukaan.
Huom! standardi on sama kuin DIN 1942.



Sisältö

1.	Menetelmän valinta	3
2.	Mittausolosuhteet	3
3.	Testin kesto	3
4.	Arvojen ottamisen tiheys	3
5.	Sallitut vaihtelut	3
6.	Mittauslaitteet	3
6.1.	Paine	3
6.2.	Lämpötila	4
6.3.	Tilavuus	4
6.4.	Virtaus	4
6.5.	Tiheyden määrittäminen	4
6.6.	Lämpöarvot	4
6.7.	Polttoainenäytteet	4
6.8.	Palamattoman aineen lämpöarvo ja näytteenotto	4
6.9.	Polttoaineen kemiallinen koostumus	4
6.10.	Savukaasupölyn ja tuhkan kemiallinen koostumus	5
6.11.	Savukaasun kemiallinen koostumus	5
6.12.	Sähkölaitteet	5
6.13.	Referenssilämpötila	5
7.	Polttoaineen lämpöarvo, tiheys ja suhteellinen tiheys	5
8.	Hyötysuhteen määrittämiseen tarvittavat suureet	6
8.1.	Suora metodi	6
8.2.	Epäsuora metodi	6
9.	Hyötysuhteen mittaaminen biokaasukattilasta	7
10.	Tulosten laskeminen	7
11.	Tulosten korjaukset	7
12.	Mittautulosten keskiarvotus ja epävarmuus	8

**LIITE 2: Menetelmäohje hyötysuhteen mittaamiseen tulitorvikattiloista
(vain tilaajan käyttöön)**



1/7

Menetelmäohje/biokaasukattilat2/OP/2010

**MENETELMÄOHJE
PALAMISEN HYÖTYSUHDE – TULITORVIKATTILAT –
POLTTOAINEENA BIOKAASU**

Standardin SFS-EN 12953-11 mukaan.



Sisältö

1.	Ohjeen sovellus	3
2.	Menetelmän valinta	3
3.	Mittausolosuhteet	3
4.	Testin kesto	3
5.	Arvojen ottamisen tiheys	3
6.	Mittauslaitteet	3
6.1.	Paine	3
6.2.	Lämpötila	4
6.3.	Tilavuus	4
6.4.	Virtaus	4
6.5.	Tiheyden määrittäminen	4
6.6.	Lämpöarvot	4
6.7.	Polttoainenäytteet	4
6.8.	Polttoaineen kemiallinen koostumus	4
6.9.	Savukaasun kemiallinen koostumus	4
6.10.	Referenssilämpötila	5
7.	Polttoaineen lämpöarvon, tiheyden ja suhteellisen tiheyden määrittäminen	5
8.	Envelope Boundary (Kokoonpanoraja)	5
9.	Hyötysuhteen määrittämiseen tarvittavat suureet	7
9.1.	Epäsuora metodi	7
10.	Hyötysuhteen mittaaminen biokaasukattilasta	7
11.	Hyötysuhteen laskeminen	7
12.	Laskelman epävarmuus	8

LIITE 3: Menetelmäohje päästöjen mittaamiseen biokaasukattiloista (vain tilaajan käyttöön)



Menetelmäohje/biokaasukattilat3/OP/2010

1/6

**MENETELMÄOHJE
PÄÄSTÖJEN MÄÄRITTÄMINEN – POLTTOAINEENA
BIOKAASU**

Standardien SFS 5624, SFS 5625, SFS 3869 ja SFS 3866 mukaan.



Sisältö

1. Ohjeen sovellus	3
2. Kaasun tilavuusvirran määrittäminen	3
3. Parametrien mittaaminen	3
3.1. Dynaaminen paine	3
3.2. Staattinen paine	3
3.3. Lämpötila	3
3.4. Kaasun kosteus	3
3.5. Kaasun koostumus	3
3.6. Kaasun nopeus	4
3.7. Kanavan mitat	4
3.8. Näytekaasun tilavuuden määrittäminen	4
4. Isokineettisyys	4
5. Kiintoaineen massan määrittäminen	4
6. Mittauspisteiden lukumäärä	4
7. Mittauspisteiden sijainti	6
7.1. Pyöreä kanava	6
7.2. Suorakaiteen muotoinen kanava	6
8. Päästöjen mittaaminen	6
9. Tulosten laskeminen	6

