

# **Kattilatestauksen tuloksien laskenta**

Mikko Matikainen

Opinnäytetyö

Syyskuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Matikainen, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Syyskuu 2017
	Sivumäärä 33	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Kattilatestauksen tuloksien laskenta</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) JAMK biotalousinstituutti		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia Microsoft Excel -ohjelmaa hyödyntävä laskentatyökalu, joka laskee standardin määrittämät tulokset kattilatestauksesta saadusta mittausdatasta. Saarijärvellä sijaitsevan JAMK:n biotalousinstituutin kattilatestauslaboratorio suorittaa eurooppalaisen standardin EN 303-5 mukaisia kattilatestauksia lämminvesikattiloille 500 kW:n teholuokkaan asti. Opinnäytetyö käsittelee kattilatestauksen tuotekehitystä eikä virallista kattilatestausta. Testauksista kerätään mittausdataa, josta lasketaan tarvittavat testaustulokset. Mittausdataa on runsaasti, koska mitattavia suureita on paljon ja suureet tallentuvat viiden sekunnin välein. Tästä syystä kattilatestauksen tulosten raportointi on ollut työlästä ja vienyt paljon aikaa. Kehitetyn laskentatyökalun on tarkoitus helpottaa sekä nopeuttaa tulosten raportointia. Työkalun tuli olla helppokäyttöinen ja selkeä ja sen tuli sisältää kaikki raportointiin vaadittavat tiedot.</p> <p>Työ suoritettiin selvittämällä, mitä tuloksia standardi vaatii, ja tämän jälkeen hankkimalla aiemmin suoritettujen kattilatestien mittaustietoja sekä raportteja. Niiden avulla kehitettiin testauksesta saatuja mittaustietoja hyödyntävä laskentatyökalu, johon voidaan suoraan syöttää mitatut arvot. Laskentatyökalun avulla laskettuja tuloksia verrattiin tämän jälkeen aiempiin käsin laskettuihin tuloksiin ohjelman toimivuuden varmistamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena kehitetty laskentatyökalu laskee automaattisesti tarvittavat arvot ja sen avulla raportointi nopeutuu huomattavasti. Laskentatyökalun avulla toimeksiantaja pystyy suorittamaan kattilatestauksia tehokkaammin sekä nopeammin. Työkalu mahdollistaa yhtenäisen tulosraportin kaikille testeille, joihin työkalua käytetään. Yhtenäisen raportin ansiosta kattilatestaustuloksia on helppo vertailla keskenään.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Kattilatestaus, standardi EN303-5, lämminvesikattila, biopolttoaineet		
Muut tiedot		

Author(s) Matikainen, Mikko	Type of publication Bachelor's thesis	Date September 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 33	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Calculatng the results of heating boiler testing</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Kari Hytönen, Harri Peuranen		
Assigned by JAMK Institute of Bioeconomy		
Abstract  <p>The aim of the thesis was to develop a calculation program for boiler testing using Microsoft Excel-software. The program should use the data collected from boiler testing and provide the needed results. JAMK institute of Bioeconomy has a development center which tests heating boilers up to 500 kW. The boiler tests are made following the standard EN 303-5 which defines how to do boiler tests, what should be measured during the test and what to report. The thesis addresses only the product development and not the official tests.</p> <p>The data is collected during the testing and collected into a Microsoft Excel -file. The measured variables are recorded every five seconds and there is a lot of data to process. The calculations from the tests took a lot of time because of the amount of the data. The calculation program calculates all the variables needed from the selected time period and creates a complete test report. The calculation program had to be easy to use and it had to include all the variables that the standard demands.</p> <p>The thesis was done by collecting earlier test results, measured data and reports. The calculation program was developed using this earlier collected material and by creating a program which uses the data and automatically calculates everything that the standard demands. After the program was ready data from earlier tests was fed into it and the results between the program and the earlier calculated results were compared. The results matched and the program could be trusted.</p> <p>Heating boiler tests can now be done more quickly and more efficiently because the time needed for calculations is decreased. The calculation program also creates easy to read report and now all the reports are easy to compare because they all look the same.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) Heating boiler test, EN 303-5, heating boiler, bioenergy,		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
1.1	Tausta .....	3
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	3
1.3	Tutkimusmenetelmät .....	4
<b>2</b>	<b>Lämminvesikattila .....</b>	<b>4</b>
2.1	Hakekattila.....	6
2.2	Pilkekattilat.....	7
2.3	Pellettikattila .....	11
<b>3</b>	<b>Standardi EN 303-5 .....</b>	<b>13</b>
3.1	Standardin sisältö .....	13
3.2	Testauksen aikaiset mittaukset .....	15
<b>4</b>	<b>Kertaluonteisesti määritettävät arvot .....</b>	<b>16</b>
4.1	Polttoaineen kosteuspitoisuus .....	16
4.2	Polttoaineen tehollinen lämpöarvo .....	17
4.3	Polttoaineen tuhkapitoisuus .....	18
4.4	Syötetyn polttoaineen massa ja pintojen lämpötilat.....	20
<b>5</b>	<b>Standardin mukainen laskenta.....</b>	<b>21</b>
5.1	Mittausten keskiarvoista saatavat tulokset .....	21
5.2	Laskettavat tulokset .....	21
5.3	Yksikkömuunnokset.....	22
5.4	Tulosten redusointi .....	23
5.5	Hiukkasmäärän laskeminen punnitsemalla.....	23
<b>6</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>24</b>
6.1	Laskentatyökalun käyttö .....	24
6.2	Laskentatyökalun toiminta.....	25
<b>7</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>25</b>
7.1	Luotettavuuden arviointi.....	26

7.2 Jatkotutkimuksen kohteet.....	26
<b>Lähteet .....</b>	<b>28</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>31</b>

## **Kuviot**

Kuvio 1. Lämminvesikattilan poikkileikkaus.....	6
Kuvio 2. Haketta .....	6
Kuvio 3. Hakesiilo ja hakkeen syöttö.....	7
Kuvio 4. Pilkettä.....	8
Kuvio 5. Yläpalokattila .....	9
Kuvio 6. Alapalokattila.....	10
Kuvio 7. Käänteispalokattila .....	11
Kuvio 8. Pellettiä.....	12
Kuvio 9. Pellettikattila ja syöttöruuvi .....	13
Kuvio 10. Havainnekuva pommikalorimetristä.....	18
Kuvio 11. Eksikaattori .....	19

## **Taulukot**

Taulukko 1. 500 kW:n kattiloiden päästörajat ja -luokat .....	14
Taulukko 2. Testaukseen hyväksytyt polttoaineet.....	14
Taulukko 3. Kattilatestauksen tulosraportin tiedot .....	15

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Jyväskylän ammattikorkeakoulun Biotalousinstituutin kattilatestauslaboratorio suorittaa standardin EN 303-5 mukaisia kattilatestauksia sekä tuotekehitystä lämminvesikattiloille. Laboratoriossa on kolme testauspaikkaa, joissa voidaan kattavasti testata biopolttoaineiden palamista, päästöjen hallintaa sekä energiatehokkuutta. Laboratoriossa voidaan testata jopa 1 MW:n kattiloita, mutta standardi rajaa testaukset 500 kW:iin. Piha-alueella voidaan myös testata teholtaan jopa 3 MW:n lämpökontteja. Kattilatestauslaboratorion toiminta kuuluu VTT Expert Service Oy:n akkreditoituun pätevyysalueeseen (FINAS T001 1.19). (Biomassojen polttoa, päästöjenhallintaan, energiatehokkuutta, n.d.; Puolamäki 2017.)

EN 303-5 on eurooppalainen standardi, joka määrittää lämmityskattiloiden testaukseen liittyvät toimenpiteet ja testaustavat. Opinnäytetyössä käytettävän standardin uusin versio on vuodelta 2012. Standardi määrittää päästö- ja tehokkuusvaatimukset sekä tärkeimmät vaatimukset kattilan turvallisuudelle ja kestävyydelle. Testauksen tulos tulee myös raportoida standardin mukaan. EN 303-5 määrittää tarkkaan, mitä asioita testausraportin tulee sisältää. (SFS EN-ISO 18122:2015, 45.)

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda laskentatyökalu Microsoft Excel -ohjelmalle kattilatestaustulosten standardin mukaista raportointia varten. Opinnäytetyö käsittelee kattilatestauksen tuotekehitystä, ei virallista kattilatestausta. Kattilatestauksen aikaiset mittaustiedot ja tulokset saadaan kerättyä Excel -tiedostoon koko testauksen ajalta viiden sekunnin välein (ks. liite 1), mutta tietojen sekä tulosten käsittely vie tällä hetkellä paljon aikaa ja testausraportin laatiminen on työlästä. Saatujen mittauksien perusteella on tuloksia varten laskettava useita eri laskuja ja suoritettava yksikkömuunnoksia. Kehitettävän laskentatyökalun tarkoitus on suodattaa tarvittavat mittaustulokset valitulta ajanjaksolta sekä laskea raporttiin tarvittavat arvot mittauksien perusteella.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö on luonteeltaan kehityksellinen, sillä sen tavoitteena oli kehittää kattilatestauslaboratorion nykyistä raportointimenetelmää. Tällä hetkellä raportointia varten vaaditaan useita eri vaiheita, mutta opinnäytetyön tuloksena syntyneen laskentatyökalun avulla raportointia pystyttiin nopeuttamaan sekä helpottamaan huomattavasti. Opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus. Kanasen (2015, 39) mukaan kehittämistutkimus pyrkii muutokseen. Muutoksen aikaansaamiseksi kehitetään tuotetta, menetelmää tms. Tässä opinnäytetyössä kehitettiin kattilatestauksen tulosten raportointimenetelmää, eli työ vastaa luonteeltaan Kanasen määritelmää.

Opinnäytetyön tutkimusotteena on pääosin kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus, sillä varsinaisen työkalun kehittämiseen käytettiin taulukoitua mittausdataa. Kvantitatiivinen tutkimus koostuu lukumääriin ja prosenttiosuuksiin liittyvistä kysymyksistä. Siihen vaaditaan riittävän suuri ja edustava otos, mikä toteutuu mittausdatan paljouden ansiosta. Työ on osaltaan myös kvalitatiivinen, sillä työkalun kehitys perustui kattilatestauslaboratorion asiantuntijoiden haastatteluihin sekä sähköpostikyselyyn. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa pyritään vastaamaan muun muassa kysymykseen millainen. (Heikkilä 2014.) Haastattelujen avulla selvitettiin millainen laskentatyökalun tulisi olla ja sitä kehitettiin saadun palautteen avulla.

