

BROILERINLANNAN SIVUSYÖTTÖ HA- KELÄMMITYSJÄRJESTELMÄSSÄ

Aarne Rautiainen

Opinnäytetyö

Tammikuu 2019

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma

Luonnonvara- ja ympäristöala

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

JAMK University of Applied Sciences

Tekijä	Julkaisun laji	Päivämäärä
Rautiainen, Aarne	Opinnäytetö. AMK	14.1.2019
	Sivumäärä	Julkaisun kieli
	32	Suomi
		Verkkojulkaisulupa x
Työn nimi Opinnäytetö		
Broilerinlannan sivusyöttö hakelämmitysjärjestelmässä		
Tutkinto-ohjelma		
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t)		
Tukia, Jaakko		
Toimeksiantaja(t)		
Puolamäki, Kimmo		
Tiivistelmä		
<p>Tuotantoeläinperäisen lannan monikäyttöisyyden edistämiseksi Suomessa etsitään jatkuvasti uusia vaihtoehtoja. Lannan hävittämiseen polttamalla tarvittiin aikaisemmin jätteenpolttolupa, mutta laki muuttui loppuvuodesta 2018. Uusi lainsäädäntö mahdollistaa lannan polttamisen nyt myös pienemmillä polttolaitteistoilla.</p> <p>Kattilantestauslaboratorio on osa Jyväskylän ammattikorkeakoulua. Se aloitti marraskuussa 2016 tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää broilerinlannan sivusyötön mahdollisuuksia hakelämmitysjärjestelmässä käytettäväksi yhdessä koivuhakkeen kanssa. Tutkimuksella ennakoitiin tulevaa lainmuutosta. Tutkimustyön tarkoituksena oli oikeiden syöttöparametrien löytäminen molemmille testattaville polttoaineille hakelämmitysjärjestelmän syöttölaitteistolla. Tutkimuskokeita suoritettaessa kerättiin myös yleistä tietoa polttoaineiden käyttäytymisestä niitä ajettaessa. Tutkimuksen avulla haettiin uutta tietoperustaa tuleville polttokokeille. Tutkimus toteutettiin biotalousinstituutin kattilantestauslaboratoriossa käyttämällä sen laitteistoa tukena tutkimuksessa. Työssä käytettiin kvantitatiivista tutkimustapaa, koska siinä taltioitiin useita koeajoja niiden jatkotutkimuksia varten.</p> <p>Ajokokeiden jälkeen aloitettiin niiden kokeissa saatujen aineistojen analysointi. Tuloksina saatiin onnistuneet testaukset, joissa kumpikin polttoaine osoitti soveltuvuutensa hakelämmityslaitteistossa käytettäessä niitä eri ajonopeuksilla. Johtopäätöksenä voitiin todeta myös broilerinlannan olevan jatkotutkimisen arvoinen yhdessä koivuhakkeen kanssa suorittamalla niillä lisää testauksia koeajojen ja polttokokeiden merkeissä.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Kattilantestauslaboratorio, broilerinlanta ja koivuhake.		
Muut tiedot		

Author Rautiainen, Aarne	Type of publication Bachelor's thesis Number of pages 32	Date December 2018 Language of publication: finnish Permission for web publication: x
Title of publication Broiler manure input in wood chip heating system		
Degree Programme Agricultural and Rural industries		
Supervisor Tukia, Jaakko		
Assigned by Puolamäki, Kimmo		
Description <p>The animal husbandry in Finland is constantly looking for new alternatives to promote the diverse use of production animal manure. Earlier in Finland, burning manure was prohibited and needed a proper permit from authorities. The law, however, changed at the end of the year 2018. The law makes burning manure possible with smaller burners as well.</p> <p>The boiler testing laboratory is part of Jamk University of Applied Sciences. It started a study about broiler manure at end of the year 2016, in which broiler manure would be fed to a wood chip heating system together with birch chips. The aim of the study was to investigate the possibilities of broiler manure input before the law would change. The purpose was to find suitable input parameters for both these fuels by using the input equipment of the wood chip heating system. Universal data on the behavior of the fuels was also collected during the test runs.</p> <p>This study also strived to give a foundation to similar flame tests in the future. The tests in this study were conducted with the help of the boiler testing laboratory and equipment provided by the institute of bioeconomics, which is also part of Jamk University of Applied Sciences. Quantitative study was used, which means the test was repeated multiple times to help future study.</p> <p>After driving tests the results were analyzed. The result is quite clear and both broiler manure and wood chip combined are suitable for using in wood chip heating system. Both test fuels run very well with all tested input speeds and with no difficulties. In conclusion broiler manure is suitable for using as fuel in wood chip heating systems. However the Subject should be study more with different fuel mixtures before applying in regular heating systems.</p>		
Keywords/tags: Boiler testing laboratory, broiler manure and birch chip.		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	Johdanto	6
2	Tutkimusasetelma	6
2.1	Tutkimuksen keskeisimmät käsitteet	8
3	Lannan ja puuhakkeen käyttömahdollisuudet energiantuotannossa.....	10
3.1	Broilerinlanta	12
3.2	Koivuhake	12
4	Tutkimuksen toteuttaminen	13
4.1	Tutkittavien aineiden alkumäärittäykset	14
4.1.1	Irtotiheyden ja kosteuden määrittäminen	14
4.2	Pommikalorimetri-mittaukset	17
4.3	Koivuhakkeen ja broilerinlannan ajokokeiden toteutus	17
5	Tutkimustulokset.....	20
5.1	Tutkimustulokset broilerinlanta	21
5.2	Tutkimustulokset koivuhake	24
6	Johtopäätökset.....	28
6.1	Johtopäätökset broilerinlanta	28
6.2	Johtopäätökset koivuhake.....	28
7	Pohdinta.....	30
	Lähteet	31

Kuviot

KUVIO 1. SIVUSYÖTTÖNÄ TULEVA BROILERINLANTA	9
KUVIO 2. POHJAPURKAIMEN PUDOTUSSUPPILON OSA	18
KUVIO 3. TAAJUUSMUUNNIN	19
KUVIO 4. VASEMMALLA PUOLELLA BROILERINLANTA JA OIKEALLA KOIVUHAKE AJOKOKEIDEN JÄLKEEN	20
KUVIO 5. BROILERINLANNAN KOEAJOT KILOGRAMMOINA TUNNISSA	21
	4

KUVIO 6. BROILERINLANNAN KOEAJOT SYÖTÖN ERI TEHOALUEILLA	23
KUVIO 7. KOIVUHAKKEEN KOEAJOT KILOGRAMMOINA TUNNISSA	24
KUVIO 8. KOIVUHAKKEEN KOEAJOT SYÖTÖN ERI TEHOALUEILLA	27

Taulukot

TAULUKKO 1. BROILERINLANNAN JA KOIVUHAKKEEN POLTTOAINEANALYYSIT.	16
---	----

1 Johdanto

Tuotantoeläinperäinen lanta aiheuttaa usein haastetta maataloilla, jotka sijaitsevat eläintiheillä alueilla. Lannan hävittäminen polttamalla vaati ennen jätteenpolttoluvan, mutta tulevan lainmuutoksen myötä tilanne helpottuu. Lannan tarkempaa hyödyntämistä energiantuotannossa lähdetään kehittämään nyt eteenpäin. (Maa- ja metsätalousministeriö 2018.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan koivuhakkeeseen sivusyöttönä tulevan broilerinlannan soveltumista yhteispoltossa käytettäväksi pienkokoluokan hakelämmityslaitteistossa, jotka ovat polttoteholtaan 0–500 kWh. Aihetta ei ole ennen tutkittu pienempien laitteistojen mittakaavassa.

Työn tavoitteena on hakelämmitysjärjestelmän syöttölaitteistolle eri nopeuksin tehtävien koeajojen avulla määrittää broilerinlannan ja koivuhakkeen oikeat syöttöparametrit. Syöttöarvot saadaan määritettyä koeajojen aikana taltioitujen mittausmateriaalien pohjalta.

Työssä mitattuja parametreja käytetään apuna suunniteltaessa tulevia yhteispolttokokeita broilerinlannalle ja koivuhakkeelle, joiden kokeiluja Jyväskylän ammattikorkeakoulun kattilantestauslaboratorio haluaa toteuttaa. Työn toimeksiantajana toimii Jyväskylän ammattikorkeakoulun kattilantestauslaboratorio ja yhteyshenkilönä insinööri Kimmo Puolamäki.

2 Tutkimusasetelma

Kiinnostus tuotantoeläinten lantajätteen hyödyntämiseen energiantuotannossa lisääntyy jatkuvasti Suomessa. Eläinperäinen lanta on biopohjaista ja uusiutuvaa raaka-ainetta. Aiemmin tuotantoeläinten lannan polttamiseen tarvittiin jätteenpolttolupa ja lannan polttaminen oli sallittua lain määrätessä vain suurissa, teholtaan yli 50 megawatin jätteenpolttolaitoksissa (Ympäristöministeriö 2018).