LIITE 4: Kuvia vesiputkikattiloiden laskentataulukosta

[illegible]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
39	saukaasun entalpia ef lämpötilassa J/GGr		#JAKO/0!	ei taitia													
40	saukaasun massan suhde polttoaine JG		#JAKO/0!											#####			
41	kuivan saukaasun massan suhde poltGd		#JAKO/0!											1			
42	saukaasun veden massan suhde poltH2O		#JAKO/0!											#####			
43	polttoaineen sisältämän veden massa H2OF		0											#####			
44	veden massa polttoaineessa H2O													#####			
45	veden massa polttoaineessa H													#####			
46	sumutushöyryn massan suhde polttojauS		#JAKO/0!											#####			
47	saukaasun ominaislämpökapasiteetti pG		#JAKO/0!											1 kJ/kg			
48	kuivan saukaasun ominaislämpökapasiteetti pGd		#JAKO/0!											0.84 kJ/kg			
49	saukaasun ominaislämpökapasiteetti cpGd		#JAKO/0!														
50	kuivan saukaasun ominaislämpökapasiteetti cpGd		#JAKO/0!														
51	saukaasun massavirtaus mG		#JAKO/0!											#####			
52	saukaasun lämpötila tG		#JAKO/0!											#####			
53	referenssilämpötila tr		25											#####			
54	höyryn tai veden entalpia 1 bar ja savutH2OG		#VIITTAUS!											#####			
55	veden entalpia 1 bar ja saukaasun lämpH2Or		#VIITTAUS!											25			
56	höyryn ominaislämpökapasiteetti valit pGst		1.884	25°C-150°C										#####			
57	saukaasun kosteuspitoisuus xH2O		#JAKO/0!														
58	ilman kosteuspitoisuus xH2OAd		#JAKO/0!														
59	kuivan palamisilman massan suhde pJAd		#JAKO/0!														
60																	
61	JOS saukaasun massavirtaus mitataan suoraan!:																
62		Q/G	#VIITTAUS!														
63		Q/G	#VIITTAUS!														
64	mitattu saukaasun massavirtaus mG		#VIITTAUS!														
65																	
66																	
67																	
68	Esim. ulkoiset jäähdytysjärjestelmät jne																
69		QEC															
70	Jäähdytysveden virtaus mJv		0														
71	Jäähdytysveden sisältämlämpötila tin																
72	Jäähdytysveden ulostulolämpötila tout																
73																	
74																	
75	palamattoman CO:n häviöt QCO		#JAKO/0!														
76	polttoaineen massavirtaus mF		0														
77	kuivan saukaasun tilavuus VGD		#JAKO/0!														
78	kuivan saukaasun CO-pitoisuus suht COd		#JAKO/0!														
79	CO:n kalorienom3 standardi cOsuhtCOOn		13.633	kJ/kg					</								

[illegible]

