



Matti Puranen ja Ville Savela

MUOVIN JA OLJEN HYÖDYNTÄMINEN PELLETTÖINNISSÄ

MUOVIN JA OLJEN HYÖDYNTÄMINEN PELLETOINNISSÄ

Matti Puranen
Ville Savela
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma, yritystoiminnan suuntautumisvaihtoehto

Tekijät: Matti Puranen, Ville Savela
Opinnäytetyön nimi: Muovin ja oljen hyödyntäminen pelletöinnissä
Työn ohjaajat: Mikko Aalto, Anu Hilli, Ritva Imppola
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 40

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä etuja saadaan käyttäessä muovia pelleteissä, sekä millainen muovi-olki-hake-seos palaa parhaiten ja aiheuttaa vähiten päästöjä. Tavoitteena oli myös pellettien mekaanisen kestävyuden selvittäminen sekä pelletin valmistukseen kuluneen ajan, energian ja työn sujuvuuden selvittäminen.

Pellettien raaka-aineina käytettiin paalimuovia, haketta ja pyöröpaalattua olkea. Empiirisenä osana opinnäytetyötä suoritettiin pelletin valmistus kolmella eri raaka-aineseoksella Oulun seudun ammattikorkeakoulun koepelletöintilaitteistolla. Pelleteistä määritettiin irtotiheys, kosteuspitoisuus ja mekaaninen kestävyys. Polttokokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikössä energialaboratoriossa pellettipolttimella ja lämpöarvot määritettiin Oulun yliopiston pommikalorimetrillä. Työn tilaajana oli Oulun seudun ammattikorkeakoulun Luonnonvara-alan yksikön EkoPelletti T&K –hanke.

Pellettien mekaaninen kestävyys oli hyvä, vaihdellen 95,3 %:sta 96,8 %:iin. Muovia, olkea ja haketta sisältävien pellettien kalorimetriset ja teholliset lämpöarvot olivat hieman alhaisempi kuin pelkästä puusta valmistettujen pellettien. Eri seosuhteilla valmistettujen pellettien savukaasujen CO₂-pitoisuudessa ei ollut suurta eroa, mutta suurimman määrän olkea sisältävän pelletin CO₂-pitoisuus oli alhaisin, mutta vastaavasti NO-pitoisuus korkein. Energiakulutus oli keskimäärin 0,175 kWh/kg. Kun muovin määrää kasvatettiin 10 %:iin raaka-ainemäärästä, tällöin ilmeni tällä laitteistolla ongelmia raaka-aineiden sekoittumisessa, mikä aiheutti tukkeumia puristimelle johtavalla ruuvikuljettimella.

Kokeiden tulosten perusteella voidaan arvioida, että paras hake-olki-muovi-seos oli seosuhde 65-30-5% (pelletti B), koska sen kohdalla sekä pelletin puristaminen että polttokoe onnistui hyvin. Nyt tehtyjen kokeiden perusteella voidaan todeta muovin ja oljen lisäämisen puupohjaiseen pellettiin mahdollistavan muovin ja oljen hyödyntämisen pelletöinnissä ja siten polttamisen pienemmissä polttolaitoksissa ja pellettikattiloissa.

Asiasanat: Pelletöinti, bioenergia, muovi, seospelletti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in agricultural and rural industries, Option of Entrepreneurship

Authors: Matti Puranen ja Ville Savela

Title of thesis: Plastic and straw utilization in production of pellets

Supervisors: Mikko Aalto, Anu Hilli, Ritva Impola

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2013

Number of pages: 40

Priority of this thesis was to find out what benefit there would be from using plastic in pellets, and which kind of plastic-straw-wood-mixture burns best and causes least carbon black and loss. Target was also to find out mechanical durability, energy, the work flow and the time used to product pellets.

This thesis has been conducted as an assignment from production tests of pellets, where quality of different pellet mixtures were tested. Used materials to pellets were bale plastic, wood chip and round baled straw in three different mixtures. The experiential part of the study was carried out producing pellet in three different mixtures on test pellet manufacturing equipment in Oulu University of Applied Sciences. From pellets density, moisture concentration and mechanical durability were found out. Burn tests of the pellets were carried out at the energy lab of School of Engineering in Oulu University of Applied Sciences and thermal value diagnosed in University of Oulu with bomm calorimeter. The subscriber of this thesis was Oulu University of Applied Sciences School of Renewable Natural Resources EkoPelletti T&K-project.