Tuotantoeläinten lannan polttoa koskeva lainsäädös koki Suomessa muutoksen kesäkuun loppupuolella 2018, kun valtioneuvosto hyväksyi lannan polttoa helpottavat uudet lakiesitykset. Lainmuutokset tehtiin sekä ympäristönsuojelua että eläimistä saattavia sivutuotteita koskevaan lakiin. Uusi laki astuu voimaan loppuvuodesta 2018. (Ympäristöministeriö 2018.)

Uusi lainsäädös mahdollistaa tuotantoeläinten lannan polton myös pienemmillä tehoilla, kuitenkin maksimissaan 50 megawattitunnin polttolaitoksille. Lannan poltto tulkitaan nyt energiantuotannoksi entisen jätteenpolton sijaan. Lannan polttaminen helpottui päästömittausten suhteen, koska jatkuvatoimisiin päästömittauksiin ei enää ole tarvetta. Päästöt on mitattava vuosittain ja laitoksessa tulee olla lisäpoltin, joka varmistaa riittävän korkean lämpötilan tilanteen niin vaatiessa. Laitoksen tulee kyetä nostamaan polttolämpötila 850 asteeseen vähintään kahden sekunnin ajaksi tai 1100 celsiusasteeseen 0,2 sekunniksi. (Ympäristöministeriö 2018.)

Ympäristöministeriön (2017) sivuilla mainitaan myös, että päästöjen raja-arvot muuttuivat poltolle suopeammiksi. Kuitenkin poltossa syntyville päästöille on annettu rajoitukset: rikkioksidipäästöt saavat olla korkeintaan 50 mg/m³ rikkioksidille, typenoksidille 200 mg NO₂/m³ ja hiukkasille 10 mg/m³. (Maa- ja metsätalousministeriö 2018.) Kattilantestauslaboratorion asiantuntija insinööri Puolamäen (2018) mukaan näihin asetettuihin päästötavoitteisiin on käytännössä hyvin vaikeaa päästä typenoksidien ja hiukkaspäästöjen osalta.

Uudet lakiesitykset auttoivat erityisesti hevosenlannan polttoa, mutta muidenkin tuotantoeläinten lantojen polttaminen helpottui. Uusi lainsäädös vähentää myös ympäristöviranomaisten työtä ja sivutuotelaista vastuussa olevien kunnallisten eläinlääkäreiden päällekkäistä työtä. Sivutuotelain mukaista hyväksyntää ei vaadita laitoksilta, jotka ovat jo ympäristönsuojelulain menettelyn piirissä. (Ympäristöministeriö 2017.) Metsäkeskuksen energiapuuta päätehakkuulta-oppaassa todetaankin, että seospolttojen on todettu olevan voimalaitoskokoluokassa vähäpäästöisempiä, samalla voimaloiden polttokattilatkin ovat pysyneet puhtaampina tämän ansiosta (Metsäkeskus 2013, 36).

Uuden lainsäädännön siivittämänä on hyvä aloittaa broilerinlannan sivusyöttöä tarkasteleva tutkimustyö ja selvittää samalla sen käyttömahdollisuuksia yhdessä koivuhakkeen kanssa. Tässä lantaa halutaan polttaa yhdessä koivuhakkeen kanssa, koska kaikkea lantaa ei voida levittää pelloille ja niiden soveltuvuutta keskenään halutaan tutkia polttamalla niitä eri seoksina.

Kvantitatiivinen tutkimismenetelmä on toimivin ja paras menetelmä tähän opinnäytetyöhön, koska tässä kerätään ja dokumentoidaan määrällistä tietoa tarkempaa tutkimusta varten. Työn laatu ja luotettavuus todistetaan tarkastamalla ajokokeiden tulokset, koostaen ne kuvaajiksi ja laskemalla oikeat syötön parametrit. Tietokonepohjaiset jatkuvatoimiset seurantajärjestelmät ja vaaka toimivat ajokokeiden aikaisena tukena dokumentoinnissa. Ajokokeiden aikana on myös hyvä tilaisuus tarkkailla syötettävän massan käyttäytymistä laitteistossa ajon aikana. Kokeiden lopussa nähdään syötetyn massan kokonaismäärä ja voidaan laskea keskiarvo myös halutulle ajalle syötön suhteen.

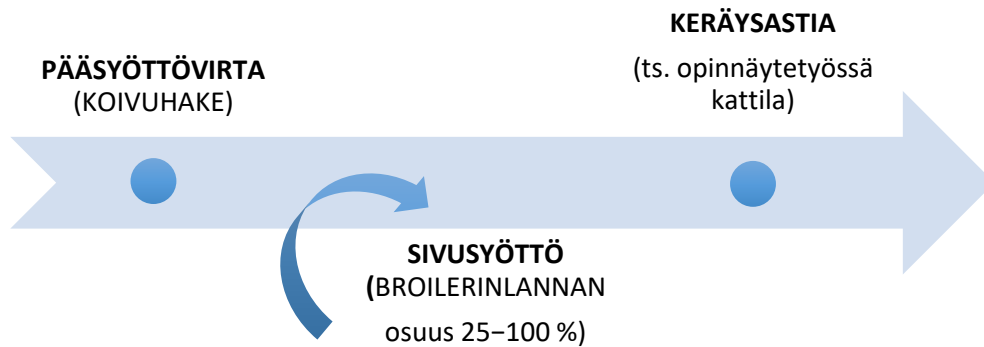
Polttoaineiden syötön tutkimisella etsitään siis tietoperustaa tuleville yhteispolttokokeiluille. Työssä ei kuitenkaan edetä itse polttokokeiluille saakka, vaan pysytään syötön aihepiirissä ja tutkitaan sitä perusteellisemmin.

2.1 Tutkimuksen keskeisimmät käsitteet

Sivusyöttö

Sivusyötöllä tarkoitetaan energiantuotannossa ja hakelämmityslaitteistossa valtavirtaan syötettävää, pienemmissä määrin sivusta tulevaa sivuvirtaa, joka yhtyessään päävirtaan muodostaa oikeanlaisen seossuhteen polttoa varten. Sivusyötön etuna on se etteivät erillisistä siiloista syötetyt polttoaineet sekoitu ja erotu keskenään, kuten yhdestä siilosta syötettäessä tapahtuu. Tässä opinnäytetyössä päävirtana toimii koivuhake, johon sivusyöttönä syötetään broilerinlantaa 25, 50 ja 100 % nopeuksin. Ku-

vassa yksi on visualisoitu sivusyötön roolia koko prosessissa. Broilerinlantaa testataan tässä työssä 100 prosentin ajonopeudella tutkimuksen vuoksi, vaikkei tuo ajonopeus ole enää varsinaista sivustasyöttöä, vaan puhtaasti valtavirtaa.



Kuvio 1. Sivusyötönä tuleva broilerinlanta

Syöttöparametri

Kuten opinnäytetyön tutkimusasetelmasta selviää, työn tarkoituksena on selvittää oikeat syöttöparametrit. Syöttöparametrilla tarkoitetaan syötettävälle polttoainemassalle sopivaa syöttönopeutta tietyllä polttoainelaadulla, jolla sitä koeajossa ajetaan. Aiheeseen liittyvä ongelma on näiden yllä kuvattujen parametrien puuttuminen aiheen tutkimattomuudesta johtuen, jotka nyt selvitetään.

Tankopurkain

Tankopurkain on osa hakelämmitysjärjestelmän syöttölaitteistoa, joka taas on osa hakelämmitysjärjestelmän isoa kokonaisuutta yhdessä polttokattilan kanssa. Tankopurkaimen yhteyteen kuuluvat lisäksi varastoruuvi, varastoruuvin moottori ja voimansiirto sekä tankopurkaimen hydrauliyksikkö. Myös pudotussuppilon yläosa ja sammutusventtiili kuuluvat yleensä vakiovarusteluun.

Tankopurkaimen tärkeimpänä tehtävänä on koota ja siirtää hydrauliiikan avustuksella polttoainetta edestakaisin liikkuvilla kolilla sen keskellä olevalle purkuruuville, joka

taas kuljettaa massaa eteenpäin polttilanteessa kohti kattilaa. Kolat ja ruuvi toimivat yleensä omilla erillisillä laitteillaan. Liikasyöttö ja tätä kautta tapahtuva ruuvintukkeutuminen estetään automatiikan avustuksella.

Tankopurkain saa polttoaineensa tavanomaisesti sen yläpuolelle rakennetusta varastosiilosta, josta polttoaine tippuu syötön edetessä sen pohjalle. Laitteiston koko ja teho yleensä määrittävät varastosiilon koon, joka voi olla kymmeniäkin kuutioita. (Ariterm 2016 b, 16–17). Tämän opinnäytetyön ajokokeissa käytetään Aritermin valmistamaa T2-mallista pohjapurkainta.