## 2 Lämminvesikattila

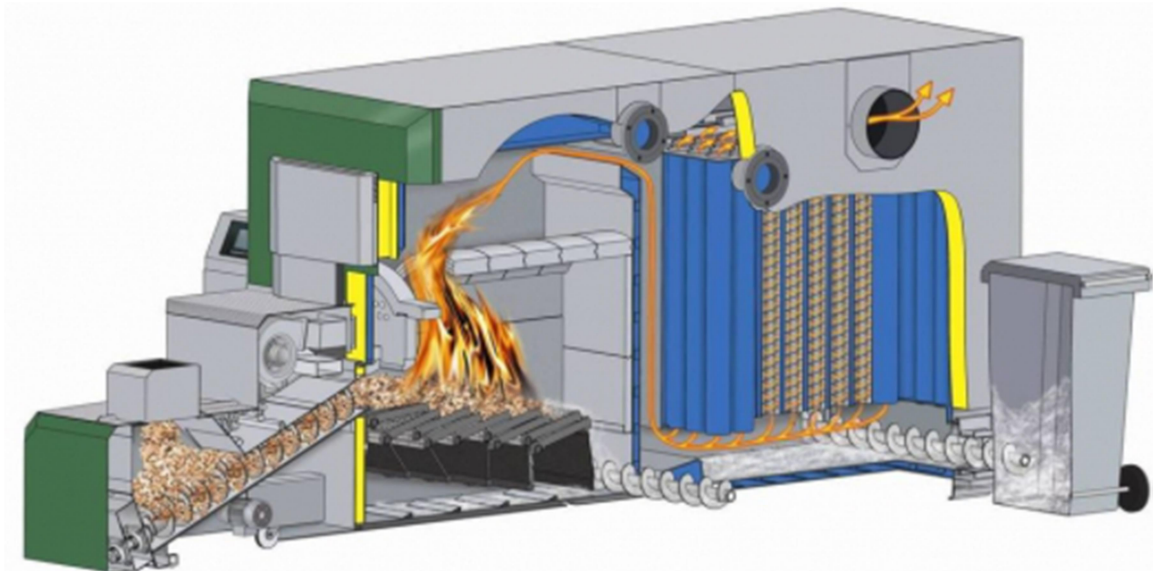
### 2.1 Lämminvesikattilan toiminta

Lämminvesikattila on lämmitysenergiaa tuottava laite, jota käytetään esimerkiksi omakotitalojen lämmittämiseen. Lämminvesikattilan tarkoitus on siirtää halutun polttoaineen palamisesta syntyvä lämpöenergia kylmän veden lämmittämiseen. Kattilalla tuotettua lämmintä vettä voidaan käyttää esim. käyttöveden lämmitykseen, lattialämmitykseen tai tuloilman lämmittämiseen. Biopolttoaineita hyödyntävä kattila sijoitetaan yleensä erilliseen huoneeseen asuinrakennuksessa. Kattilan lähetyvillä on polttoainevarasto tai siilo, josta polttoaine syötetään kattilan tulipesään. Lämminvesikattila kytketään joko suoraan asuinrakennuksen lämmitysvesikiertoon tai vaihtoehtoisesti lämminvesivaraajaan. (Types of Heating Systems 2015.)

Kattilassa kiertävän veden lämmitys toteutetaan polttamalla kattilan palotilassa haluttua polttoainetta, joka palaessaan luovuttaa lämpöä. Tehokkaan palamisen edellytyksenä on tarpeeksi suuri määrä happea ja siksi tulipesään puhalletaan ilmaa palamisilmapuhaltimilla. Hapen määrää voidaan muuttaa säätämällä palamisilmapuhaltimien kierrosnopeutta. Kiinteän polttoaineen palaminen voidaan jakaa pääsääntöisesti neljään eri vaiheeseen. Vaiheessa yksi polttoaine kuivuu ja vesihöyryä vapautuu. Vaihe kaksi on pyrolyysivaihe, jossa kaasumaiset ja palavat yhdisteet vapautuvat kuivuneesta polttoaineesta. Vaiheessa kolme haihtuneet kaasut syttyvät ja palavat. Neljännessä vaiheessa palaa enää koksi ja jäljelle jää tuhkaa. (Raiko, Saastamoinen, Hupa & Kurki-Suonio 2002, 61.)

Palamisessa syntynyt lämpö siirtyy savukaasujen mukana eteenpäin ja lopulta savupiipun sekä mahdollisen savukaasupesurin kautta ulos. Osa lämmöstä myös säteilee suoraan palavasta liekistä palotilan sisäpinnoille. Syntyvästä lämmöstä mahdollisimman paljon pyritään ottamaan talteen veden lämmitykseen. Palamisessa syntyvä lämpö otetaan talteen kierrättämällä kylmää vettä kattilan sisällä kiertävässä putkistossa sekä erillisessä vesitilassa. (Types of heating systems 2015.) Kylmä vesi lämpeene konvektion avulla vesiputkien sekä kuumien savukaasujen osuessa toisiinsa (ks. kuvio 1). Tässä tapauksessa konvektiivinen lämmönsiirto tapahtuu, kun virtauskanavan seinä eli kattilaputket ovat eri lämpötilassa kuin virtaava savukaasu. (Raiko ym 2002, 89.) Kuviossa 1 tulipesän liekistä jatkuva oranssi nuoli kuvaa savukaasujen kulkusuuntaa ja siniset alueet ovat kattilavettä sisältäviä putkia sekä vesitilaa. Kattilan pääkomponentit ovat tulipesä, palamisilmapuhallin, tuhkatila, savukonvektiokanavat, arina, syöttöruuvi, kattilaluukku, kattilan vesitila ja kattilan kuori. (Pellettikattila siirtää pelletin lämmön veteen n.d.)





Kuvio 1. Lämminvesikattilan poikkileikkaus (Pelletti-/hakekattilat 500-1500 kW 2017)

## 2.2 Hakekattila

Hakkeella tarkoitetaan kokopuusta, hakkuutähteistä, kannoista tai muusta puujätteestä koneellisesti hakettua puuta (ks. kuvio 2).

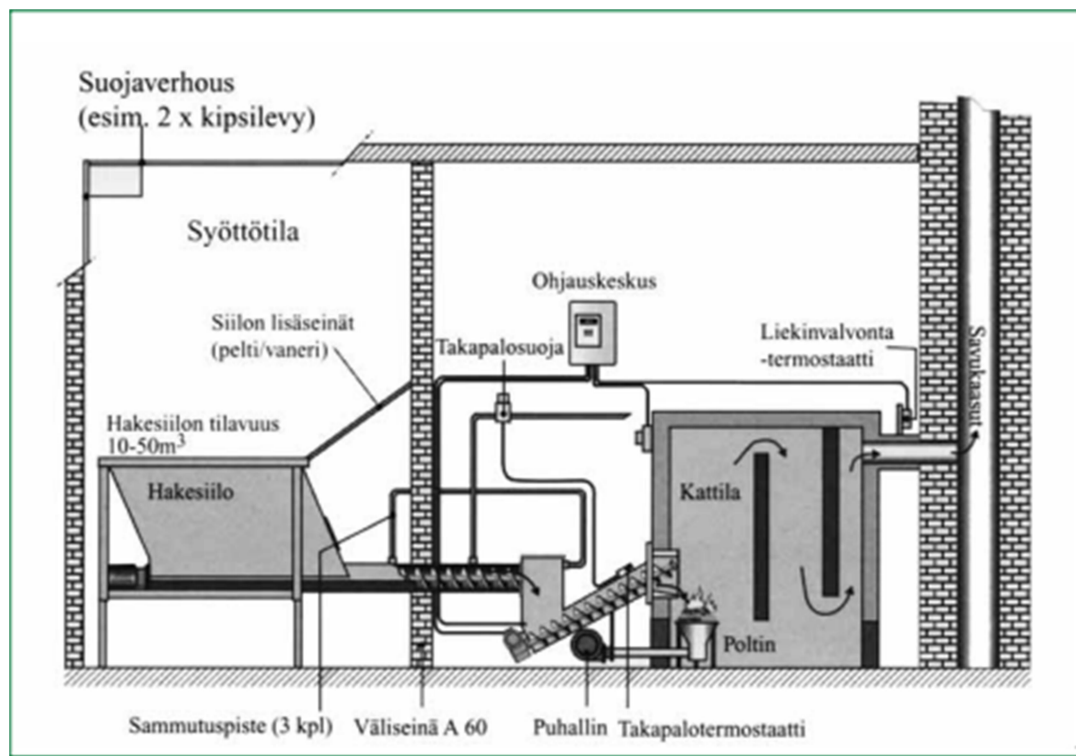


Kuvio 2. Haketta (Laatu 2017)

Hake on polttoaineena luotettava, sillä se on yleensä tasalaatuista ja sen lämpöarvo on hyvä. Tuoreen hakkeen kosteus on noin 50–60 % ja sen lämpöarvo on keskimäärin 2 kWh/kg. Tästä syystä hake täytyy kuivattaa mieluiten alle 30 % kosteuteen ennen

polttoa. Kun hakkeen kosteuspitoisuus on saatu laskettua 30 %:n, sen lämpöarvo kaksinkertaistuu ja on n. 4–5 kWh/kg. (Laatu 2017.)

Hakekattilat ovat yleensä automaattisyytöllä toimivia ja kattiloita käytetään eniten maaseuduilla sekä isoissa lämpökeskuksissa. Automaattisyyttö mahdollistaa kattilaan syötettävän polttoaineen annostelun energian kulutuksen mukaan, eikä lämminvesivaraajaa välttämättä tarvita. Hakelämmitysjärjestelmä koostuu kattilasta, polttoaineen syöttölaitteista ja sen turvajärjestelmistä sekä polttoainevarastosta. Hakkeen poltto varten tarvitaan polttoainevarasto tai siilo, josta hake syötetään syöttöruuvilla kattilaan (ks. kuvio 3). Tästä syystä hakekattilat tarvitsevat paljon tilaa. (Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus n.d.)