Microsoft Excel - hyötysuhde_vesiputki_kirjallisen_kuvia										
F37										
1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2										
3										
4										
5										
6	pdn		kg/m3	#AJKO/0/		pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
7	M		kg/kmol			pdn	kuivan kaa/kgm3		#AJKO/0/	
8	V1		m3/kmol	22.4		pvn	vesihöyryn kg/m3		0.8038	
9	r1					xs	veden ja k/kgkg		#AJKO/0/	
10	M1		kg/kmol	28.02						
11	V2		m3/kmol	22.26		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
12	r2					pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
13	M2		kg/kmol	44.01		Tn	kaasun lämpö		273.15	
14	V3		m3/kmol	22.4		Ts	kaasun lämpö		0	
15	r3					ps	kaasun paine kPa		#AJKO/0/	
16	M3		kg/kmol	28.01		pn	kaasun paine kPa		101.3	
17	V4		m3/kmol	22.39						
18	r4					pvn	vesihöyryn tiheys normaaliolosuhteissa		0.8038	
19	M4		kg/kmol	32						
20	V5		m3/kmol	21.89						
21	r5					ws	kostean k/m3		#AJKO/0/	
22	M5		kg/kmol	64.07		pdyn	kostean kPa		#AJKO/0/	
23	V6		m3/kmol	22.39		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
24	r6									
25	M6		kg/kmol	30.01						
26	V7		m3/kmol	22.4						
27	r7									
28	M7		kg/kmol	28.97						
29	V8		m3/kmol							
30	r8									
31	M8		kg/kmol							
32										
33										
34										
35										
36										
37										
3.2. Kostean kaasun tilavuusvirta normaaliolosuhteissa										
qvm										
qvm										
Tn										
ps										
Ts										
pn										
3.3. Kuivan kaasun tilavuusvirta normaaliolosuhteissa										
qdm										
qvm										
xs										
pdn										
pvn										
3.4. Kuivatun näytekaasun tilavuus normaaliolosuhteissa										
Vdm										
Vvm										
Tn										
Ta										
pa										
pn										
xa										
pdn										
pvn										
X. Kostean savukaasun massavirta kanavassa										
mG										
mG										
Microsoft Excel - hyötysuhde_vesiputki_kirjallisen_kuvia										
F37										
1	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2										
3										
4										
5										
6	pdn		kg/m3	#AJKO/0/		pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
7	M		kg/kmol			pdn	kuivan kaa/kgm3		#AJKO/0/	
8	V1		m3/kmol	22.4		pvn	vesihöyryn kg/m3		0.8038	
9	r1					xs	veden ja k/kgkg		#AJKO/0/	
10	M1		kg/kmol	28.02						
11	V2		m3/kmol	22.26		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
12	r2					pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
13	M2		kg/kmol	44.01		Tn	kaasun lämpö		273.15	
14	V3		m3/kmol	22.4		Ts	kaasun lämpö		0	
15	r3					ps	kaasun paine kPa		#AJKO/0/	
16	M3		kg/kmol	28.01		pn	kaasun paine kPa		101.3	
17	V4		m3/kmol	22.39						
18	r4					pvn	vesihöyryn tiheys normaaliolosuhteissa		0.8038	
19	M4		kg/kmol	32						
20	V5		m3/kmol	21.89						
21	r5					ws	kostean k/m3		#AJKO/0/	
22	M5		kg/kmol	64.07		pdyn	kostean kPa		#AJKO/0/	
23	V6		m3/kmol	22.39		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
24	r6									
25	M6		kg/kmol	30.01						
26	V7		m3/kmol	22.4						
27	r7									
28	M7		kg/kmol	28.97						
29	V8		m3/kmol							
30	r8									
31	M8		kg/kmol							
32										
33										
34										
35										
36										
37										
1. Kaasun tiheys kanavassa										
1.1. Kuivan kaasun tiheys normaaliolosuhteissa										
6	pdn		kg/m3	#AJKO/0/		pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
7	M		kg/kmol			pdn	kuivan kaa/kgm3		#AJKO/0/	
8	V1		m3/kmol	22.4		pvn	vesihöyryn kg/m3		0.8038	
9	r1					xs	veden ja k/kgkg		#AJKO/0/	
10	M1		kg/kmol	28.02						
11	V2		m3/kmol	22.26		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
12	r2					pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
13	M2		kg/kmol	44.01		Tn	kaasun lämpö		273.15	
14	V3		m3/kmol	22.4		Ts	kaasun lämpö		0	
15	r3					ps	kaasun paine kPa		#AJKO/0/	
16	M3		kg/kmol	28.01		pn	kaasun paine kPa		101.3	
17	V4		m3/kmol	22.39						
18	r4					pvn	vesihöyryn tiheys normaaliolosuhteissa		0.8038	
19	M4		kg/kmol	32						
20	V5		m3/kmol	21.89						
21	r5					ws	kostean k/m3		#AJKO/0/	
22	M5		kg/kmol	64.07		pdyn	kostean kPa		#AJKO/0/	
23	V6		m3/kmol	22.39		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
24	r6									
25	M6		kg/kmol	30.01						
26	V7		m3/kmol	22.4						
27	r7									
28	M7		kg/kmol	28.97						
29	V8		m3/kmol							
30	r8									
31	M8		kg/kmol							
32										
33										
34										
35										
36										
37										
1.2. Veden ja kuivan kaasun massasuhteet										
6	pdn		kg/m3	#AJKO/0/		pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
7	M		kg/kmol			pdn	kuivan kaa/kgm3		#AJKO/0/	
8	V1		m3/kmol	22.4		pvn	vesihöyryn kg/m3		0.8038	
9	r1					xs	veden ja k/kgkg		#AJKO/0/	
10	M1		kg/kmol	28.02						
11	V2		m3/kmol	22.26		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
12	r2					pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
13	M2		kg/kmol	44.01		Tn	kaasun lämpö		273.15	
14	V3		m3/kmol	22.4		Ts	kaasun lämpö		0	
15	r3					ps	kaasun paine kPa		#AJKO/0/	
16	M3		kg/kmol	28.01		pn	kaasun paine kPa		101.3	
17	V4		m3/kmol	22.39						
18	r4					pvn	vesihöyryn tiheys normaaliolosuhteissa		0.8038	
19	M4		kg/kmol	32						
20	V5		m3/kmol	21.89						
21	r5					ws	kostean k/m3		#AJKO/0/	
22	M5		kg/kmol	64.07		pdyn	kostean kPa		#AJKO/0/	
23	V6		m3/kmol	22.39		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
24	r6									
25	M6		kg/kmol	30.01						
26	V7		m3/kmol	22.4						
27	r7									
28	M7		kg/kmol	28.97						
29	V8		m3/kmol							
30	r8									
31	M8		kg/kmol							
32										
33										
34										
35										
36										
37										
Jos lauhduttaminen oletetaan riittävän tehokkaaksi (täydelliseksi) voidaan suhde laskea seuraavalla kaavalla, muutoin laske van avulla										
6	pdn		kg/m3	#AJKO/0/		pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
7	M		kg/kmol			pdn	kuivan kaa/kgm3		#AJKO/0/	
8	V1		m3/kmol	22.4		pvn	vesihöyryn kg/m3		0.8038	
9	r1					xs	veden ja k/kgkg		#AJKO/0/	
10	M1		kg/kmol	28.02						
11	V2		m3/kmol	22.26		pvs	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
12	r2					pvn	kostean kkg/m3		#AJKO/0/	
13	M2		kg/kmol	44.01		Tn	kaasun lämpö		273.15	
14	V3		m3/kmol	22.4		Ts	kaasun lämpö		0	
15	r3					ps	kaasun paine kPa		#AJKO/0/	
16	M3		kg/kmol	28.01		pn	kaasun paine kPa		101.3	
17	V4		m3/kmol	22.39						
18	r4					pvn	vesihöyryn tiheys normaaliolosuhteissa		0.8038	
19	M4		kg/kmol	32						
20	V5		m3/kmol	21.89						
21</										