3 Lannan ja puuhakkeen käyttömahdollisuudet energiantuotannossa

Tuotantoeläinten lannalla tarkoitetaan kiinteän ja nestemäisen ulosteen sekoitusta, jotka koostuvat lannasta sekä virtsasta. Lannassa on mukana yleensä kuiviketta, joka voi olla purua, olkea tai turvetta sekä mahdollisesti pesuvesiä, jotka ovat peräisin tuotantotiloista. Kuivituksessa käytettävien aineiden ja pesuvesien määrä vaihtelee tuotantosuunnan ja eläintenpitopaikan ratkaisujen mukaisesti. (Luonnonvarakeskus 2018.)

Lanta koostuu eläimen syömästä ravinnosta. Tämän lisäksi siihen vaikuttavat eläimen kasvu- ja aineenvaihdunta, sillä lantaan erittyy paljon aineita sekä ravinteita, joita eläin ei pysty käyttämään kasvuunsa ja elintoimintojensa ylläpitoon. Lannassa on paljon ravinteita kuten fosforia, hiiltä ja typpeä. Myös eläinlaji vaikuttaa lannan koostumukseen: siipikarjan lanta onkin väkevämpää kuin muiden tuotantoeläinten lanta. (Luonnonvarakeskus 2018.)

Lannan käyttöä rajoitetaan lain ja asetusten avulla. Lantaa ja muita orgaanisia lannoitteita saa käyttää lannoituksessa huhtikuun alusta lokakuun loppuun ja marraskuussa vain erityistapauksissa, kuten poikkeuksellisissa sääolosuhteissa. Asetukset koskevat myös broilerinlannan peltoon levitystä. (Maaseutuvirasto 2018.) Edellisten lisäksi huomioitavaa on myös se, että viljeltävissä kasveissa on eroavaisuuksia lannoitusmäärien käytön suhteen: toinen laji tarvitsee kehittyäkseen toista enemmän lannoitetta (Maaseutuvirasto 2018).

Hevosenlantaa on kokeiltu poltossa hakkeen ja kuivikkeena olleen purun kanssa. Hevosenlannan on todettu aiheuttavan ongelmia kuljettimien huoltoon ja hajuhaittoihin liittyen. Haittoja on voitu vähentää sekoittamalla lantaa suureen määrän sahanpurua. (Kauppinen 2005, 9–10.) Lisäksi lannan korkea kosteuspitoisuus vähentää polton hyötysuhdetta ja laskee kattilan tehoa. Tämä ilmiö on huomattu juuri hevosenlantaa poltettaessa. (Lehtinen 2017, 34.) Suuntaa antavaa tutkimusta lannan käytöstä syöttöjärjestelmässä ja poltosta biopohjaisen materiaalin kanssa siis on olemassa. Englannin kielisessä julkaisussa oli tutkittu broilerinlantaa biokaasun muodostuksessa yhdessä muiden lantojen kanssa erilaisina sekoituksina. Broilerinlannan syötettävyydestä tai poltostakaan siinä ei kerrottu, joka olisi lisännyt aiheen monipuolisuutta. (Demirci, Demirer, 2004.) Kuokkasen (2010, 39) mukaan broilerinlantaa on kokeiltu vertailukoikeena tehokkaassa laitospoltossa, eivätkä sen päästöt olleet korkeampia kuin tavannaisten polttoaineidenkaan.

Edellä kerrottiin Kauppisen (2005, 9–10) tekemästä työstä, jossa hevosenlantaa oli muutettu paremmin laitteistossa liikkuvaksi seostamalla sitä sahanpurulla. Periaatteessa broilerinlantaa voidaan myös muokata paremmin laitteistoon soveltuvaksi yhdessä koivuhakkeen kanssa. Laitteistossa käytettävän lannan tulee olla kuivaa, jotta murheet verraten kosteaan materiaaliin vähenisivät.

Näiden seikkojen voi olettaa pätevän myös broilerinlantaan. Broilerinlannan käyttöä kohdennetaan nyt aikaisempaa paremmin. Polttamisen jälkeenkin lannasta saatavaa tuhkaa voi vielä käyttää lannoitteena (Elintarviketurvallisuusvirasto 2018). Tämä lisää sen monikäyttöisyyttä.

3.1 Broilerinlanta

Suomessa tuotetaan broileria 230 tilalla, joiden keskikoko on noin 60 000 lintua. Broilereita ruokitaan etupäässä suomalaisella viljalla. Vuosittain kasvaakin noin 73 miljoonaa kappaletta teurasbroilereita. Suomessa käytetään saapuneen broilerierän kasvatustapana ”kaikki sisään - kaikki ulos” -menetelmää, jossa kaikki eläimet saapuvat untuvikkona kasvattamoon ja lähtevät kasvatuksen päätyttyä yhtenä eränä sieltä pois. Edellä kuvattu menetelmä tulee englanninkielisestä sanasta ”all in - all out” ja se on käytössä yleisesti maailmalla. Lopuksi kasvatustilat tyhjennetään, puhdistetaan ja desinfioidaan. (Broileriyhdistys ry 2018.)

Tuotannosta saatava broilerinlanta toimitetaan viipymättä kasvattamosta kasvukauden päättyessä jatkojalostukseen tai varastoon (Kuokkanen 2010, 17). Käsittelemätön tai huonosti varastoitu lanta aiheuttaa päästöjä ympäristöön, kuten ilmaan, maaperään ja vesistöihin (Kuokkanen 2010, 4). Yleisimpiä lannan käyttömahdollisuuksia ovat lannoituksen lisäksi kompostointi ja mädätys (Kuokkanen 2010, 2–4).

Broilerinlanta koostuu lannan lisäksi kuivikemateriaalina yleensä käytetystä turpeesta, koska sillä on paras ammoniakkin sitomiskyky (Kuokkanen 2010, 17). Turpeella on myös todettu olevan linnun jalkaterveyttä parantava vaikutus (Harrinkari 2009, 67). Turpeen pitoisuus broilerin kuivikelannassa on noin 1:10 sen massasta (Kuokkanen 2010, 20). Kuivikelanta on kuivikemateriaalin ja lannan seos (Kuokkanen 2010, 3). Opinnäytetyön koeajoissa käytettiin broilerin kuivikelantaa, jossa oli käytetty turvetta kuivikkeena. Irtotiheydet ja kosteudet määritettiin opinnäytetyössä käytetystä lannasta ennen ajokokeita standardeihin perustuen.

3.2 Koivuhake

Hake on biopohjaista uusiutuvaa polttoainetta, jota valmistetaan metsästä saatavasta puusta hakettamalla sitä koneellisesti lastuiksi erilaisilla hakkureilla. Hake valmistetaan koko- ja rankapuusta tai hakkuutähteistä, joihin kuuluvat kannot ja oksamassat. Valmistuksessa käytetään tavanomaisia lehti- ja havupuita, hakeseoksessa puulajien

pitoisuudet yleensä vaihtelevat. Puun raaka-aine, josta haketta valmistetaan tulee olla kuivanutta, jolloin se parantaa hakkeen tasalaatuisuutta. (Metsäkeskukset 2010.)

Hakkeen ihannekosteus on noin 20–25 prosenttia sen massasta, kosteuden lisääntyessä puun energiapitoisuus heikkenee. Liiallinen kosteus aiheuttaa myös hakkeen varastointiin ja käyttöön liittyen ongelmia, kuten jäätymistä. Hake on suunniteltu käytettäväksi erityisesti hakelämmitysjärjestelmiin ja sen laatu tulee olla kuivaa sekä tasaista, jotta laitteisto toimisi moitteetta. Yleisin hakkeen palakoko on 5–50 millimetriä. (Arterm 2016 a, 2–4.)

Koivu (*Betula*) on maamme yleisimmistä puulajeista kaikkein tihein ja sen puuaineen tiheydestä johtuen kaikkein energiapitoisinta puuta polton kannalta tarkasteltuna. Metsätalous käyttää niin hies- kuin rauduskoivusta yhteisnimeä koivu, koska ne ovat ominaisuuksiltaan samankaltaiset. Koivu on lehtipuu, mutta sen lahoamis- ja säänkestävyysominaisuudet ovat huonot. Tämä käy ilmi verratessa koivua esimerkiksi kuuseen tai mäntyyn, jotka ovat havupuita. Koivun puuaineen massa on kuivana 460–800 kilogrammaa yhdellä kuutiometrillä, kun taas vastaavat lukemat kuusella ovat 300–640 kilogrammaa kuutiolle sen ollessa kuiva. Koivun puuaines on melko kovaa ja korkean tiheydensä vuoksi painavaa. (Puuinfo 2018.) Koivuhake valmistetaan samaan tapaan kuten muukin hake, samat laatuvaatimukset valmistuksessa huomioiden.

Opinnäytetyön koeajoissa käytettiin kuivattua koivupuuhaketta, josta mitattiin ennen koeajoja standardien vaatimat kosteus- ja irtotiheydet, joista lisää kohdassa 4.1.