Mechanical durability of pellets was good, alternately from 95,3 % to 96,8 %. Pellets which contain plastic, straw and wood chip the calorimetrical and effective thermal value were a bit lower than only from wood chip pellets. With different mixtures producted pellets flue gas CO₂ – concentration there were no big difference, but pellet which include the biggest amount of straw, CO-concentration was lowest and consistently NO-concentration was highest. Consumption of energy was on average 0,175 kWh/kg. When amount of plastic was raised to 10 % of raw material amount, then appeared problems with this equipment in raw material's mixing. That caused jams for spiral conveyer which leads raw material to press.

By the results it can be estimated, that the best mix was wood chips-straw-plastic-mixture (pellet B) with mixture ratio 65-30-5%, because in that mixture pressing of pellet as well as burning test were successful. As a final result of this thesis it can be said that increasing the amount of plastic and straw in wood chip pellets allows using of plastic and straw also in smaller stations and pellet boilers.

Keywords: Pellet manufacturing, bioenergy, plastic, mixture pellet

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 Johdanto	6
2 Pelletin tuotanto nykyään	8
3 Aineisto ja menetelmät	11
3.1 Laitteisto	11
3.2 Pellettien raaka-aineseokset ja raaka-aineiden käsittely	18
3.3 Kosteuspitoisuusmittaus	20
3.4 Irtotiheys ja mekaaninen kestävyys.....	22
3.5 Pellettien polttokokeet	24
3.6 Lämpöarvon määrittäminen.....	24
3.7 Tutkimuksen toteutus	25
4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	28
4.1 Irtotiheys.....	28
4.2 Kosteuspitoisuus.....	29
4.3 Mekaaninen kestävyys	30
4.4 Polttokoe ja lämpöarvot	31
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	36
LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Palamisella tarkoitetaan aineen kemiallista yhtymistä happeen. Palamisen yhteydessä vapautuu reaktiolle ominainen energia lämpönä. Palamisen yhteydessä muodostuu aina vettä (H_2O) ja hiilidioksidia (CO_2). Yleensä palaminen on epätäydellistä, jolloin palamisen yhteydessä muodostuu muun muassa häkää eli hiilimonoksidia (CO) ja muita haitallisia päästöjä, kuten hiukkaspäästöjä ja hiilivetyjä. Mikäli polttoaine sisältää rikkiä, muodostuu palamisessa myös rikkidioksidia (SO_2).

Euroopan Unionin (EU) tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin päästöjä. Tavoitteena on laskea kasvihuonekaasujen päästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Merkittävimpiä kasvihuonekaasujen päästölähteitä ovat fossiilisten polttoaineiden, kuten hiilen, maakaasun ja öljyn polttaminen energiatuotannossa. Lisäksi kasvihuonekaasuja syntyy muun muassa maataloudessa ja teollisissa prosesseissa. Lisäksi EU:n tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä alueella. Uusituvien energialähteiden osuuden pitäisi nousta 20 % energiankulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Biomassojen käytön lisääminen vähentää myös kasvihuonekaasupäästöjä.

Suomessa pyritään uusiutuvien energialähteiden osalta lisäämään esimerkiksi tuulivoimaa ja biopolttoaineiden käyttöä. Biopolttoaineista pyritään lisäämään erityisesti puusta peräisin olevien polttoaineiden käyttöä, mutta myös erilaisten viljelykasvien biomassoja on viime aikoina tutkittu ja pyritty hyödyntämään energiatuotannossa. Viljelykasvien biomassoista on hyödynnetty muun muassa olkea ja ruokohelpeä. Puuperäisten polttoaineiden käyttöä pyritään lisäämään erityisesti lämmön tuotannossa. Kaikessa palamisessa vapautuu kasvihuonekaasuista hiilidioksidia, mutta puun tai muiden biomassojen polttamisen ei katsota lisäävän hiilidioksidipäästöjä, koska biomassoja poltettaessa vapautuu sama määrä hiilidioksidia, jonka kasvit ovat kasvaessan sitoneet.

Lämpöenergiantuotannossa on 1990-luvulta lähtien käytetty pellettejä. Pelletit on perinteisesti valmistettu puuperäisiä tuotteista, kuten sahanpurusta ja kutterinlastusta. Pelleteissä ei käytetä lisäaineita vaan pellettien puristusprosessin yhteydessä puuaineen sisältämä ligniini sitoo rakenteen yhteen.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun Luonnonvara-alan yksikön EkoPelletti T&K –hanke. Hankkeessa kehitetään ensisijaisesti maatilamittakaavan pelletöinnin teknisiä ja taloudellisia ratkaisuja. Lisäksi hankkeen tavoitteena on selvittää uusien materiaalien soveltuvuutta pellettien raaka-aineeksi ja selvittää hajautetun pellettituotannon mahdollisuuksia.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin muovin käyttöä pellettien lisäaineena, sillä muovin käytöstä pelleteissä on hyvin vähän aiempaa tietoa. Pellettien raaka-aineina käytettiin paalimuovia, haketta ja pyöröpaalattua olkea. Paalimuovi ja olki valittiin pellettien raaka-aineiksi, sillä paalimuovijätettä ja olkijätettä syntyy isolla osalla maataloista. Pelletit valmistettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun koepelletöintilaitteistolla. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen muovi-olki-hakeseos palaa parhaiten ja aiheuttaa vähiten päästöjä ja hävikkiä. Tärkeää oli myös pellettien mekaanisen kestävyuden selvittäminen, jotta pelletti kestää käsittelyä. Valmistuksessa selvitettiin myös, miten pelletin raaka-aineiden eri seossuhteet vaikuttivat pelletin valmistukseen kuluvaan aikaan, energian kulutukseen ja työn sujuvuuteen.