Kuvio 3. Hakesiilo ja hakkeen syöttö (Viirimäki, Hassinen, Hiitelä, Koskiniemi, Moilanen, Somerpalo, Turkia & Vanhala 2008, 13)

### 2.3 Pilkekattilat

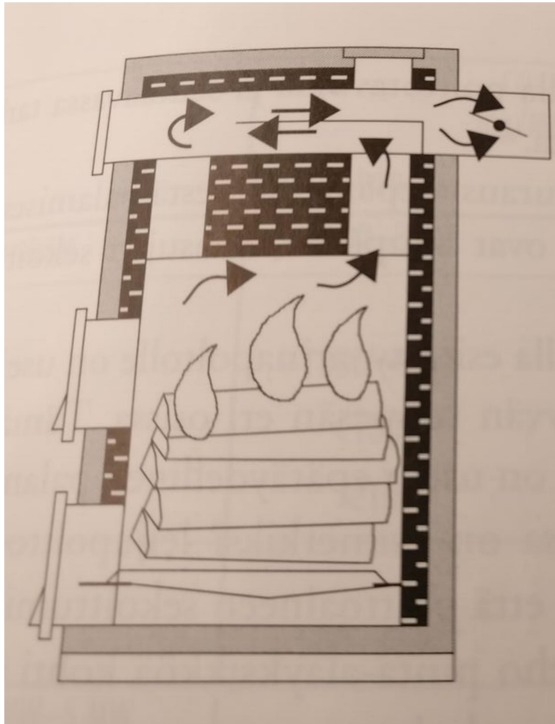
Pilkkeet ja klapit ovat n. 25–50 cm:n mittaisia pilkottuja polttopuita (ks. kuvio 4). Käytettävien pilkkeiden koon määrää yleensä itse pilkekattilan koko. Suuria pilkkeitä käytettäessä säästetään vaivaa, koska polttoainetta ei tarvitse jatkuvasti lisätä, mutta palaminen voi usein olla epätasaisempaa. Pienikokoisemmat pilkkeet palavat tehok-

kaammin, mutta vaativat käyttäjältä enemmän toimenpiteitä. Pilkkeet kuivatetaan normaalisti ulkona, mutta pääsääntöisesti kostean ilman takia niiden kuivuminen on todella hidasta. (Pilkelämmitys n.d.) Pilkettä voidaan valmistaa monesta eri puulajista ja sen keskimääräinen lämpöarvo on 4,09 kWh/kg (Energiälaskuri n.d.).



Kuvio 4. Pilkettä (Haminan puulämpö oy n.d.)

Pilkekattiloita on pääsääntöisesti kolmea eri tyyppiä: yläpalokattila, alapalokattila sekä käänteispalokattila. Yläpalokattila on näistä yleisin, koska se on edullisin ja sen toiminta on todella yksinkertainen. Yläpalokattilan toiminnalle on yleistä, että koko polttoainepanos syötetään tulipesään kerralla. Tästä syystä palamisen tehokkuus sekä päästöt vaihtelevat riippuen siitä, mikä palamisen vaihe on kyseessä. Palaminen tapahtuu polttoainekerroksen päällä ja savukaasut nousevat suoraan ylöspäin (ks. kuvio 5). Yläpalokattilan energiatehokas käyttö vaatii energiavaraajan, sillä lämmönluvutus on epätasaista. Epätasaisen palamisen takia myös päästöt ovat muita kattilatyyppejä suuremmat. (Raiko ym 2002, 479.)



Kuvio 5. Yläpalokattila (Raiko ym 2002, 479)

Alapalokattilassa palaminen on tasaisempaa, sillä se tapahtuu polttoainekerroksen alla ja pilkettä voidaan lisätä vaikuttamatta varsinaisen palamisvyöhykkeen olosuhteisiin (ks. kuvio 6). Tehokasta palamista auttaa myös se, että puhallettava palamisilma syötetään polttoainekerroksen läpi ja sen osuus on pienempi kuin yläpalokattiloissa. Alapalokattilaa voidaan käyttää myös ilman energiavaraajaa, sillä palamisen tehokkuuteen voidaan vaikuttaa muuttamalla syötettävän ilman määrää. Tällainen säätö kuitenkin lisää päästöjä, sillä tehokkaan palamisen edellytyksenä on sopiva ilmamäärä. (Raiko ym 2002, 479.)



Kuvio 6. Alapalokattila (Laajala n.d.)

Käänteispalokattilassa palokaasuille on erillinen tila, joka mahdollistaa tehokkaan palamisen sekä palamisen hallinnan (ks. kuvio 7). Palotilan ansiosta polttoaineesta tai sen lisäämisestä aiheutuvat palotapahtuman muutokset eivät vaikuta suoraan palamiseen. Palamisilma syötetään tai imetään polttoainekerroksen läpi ja palokaasut palavat polttoainekerroksen alla erillisessä palotilassa korkeassa lämpötilassa ja puhtaasti. Kattilan toimintaperiaate mahdollistaa puhtaamman palamisen sekä tehokkaan lämmön siirtymisen. (Pikkelämmitys n.d.)



Kuvio 7. Käänteispalokattila (Biotec 34 Lambda – Käänteispalokattila n.d.)

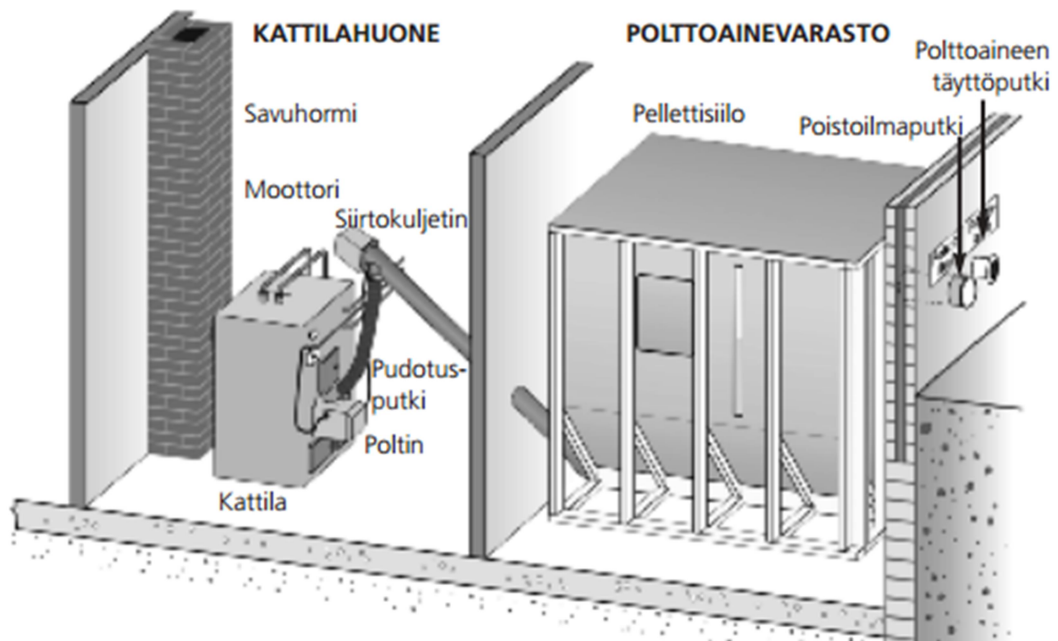
## 2.4 Pellettikattila

Pelletti on tasalaatuista ja tiivistä polttoainetta, joka on pienen kokonsa ansiosta tehokasta kuljettaa, varastoida sekä käsitellä. Pelletti valmistetaan puristamalla sylinterimäisiä panoksia pääosin ylijäämästä kuten sahanpurusta, höylänlastusta tai hiontopölystä (ks. kuvio 8). Pelletin kosteus on jopa alle 10% ja sen lämpöarvo on 4,75 kWh/kg, mikä tekee siitä laadukkaan polttoaineen. Pellettikäyttöisiä kattiloita suositetaan asuinrakennuksissa niin maalla kuin kaupungeissakin. (Puhakka, Alanen, Kokkonen, Nalkki, Rousku 2003, 4.)



Kuvio 8. Pellettiä (Pelletti 2017)

Pelletti syötetään kattilaan samantapaisesti kuin hake eli syöttöruuvilla pellettisiilosta. Syöttöruuvien jälkeen on pudotusputki, joka ohjaa pudotettavat pelletit polttimelle. Pudotusputki on usein muovia, joka lisää paloturvallisuutta, sillä se sulaa liian kovasta lämmöstä ja estää tulen leviämisen syöttöruuville sekä pellettisiiloon. Syöttöruuvien ja kattilan lisäksi pellettilämmitysjärjestelmään kuuluu varastosiiilo, polttoaineen syöttölaitteet, säätöjärjestelmä sekä tarvittaessa lämminvesivaraaja sekä kalvopaisunta-astia. Lämminvesivaraajan käyttö ei ole välttämätöntä, sillä palamista voidaan hallita esimerkiksi syöttöruuvien nopeutta säätämällä. Pienen kokonsa ansiosta pelletin varastointi ei vaadi niin paljon tilaa kuin hake tai pilke vaativat (ks. kuvio 9) .(Puhakka ym 2003, 19.)



Kuvio 9. Pellettikattila ja syöttöruuvi (Puhakka ym 2003, 22)

### 3 Standardi EN 303-5

#### 3.1 Standardin sisältö

EN 303-5 on eurooppalainen standardi, joka määrittää lämmityskattiloiden testaukseen liittyvät toimenpiteet ja testaustavat. Standardi määrittää vaatimukset lämminvesikattiloille kokoluokkaan 500 kW asti. EN 303-5 määrittää muun muassa kattilan turvallisuuden liittyvät vaatimukset, kuten takatulelta suojautuminen, ylitäytön tai polttoaineen syötön katkeamiseen liittyvien riskien kartoituksen sekä ilmansyötön loppumisen turvallisuuden varmistamisen. Se ottaa kantaa kattilan hitsisaumojen vahvuuteen, seinämän paksuuksiin sekä lämpöeristykseen. (SFS-EN 303-5:201, 28–32.) Standardi määrittää myös päästörajat, joiden mukaan testattavat kattilat voidaan luokitella eri päästöluokkiin (ks. taulukko 1). Parhaaseen päästöluokitukseen vaaditaan CO -päästöiksi enintään  $500 \text{ mg/m}^3$ , orgaanisen hiilen määräksi enintään  $20 \text{ mg/m}^3$  ja hiukkaspitoisuudeksi  $40 \text{ mg/m}^3$ . (SFS-EN 303-5:2012, 38.)



Taulukko 1. 500 kW:n kattiloiden päästörajat ja -luokat (SFS-EN 303-5:2012, 38)

Stoking	Fuel	Nominal heat output kW	Emission limits								
			CO			OGC			Dust		
			mg/m <sup>3</sup> at 10% O <sub>2</sub> <sup>a</sup>								
			class 3	class 4	class 5	class 3	class 4	class 5	class 3 <sup>b</sup>	class 4	Class 5
manual	biogenic	≤ 50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		> 50 ≤ 150	2 500			100			150		
		>150 ≤ 500	1 200			100			150		
	fossil	≤ 50	5 000			150			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			100			125		
		>150 ≤ 500	1 200			100			125		
automatic	biogenic	≤ 50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		> 50 ≤ 150	2 500			80			150		
		>150 ≤ 500	1 200			80			150		
	fossil	≤ 50	3 000			100			125		
		> 50 ≤ 150	2 500			80			125		
		>150 ≤ 500	1 200			80			125		

Opinnäytetyön aihe on rajattu koskemaan vain sitä standardin osaa, jossa käsitellään varsinaista testausta sekä testaustuloksista raportointia automaattisytöillä toimiville biopolttoainekattiloille. Testeissä käytettävät polttoaineet ja niiden laatu määräytyvät myös standardin mukaan (ks. taulukko 2). Testaukseen hyväksytyt biopolttoaineet ovat pilke, hake, puristettu puumassa, kuten pelletti, sahanpuru sekä muut biomassat. Kaikille polttoaineille on myös asetettu kosteus-, tuhkapitoisuus- sekä lämpöarvorajat. (SFS-EN 303-5:2012, 41.)