4 Tutkimuksen toteuttaminen

Työn toteutusosiossa kerrotaan aluksi yleisiä seikkoja polttoaineisiin liittyen, jotka tekevät omalta osaltaan mahdolliseksi ajokokeiden aloituksen ja luotettavuuden niitä suoritettaessa. Lisäksi osiossa perehdytään broilerinlannan ja koivuhakkeen

ajokokeiden valmisteluun ja kerrotaan niiden suorittamiseen tarvittavista laitteista. Varsinaisia ajokokeita käsitellään osion loppupuolella.

4.1 Tutkittavien aineiden alkumääritykset

Raaka-aineet saapuivat isoissa säkeissä kattilantestauslaboratorioon, niille tehtäviä laboratoriotutkimuksia varten. Broilerinlannan raaka-aineen turvallisuus oli varmistettu etukäteen tutkimalla se mahdollisista taudinaiheuttajista vapaaksi. Koivuhakkeessa ei vastaava tarvetta ollut.

Näytteet yksilöitiin määritysprosessissa antamalla jokaiselle näytteelle oma kirjaintunnus. Koivuhakkeen näytteitä erotettiin A- ja B-kirjaimilla ja taas vastaavasti broilerin lantaa C- ja D-kirjaimilla. Pian saapumisen jälkeen käynnistettiin biotalousinstituutin kattilantestauslaboratoriossa tutkimukset, joissa määritettiin ensin molemmista näyte-eristä irtotiheydet ja kosteudet saapumistilassa 26. – 27.11.2016.

4.1.1 Irtotiheyden ja kosteuden määrittäminen

Jyväskylän ammattikorkeakoulu noudattaa irtotiheyden ja kosteuden määrittämisessä saapumistilassaan **Standardeihin SFS-EN 15103 ja SFS-EN 14774-2:2010** perustuvia työohjeita TO 604 ja TO 602.

TO 604 sopii hyvin kiinteiden polttoaineiden määrittämiseen, joiden palakoko on suhteellisen pieni ja liikkuvat hyvin niitä liikuttaessa. Tällaisia polttoaineita ovat hake, turve ja tässä yhteydessä myös lanta. Irtotiheyden ja kosteuden mittaamisella voidaan määrittää näytteen energiatiheys. Tämä on tärkeää informaatiota kattilantestauslaboratoriolle saadessa esiselvitystä tilatun polttoaineen laadusta. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2015.)

Irtotiheyden määrittämisessä on useita työvaiheita ja siinä käytetään apuna erikokoisia mitta-astioita, joista yksi on kruunattu. Käytössä on myös vaaka, joka punnitsee

gramman tarkkuudella. Kosteus saapumistilassa määritetään heti irtotiheyden mittaamisen jälkeen TO 602 avulla. Määrittämisessä käytetään laboratorion kuivausuu-
nia ja vaakaa, jonka tarkkuus on 0,1 grammaa. Tässäkin määrittämisessä on monia työ-
vaiheita ja näytteiden kuivattamista uunissa yön ylitse. (Jyväskylän ammattikorke-
koulu 2014.)

Näitä edellä kuvattuja työvaiheita suoritettaessa on noudatettava erityistä huolelli-
suutta ja täsmällisyyttä luotettavien tulosten saamiseksi. Niissä on paljon pieniä yksi-
tyiskohtia, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti mittausten onnistumiseen. Esimerkiksi
turha viivyttely punnitustilanteessa voi aiheuttaa näytteen kosteuden menetykseen
tai sitten kosteuden lisääntymiseen ilman kautta. Tämä vääristää saatuja tuloksia.
Näytteiden koon on oltava oikea. Uunikuivaus aika ei saa ylittää 18 tuntia ja näyte on
aina pakattava käsittelyn jälkeen ja säilytettävä asiaan kuuluvalla tavalla. Mittaustu-
lokset on tallennettava. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2014.)

Taulukko 1. Broilerinlannan ja koivuhakkeen polttoaineanalyysit

Polttoaineiden teholliset lämpöarvot					
	HAKE A	HAKE B	BROILERIN- LANTA C	BROILERIN- LANTA D	MENETELMÄ
Kosteus (m%)	28,2	28,2	35,9	35,1	SFS-EN ISO 18134-2:2015
Kalorimetrinen läm- pöarvo (mj/kg ka.)	20,15	19,98	17,57	17,5	SFS-EN 14918:2010
Tehollinen lämpö- arvo (mj/kg ka.)	19,1	18,92	16,51	16,45	SFS-EN 14918:2010, mod
Tehollinen lämpö- arvo (mwh/t k-a)	5,3	5,26	4,59	4,57	SFS-EN 14918:2010
Tehollinen lämpö- arvo saapumistilassa (mj/ kg)	13,03	12,9	9,71	9,81	SFS-EN 14198:2010
Tehollinen lämpö- arvo saapumistilassa (mwh /t)	3,62	3,58	2,7	2,72	SFS-EN 14198:2010

4.2 Pommikalorimetri-mittaukset

Broilerinlanta ja koivuhake analysoitiin pommikalorimetrillä näytteiden kuivatuksen jälkeen ja työssä noudatettiin Jamk:n työohjetta numero TO 610. Laitte oli kattilantestauslaboratorin välineistöä ja malliltaan PARR 6200. Testaus suoritettiin 28.11.2016. Näytteet hienonnettiin ennen kalorimetrimittauksia laboratorion murskausmyllyllä.

Pommikalorimetrillä määritettiin kokeessa käytettävien näytteiden teholliset lämpöarvot, jotka ovat koottu taulukkoon 1. Laitteella mitataan tiiviiksi puristetusta polttoaine näytteestä vapautuva lämpöenergian määrä, minkä se palaessaan luovuttaa. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2013.) Laitteen avulla luodaan keinotekoiset hapelliset olosuhteet polttotestaukselle. Laitteen esi- ja loppuvalmisteluissa on monta vaihetta ja ne ovat aikaa vieviä, itse polttokoe on hetkessä ohitse. Kokeen jälkeen valmistuneet tulokset tulostuvat paperille.

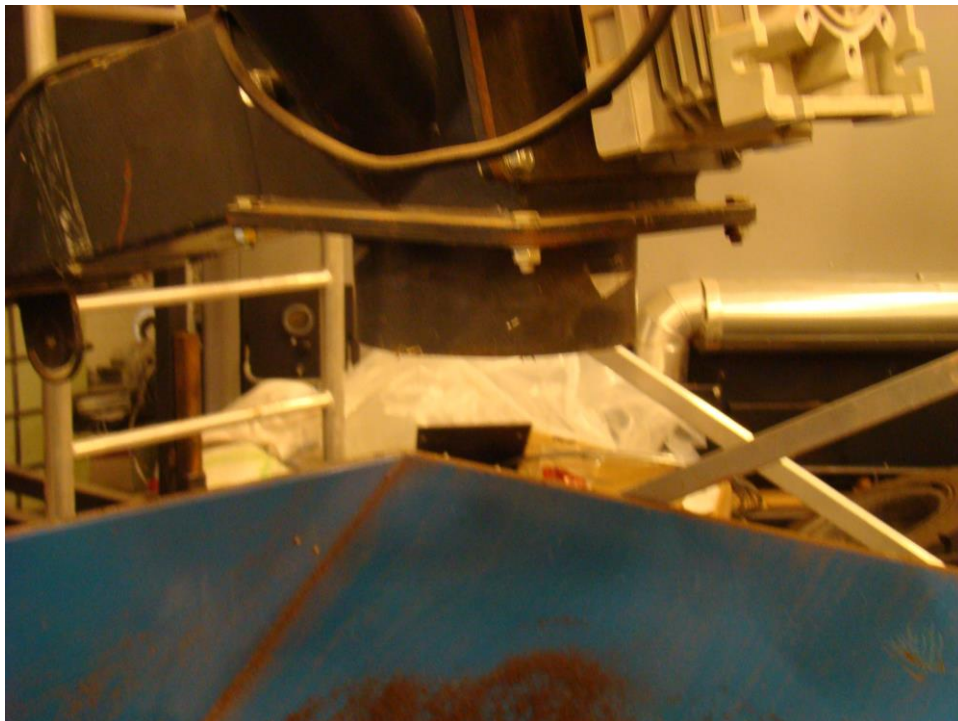
4.3 Koivuhakkeen ja broilerinlannan ajokokeiden toteutus

Ajokokeet suoritettiin kattilantestauslaboratorion tiloissa 16.–22.12.2016. Ajokokeita alku valmisteltiin kokoamalla ja asentamalla ensiksi kokeissa tarvittavat laitteet ja välineet. Kokeissa tarvittiin broilerinlannan ja koivuhakkeen lisäksi Aritermin valmistamaa T2-mallista tankopurkainta. Varastosiiloa, kippitoiminolla varustettua kahta metallista kuormalavaa ja trukkia. Lisäksi käytettiin elektronisia ja manuaalisia välineitä kokeiden tulosten taltioinneissa.

Ajokokeita valmisteltaessa kattilantestauslaboratorion Insinööri Puolamäki esitti huolensa broilerinlannan vaikutuksista hakelämmityslaitteiston osille, lähinnä metallin korroosion suhteen ja kuinka laitteiden kestoja voisi parantaa (Puolamäki 2016). Allekirjoittanut kysyi Ariterm Oy:n Kimmo Kantalaiselta sähköpostilla tuosta asiasta. Hänen vastauksensa oli käyttämällä paksumpaa metallia laitteistoissa sekä suojamaalikerroksia voidaan kestoja lisätä (Kantalainen 2017).