2 PELLETTIN TUOTANTO NYKYÄÄN

Kiotoon ilmastosopimuksella, joka on tullut voimaan vuonna 2005, on ollut tavoitteena laskea kuuden kasvihuonekaasun päästöjä vuoden 1990 tasosta vielä 5,2 %. Tavoitteena on ollut, että tähän tasoon päästään vuoteen 2012 mennessä. Kasvihuonekaasut, joiden pitoisuuksia on tavoitteena alentaa ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorivedyt ja rikkihesafluoridi (Ympäristö 2011, hakupäivä 14.5.2013). Vuonna 2013 EU sopi kaikkia jäsenmaita koskevasta veloitteesta, jolla pyritään laskemaan päästöjä edelleen. Tavoitteena on laskea kasvihuonekaasujen päästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tämän lisäksi tulee uusiutuvien energianlähteiden käyttöä lisätä 20 %:iin energiankulutuksesta. Myös liikenteen biopolttoaineden määrää tulee kasvattaa. Tavoitteena on, että liikenteessä käytettyjen biopolttoaineiden osuus nousisi 10 %:iin vuoteen 2020 mennessä. (Ympäristö 2013, hakupäivä 14.5.2013.)

Biopolttoaineiden käytön lisääntyminen on ollut maailmalla yleistä, kun öljyn hinta on noussut ja hiilidioksidipäästöjä on aloitettu rajoittamaan. Biopolttoaineilla ja uusiutuvien luonnonvarojen käytöllä energiantuotannossa pyritään pitämään energian hintaa alhaisena (Bioenergia Suomessa 2012, hakupäivä 14.5.2013). Biopolttoaineiden kehittämisen tulee lähteä kotimaan energiantuotannon tarpeista ja ulkomaan viennin mahdollisuuksista.

Puuta on käytetty lämmön lähteenä kautta aikojen. Puupilkkeitä ja haketta käytetään pientaloissa maaseudulla yleisesti lämmityksessä. Maaseudulla asuvista suurin osa omistaa metsää, joten puun hyödyntäminen lämmityksessä on ollut helppoa. Pellettilämmityksen suosio on kasvanut, sillä se on ympäristöystävällinen lämmitystapa (Vapo 2005, 7).

Pelletti on kovaksi puristettua puuta, joka ei sisällä puun kuorta ollenkaan, tällöin siitä tulee tuhkaa hyvin vähän. Perinteisesti pellettiä valmistetaan puusta. Puulajeina ovat yleensä havupuut. Pelletöintiin sopivaa materiaalia tulee puusepän verstaan sivutuotteena ja

sahateollisuudesta. Puusepän verstaalta tuleva materiaali on riittävän kuivaa pellettien valmistukseen. Suositeltava kosteuspitoisuus pellettien valmistuksessa käytettävälle materiaalille on 10-15 %. Sen sijaan sahteollisuudesta saatava materiaali voi olla hyvinkin märkää, tällöin puun kosteuspitoisuus voi olla yli 50 %. (Pellettienergia 2013, hakupäivä 10.5.2013.) Mikäli raaka-aineen kosteuspitoisuus ylittää 15 %, se joudutaan kuivaamaan ennen pelletointiä.

Pelletin tuotanto Suomessa aloitettiin 1990-luvun lopulla ja tällä hetkellä Suomessa toimii noin 27 pellettitehdasta. Pelletin tuotanto Suomessa toimii markkinaehtoisesti. Osalle tehtaista on perustamisvaiheessa myönnetty investointitukea. (Pellettienergia 2013, hakupäivä 10.5.2013.) Pelletti- tehdas sijaitsee yleensä lähellä tuotantolaitosta, mistä saadaan materiaalia pelletointiin kohtuullisilla kuljetuskustannuksilla. Pellettitehdas voi sijaita myös sahan tai puusepänverstaan yhteydessä, tällöin raaka-ainemateriaalin siirtäminen onnistuu kuljetinta pitkin, eikä materiaalia tarvitse lastata maantiekuljetuksiin ennen kuin valmiina pellettinä.