Taulukko 2. Testaukseen hyväksytyt polttoaineet (SFS-EN 303-5:2012, 41)

	Bituminous coal		Brown coal (incl. briquettes)		Coke		Anthracite	Wood logs	Chipped wood		Compressed wood	Saw-dust	Non woody biomass or other solid fuels
	a1	a2	b1	b2	c1	c2	d	A	B1	B2	C	D	E, e
Water content (as received)	≤ 11 %		≤ 20 %		≤ 5 %		≤ 5 %	12 % to 20 %	20 % to 30 %	40 % to 50 %	≤ 12 %	35 % to 50 %	According to the range specification of the manufacturer or EN 14961 (all parts)
Ash content <sup>a</sup> (as received)	2 % to 7 %		5 % to 20 %		5 % to 15 %		5 % ± 3 %	≤ 1 %	≤ 1,5 %		≤ 0,5 %	≤ 0,5 %	
Volatiles <sup>a</sup> (as received)	15 % to 30 %	> 30 %	40 % to 50 %	50 % to 60 %	< 6 %	8 % ± 2 %	< 10 %	-	-	-	-	-	
Chlorine content <sup>a</sup>	-		-		-		-	-	-	-	-	-	
Sulphur content <sup>a</sup>	-		-		-		-	-	-	-	-	-	
N-content <sup>a</sup>	-		-		-		-	-	-	-	-	-	
Net calorific value <sup>b</sup>	> 28 MJ/kg		> 12,5 MJ/kg		> 28 MJ/kg		> 28 MJ/kg	> 17 MJ/kg	> 17 MJ/kg		> 17 MJ/kg	> 17 MJ/kg	> 16 MJ/kg
Size/length	According to the manufacturer's instruction <sup>c</sup>												-

<sup>a</sup> % of mass on dry base.  
<sup>b</sup> Dry base.  
<sup>c</sup> Maximum 5 % of mass of the test fuel may have an oversize or an undersize.

Testauksesta standardi määrittää, kuinka kattilatestaus tulee suorittaa, mitä arvoja mitataan ja mitä tuloksia testauksesta raportoidaan. Standardi määrittää tarkkaan kattilatestauksen aikaiset toimenpiteet. Varsinaiseen raporttiin tulevia mittaustietoja varten kattilan on tuotettava sen valmistajan ilmoittama nimellisteho sekä minimiteho molemmat vähintään kuuden tunnin ajan. (SFS-EN 303-5:2012, 46.) Kattilan ylös- sekä alasajojen aikaiset mittaustiedot eivät kuulu lopulliseen raporttiin.

### 3.2 Testauksen aikaiset mittaukset

Standardi vaatii, että testauksen aikana on jatkuvasti mitattava lämmitysteho, menoveden lämpötila, paluuveden lämpötila, syötetyn kylmän veden lämpötila, ympäristön lämpötila, savukaasujen lämpötila, veto, happi- sekä hiilidioksidipitoisuudet, häikäpitoisuus sekä orgaanisten aineiden määrä. Kaikkien jatkuvatoimisten mittausten arvot kerääntyvät Excel -tiedostoon, josta niitä pystyy analysoimaan viiden sekunnin tarkkuudella. Testauksesta saatavat tulokset lasketaan kaikkien näiden mittausten perusteella ja kirjataan testausraporttiin. Lisäksi testausta varten on kertaluonteisesti määritettävä polttoaineen vesipitoisuus ja lämpöarvo, lisätyn polttoaineen massa sekä kattilan pintojen lämpötilat (SFS-EN 303-5:2012, 45). Tulosraporttiin tulevat tiedot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kattilatestauksen tulosraportin tiedot

## TULOKSET

	Yksikkö	Tulos
Mittaus		
Kokeen kesto	<u>hh:mm:ss</u>	
Lähtevän veden lämpötila	C	
Tulevan veden lämpötila	C	
Ympäristön lämpötila	C	
Kattilan teho	kW	
Polttoaineen massa	kg	
Hyötysuhde	%	
Alipaine	<u>Pa</u>	
Savukaasujen lämpötila	C	
Ilmakerroin		
CO <sub>2</sub>	%	
O <sub>2</sub>	%	

Jatkuu sivulla 16

Jatkuu sivulta 15

CO	ppm	
CO	ppm-10%	
CO	ppm-13%	
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	
CO	mg/Nm <sup>3</sup> -10%	
CO	mg/Nm <sup>3</sup> -13%	
CO	mg/MJ	
OGC	mg/m <sup>3</sup>	
OGC	mg/m <sup>3</sup> -10%	
OGC	mg/m <sup>3</sup> -13%	
OGC	mg/MJ	
<u>NOx</u>	ppm	
<u>NOx</u>	ppm-10%	
<u>NOx</u>	ppm-13%	
NO2	mg/Nm <sup>3</sup>	
NO2	mg/Nm <sup>3</sup> -10%	
NO2	mg/Nm <sup>3</sup> -13%	
NO2	mg/MJ	
Hiukkaset (sähköinen mittaus)	mg/Nm <sup>3</sup>	
Hiukkaset (sähköinen mittaus)	mg/Nm <sup>3</sup> -10%	
Hiukkaset (sähköinen mittaus)	mg/Nm <sup>3</sup> -13%	
Hiukkaset (sähköinen mittaus)	mg/MJ	

## 4 Kertaluonteisesti määritettävät arvot

### 4.1 Polttoaineen kosteuspitoisuus

Polttoaineen kosteuspitoisuuden määrittämiseksi käytetään standardin SFS-EN ISO 18134-2:2017 mukaista menetelmää. Standardin mukainen polttoaineen kosteus määritetään kuivattamalla tietty määrä polttoaineesta kerättyä näytettä ja punnitsemalla se ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen. Kosteuden määrittämistä varten tarvitaan kuivausuuni, joka pystyy saavuttamaan  $105 \pm 2$  °C lämpötilan ja jossa ilma vaihtuu kolmesta viiteen kertaan tunnissa, kuivausastioita, jotka ovat syöpymätöntä ja lämpöeristettyä materiaalia, sekä vaaka, jonka tarkkuus on 0,1 g. (SFS-EN ISO 18134:2017, 6.)

Määrittäminen aloitetaan ottamalla enintään palakooltaan 31,5 mm olevaa polttoainenäytettä vähintään 300 g. Jos näytteen palakoko on suurempi kuin 31,5 mm, sitä voidaan

piilkkoa siten, että näytteen pienentäminen ei muuta materiaalin kosteutta. Tämän jälkeen punnitaan tyhjä kuivausastia ja asetellaan siihen näytettä tasaiseksi kerrokseksi siten, ettei näytekerros ylitä  $1 \text{ cm}^2 / 1 \text{ g}$ . Näytteen asettelun jälkeen kuivausastia punnitaan uudelleen ja laitetaan kuivausuuniin, jonka lämpötila on säädetty  $105 \pm 2$  °C:seen. Kuivausastiaa lämmitetään uunissa niin kauan kunnes vakiomassa saavutetaan. Lämmitysaika riippuu näytteen partikkelikoosta, uunin ilmanvaihdon tehokkuudesta sekä näytekerroksen paksuudesta. Kuivauksen jälkeen kuivausastia poistetaan uunista ja punnitaan nopeasti sen ollessa vielä kuuma (SFS-EN ISO 18134:2017, 6). Polttoaineen kosteuspitoisuus lasketaan kaavan 1 mukaisesti.

$$M_{ar} \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

missä  $m_1$  = tyhjän kuivausastian massa

$m_2$  = kuivausastian ja näytteen massa ennen kuivausta

$m_3$  = kuivausastian ja näytteen massa kuivauksen jälkeen

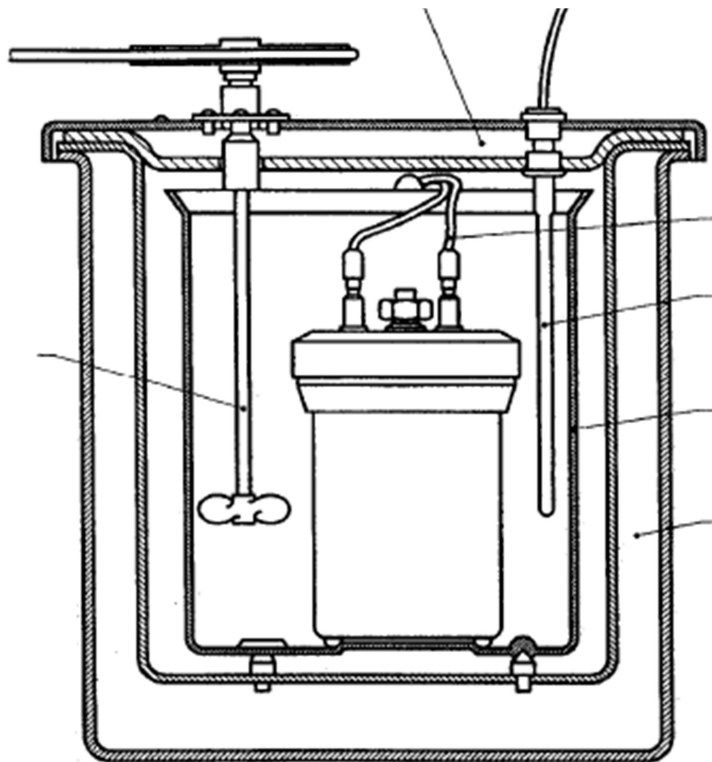
## 4.2 Polttoaineen tehollinen lämpöarvo

Polttoaineen tehollinen lämpöarvo määritetään käyttämällä standardin SFS-EN 14918:2009 mukaista menetelmää. Standardin mukainen tehollinen lämpöarvo määritetään pommikalorimetrillä saadun kalorimetrin lämpöarvon avulla. Lämpöarvoa määrittäessä käytetään tasapainokosteudessa olevaa tai kuivattua näytettä. Kalorimetrinen lämpöarvo tarkoittaa lämpöenergian määrää, joka vapautuu kun 1 kg polttoainetta palaa täydellisesti ja jäähtyy tämän jälkeen 25 °C:n lämpötilaan.