Ajokokeisiin päätettiin valita tilavuudeltaan viiden kuutiometrin kokoinen varastosiiilo, johon lisättiin polttoainetta ennen ajokokeiden aloittamista. Varastosiiilo toimi myös ajon aikaisena varastona testattavalle polttoaineelle koko kokeen keston ajan. Purkaimen ja siilon yhteyteen oli asennettu myös vaaka, jolla mitattiin ajokokeiden aloituspainot. Se välitti jatkuvasti tietoa massanmuutoksesta tietokoneelle, joka tallioi kokeiden tulokset. Manuaalista otantaa suoritettiin viiden minuutin välein ja aloituspainot merkittiin muistiin aina ennen ajojen alkua. Kokeen aikana polttoainemassojen syötettävyyttä ja tilanteen yleistä kehitystä seurattiin taukoamatta.

Ajokoe käynnistettiin kytkemällä laitteistoihin virrat päälle. Aloituslukema kirjautui tietokoneelle ja taltioitiin myös manuaalisesti ylös. Seuraavaksi varastosiiiloon kuormattiin näytepolttoainetta trukilla ja kippilavalla halutun aloituspainon verran. Toinen kippilava sijoitettiin laitteiston purkupäähän ottamaan ajettuja polttoaineita vastaan. Seuraavaksi käynnistettiin pohjapurkain, joka kokeessa kuljetti polttoainemassoja. Laitteisto tarkastettiin silmämääräisesti läpikotaisin läpi ennen starttia, että kaikki toimii.



Kuvio 2. Pohjapurkaimen pudotussuppilon osa

Haluttu ajonopeus valittiin kääntämällä potentiometriä suurempaan tai pienempään lukemaan ja näin ajokokeet pääsivät alkamaan. Ajokokeissa mitattiin ajonopeuksia hertzien avulla. Kuviossa 3. on taajuusmuunnin, jonka avulla ajokokeissa vaihdettiin ajonopeutta. Esimerkiksi sadan prosentin ajonopeudella nopeus oli suurin ja laitteen näytöllä näkyi lukema 48,48 hertziä. Taas vastaavasti 50 prosentin nopeus tarkoitti edellä olevan hertz-lukeman puolittumista. Polttoainemassojen virtaamien suhteen korkeammat hertz-lukemat tarkoittivat nopeampaa polttoainemassan virtausta ja matalammat päinvastaista.



Kuvio 3. Taajuusmuunnin

Kokeen edetessä tehtiin tarvittavia toimenpiteitä kuten tarkkailunperusteella havaittua kippilavojen vaihtoa niiden täytyessä. Mitään vakavia häiriöitä ei kokeiden aikana esiintynyt.

Ajokokeet lopetettiin massan vähentyessä ja virtaaman selvästi hidastuessa. Varsinainen kokeen lopetus tapahtui kääntämällä sähkökaapista hertzejä mittaava ja säätävä potentiometri nolla asentoon, jonka jälkeen syöttö lakkasi. Loppulukemat merkittiin muistiin ja virrat katkaistaan laitteistosta. Tietokone tallensi syöttödatan sekunnin tarkkuudella koko kokeen kestoajan. Broilerinlanta ja koivuhake ajettiin kumpikin omina ajokokeinaan sekä nopeuksina erikseen eikä polttoainelaatuja sekoitettu keskenään. Alkuperäinen tarkoitushan oli ajokokeessa syöttää polttoaineita kahdesta silosta, mutta lopulta jouduttiin ajamaan vain yhdestä laitteistopulan vuoksi.



Kuvio 4. Vasemmalla puolella broilerinlanta ja oikealla koivuhake ajokokeiden jälkeen

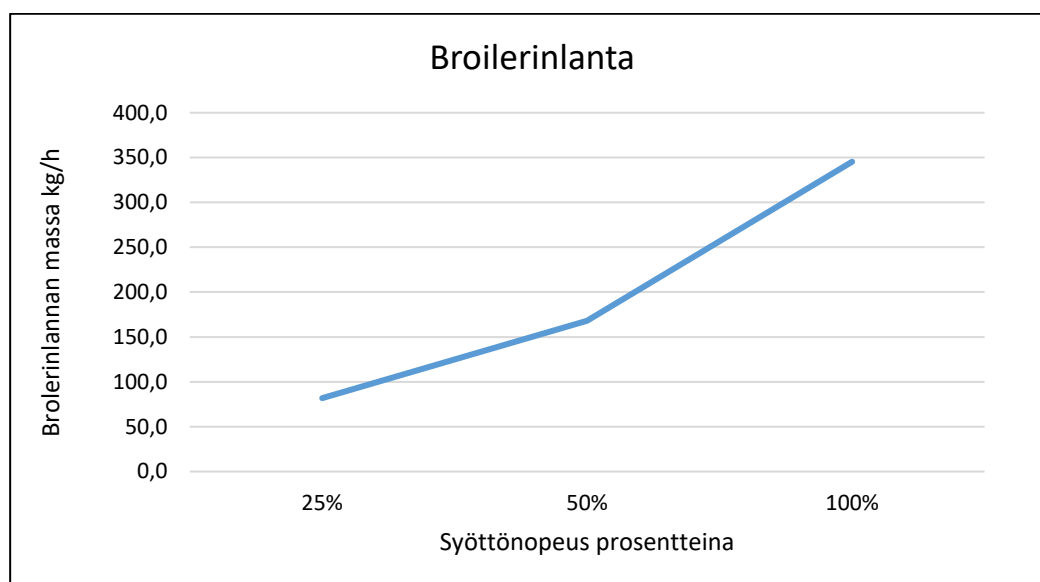
5 Tutkimustulokset

Tutkimustulokset osiossa perehdytään broilerinlannan ja koivuhakkeen koeajoissa saatuihin tuloksiin. Jokaiselle koeajolle lasketaan polttoainemassan syöttöparametri. Näin saatujen tulosten vertailu on helpompaa. Syöttöparametri on syötetyn polttoainemassan laskennallinen määrä tietyssä ajassa kilogrammoina mitattuna. Syöttöparametri määritetään näissä ajoissa yhdelle tunnille ja se ilmoitetaan syötetyn polttoainemassan määränä kilogrammoina tunnissa. Syöttöparametri lasketaan kaavalla **syötetty massa (kg) / syöttöaika (min) * 60 (min)**.

Kaikille ajetuille nopeuksille määritettiin myös kulmakerroin. Broilerinlannalle asetettiin kulmakertoimen määrittäminen 30 minuutin kohdalle. Koivuhakkeelle kulmakerroin määritettiin 60 ja 90 minuutin kohdille. Kulmakerroin laskettiin kaavalla **$y=k*a+b$** , jossa y on kulmakerroin. Tätä kaavaa apuna käyttäen laskettiin kulmakerroin jokaiselle koeajolle. Laskennassa apuna käytettiin Exceliä, jonka avulla kulmakertoimen pystyi valmiista taulukoista määrittämään.

5.1 Tutkimustulokset broilerinlanta

Broilerinlannan ajokokeet käynnistyivät noin 1500 kilogramman aloituspainosta ja kestivät ajallisesti 35–55 minuuttia. Broilerinlanta käyttäytyi ajoissa hyvin ilman minikäänlaisia häiriöitä, johon vaikutti sen hienorakenteisuus. Broilerinlanta oli pehmeän rakenteensa ansiosta helpposyöttöistä, jonka vuoksi lannan kulkeutuessa syöttöruuvin lävitse jauhautui se entistään hienommaksi. Silmämääräisesti tarkasteltuna broilerinlannan seosta näkyi kuivikkeena käytettyä turvetta ja muutama sattumanvarainen höyhen. Broilerinlannalla suoritettujen ajokokeiden tulokset ovat koottuna diagrammikaavioihin. Katso kuvat 5 ja 6.