Ulkomaan vientiin Suomessa valmistetusta pelletistä menee noin puolet. Vientimaita ovat Ruotsi, Tanska, Saksa ja Englanti. Vuonna 2009 vientiin meni 140 000 tonnia pellettiä, jonka arvo on noin 20 miljoonaa euroa. Puupelletin ulkomaan vienti vaihtelee sen mukaan, miten raaka-ainetta saadaan pelletin valmistukseen (Metsäntutkimuslaitos 2010, hakupäivä 17.5.2013).

Muodoltaan pelletit ovat sylinterinmallisia, noin 1-3 cm pituisia ja 6-8 mm paksuisia. Pelletti kuutio painaa 650-700 kg, eli 1000 kg pellettiä vaatii 1,5 m³ varastotilaa. Yksi kuutio pellettiä vastaa 300-330 l kevyttä polttoöljyä. Kun puu on puristettu pieneksi, se mahtuu pieneen varastoon, joka on sovitettavissa vaikka omakotitaloon. Omakotitalo vaatii noin 8 m³ pellettivaraston. Tällöin varastoon mahtuu vuoden pellettien tarve, mikä on noin 6 m³ eli 4000 kg. (Motiva 2009, hakupäivä 14.5.2013.)

Riittävän suuren ja hyvälaatuisen pellettimäärän tuotanto kohtuullisella energiankulutuksella on olennaista tuotannon kannattavuudelle. Laadukas pelletti on hyvin käsittelyä kestävä, tasamittaista ja kovaa eikä sen joukossa saa olla murentunutta hienoaainesta. Riittävän tiheyden määritelmä on, että pelletti ei jää kellumaan veden pinnalle. (Aalto 2013, hakupäivä 14.5.2013.)

Muovin ominaisuuksia pelletöinnissä on tutkittu aikaisemmin vähän. Jätteen kokonaispainosta muovien osuus on noin 5-10 %. Muovien raaka-aineena käytetään öljyä, joten muovi koostuu yhdestä tai useammasta hiilivetypolymeeristä. Lisäksi eri muovilaaduissa on usein lujiteaineita sekä erilaisia täyte- ja seosaineita. Muovin lämpöarvo on korkea (20-40 MJ/kg) verrattuna esimerkiksi kuivan puupilkkeen lämpöarvoon, joka on noin 13-14 MJ/kg. (Alakangas & Oravainen, hakupäivä 10.5.2013.)

Kun pelletin raaka-aineeksi on lisätty kestopuuvia 2,5 %, pellettiin on saatu paremmat lujuusominaisuudet ja parempi sään kestävyys. Lisäksi muovin lisäämisellä pelletin raaka-aineeksi saavutettiin matalampi puristusarvo, joka puolestaan vähentää matriisin kulumista. Tutkimuksen mukaan puuvia sisältävien pellettien palaminen on nopeampaa ja polttoarvo korkeampi, sekä lopputuloksena vähemmän tuhkaa. (Hyrkäs 2010, 17.)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Laitteisto

Laitteistona toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun omistama kuorma-autolla liikuteltava pienpellettilaitteisto (kuva 1). Merikontin sisälle on rakennettu koneketju, jolla voidaan valmistaa pellettiä. Laitteistossa on esimurskain, vasaramylly, välisäiliö ja pellettipuristin. Näiden koneiden välissä on ruuvikuljettimia ja pneumaattisia kuljettimia. Kokonaisuutta ohjataan kosketusnäytön kautta toimivalla ohjainyksiköllä.



Kuva 1. Pienpellettilaitteisto (kuva Mikko Aalto Oamk)

Esimurskain on tarkoitettu karkealle materiaalille. Sillä partikkelikoko saadaan pienittyä 5-10 millimetriin. Esimerkiksi hake ja oljet käsitellään ensin esihakkurilla. Esimurskain on kooltaan

raskas, noin 350 kg ja sen työsaavutus puulla on noin 400 kg tunnissa. Oljet syötetään hakkuriin käsin. Hakkeelle on oma kaatosuppilo. Kaatosuppilon pohjalla on verkko, mihin liian suuret oksat ja puun palaset jäävät (kuva 2.). (Sweden power chippers AB, 14-17.)