Kalorimetrin lämpöarvon määrittäminen tapahtuu polttamalla tarkkaan punnittu määrä näytettä puhtaalla hapella paineistetussa pommissa, joka on osa suljettua adiabaattista pommikalorimetriä (Parr 6200). Laitteiston avulla saadaan mitattua näytteen energiamäärä. Pommikalorimetrin toiminta perustuu näytteen puhtaaseen palamiseen vakio-tilavuudessa ja -paineessa, sekä kalorimetrin ulkoisen ja sisäisen vaipan veden lämpötilan muutokseen.

Määrittäminen suoritetaan punnitsemalla tietty määrä näytettä ja asettamalla se pommikalorimetrin pommin sisälle. Pommin sisälle kiinnitetään sytytyslanka (puuvilla)

metalliseen johdinlankaan. Puuvillalangan tarkka lämpöarvo tunnetaan, sillä langan palamisesta aiheutuva lämpötilan nousu on huomioitava laskennassa. Pommiin syötetään myös happea korkeassa paineessa, mikä varmistaa näytteen täydellisen palamisen. Näytteen ja puuvillalangan asettelun jälkeen sytytysjohdot kiinnitetään pommiin ja pommi upotetaan kalorimetrin sisällä olevaan vesisäiliöön (2000 ml), jonka sisällä on myös sekoitin sekä vähintään 0,001 K tarkkuudella toimiva lämpötilamittari (ks. kuvio 10). (Parr 6200 oxygen bomb calorimeter, 2010.) Valmistelujen jälkeen näyte kalorimetrialteistoon syötetään vaadittavat tiedot ja käynnistetään analyysi. Laitteisto tasaa ulkoisen ja sisäisen vaipan vakiolämpötilaan ennen kuin sytyttää pommiin kytkettyjen johtimien avulla näytteen palaamaan. Laitteisto mittaa pommia ympäröivän veden lämpötilan muutosta lämpötilamittarilla. Lämpötilan muutoksen avulla laitteisto laskee polttoaineen kalorimetrinen lämpöarvon ja raportoi tuloksen analyysin lopuksi. (SFS-EN14918:2009, 6–10.)



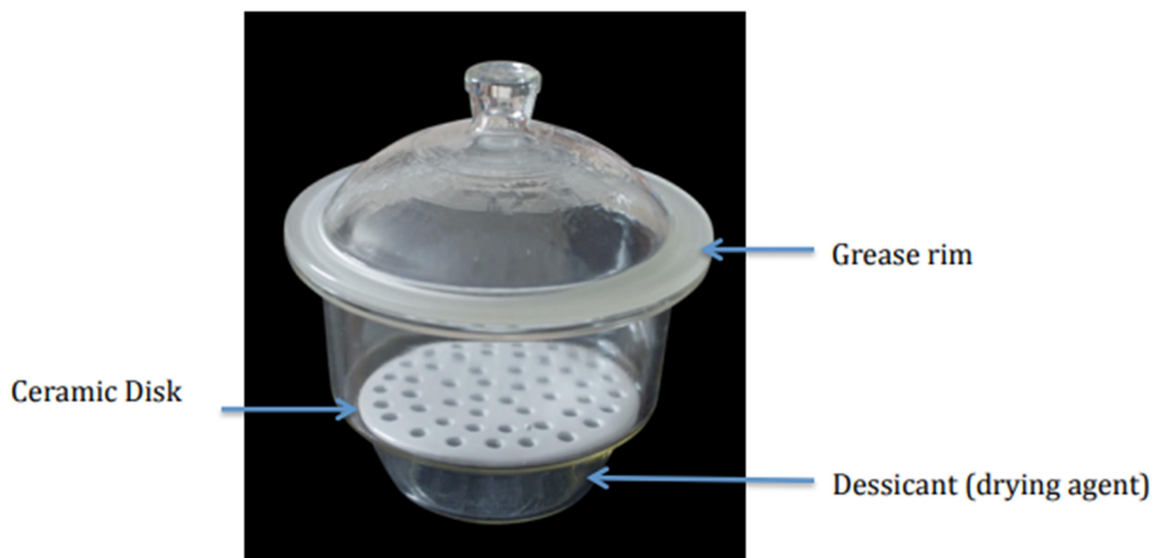
Kuvio 10. Havainnekuva pommikalorimetrinä (SFS-EN14918:2009, 9)

Tehollinen lämpöarvo saadaan laskettua standardin SFS-EN14918:2009 ilmoittamilla kaavoilla kalorimetrinen lämpöarvon avulla. Laskennassa huomioidaan myös palamisprosessi syntyvän vedyn, typen ja hapen määrä. Tehollinen lämpöarvo tarkoittaa

lämpöenergian määrää, joka vapautuu, kun 1kg polttoainetta palaa täydellisesti ja polttoaineessa oleva kosteus oletetaan palamisen jälkeen vesihöyryksi (SFS-EN14918:2009, 6). Kalorimetrinen lämpöarvo on aina suurempi kuin tehollinen lämpöarvo, sillä tehollinen lämpöarvo saapumistilassa ottaa huomioon polttoaineen sisältämän kosteuden.

### 4.3 Polttoaineen tuhkapitoisuus

Polttoaineen tuhkapitoisuuden määrittämiseen käytetään standardin EN ISO 18122:2015 mukaista menetelmää. Standardin mukainen tuhkapitoisuus määritetään selvittämällä tarkasti kontrolloiduissa olosuhteissa hehkutetun aineen jäljelle jäänyt tuhkapitoisuus. Tuhkapitoisuuden määrittystä varten tarvitaan polttoupokkaat, jotka ovat valmistettu esimerkiksi posliinista, kvartsista tai platinasta, polttouuni, jolla saavutetaan vähintään 550 °C tasainen lämpötila, vaaka, jolla näyte pystytään punnitsemaan 0,1 mg tarkkuudella sekä eksikaattori. (SFS EN-ISO 18122:2015, 8–9.) Eksikaattori on tiivis lasinen astia, joka sisältää kosteutta imevää ainetta (ks. kuvio 11). Yleisesti käytettyjä kosteutta sitovia aineita ovat  $\text{CaSO}_4$ , silica geeli,  $\text{MgSO}_4$  ja  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Eksikaattorin avulla varmistetaan, ettei näytteeseen imeydy ilmasta kosteutta vaan se pysyy kuivana. (Desiccators 2012, 1.)



Kuvio 11. Eksikaattori (Desiccators 2012, 1)

Määrittäminen aloitetaan kuumentamalla upokkaita 550 °C lämpötilassa tunnin ajan epäpuhtauksien poistamiseksi. Tämän jälkeen upokkaat jäädytetään huonelämpöön ja punnitaan. Täysin kuivattua näytettä punnitaan taarattuun upokkaaseen 1–2 g ja levitetään tasaisesti. Upokkaat asetetaan huoneenlämpöiseen uuniin, jota lämmitetään ensin 250 °C:seen lämpötilan nousun ollessa 4,5 °C/min ja 7,5 °C/min välillä. Uunin lämpötila pidetään 250 °C:ssa tunnin ajan, jonka jälkeen se nostetaan 30 minuutissa 550 °C:seen ± 10 °C lämpötilan nousun ollessa 10 °C/min. Uuni pidetään 550 °C lämpötilassa vähintään 120 minuuttia.

Hehkutuksen jälkeen upokkaat nostetaan pois uunista ja annetaan niiden jäähtyä eksikaattorissa huonelämpötilaan, jonka jälkeen ne punnitaan (SFS EN-ISO 18122:2015, 8–9). Näytteen tuhkapitoisuus lasketaan kaavalla 2

$$A_d = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2)$$

missä  $A_d$  = tuhkapitoisuus

$m_1$  = upokkaan massa

$m_2$  = upokkaan ja näytteen massa

$m_3$  = näytteen ja tuhkan massa

$M_{ad}$  = näytteen kosteus

#### 4.4 Syötetyn polttoaineen massa ja pintojen lämpötilat

Biotalousinstituutin kattilatestauslaboratoriossa syötetyn polttoaineen massan määrittämistä varten polttoaine syötetään vaa'an päältä, jossa se punnitaan jatkuvasti (Puolamäki 2017). Syötetyn polttoaineen massan määrä saadaan selvitettyä vähentämällä polttoaineen massa alussa polttoaineen massasta lopussa.

Pintojen lämpötilat tulee mitata kattilan tuottaessa sen nimellisteho ja mittauspisteitä tulee olla vähintään 5 kpl. Mittausten tulee sisältää kriittisten pintojen lämpötilat, kuten kattilan ovi ja oven kahva, sekä tasot, joihin kosketaan operoitaessa kattilaa (SFS-EN 303-5:2012, 50).

## 5 Standardin mukainen laskenta

### 5.1 Mittausten keskiarvoista saatavat tulokset

Tarvittavista tuloksista osa on mittaustulosten keskiarvo halutulta aikaväliltä. Näitä arvoja ovat lähtevän sekä tulevan veden lämpötilat, ympäristön lämpötila, kattilan teho, alipaine, savukaasujen lämpötila, hiilidioksidin prosentuaalinen määrä, hapen prosentuaalinen määrä, hään ppm pitoisuus, typen yhdisteiden ppm pitoisuus sekä sähköiseltä mittarilta mitattu hiukkasten määrä yksikössä mg/N m<sup>3</sup>. Keskiarvot saadaan laskettua lisäämällä kaikki viiden sekunnin välein saatavat mittausarvot yhteen ja jakamalla summa kyseisellä ajanjaksolla olevien mittausarvojen kokonaismäärällä.

### 5.2 Laskettavat tulokset

Kokeen kesto sekä syötetyn polttoaineen massa saadaan laskettua vähentämällä halutun mittauksen alkuarvo mittauksen loppuarvosta. Esimerkiksi, jos polttoaineen massa on alussa 250 kg ja lopussa 150 kg on polttoainetta syötetty 250 kg – 150 kg = 100 kg.

Kattilan hyötysuhteen laskemista varten tarvitaan polttoaineen lämpöarvo, joka määritetään erikseen kalorimetrin avulla. Tämän jälkeen hyötysuhde lasketaan kaavalla 3.

$$\eta = t * Q_{kattila} * 3,6 / Q_{polttoaine} * m_{polttoaine} * 100 \quad (3)$$

missä t= kokeen kesto tunteina (h)

$Q_{kattila}$ = kattilan tehon keskiarvo (kWh)

$Q_{polttoaine}$  = polttoaineen lämpöarvo (MJ/kg)

$m_{polttoaine}$ = syötetyn polttoaineen massa (kg)

3,6 kerrointa käytetään muuttamaan kilowattitunnit megajouleiksi.