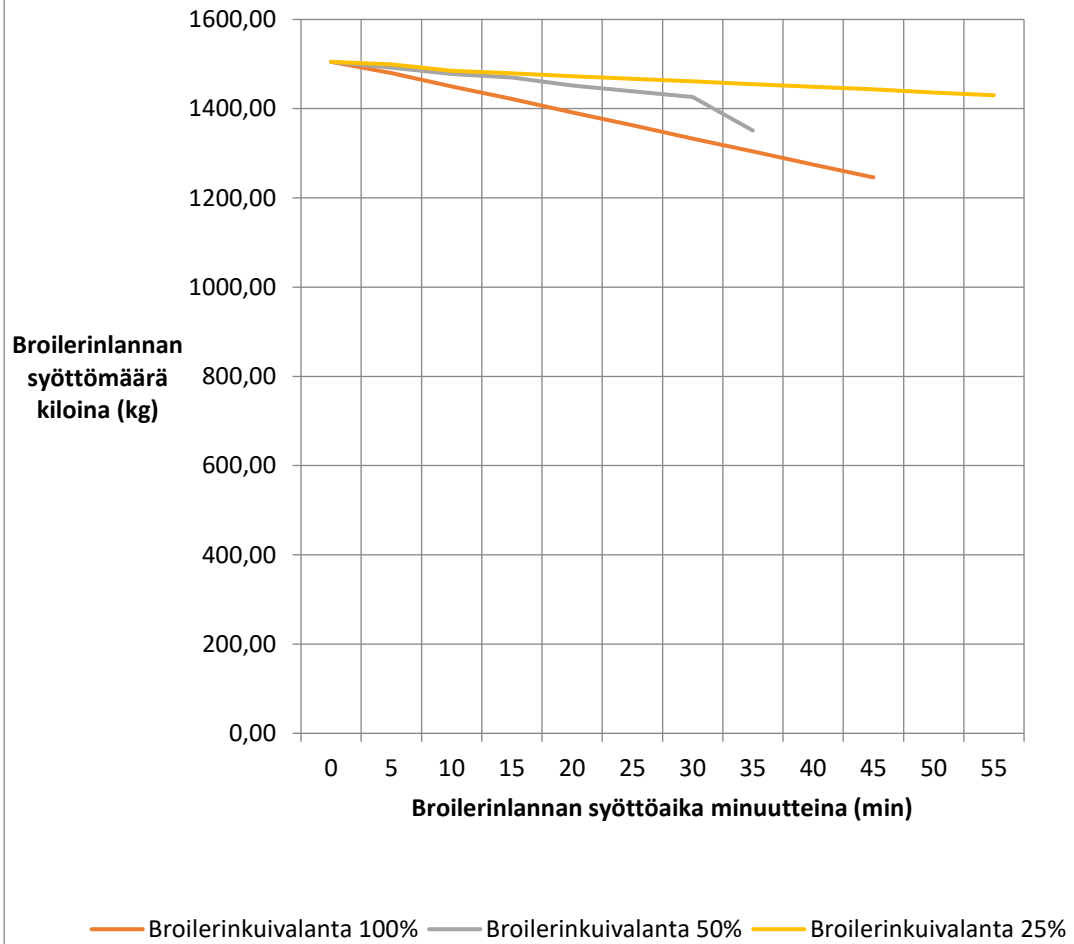
Kuvio 5. Broilerinlannan koeajot kilogrammoina tunnissa

Polttoaineensyöttö **25 prosentin** nopeudella eteni varsin loivasti johtuen alhaisesta ajonopeudesta. Tällä ajolla laskennassa saatiin kulmakertoimen tulokseksi –1,49 kohdassa 30 minuuttia. Kokeen kesto oli 55 minuuttia. Polttoainemassaa syötettiin ajokokeessa sadan kilogramman edestä. Polttoainemassan laskettu syöttöparametri on tässä ajokokeessa 81 kilogrammaa tunnissa.

Polttoaineensyöttö **50 prosentin nopeudella** nopeutui hieman ja 35 minuutin kohdalla kääntyi selvään laskuun. Viitisen minuuttia selvän laskun alkamisen jälkeen koe päätettiin. Kulmakertoimen tulos tälle syötölle oli $-2,64$ ajassa 30 minuuttia. Koe kesti 45 minuuttia ja polttoainemassaa ajettiin 150 kilogramman edestä. Polttoainemassan laskennallinen syöttöparametri tässä ajokokeessa on 168 kilogrammaa tunnissa.

Polttoaineensyöttö **100 prosentin nopeudella** sujui tasaisen loivasti koko kokeen ajan. Mitään syötön pikaista muutosta ei tällä nopeudella tapahtunut, vaan koe eteni alusta loppuun saakka samankaltaisesti. Kulmakertoimen tulos tälle syötölle oli kohdassa 30 minuuttia $-5,77$. Polttoainemassaa syötettiin ajokokeen aikana 150 kilogramman edestä. Polttoainemassan laskennallinen syöttöparametri tämän ajokokeen aikana on 345 kilogrammaa tunnissa.

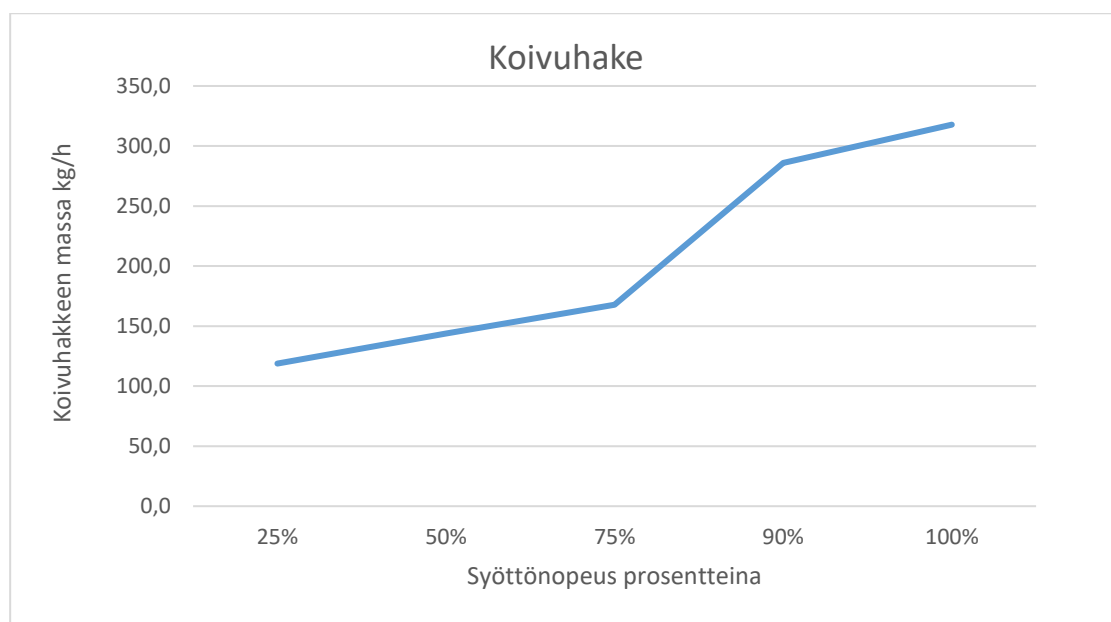
Broilerinlannan koeajot



Kuvio 6. Broilerinlannan koeajot syötön eri tehoalueilla

5.2 Tutkimustulokset koivuhake

Koivuhaketta testattiin 25, 50, 75, 90 ja 100 prosentin syöttönopeuksilla. Varastosii- loon lastattiin noin 820 kilogrammaa koivuhaketta. Tämä massaluokka toimi aloitus- painona kaikissa koivuhakkeen ajokokeissa. Ajokokeet koivuhakkeella kestivät 85 mi- nuutista 120 minuuttiin. Koivuhake on rakenteensa vuoksi kovempaa kuin broilerin- lanta ja tästä johtuen hieman huonommin syötettävää. Lyhytkestoisia syöttöhäiriöitä esiintyi joissakin vaiheissa ja nopeuksilla. Nämä johtuivat hakkeen karkeammasta ra- kenteesta verrattuna broilerin lantaan. Koivuhakkeen hakeutuminen hakekolille ja pohjapurkaimelle kestää tästä syystä hieman pidempään. Ajokokeissa käytettiin ko- kopuu koivuhaketta, joka oli haketettu rankapuusta. Mitään oksamassaan viittaavaa ei ollut havaittavissa. Silmämääräisesti tarkasteltuna koivuhake vaikutti kuivalta ja joissakin hakelastuissa oli jäämiä puun tuohesta. Koivuhakkeen ajokokeet on esitetty myös diagrammikaavioissa. Katso kuvat 7 ja 8.



Kuvio 7. Koivuhakkeen koeajot kilogrammoina tunnissa

Ajokoe 25 prosentin nopeudella käynnistyi koivuhakkeen lastauksella pohjapurkaimen varastosiiloon, jota siihen kuormattiin 820 kilogramman painosta. Koivuhake virtasi syöttölaitteistossa varsin tasaisesti aloituksesta, mutta selvä hidastuminen tapahtui noin 80 minuutin kohdalla. Kulmakerroin laskettiin kohdalle 60 minuuttia ja tulos on $-1,97$. Kulmakerroin laskettiin tässä myös vertailun vuoksi 90 minuutille. Se oli $-2,12$ ja vaakalukema näytti 707 kilogrammaa. Polttoainemassaa virtasi 113 kilogramman edestä 90 minuutin aikana. Polttoainemassaa syötettiin määrällisesti 110 kilogrammaa ajokokeen aikana ja kesto oli noin 100 minuuttia. Polttoainemassan laskennallinen syöttöparametri yhdessä tunnissa tässä ajokokeessa on 119 kilogrammaa syötettyä polttoainemassaa.