LIITE 5: Hyötysuhdemittauksen mittauspöytäkirja



HYÖTYSUHDE

Päiväys:	Mittausteho:	Pääpolttoaineen varastolämpö:
Tilaaja:	Näyte:	Lisäpolttoaineen varastolämpö:
Kohde:	Polttoaine:	Suhteellinen kosteus:

Aika	Tulipesän lämpö	Paltuvesi		Menovesi		Teho	Polttoa. lämpö polttimella	Palamisilma lämpö	Savukaasu lämpö	Polttoaine syöttölämpö	Ulkoilma lämpö
		vesimäärä	lämpö	vesimäärä	lämpö						
	0										
	5										
	10										
	15										
	20										
	25										
	30										
	35										
	40										
	45										
	50										
	55										
	60										
	65										
	70										
	75										
	80										
	85										
	90										
	95										
	100										
	105										
	110										
	115										
	120										
Keskiarvo		#JAKO/01	#JAKO/01	#JAKO/01	#JAKO/01	#JAKO/01	#####	#JAKO/01	#JAKO/01	#JAKO/01	#JAKO/01
referenssilämpötila:	25 °C	Polttoaineen paine:				kPa		Polttoaineen virtaus:			m ³ /h
veden määrä generaattorissa testin aikana											
m ³											

LIITE 7: Raportointimalli (vain tilaajan käyttöön)

Raportti 397_A/2010/OP

1(8)

18.1.2011

Tilaaja: Esim. Oy
Esa Esimerkillinen
PL 1234
123456 Kaupunki

Käsittelijä: Sinä
Oppipojankuja 6
70780 Kuopio
sina@symo.fi
puh. xxx xxxxxxxx

BIOKAASULAITOKSEN VASTAANOTTOKOKEET

Mittausaika: 28.8.2007

Paikka: Esim. Kaupunki, Esim. Yritys Oy

Henkilöt: Sinä
Kaveri

Sinä

Kaveri

SYMO Oy
Oppipojankuja 6
70780 KUOPIO
FAX 017 240 481
asiakaspalvelu@symo.fi

Y-tunnus
2008138-1
<http://www.symo.fi>



SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto	3
2.	Mittauskohde/Mittauskohteet.....	3
2.1.	Mittauspisteet	3
2.2.	Mittausolosuhteet	4
3.	Mittausmenetelmät ja -laitteisto.....	4
3.1.	Suorituskyky- ja päästömittaukset	4
3.2.	Pintalämpötilamittaukset.....	5
4.	Virhetarkastelu.....	5
5.	Tulokset.....	5
5.1.	Suorituskyky- ja päästöt	5
5.2.	Pintalämpötilat.....	
6.	Tulosten tarkastelu.....	7
	Liiteluettelo:	7
	Liitteet.....	7