KUVA 2. Esimurskaimen hakkeen syöttökaukalo (kuva: Ville Savela)

Toinen murskain tässä koneketjussa on vasaramylly (kuva 3.), jolla materiaali hienonnetaan vielä esimurskainkäsittelyn jälkeen. Esimurskaimelta materiaali kulkee aina vasaramyllyn lävitse ja materiaali siirtyy pneumaattisesti ilmavirran mukana koneesta toiseen. Vasaramyllyssä seulan koko (8, 6, 5, 4 tai 3 mm) voidaan valita materiaalin mukaan. Materiaali puristetaan seulan läpi. Kokeissa käytettiin 6 mm seulakokoa. Hienompaa materiaalia käytettäessä riittää pelkkä vasaramyllyn käyttö. Tällöin materiaali kaadetaan vasaramyllyn päällä olevaan kaatosuppiloon, josta ilmavirta kuljettaa sen vasaramyllyyn. (Sweden power chippers AB, 14-17.)



KUVA 3. Vasaramylly (kuva: Ville Savela)

Vasaramyllyn jälkeen materiaali kulkee kontin katolla olevaan sykloniin, missä ilmavirran kuljettaman hienonnetun materiaalin nopeus laskee (kuva 4.). Syklonin alapäässä on sulkusyötin, joka purkaa materiaalin välisäiliöön ilman pölyongelmaa. Välisäiliössä on sekoitin sisällä, tällöin voidaan säiliön päällä olevasta aukosta lisätä pellettiseokseen eri komponentteja. (Sweden power chippers AB, 14-17.)



KUVA 4. Kuvassa on keskellä välisäiliö ja kontin päällä sykloni. (kuva: Ville Savela)

Välisäiliön jälkeen materiaali syötetään pellettipuristimelle ruuvikuljettimella. Ruuvien nopeutta voidaan säätää portaattomasti taajuusmuuntajan avulla ohjaustaulusta. Portaattomalla säädöllä mahdollistetaan se, että materiaalia saadaan syötettyä oikea määrä syöttökaukaloon ja siitä syöttö- eli kolleripyöriin. Syöttöpyörät painavat materiaalin matriisiin, missä paineen ja lämmön noustessa muodostuu materiaalista pellettiä. (Sweden power chippers AB, 14-17.)

Pellettipuristin on tyypiltään rengasmatriisipuristin (kuva 5.). Pellettipuristimessa on taajuusmuuttajalla varustettu sähkömoottori, millä säädetään syöttöpyörien nopeutta ja samalla sitä, kuinka paljon pellettiä tunnissa valmistuu. Materiaalin rakenteesta riippuu, paljonko syöttöpyörät pystyvät painamaan matriisiin materiaalia. Valmiit pelletit tipahtelevat matriisin ulkopinnalta mattokuljettimelle (kuva 6.), millä pelletit kuljetetaan jäähdytystorniin. Kokeessa käytetyn matriisin reikäkoko on 8 mm. Matriisin paksuus on 55 mm, mikä soveltuu puulle ja oljelle. Matriisin leveys on 33 mm ja sisähalkaisija on puolestaan 220 mm. Syöttöpyörät ovat kooltaan 100 mm. (Sweden power chippers AB, 14-17.)



KUVA 5. Pellettipuristimen matriisi ja yleiskuva (kuvat: Ville Savela & Mikko Aalto Oamk)



Kuva 6. Pelletit tippumassa mattokuljettimelle (kuva: Ville Savela)

Jäähdytystornissa pelletit ovat ritiläsäiliössä (kuva 7.), missä pelletin annetaan jäähtyä. Matriisissa pehmentynyt ligniini kovettuu jäähtyessään ja sitoo pelletin hiukkaset kemiallisesti toisiinsa, jolloin rakenteesta tulee kestävämpi. Jäähdytys tapahtuu imemällä ulkoilmaa pellettien lävitse. Pölyn poistaminen pelleteistä parantaa niiden toimintavarmuutta kuljettimissa ja poltossa. Pölyä irtoaa silloin, kun pelletit ovat tornissa jäähtymässä sekä silloin, kun pelletit lasketaan pois tornista. Jäähdytystornista pellettien ulosotto tapahtuu vinoa kuljetinpintaa hyödyntäen. Kuljetinpinta on valmistettu reikälevystä ja lisäksi on vibraattori (kuva 8.). Reikälevyn alapuolella on imuri, joka vie pölyt ja irtomateriaalin pois. Vibraattori liikuttaa pellettejä, jolloin irtoaines irtoaa pelletin pinnalta. (Sweden power chippers AB, 14-17.)