### 5.3 Yksikkömuunnokset

Kattilatestauksessa syntyvät päästöt mitataan vain yhdessä yksikössä, joka on mitattavasta arvosta riippuen joko yksikössä ppm tai  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Standardi kuitenkin vaatii, että päästöt ilmoitetaan kolmessa eri yksikössä, jotka ovat ppm,  $\text{mg}/\text{m}^3$  sekä  $\text{mg}/\text{Mj}$ . Tästä syystä on suoritettava yksikkömuunnoksia. Yksikkömuunnos yksiköstä ppm yksikköön  $\text{mg}/\text{m}^3$  tapahtuu kaavalla 4.

$$c_{\text{mg}/\text{m}^3} = c_{\text{ppm}} \times \frac{M}{22,4} \quad (4)$$

missä  $c_{\text{mg}/\text{m}^3}$  = yhdisteen pitoisuus  $\text{mg}/\text{m}^3$  -yksikössä

$c_{\text{ppm}}$  = yhdisteen pitoisuus ppm -yksikössä

$M$  = yhdisteen moolimassa (g/mol)

Kaavassa käytetään muunnettavan yhdisteen moolimassaa sekä ideaalikaasun moolitilavuutta  $22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$ . Alkuaineiden moolimassat saadaan esimerkiksi jaksollisesta järjestelmästä alkuaineen tunnuksen alapuolelta (ks. liite 2).

Yhdisteen moolimassa saadaan laskettua lisäämällä yhdisteessä olevien alkuaineiden moolimassat yhteen. Esimerkiksi CO -yhdisteen moolimassa saadaan lisäämällä hiilen moolimassa hapen moolimassaan  $12,01 \text{ g/mol} + 16 \text{ g/mol} = 28,01 \text{ g/mol}$ . Muutettaessa yksiköstä  $\text{mg}/\text{m}^3$  yksikköön ppm kaava 4 täytyy muokata muotoon

$$c_{\text{ppm}} = \frac{c_{\text{mg}/\text{m}^3} \cdot 22,4}{M} \quad (5)$$

Toinen tarvittava yksikkömuunnos on yksiköstä  $\text{mg}/\text{m}^3$  yksikköön  $\text{mg}/\text{Mj}$ . Muunnos lasketaan biotalousinstituutissa käyttämällä kaavaa, johon tarvitaan ilmakerrointa. Ilmakerroin saadaan laskettua kaavalla 6.

$$\text{ilmakerroin} = \frac{20,9}{20,9 - \text{mitattu happ}} \quad (6)$$

Mitatulla hapella tarkoitetaan kokeen aikaisen mitatun hapen keskiarvoa. Tämän jälkeen yksikkö  $\text{mg}/\text{Mj}$  saadaan kaavalla 7.

$$c_{\text{mg}/\text{Mj}} = \text{ilmakerroin} \cdot 0,25 \cdot c_{\text{mg}/\text{m}^3} \quad (7)$$

## 5.4 Tulosten redusointi

Redusointia tarvitaan siksi, että kattilatestaustuloksista saadaan vertailukelpoisia. Testauksen aikaisen happiylijäämän määrä on eri kattiloilla ja testauskerroilla aina erilainen, mutta redusoinnilla päästöt saadaan vastaamaan haluttua happiylijäämää. Redusoidut tulokset vastaavat toisiaan siten, että esimerkiksi redusoidessa ylijäämähappi 10%:in saadaan päästöjen arvot vertailtavilla kattiloilla vastaamaan tilanetta, jossa molemmilla kattiloilla ilmaa olisi syötetty sen verran, että happiylijäämä olisi 10% ja tuloksia pystytään suoraan vertaamaan toisiinsa. Kaikki mitattavat päästöt redusoidaan hapen avulla. Redusointia varten käytetään kaavaa 8.

$$C_{O_2} = C_{kuiva} \times \frac{20,9 - O_{2,vertailu}}{20,9 - O_{2,mitattu}} \quad (8)$$

missä  $C_{kuiva}$  = yhdisteen pitoisuus ppm tai mg/ m<sup>3</sup>

$O_{2,vertailu}$  = haluttu redusointi

$O_{2,mitattu}$  = mitattu hapen määrä

Standardin mukaisia tuloksia varten mittausarvot on redusoitava 10 % sekä 13 % happiylijäämällä.

## 5.5 Hiukkasmäärän laskeminen punnitsemalla

Hiukkasmäärää varten kattilatestauslaboratoriossa on erillinen sähköinen hiukkasmittari, joka mittaa savukaasujen hiukkasmäärää viiden sekunnin välein. Tämä tieto saadaan mittausdataan, josta laskentatyökalu laskee kokeen aikaisen keskiarvon. Tämän lisäksi hiukkasmäärä määritetään punnitsemalla hiukkassuodattimen paino ennen koetta ja kokeen jälkeen ja laskemalla hiukkasmäärä suodattimen massan muutoksen avulla. Näitä tuloksia myös verrataan toisiinsa. Laskettaessa hiukkasmäärää punnitsemisen avulla tarvitaan kaavaa 9 sekä kaavaa 10.

$$V_{dn} = V_{wa} \times \frac{T_n}{T_a} \times \frac{P_a}{P_n} \quad (9)$$

missä  $V_{dn}$  = Kuivatun näytekaasun tilavuus normaaliolosuhteissa ( $m^3$ )

$V_{wa}$  = kaasun tilavuusmittarin lukema ( $m^3$ )

$T_n$  = lämpötila NTP olosuhteissa (273K)

$T_a$  = lämpötila kaasun tilavuusmittarissa ( $^{\circ}C$ )

$p_a$  = vallitseva ilmanpaine (kPa)

$p_n$  = ilmanpaine NTP olosuhteissa (101,9 kPa)

$$c_{dn} \frac{m}{V_{dn}} \quad (10)$$

missä  $c_{dn}$  = kuivan kaasun kiintoainepitoisuus normaaliolosuhteissa

$m$  = hiukkasnäytteen massa (mg)

## 6 Tulokset

### 6.1 Laskentatyökalun käyttö

Valmis laskentatyökalu toimii siten, että testin mittausdatasta kopioidaan kaikki mitaustiedot halutulta aikaväliltä ja liitetään työkaluna toimivan Excel -tiedoston ensimmäiselle välilehdelle. Työkalu laskee mittausten perusteella kaikki tarvittavat arvot ja kokoaa tulokset toiselle välilehdelle. Toinen välilehti toimii tulostettavana tulossivuna, joten jatkossa kaikki testit voidaan raportoida samanlaiseen pohjaan (ks. liite 3). Työkalun käyttäjä ei pääse muokkaamaan mittausten perusteella laskettuja tuloksia, mutta käyttäjän on syötettävä tulossivulle kattilan tiedot, käytetty polttoaine ja erikseen määritetyt polttoaineen kosteus, lämpöarvo sekä tuhkan määrä. Työkalu tarvitsee polttoaineen lämpöarvon kattilan hyötysuhteen laskemista varten.

Mittaustietojen avulla laskettujen tulosten lisäksi laskentatyökalun avulla voidaan laskea savukaasujen hiukkaspitoisuus, mikä suoritetaan erillisen hiukkassuodattimen avulla. Tulossivulle syötetään hiukkassuodattimen massat ennen koetta ja kokeen jälkeen, kokeen aikainen ilmanpaine ja lämpötila sekä kaasukellon lukemat ennen koetta ja kokeen jälkeen. Lisäksi työkalun käyttäjä pystyy redusoimaan saadun tuloksen haluamaansa happipitoisuuteen. Laskettua hiukkaspitoisuutta pystytään tämän jälkeen vertaamaan testissä käytettyyn sähköiseen hiukkasmittariin.

## 6.2 Laskentatyökalun testaus

Laskentatyökalun valmistuttua se luovutettiin kattilatestauslaboratorion käyttäjille testattavaksi. Testausaikana käyttäjät kirjasivat ylös muutostarpeita, sekä omia huomioitaan työkalun parantamiseksi ja työkalua päivitettiin huomioiden mukaisesti. Työkalua testasi usea käyttäjä ja näin pyrittiin varmistamaan, että se olisi helppokäyttöinen ja selkeästi hallittava.

Opinnäytetyön tuloksena syntynyt laskentatyökalu vastasi alkuperäistä tavoitetta. Tavoite oli, että kehittävä työkalu helpottaa sekä nopeuttaa kattilatestauksen tulosten raportointia. Työkalun avulla raporteista saadaan myös yhdennäköisiä ja testaus-tuloksia on helppo vertailla keskenään. Kehitetty laskentatyökalu oli testikäytössä Saarijärven biotalousinstituutin kattilatestauslaboratoriossa. Testien perusteella työkalun todettiin nopeuttavan tulosten raportointia. Työkalulla laskettuja tuloksia verrattiin aiempiin kokeisiin ja niistä erikseen laskettuihin tuloksiin. Vertailun avulla pystyttiin toteamaan, että työkalu laskee tulokset oikein.

## 7 Pohdinta

### 7.1 Työn toteutus

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää laskentatyökalu, joka nopeuttaa kattilatestauslaboratorion testausten raportointiprosessia. Tarkoituksena oli kehittää työkalu, joka laskee kaikki raporttiin tarvittavat laskut automaattisesti. Työn alkuvaiheessa suunnitelmana oli tehdä kaksiosainen laskentatyökalu, joka sisältää laskuosion sekä tulososion, mutta työn edetessä se päätettiin yhdistää yhdelle välilehdelle. Laskuosion hyvänä puolena olisi ollut se, että käyttäjä näkee mistä vaiheista laskenta koostuu. Yksi tulossivu, joka sisältää kaiken tiedon, on kuitenkin käyttäjätavallisempi, sillä laskentasivu sisältäisi useita eri välituloksia ja sen tulkitseminen voisi aiheuttaa väärinkäsityksiä. Laskentatyökalun käyttäjä pääsee halutessaan tulossivullakin perehtymään laskentaan avaamalla laskentakaavat erikseen.

Kehitetty laskentatyökalu otettiin kattilatestauslaboratorion käyttöön ja se on helpottanut testauksen raportointia huomattavasti. Työkalua on käytetty muutamiin eri

kattilatesteihin, joihin se on soveltunut hyvin. Varsinkin työkalun käytön alkuvaiheessa testitulokset on laskettava myös käsin, mutta ajan kuluessa ja työkalun luotettavuuden varmistuttua käsin laskemista voidaan mahdollisesti karsia. Tämä nopeuttaa testien raportointia ja sitä kautta testejä pystytään tulevaisuudessa suorittamaan tehokkaammin ja enemmän. Raportoinnin keventyessä laboratorion työntekijöillä jää enemmän aikaa varsinaiseen testaukseen ja kattiloiden asentamiseen sekä virittämiseen. Yhdenmukaiset raportit myös helpottavat testien tulosten vertailua.