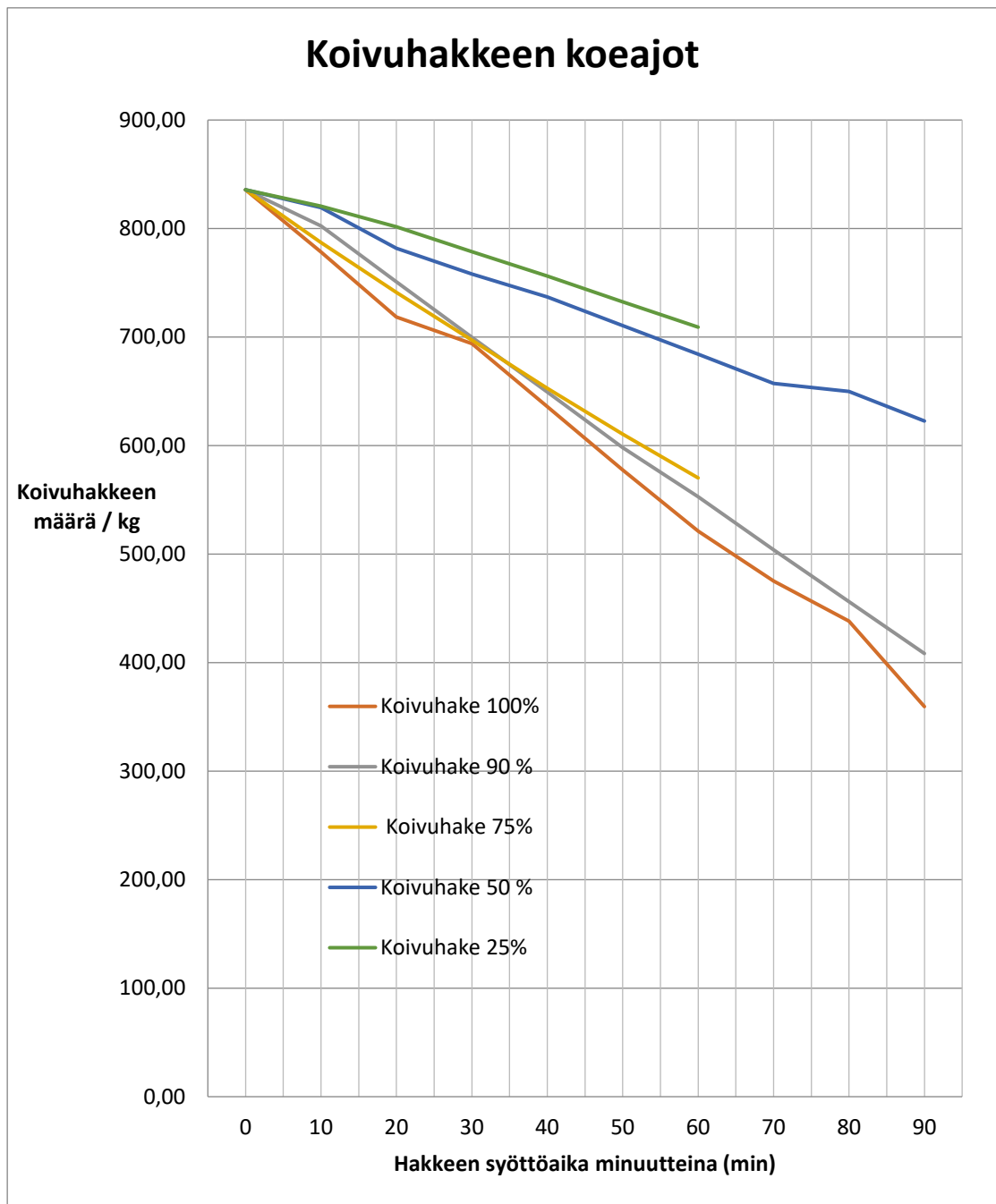
Ajokoe 50 prosentin nopeudella kesti kokonaisuudessaan 120 minuuttia väheten aloituksen 820 kilogrammasta noin 600 kilogrammaan kokeen aikana. Ajokoe eteni varsin tasaisesti aloituksesta noin 85 minuutin kohdalle, jolloin syöttönopeus hieinan notkahti. Syöttönopeus palasi takaisin alkuperäisellä käyrällään noin 100 minuutin kohdalla. Tämä johtui hakkeen hakeutumista kolille ja syöttöruuville. Kulmakertoimen tulos oli 60 minuutin kohdalla $-2,60$. Tässä ajossa kulmakerroin oli 90 minuutille laskettuna $-2,52$. Polttoainemassaa siirtyi siis 150 kilogramman edestä 90 minuutin ajon aikana. Polttoainemassaa syötettiin määrällisesti 220 kilogrammaa koko kokeen aikana. Polttoainemassan laskennallinen syöttöparametri yhdessä tunnissa tässä ajokokeessa on 143 kilogrammaa.

Ajokoe 75 prosentin nopeudella käynnistyi 820 kilogramman aloituspainosta ja kesti ajallisesti noin 85 minuuttia. Koivuhake virtasi tasaisesti ajokokeen alusta loppuun saakka. Ajokoe päätettiin ajan näyttäessä 85 minuuttia. Kulmakertoimen tulos oli 60 minuutin kohdalla $-4,57$ ja vaaka näytti lukemaa 703 kilogrammaa. Ajokokeen aikana syötettiin polttoainemassaa 250 kilogramman edestä. Polttoainemassan laskennallinen syöttöparametri yhdessä tunnissa tässä ajokokeessa on 168 kilogrammaa.

Ajokoe 90 prosentin nopeudella käynnistyi 820 kilogramman painosta ja kesti ajallisesti 120 minuuttia. Koivuhake virtasi tälläkin syöttönopeudella tasaisesti ja varmasti koko kokeen kestoajan. Kulmakertoimen tulos oli kohdassa 60 minuuttia $-4,84$ ja vaaka lukema oli 674 kilogrammaa. Polttoainemassaa syötettiin 60 minuutin aikana

142 kilogramman edestä. 90 minuutin kohdalla lukemat kulmakertoimelle olivat -4,91 ja vaaka 528 kilogrammaa. Polttoainemassaa syötettiin 90 minuutin aikana noin 290 kilogramman edestä. Kokonaissyöttö ajokokeessa oli noin 440 kilogrammaa. Polttoainemassa laskennallinen syöttöparametri tässä ajokokeessa on 286 kilogrammaa tunnissa.

Ajokoe 100 prosentin nopeudella käynnistyi 820 kilogrammasta ja kesti ajallisesti 120 minuuttia. Koivuhake virtasi tällä nopeudella suhteellisen hyvin, mutta hidastuminen tapahtui noin 45 minuutin kohdalla. Syöttö korjaantui notkahduksestaan 55 minuutin kohdalla. Koe eteni tästä 55 minuutin kohdasta tasaisesti puolisen tuntia kunnes 85 minuutin kohdalla syöttö hidastui noin kymmenen minuutiksi. Se palautui ennalleen 105 minuutin kohdalla jatkuen suhteellisen hyvänä kokeen loppuun saakka. Tässäkin ajokokeessa vähäiset häiriöt aiheutuivat hakkeen hakeutumisesta kolille ja syöttöruuville. Ajokoe tällä asetuksella lopetettiin 120 minuutin ajon jälkeen. Kulmakertoimeksi laskettiin 60 minuutin kohdalla -4,76 ja vaaka näytti 666 kilogramman lukemaa. Polttoainemassaa syötettiin 164 kilogramman edestä 60 minuutin aikana. 90 minuutin kohdalla vastaavat lukemat olivat -5,12 kulmakertoimelle ja vaaka lukema oli 493 kilogrammaa. Polttoainemassaa syötettiin 90 minuutin aikana 327 kilogrammaa. Ajokokeen kokonaissyöttö oli noin 490 kilogrammaa kahdessa tunnissa. Laskennallinen polttoaineen syöttöparametri yhdessä tunnissa tässä ajokokeessa on 318 kilogrammaa.



Kuvio 8. Koivuhakkeen koeajot syötön eri tehoalueilla

6 Johtopäätökset

6.1 Johtopäätökset broilerinlanta

Aiheen tutkimuskysymyksenä oli löytää oikeat syötönparametrit broilerinlannalle ja koivuhakkeelle sivusyötössä hakelämmitysjärjestelmässä? Broilerinlantaa ei ollut aikaisemmin syötetty polttoainekuljetinlaitteistossa tai aiheesta ei ainakaan löytynyt olemassa olevia tutkimuksia.

Broilerinlannan ajokokeet sujuivat hyvin: sen syöttäminen ei aiheuttanut ongelmia, polttoainemassan syöttäminen sujui tasaisen varmasti. Häiriöitä tai laitteistoon liittyviä ongelmia ei ajojen aikana esiintynyt. Tosin ajokertoja ei ollut kuin kolme kappaletta koko tutkimuksen aikana.