KUVA 7. Pelletin jäähdystorni (kuva: Ville Savela)



Kuva 8. Pelletin laskeminen jäähdystornista pois (kuva: Ville Savela)

3.2 Pellettien raaka-aineseokset ja raaka-aineiden käsittely

Pellettien raaka-aineina käytettiin paalimuovia, haketta ja pyöröpaalattua olkea kolmella eri seoksella (Taulukko 1.). Seosaineiden prosenttiosuudet laskettiin kokonaismassasta. Muovi oli peräisin pyöröpaalista. Muovi pienitettiin käsin puukolla noin 20-30 cm x 50 cm palasiin (kuva 9.). Tämän jälkeen paalimuovin palaset hienonnettiin pieniksi palasiksi vasaramyllyllä (kuva 10.). Pyöröpaalissa on muovia kuusi kerrosta päällekkäin, nämä tuli irrottaa toisistaan, jotta muovi saatiin syötettyä vasaramyllyn lävitse. Vaikka muovi syötettiin suhteellisen hitaasti vasaramyllyyn, se meni tukkoon pari kertaa, kun liian suuria muovinpalasia kertyi myllyyn.

Taulukko 1. Pellettien raaka-aineseokset

	Massa kg	Muovi %	Olki %	Hake %
Pelletti A	30	5	45	50
Pelletti B	30	5	30	65
Pelletti C	30	10	40	50



KUVA 9. Muovin pienintä (kuva: Ville Savela)



KUVA 10. Pienittyä muovisilppua välisäiliössä (kuva: Ville Savela)

Metsähakkeen kosteuspitoisuus oli 20,1 %, joten sitä kuivattiin vuorokausi lavakuivurissa (kuva 11.). Kuivatun hakkeen kosteuspitoisuus oli 12,1 %. Tämän jälkeen metsähake pienitettiin esimurskaimella ja vasaramyllyllä. Hakkeen hienontamisessa ei ilmennyt mitään ongelmia. Olki oli pyöröpaalissa, mistä se piti käsin repiä esimurskaimeen ja tämän jälkeen se hienonnettiin vasaramyllyllä. Olki oli viljan olkea, mikä oli kosteudeltaan kuivaa. Oljen hienontamisessa ei ollut ongelmia.



KUVA 11. Hakkeen lavakuivuri (kuva: Ville Savela)

Kun kaikki materiaalit saatiin hienonnettua, ne punnittiin ja määritettiin 30 kg valmistuserään tarvittavat määrät eri raaka-aineita välisäiliöön. Välisäiliössä oli sekoitin, mikä sekoitti materiaalit. Osa sekoittamisesta tapahtui vasaramyllyn kaatosuppilossa, mihin materiaalit kaadettiin. Tällöin kaikki materiaali kulki uudestaan vasaramyllyn lävitse. Laitteiston välisäiliöön mahtui juuri 30 kg erä kerralla.

Pelletin puristamisen alkuvaiheessa lisättiin matriisiin kolleripyöriin rypsiä, tällä varmistettiin, ettei matriisi mennyt tukkoon puristamisen alkuvaiheessa. Samoin puristusvaiheen lopussa kaadettiin rypsiä joukkoon, jolloin matriisiin jää sisään rypsiä sisältävää materiaalia. Rypsiä sisältävät pelletit otettiin erilleen, eli koepelleteissä ei ole rypsiä mukana.

Seoksilla A ja B puristaminen oli sujuvaa, mutta seoksella C muovi nousi pintaan välisäiliön sekoittimessa ja aiheutti kuljettimen tukkeutumisen puristusvaiheen lopussa. Tämän takia seos C:n pelletöintimäärä jäi 27 kg. Elevaattori siirsi pelletit puristimelta jäähdytystorniin, jossa ilmavirta jäähdytti pelletit. Jäähdytystornista pelletit siirtyivät seulan kautta varastoitaviksi. Seulan avulla pieni materiaali saatiin varistettua pois pellettien seasta.

3.3 Kosteuspitoisuusmittaus

Pellettien raaka-aineiden seosten ja valmiiden pellettien kosteuspitoisuus määritettiin pikamittarilla (Bio Moisture Wile), kolmen mittauksen keskiarvona ja uunikuivausmenetelmällä. Pikamittarilla mittaukset suoritettiin kolmesta eri kohdasta astiaa ja mittaukset suoritettiin myös eri syvyyksiltä. Uunikuivausta varten raaka-aineseosta ja pellettejä punnittiin noin 300 g näytteet.

Uunikuivausta varten alumiiniset astiat punnittiin 0,1 g tarkkuudella. Raaka-aineseokset ja pelletit levitettiin tasaiseksi kerrokseksi astioihin. Lämpökaappi säädettiin 105 asteen lämpötilaan, johon näyte ja vertailunäytteet laitettiin noin vuorokaudeksi (22,5 tuntia) (kuva 12.). Raaka-aineseoksista oli näytteen lisäksi kolme vertailunäytettä. Pelleteistä oli puolestaan yksi näyte ja

yksi vertailunäyte. Näytteet punnittiin välittömästi lämpökaapista poistamisen jälkeen. (SFS-Käsikirja 2012, 217-228.)