## 7.2 Luotettavuuden arviointi

Opinnäytetyössä suoritettua työkalun kehityksen luotettavuus varmistettiin kattilatestauslaboratorion asiantuntija Kimmo Puolamäen kanssa tarkastamalla työkalun laskenta sekä toiminta. Työkalun toiminnan luotettavuus pystyttiin testaamaan syöttämällä laskentaan aiemmin suoritettujen kattilatestien mittaustuloksia ja vertaamalla työkalun antamia tuloksia aiemmin laskettuihin. Vertailujen perusteella pystyttiin näkemään, jos jokin arvo poikkeaa käsin lasketun ja laskentatyökalun arvon välillä. Laskentatyökalun avulla kattilatestauksen tulosten raportointi on jatkossa luotettavampaa kuin aiemmin, sillä kaikki käyttäjät käyttävät samaa pohjaa eivätkä käyttäjien mahdollisesti erilaiset toimintatavat vaikuta tuloksiin. Lisäksi työkalun käyttäjä ei pääse muokkaamaan laskentapuolen laskuja vaan muokattavissa on pelkästään ne solut, joita laskenta tarvitsee. Tällä varmistetaan, että laskenta on aina yhdenmukainen eikä käyttäjä voi vahingossa tehdä esimerkiksi näppäilyvirhettä.

Työssä käytetty teoriapohja on pyritty keräämään luotettavista lähteistä, kuten Motivan tai Tukesin kanssa yhteistyössä tehdyistä oppaista sekä tutkimuksista. Laskentaan käytetyt kaavat kerättiin VTT:n tutkijoiden kirjoittamasta oppaasta. Tietoja on pyritty myös vertaamaan useampaan lähteeseen. Luotettavuutta lisää myös se, että osa opinnäytetyössä käytetyistä lähteistä koostuu eri standardeista.

## 7.3 Jatkotutkimuksen kohteet

Jatkotutkimuksen kohteena laskentatyökalua voitaisiin kehittää lisäämällä testauksessa käytettävien mittalaitteiden mittavirheiden laskenta. Standardi EN 303-5:2012 vaatii, että kattilatestauksen tulosten raportoinnin lisäksi testauksessa käytettyjen

mittalaitteiden mittavirhe täytyy määrittää. Mittavirheelle on asetettu myös rajat, joita testauksessa käytettävien laitteiden on pystyttävä noudattamaan. Arvot, joista virhe täytyy laskea, ovat hyötysuhde, CO, THC, NO<sub>x</sub>, happi, hiilidioksidi sekä hiukkas-  
pitoisuus. Mittavirhe koostuu laitteiden omasta virheestä sekä muista testaustilan-  
teesta riippuvista muuttuvista tekijöistä.

## Lähteet

- Aineen rakenne ja alkuaineiden jaksollinen järjestelmä. 2016. verkko-opiskelumateriaali Vantaan ammattiopisto varian sivustolla. Viitattu 15.07.2017. [http://www.verkkovaria.fi/yhteiset/kemia/?page\\_id=78](http://www.verkkovaria.fi/yhteiset/kemia/?page_id=78)
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 15.7.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- Biomassojen polttoa, päästöjenhallintaan, energiatehokkuutta. N.d. Kattilatestauslaboratorion esittely Jyväskylän ammattikorkeakoulun sivulla. Viitattu 3.5.2017. <https://www.jamk.fi/fi/Palvelut/Testaus-ja-analysointi/Kattilatestauslaboratorio/>
- Biotec 34 Lambda – Käänteispalokattila. N.d. Myyntiesite Tulituotteen sivustolla. Tulituote Oy. Viitattu 25.5.2017. [http://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/puukattilat/biotec\\_34\\_kaaanteispalokattila/](http://www.tulituote.com/tuotteet/vesikiertotuotteet/puukattilat/biotec_34_kaaanteispalokattila/)
- Desiccators. 2012. Eksikaattorin toimintaperiaatteen selittävä pdf-tiedosto. Viitattu 12.08.2017. <http://faculty.sites.uci.edu/chem1/files/2013/11/RDGdesiccator.pdf>
- Energialaskuri. 2017. Energialaskuri Metsäkeskuksen sivustolla. Metsäkeskus. Viitattu 24.05.2017. <http://www.halkoliiteri.com/?id=170>
- Haminan puulämpö oy. N.d. Yhteystiedot Puuta.net –sivustolla. Viitattu 24.05.2017. <http://puuta.net/yhteystiedot/>
- Heikkilä, T. 2014. Kvantitatiivinen tutkimus. Tarja Heikkilä ja Edita Publishing. Viitattu 14.09.2017. <http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf>
- Jormanainen, P., Kinnunen V., Lehtomäki, J., Mehtonen, A., Puustinen, H., Roine, J., Räsänen, J., Salmikangas, T., Sipilä, J., Tormonen, K., Vahlman T. & Wellman K. 2007. Päästömittausten käsikirja osa 1. Päästömittauksen perusteet. VTT prosessit, Ilmansuojeluyhdistys ry, Uudenmaan Ympäristökeskus. Viitattu 15.07.2017. <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>
- Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja –sarja.
- Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuus. N.d. Kiinteän polttoaineen lämmityskattiloiden turvallisuutta käsittelevä opas Tukesin sivuilta. Turvatekniikan keskus. Viitattu 17.5.2017. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/Kattilaopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/Kattilaopas.pdf)
- Laajala, H. N.d. Alapalokattilan määrite. Artikkelit Aaltoarinan sivustolla. Aaltoarina. Viitattu 24.05.2017 [http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/ARIMAXARINAT/ALAPALO\\_KATTILAN\\_arina\\_kotisivu.pdf](http://www.aaltoarina.fi/UserFiles/File/ARIMAXARINAT/ALAPALO_KATTILAN_arina_kotisivu.pdf)

Laatu. 2017. Hakkeen laatua kuvaava julkaisu bioenergianeuvoja-sivustolla. Bioenergianeuvoja.fi. Viitattu 17.5.2017.

<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/>

Parr 6200 oxygen bomb calorimeter. 2010. Parr 6200 pommikalorimetrin käyttöohje manualsdir –sivustolla. Parr instrument company. Viitattu 21.9.2017

<http://www.manualsdir.com/manuals/740351/parr-instrument-6200.html>

Pelletti. Laadukasta polttoainetta helposti ja edullisesti. 2017. Pelletin käyttöä polttoaineena esittelevä julkaisu Bioenergianeuvoja sivustolla. Bioenergianeuvoja.fi. Viitattu 2.6.2017. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>

Pellettikattila siirtää pelletin lämmön veteen. N.d. Julkaisu Pellettienergia -sivustolla. Bioenergia ry. Viitattu 17.05.2017. <http://www.pellettienergia.fi/Kattila>

Pelletti-/hakekattilat 500-1500 kW. 2017. Hertz –merkkisen hakekattilan esite SolarBiox –yhtiön sivustolla. SolarBiox. <http://www.solarbiox.fi/tuotteet/pelletti-hakekattilat-500-1500-kw/>

Pilkelämmitys. N.d. Pilkelämmityksestä kertova artikkeli energiatehokaskoti sivustolla. Viitattu 24.05.2017

[http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/puulammitys/pilkelammitys](http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/puulammitys/pilkelammitys)

Puhakka, A., Alanen, V-A., Kokkonen, A., Nalkki, J. & Rousku, P. 2003.

Pellettilämmitysopas. Perustietoa pellettilämmityksestä. Motiva Oy. Viitattu 2.6.2017.

[http://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas\\_Perustietoa\\_pellettilammityksesta.pdf](http://www.energiatehokaskoti.fi/files/449/pellettilammitysopas_Perustietoa_pellettilammityksesta.pdf)

Puolamäki, K. 2017. Kattilatestauslaboratorion asiantuntija. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haastattelu 27.04.2017

Raiko, R., Saastamoinen, S., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Helsinki:Teknillistieteelliset akatemit

SFS-EN 303-5:2012. Heating boilers. part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500kw. Terminology, requirements, testing and marking. Vahvistettu 13.08.2012.

SFS-EN ISO 18122:2015 Solid biofuels. Determination of ash content. Vahvistettu 20.11.2015. Viitattu 12.8.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 18134-2:2017 Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Vahvistettu 1.2.2017. Viitattu 6.9.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN14918:2009 Solid biofuels. Determination of calorific value. Vahvistettu 10.10.2009. Viitattu 6.9.2017

Types of Heating Systems. 2015. Kodin lämmitysjärjestelmistä kertova julkaisu Smarterhouse-sivustolla. Smarter house. Viitattu 3.5.2017.

<http://smarterhouse.org/heating-systems/types-heating-systems>



Viirimäki, J., Hassinen, U., Hiitelä, J., Koskiniemi, E., Moilanen, P., Somerpalo, J., Turkia, K. & Vanhala, T. 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Metsäkeskus. Viitattu 24.5.2017. [http://www.puulakeus.net/docs/109-TgY-Maatilan\\_hakelammitysopas\\_lopullinen.pdf](http://www.puulakeus.net/docs/109-TgY-Maatilan_hakelammitysopas_lopullinen.pdf)