Tarkasteltaessa kaaviota numero 6 voidaan syötön olleen riippuvainen vain ajetusta nopeudesta. Polttoainemassa kulki sitä nopeammin mitä nopeammaksi ajonopeus ajossa kehittyi. Kovimmat massan muutokset saatiin ajonopeuksilla 50 ja 100 prosenttia. 50 prosentin ajolla massan kuvaajan notkahdus oli todella kova ajon loppupuoliskolla. Kulmakerroin laskelmat puhuivat myös taulukoissa esitettyjen kaavioiden puolesta. Syöttöparametri tunnille määritettiin jokaisesta ajokokeesta broilerinlannalle. Johtopäätöksenä voidaan todeta broilerinlannan soveltuvan ainakin näiden otantojen perusteella laitteistossa syötettäväksi.

6.2 Johtopäätökset koivuhake

Aiheen tutkimuskysymyksessä kysyttiin broilerin lannan lisäksi myös koivuhakkeen syöttöparametreja. Koivuhakkeen syöttöparametrit saatiin myös määritettyä. Hak-

keesta on aikaisempia tutkimuksia, jotka liittyvät lähinnä sen laadullisiin ominaisuuksiin. Niissä ovat nousseet esiin kostean hakkeen aiheuttamat ongelmat ja väärä palakoko, jotka ovat aiheuttaneet erilaisia ongelmia laitteistoissa.

Ajokokeissa käytettiin tasalaatuista ja alhaisen kosteuden omaavaa koivuhaketta. Ajokokeessa käytetty hake-erä oli tutkittua. Näissä ajokokeissa ei vielä havaittu merkittäviä ongelmia, mutta testauskertoja oli vain muutama.

Tarkasteltaessa kaaviota numero 8, joka käsittelee koivuhakkeen ajokokeita voidaan todeta sen olevan varmasyöttöistä. Syötöissä polttoainemassan eteneminen oli toki yhteydessä syötön nopeuteen, sen lisääntyessä massan eteneminenkin kasvoi samassa suhteessa. Kaaviosta voidaan todeta kahdella pienimillä nopeudella ajettun syötön hiipumista kokeen loppua kohden. Nämä hiipumiset johtuivat massan hakeutumisesta siilossa ja sen vähentymisestä. Koivuhake on rakenteestaan johtuen toki hieman syötön kannalta hitaampaa kuin broilerinlanta. Kolmella suurimmalla nopeudella noin selvää hakeutumista ei ollut havaittavissa. Kaikkein suurimmalla nopeudella ajettaessa lievää hidastelua aika-ajoin oli havaittavissa, joka korjaantui aina varsin nopeasti.

90 ja 75 prosentin nopeuksilla tehdyt kokeet kulkivat tasaisesti. Varsinaista käyrän notkahdusta ei ollut havaittavissa näillä nopeuksilla. Näissäkin kokeissa saatu kulma-kerroin tulos oli sitä enemmän miinus-merkkinen mitä kovempi oli ajettu ajonopeus. Johtopäätöksenä voidaan todeta koivuhakkeen toimivan hakelämmityslaitteistossa syöttölaitteistossa näiden ajokokeiden perusteella.

7 Pohdinta

Tutkimuksen voidaan todeta onnistuneen hyvin. Jokaiselle ajokokeessa testatulle polttoaineelle saatiin laskettua syötönparametri ja kulmakerroin. Samalla kerättiin lisää tietoutta lannasta ja hakkeesta kuten polttoaineen syötettävyydestäkin. Näiltä osin tutkimuksen voidaan katsoa toteutuneen. Aiheen tutkiminen ei tuonut mitään suuresti maata mullistavaa jo olemassa olevaan aineistoon. Kuitenkin siitä saatiin taltioitua aineistoa aiheen yleiseltä kannalta katsottuna.

Hyvin sujuvuudestaan huolimatta tutkimus ei ole täysin luotettava. Jokaista polttoainetta kokeiltiin vain kerran tietyllä syöttönopeudella. Luotettaviin tuloksiin pääseminen vaatisi varmasti kymmeniä tai satoja testauksia, jolloin voitaisiin saatujen tuloksien todeta olevan luotettavia. Ajokokeissa ajettiin vain yhtä laatua kerallaan suunnitellun kahden sijaan. Tämäkin on ongelmallista. Tutkimuksessa esiin nousut lannan aiheuttama kuormitus laitteistolle on ongelmallista, jos laitteiston käyttöikä lyhenee lannan vuoksi.

Aihe vaatisi siis lisää vastaavanlaisia testauksia tietyin variaatioin, jolloin sen voitaisiin katsoa olevan luotettava ja totuudenmukainen. Tutkimus ei siis vielä tällaisenaan voi toimia täysin varmana pohjana uusille tutkimuksille, vaan suuntaa antavana. Tästä huolimatta aiheen tutkimista kannattaisi jatkaa syöttökokein ja polttamalla testattuja aineita koepoltoissa erilaisina seoksina. Tämä menettely on suositeltavaa luotettavuuden varmistettavaksi. Broilerinlannan ja koivuhakkeen yhteiskäytölle löytyy todennäköisesti, joku sopiva ratkaisu jatkotutkimuksissa bioenergian tuotantoa kehitettäessä.

Tässä tutkimuksessa polttoaineita ajettiin vain yhden kotimaisen laitevalmistajan laitteilla. Olisi tutkimuksen syventämisen vuoksi järkevää testata niitä myös muiden laitetoimittajien ratkaisulla. Muillakin valmistajilla on myös tarjolla vastaavanlaisia laitteita ja niillä testaus voisi kenties olla hedelmällistä aiheen tietoisuuden lisäämisen kannalta.

Lähteet

- Ariterm 2016a. Hakelämmitys. Bio heatinguide. Fin. Viitattu 20.10. 2018.
- Ariterm 2016b. Hakepurkain. Bio heatinguide. Fin. Viitattu 10.10.2018.
- Broileriyhdistys ry 2018. Siipikarjantuotanto. Viitattu 20.8.2018.
<http://suomibroileri.fi/>.
- Demirci G, Demicer N. 2004. Bioresource teghnology June 2004. Viitattu 21.11.2018.
<https://www.sciencedirect.com/science/article>.
- Elintarviketurvalisuusvirasto 2018. Lannan polton tuhka. Viitattu 8.11.2018
<https://www.evira.fi/kasvit/lannoitevalmisteet/lannoitteet-ja-lannoitevalmisteet/kierratysravinteet/tuhkalannoitteet/>.
- Harrinkari T. 2009. Siipikarjantuotanto elinkeinona. Viitattu 24.11.2018.
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2015. Irtotiheyden määrittäminen saapumistilassa. Työohje numero 604. Viitattu 16.11.2018.
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2014. Kosteuden määrittäminen saapumistilassa. Työohje numero 602. Viitattu 16.11.2018.
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu 2013. Pommikalorimetrin käyttö. Työohje numero 610. Viitattu 14.11.2018.
- Kantalainen K. 2017. Purkain materiaali. Ariterm. sähköpostiviesti. Sähköpostiviestit lähetetty 20.10.2017.
- Kauppinen J. 2005. Hevosen lannan hyötykäytön mahdollisuudet. Opinnäytetyö. Viitattu 8.11. 2018.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20538/hevosenlannan_hyotykaytto
- Kuokkanen P. 2010. Kananlannan mädätys polton kannalta. Gradu. Viitattu 24.11.2018. <https://docplayer.fi/13168324-Kananlannan-ominaisuudet-madatyksen-ja-polton-kannalta.html>.
- Lehtinen J. 2018. Hevosenlannan hyödyntämisen mahdollisuudet ja haasteet toimijoiden silmin. Gradu. Viitattu 23.11.2018. <https://envitecpolis.fi/wp2017/wp-content/uploads/2018/06/2018-06-28-Gradu-Jasmin-Lehtinen-Envitecpoliskannet.pdf>.

Luonnonvarakeskus 2018. Lanta. Viitattu 5.10.2018. <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/biomassojen-kuvaukset/lanta/>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2018. Lannan poltto. Viitattu 24.11.2018. https://mmm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/alku.

Maa- ja metsätalousministeriö 2018. Hevosen lanta. Viitattu 24.11.2018. https://mmm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/hevosenlannan-poltto-helpottuu-lannan-tuottajat-ja-vastaanottajat-loytavat-toisensa.

Maaseutuvirasto. 2018 Lanta asetus. Viitattu 8.10.2018. <http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelijä/Sivut/lannoitus.aspx>.

Metsäkeskus. 2010. Laatuhakkeen tuotanto-opas. Viitattu 28.6.2018.

Metsäkeskus.2013. Energiapuuta päätehakkuulta-opas. Viitattu 23.11.2018.

Puolamäki K. 2016. 2018. Haastattelu Lannan vaikutuksista laitteistolle 16.12.2016. Tarvaala. Haastattelu polttilanteen päästöjen raja-arvot 13.11.2018. Tarvaala. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Puuinfo. 2018. Puulajit. Sivun viitattu 25.8.2018. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puulajit>.

Ympäristöministeriö 2017. Ympäristö. Sivun viitattu 24.11.2018. <http://www.ymparisto.fi/FI>.