KUVA 12. Pelletin kosteudenmääritys lämpökaapissa (kuva: Ville Savela)

Kosteuspitoisuus laskettiin märkää polttoainetta kohti ja tulos ilmoitettiin kosteuspitoisuutena kuivaa ainetta kohti (U_d). Kosteuspitoisuuden laskennassa käytettiin seuraavaa kaavaa (SFS-Käsikirja 2012, 226):

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) - (m_4 - m_5) + m_6}{(m_2 - m_1) + m_6} \times 100$$

Kuivaa ainetta kohti määritettyjen kosteuspitoisuuksien suhde massaprosentteina laskettiin seuraavasti:

$$U_d = \frac{M_{ar}}{100 - M_{ar}} \times 100$$

Missä

M_{ar} on haihtunut näyteosuus (g) tai kostean näytteen alkuperäinen massa (g)

m_1 on tyhjän astian massa (g)

m_2 on astian ja näytteen massa ennen kuivausta (g)

m_3 on astian ja näytteen massa kuivauksen jälkeen (g)

m_4 on vertailuastian massa ennen kuivausta (g)

m_5 on vertailuastian massa kuivauksen jälkeen (g)

m_6 on pakkaukseen sitoutuneen kosteuden massa (g)

u_d on kosteuspitoisuus

3.4 Irtotiheys ja mekaaninen kestävyys

Irtotiheys määritettiin pellettien raaka-aineseoksille ja pelleteille. Määrittämisessä käytettiin pientä mitta-astiaa (1 litra). Astian tilavuus ja massa määritettiin ennen analyysiä. Tyhjä lieriömäinen astia taarattiin. Tämän jälkeen astia täytettiin näytemateriaalilla, joka tiivistettiin ja punnittiin. Irtotiheys laskettiin seuraavasti (SFS-Käsikirja 2012, 267-286):

Irtotiheys saapumistilassa $BD_{ar}(M_{ar}) = \frac{(m_2 - m_1)}{V}$

V

Kuiva-aineen irtotiheys $BD_d = BD_{ar} \times \frac{(100 - M_{ar})}{100}$

100

Missä

BD_{ar} on irtotiheys saapumistilassa, kg/m^3

BD_d on kuiva-aineen irtotiheys, kg/m^3

M_{ar} on kosteuspitoisuus saapumistilassa paino-%

m_1 on tyhjän astian massa, kg

m_2 on täyden astian massa, kg

V on mittausastian nettotilavuus, m^3

Pellettien mekaaninen kestävyys määritettiin rumpuseulalla. Mekaanisella kestävyydellä tarkoitetaan tiivistettyjen polttoaineiden, kuten pelletin isku- ja/tai hankautumiskestävyyttä polttoaineen käsittely- ja kuljetusvaiheiden aikana. Mekaanisessa kestävyyskokeessa pelletit altistettiin iskuille hallitusti, jolloin ne törmäilivät toisiinsa ja laitteen seinämiin. Mekaaninen kestävyys laskettiin näytemassalle, joka jäi jäljelle jauhautuneiden ja pieniksi murskautuneiden näytteenosien poiston jälkeen. (SFS-Käsikirja 2012, 336.)

Näytteestä (0,5 kg) erotettiin kevyesti käsin seulomalla 3,15 millimetrin seulan läpäisevä aines. Tämän jälkeen loppuosa näytteestä käsiteltiin pölytiivissä testauslaitteessa, joka pyöri 50 kierrosta minuutissa. Testauksen kokonaisaika oli 10 minuuttia eli 500 kierrosta. Tämän jälkeen näyte seulottiin uudestaan ja punnittiin seulalle jäänyt näytteen osuus. (SFS-Käsikirja 2012, 336-340.)

Pellettien mekaaninen kestävyys laskettiin seuraavalla kaavalla (SFS-Käsikirja 2012, 340):

$$D_U = \frac{m_A}{m_E} \times 100$$

Missä D_U on mekaaninen kestävyys prosentteina

m_A on seulottujen pellettien massa testauskäsittelyn jälkeen (g)

m_E on pellettien massa ennen testauskäsittelyä (g)

3.5 Pellettien polttokokeet

Pellettien polttokokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön energialaboratorion pellettipolttimella. Kokeet suoritti Minni Kukkonen. Pellettilaaduista saatiin suoritettua polttokoemittaukset kahdella eri teholla, 16 kW:n ja 20 kW:n teholla seoksille muovi 5 %, olki 30 % ja hake 65 % sekä seoksella muovi 10 %, olki 40 % ja hake 50 %. Seokselle, joka sisälsi muovia 5 %, olkea 45 % ja haketta 50 % saatiin polttokoe suoritettua vain 16 kW:n teholla.