## Liitteet

Liite 1. Esimerkki mittausdatasta

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
	Time2	OGC	CO	CO2	O2	NOx	SO2	Savukaasujen lämpötilan keskiarvo	Kattilan heikkilämpö	Testitilan lämpötila	Polttoaine massa	Kattilapölyn menoveden lämpötila	Kattilapölyn paluueden lämpötila	Savukaasut, lämpötila	1	2	3
	[hh:mm:ss]	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]	[ppm]	[ppm]	[°C]	[kW]	[°C]	[kg]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1																	
2																	
4	12:44:08	0,71	134,86	14,29	6,17	3,71	0,00	102,01	96,43	22,31	2021,00	78,95	60,11	102,78	101,91	106,34	
5	12:44:12	0,65	143,62	14,44	6,03	3,89	0,00	102,01	96,22	22,31	2021,00	78,97	60,11	102,78	101,91	106,34	
b	12:44:18	0,63	148,67	14,57	6,00	5,20	0,00	102,01	96,58	22,31	2021,00	78,98	60,08	102,78	101,91	106,34	
/	12:44:22	0,72	149,25	14,58	6,12	5,49	0,00	102,03	96,48	22,31	2021,00	78,99	60,09	102,78	101,91	106,34	
8	12:44:27	0,59	148,29	14,53	6,36	6,19	0,00	102,03	97,03	22,31	2021,00	78,99	60,04	102,78	101,91	106,34	
11	12:44:32	0,58	145,14	14,44	6,63	6,45	0,00	102,03	96,65	22,31	2021,00	78,99	60,05	102,78	101,91	106,34	
12	12:44:37	0,73	142,62	14,14	6,89	6,62	0,00	102,03	96,36	22,31	2021,00	78,99	60,11	102,78	101,91	106,34	
13	12:44:43	0,59	126,98	13,97	7,00	6,65	0,00	102,03	96,63	22,31	2021,00	78,99	60,11	102,78	101,91	106,34	
14	12:44:47	0,58	112,28	13,79	6,92	6,65	0,00	102,06	96,47	22,31	2021,00	78,99	60,15	102,85	101,91	106,41	
15	12:44:53	0,65	101,96	13,74	6,76	6,66	0,00	102,05	96,12	22,31	2021,00	78,99	60,18	102,81	101,91	106,42	
16	12:44:57	0,58	98,58	13,74	6,60	6,66	0,00	102,07	96,11	22,31	2021,00	78,99	60,16	102,86	101,91	106,42	
17	12:45:02	0,58	97,38	13,76	6,47	6,66	0,00	102,06	96,39	22,31	2021,00	79,03	60,19	102,83	101,91	106,42	
18	12:45:07	0,58	97,24	13,86	6,29	6,15	0,00	102,09	96,54	22,31	2021,00	79,08	60,20	102,85	101,91	106,42	
19	12:45:12	0,59	109,05	14,19	6,02	6,08	0,00	102,10	96,09	22,31	2021,00	79,08	60,20	102,86	101,91	106,42	
20	12:45:18	0,61	144,87	14,49	5,78	4,83	0,00	102,10	96,28	22,31	2021,00	79,08	60,20	102,86	101,91	106,42	
21	12:45:22	0,58	171,68	14,83	5,59	4,65	0,00	102,13	96,44	22,31	2021,00	79,10	60,20	102,86	101,99	106,50	
22	12:45:28	0,62	183,11	15,01	5,51	4,01	0,00	102,14	96,57	22,31	2021,00	79,12	60,20	102,86	102,00	106,51	
23	12:45:32	0,62	183,11	15,11	5,51	3,91	0,00	102,14	96,58	22,31	2021,00	79,12	60,20	102,86	102,00	106,51	
24	12:45:37	0,64	180,33	15,14	5,54	3,91	0,00	102,14	97,32	22,31	2021,00	79,21	60,20	102,86	102,00	106,51	
26	12:45:43	0,62	171,57	15,15	5,53	3,91	0,00	102,14	97,42	22,31	2021,00	79,25	60,20	102,86	102,00	106,51	
27	12:45:47	0,58	165,04	15,16	5,49	3,91	0,00	102,14	97,52	22,31	2020,61	79,25	60,20	102,86	102,00	106,51	
28	12:45:53	0,76	161,58	15,19	5,47	3,91	0,00	102,14	96,92	22,31	2020,05	79,25	60,20	102,86	102,00	106,51	
29	12:45:57	0,83	159,58	15,18	5,56	4,16	0,00	102,14	97,63	22,31	2020,00	79,29	60,20	102,86	102,00	106,51	
30	12:46:03	0,82	158,91	15,12	5,75	4,19	0,00	102,14	97,48	22,31	2020,00	79,30	60,20	102,86	102,00	106,51	
31	12:46:12	0,85	148,55	15,08	5,98	4,46	0,00	102,14	97,65	22,31	2020,00	79,30	60,20	102,86	102,00	106,51	
32	12:46:18	0,73	124,46	14,84	6,23	4,48	0,00	102,14	97,46	22,31	2020,00	79,30	60,20	102,86	102,00	106,51	
33	12:46:18	0,74	112,28	14,52	6,48	5,28	0,00	102,14	97,12	22,31	2020,00	79,30	60,27	102,86	102,00	106,51	

## Liite 2. Jaksollinen järjestelmä

1	1	2											13	14	15	16	17	18										
1	<sup>1</sup> H 1,008																			2	<sup>He</sup> He 4,003							
2	3	4											5	6	7	8	9	10	11	12								
	<sup>3</sup> Li 6,941	<sup>4</sup> Be 9,012																			<sup>5</sup> B 10,81	<sup>6</sup> C 12,01	<sup>7</sup> N 14,01	<sup>8</sup> O 16,00	<sup>9</sup> F 19,00	<sup>10</sup> Ne 20,18		
3	11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									<sup>13</sup> Al 26,98	<sup>14</sup> Si 28,09	<sup>15</sup> P 30,97	<sup>16</sup> S 32,07	<sup>17</sup> Cl 35,45	<sup>18</sup> Ar 39,95		
	<sup>11</sup> Na 22,99	<sup>12</sup> Mg 24,31																										
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
	<sup>19</sup> K 39,10	<sup>20</sup> Ca 40,08	<sup>21</sup> Sc 44,96	<sup>22</sup> Ti 47,87	<sup>23</sup> V 50,94	<sup>24</sup> Cr 52,00	<sup>25</sup> Mn 54,94	<sup>26</sup> Fe 55,85	<sup>27</sup> Co 58,93	<sup>28</sup> Ni 58,69	<sup>29</sup> Cu 63,55	<sup>30</sup> Zn 65,41	<sup>31</sup> Ga 69,72	<sup>32</sup> Ge 72,64	<sup>33</sup> As 74,92	<sup>34</sup> Se 78,96	<sup>35</sup> Br 79,90	<sup>36</sup> Kr 83,80										
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54										
	<sup>37</sup> Rb 85,47	<sup>38</sup> Sr 87,62	<sup>39</sup> Y 88,91	<sup>40</sup> Zr 91,22	<sup>41</sup> Nb 92,91	<sup>42</sup> Mo 95,94	<sup>43</sup> Tc (98)	<sup>44</sup> Ru 101,07	<sup>45</sup> Rh 102,91	<sup>46</sup> Pd 106,42	<sup>47</sup> Ag 107,87	<sup>48</sup> Cd 112,41	<sup>49</sup> In 114,82	<sup>50</sup> Sn 118,71	<sup>51</sup> Sb 121,76	<sup>52</sup> Te 127,60	<sup>53</sup> I 126,90	<sup>54</sup> Xe 131,29										
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86										
	<sup>55</sup> Cs 132,91	<sup>56</sup> Ba 137,33		<sup>72</sup> Hf 178,49	<sup>73</sup> Ta 180,95	<sup>74</sup> W 183,84	<sup>75</sup> Re 186,21	<sup>76</sup> Os 190,23	<sup>77</sup> Ir 192,22	<sup>78</sup> Pt 195,08	<sup>79</sup> Au 196,97	<sup>80</sup> Hg 200,59	<sup>81</sup> Tl 204,38	<sup>82</sup> Pb 207,2	<sup>83</sup> Bi 208,98	<sup>84</sup> Po (209)	<sup>85</sup> At (210)	<sup>86</sup> Rn (222)										
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114														
	<sup>87</sup> Fr (223)	<sup>88</sup> Ra (226)		<sup>104</sup> Rf (261)	<sup>105</sup> Db (262)	<sup>106</sup> Sg (266)	<sup>107</sup> Bh (264)	<sup>108</sup> Hs (277)	<sup>109</sup> Mt (268)	<sup>110</sup> Ds (281)	<sup>111</sup> Rg (272)	<sup>112</sup> Uub (252)	<sup>113</sup> Uut (257)	<sup>114</sup> Uuq (258)														
Lantanoidit			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71											
			<sup>57</sup> La 138,91	<sup>58</sup> Ce 140,12	<sup>59</sup> Pr 140,91	<sup>60</sup> Nd 144,24	<sup>61</sup> Pm (145)	<sup>62</sup> Sm 150,36	<sup>63</sup> Eu 151,96	<sup>64</sup> Gd 157,25	<sup>65</sup> Tb 158,93	<sup>66</sup> Dy 162,50	<sup>67</sup> Ho 164,93	<sup>68</sup> Er 167,26	<sup>69</sup> Tm 168,93	<sup>70</sup> Yb 173,04	<sup>71</sup> Lu 174,97											
Aktinoidit			89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103											
			<sup>89</sup> Ac (227)	<sup>90</sup> Th 232,04	<sup>91</sup> Pa 231,04	<sup>92</sup> U 238,03	<sup>93</sup> Np (237)	<sup>94</sup> Pu (244)	<sup>95</sup> Am (243)	<sup>96</sup> Cm (247)	<sup>97</sup> Bk (247)	<sup>98</sup> Cf (251)	<sup>99</sup> Es (252)	<sup>100</sup> Fm (257)	<sup>101</sup> Md (258)	<sup>102</sup> No (259)	<sup>103</sup> Lr (262)											

Radioaktiivisen alkuaineen pysyvimmän isotoopin massaluku on merkitty sulkuihin.

## TULOKSET

	HUOMI		
Asiakas			
Karttia		OGC	mg /m <sup>3</sup>
Teho (kW)		OGC	mg/m <sup>3</sup> -10%
Koenumero		OGC	mg/m <sup>3</sup> -13%
Polttoaine		OGC	mg/MJ
Kosteus		NOx	ppm
Lämpöarvo		NOx	ppm-10%
		NOx	ppm-13%
		NO2	mg/Nm <sup>3</sup>
		NO2	mg/Nm <sup>3</sup> -10%
		NO2	mg/Nm <sup>3</sup> -13%
		NO2	mg/MJ
Mittaus		NO2	mg/MJ
Päivämäärä	0.1.1900 0:00	NO2	mg/Nm <sup>3</sup>
Kokeen kesto	0:00:00	Huikkaset (s)	mg/Nm <sup>3</sup>
Lähtevän veden lämpötila	#JAKO/0i	Huikkaset (s)	mg/Nm <sup>3</sup> -10%
Tulevan veden lämpötila	#JAKO/0i	Huikkaset (s)	mg/Nm <sup>3</sup> -13%
Ympäristön lämpötila	C	Huikkaset (s)	mg/MJ
Kattilan teho	kW		
Polttoaineen massa	kg		
Hyötysuhde	%	Suodattimen paino ennen	g
Alipaine	Pa	Suodattimen paino jälkeen	g
Savukaasujen lämpötila	C	Kaasukello ennen	m <sup>3</sup>
Ilmakerroin		Kaasukello jälkeen	m <sup>3</sup>
CO2	%	Vaihtuva ilmanpaine	mbar
O2	%	Lämpötila kaasun tilavuusmittarissa	C
CO	ppm		
CO	ppm-10%	Kuivatun näyrekkaasun tilavuus	0 m <sup>3</sup>
CO	ppm-13%	Kuivan näyrekkaasun kiintoainepitoisuus	#JAKO/0i mg/m <sup>3</sup>
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	Redusointi	
CO	mg/Nm <sup>3</sup> -10%	Redusoitu kiintoainepitoisuus	#JAKO/0i mg/m <sup>3</sup>
CO	mg/Nm <sup>3</sup> -13%		
CO	mg/MJ		

Liite 3. Valmis laskentaohjelma