Savukaasun analysointiin käytettiin Kane 900 Plus -savukaasuanalysaattoria. Laite mittaa savukaasun lämpötilan, ympäristön lämpötilan, hiilimonoksidin, hapen ja typpioksidin määrän. Savukaasuanalysaattori laskee CO₂-pitoisuuden ja palamisen hyötysuhteen. Palamisen hyötysuhteen laite antaa polttoaineen hiili- ja vetytitoisuuden, sekä savukaasujen lämpötilan avulla laskennallisena arvona. Savukaasuhäviöt jakautuvat vapaisiin (kuumat kaasut) ja sidottuihin häviöihin, joita ovat palamattomat kaasut, lähinnä CO. Vapaat häviöt lasketaan polttoaineen lämpöarvon, kosteuspitoisuuden ja hiilipitoisuuden avulla, lisäksi tarvitaan savukaasun lämpötilan ja ympäristön lämpötilan erotus ja jäännöshappipitoisuus. Nokiluku määritettiin siten, että käsipumpulla vedetään savukaasua suodattimen läpi, joka värjäytyy. Värjäytymisen perusteella määritetään silmämääräisesti nokiluku. (Kylmänen 14.5.2013, sähköpostiviesti.)

3.6 Lämpöarvon määrittäminen

Lämpöarvo määritettiin pommikalorimetrillä. Kun lämpöarvo määritetään pommikalorimetrillä, näyte poltetaan happi-ilmakehässä veden ympäröimässä tilassa. Lämpötilan muutos näytteen ympärillä olevassa vedessä ilmaisee näytteen lämpöarvon, jonka laite mittaa. Veden määrä on vakio ja laite on kalibroitu, jolloin kaikki kokeet ovat verrannollisia toisiinsa. Eli tietty määrä energiaa vaaditaan nostamaan yksi celsiusaste veden lämpötilaa. (Kuokkanen, Kolppanen & Kuokkanen 13.5.2013,1.)

Kalorimetrisessä lämpöarvossa eli ylemmässä lämpöarvossa huomioidaan palamisen aikana höyrystyvän veden höyrystymisenergia. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan yleisimmin tehollisena lämpöarvona. Tehollinen lämpöarvo saadaan laskettua muunnoskaavan avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta. Tehollisessa lämpöarvon laskennassa huomioidaan polttoaineen sisältämän vedyn palamisessa syntyvän ja savukaasuissa poistuvan vesihöyryn haihduttamiseen kuluva lämpömäärä (Kuokkanen, Kolppanen & Kuokkanen 13.5.2013, 5).

Absoluuttisen kuivan polttoaineen tehollinen eli alempi lämpöarvo $Q_{net,d}$ saadaan laskettua vastaavasta kalorimetrisestä lämpöarvosta $Q_{gr,d}$ seuraavasti:

$$Q_{net,d} = Q_{gr,d} - 0,02441 \times H\% \times (18,015) \quad (2,016)$$

Missä

0,02441(MJ/kg) = veden höyrystymislämmöstä aiheutuva korjaustekijä vakio tilavuudessa(+25°C)

H % =Polttoaineen sisältämä vedyn määrä prosentteina

18,015= veden (H₂O) molekyylipaino

2.016 = vedyn (H₂) molekyylipaino

3.7 Tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyön toteuttaminen aloitettiin tutustumalla pelletin valmistamiseen yleisesti. Pelletin valmistajilla oli tarkkoja kuvauksia puupelletin valmistamisesta omilla mainoksissa ja nettisivuilla. Muovin yhdistämisestä pellettiin ei löytynyt aikaisempaa materiaalia ollenkaan. Pelletit valmistettiin kahtena eri päivänä. Ensimmäisellä kerralla (23.10.2012) valmisteltiin raaka-aineet ja

puristettiin pelletti A. Samalla määritettiin A pellettiseoksen ja pellettien kosteuspitoisuus, mekaaninen kestävyys sekä irtotiheys. Toisella kerralla (30.10.2012) valmistettiin pelletit B ja C, sekä suoritettiin samat kokeet kuin pelletti A:lle. Lisäksi tehtiin kosteuden määrittäminen uunikoella lämpökaapissa kaikille pelleteille. Uunikoetta varten A-pellettiseoksesta ja siitä valmistetuista pelleteistä oli otettu näytteet uunikuivausta varten ilmatiiviiseen muovipussiin.

Valmiista pelleteistä (kuva 13.) sekä puristamattomasta materiaalista määritettiin kosteuspitoisuus pikamittarilla ja uunikoella. Mekaaninen kestävyys määritettiin tasorummussa. Irtotiheys määritettiin valmiista pelletistä sekä puristamattomasta materiaalista. Polttokokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulussa tekniikan yksikössä energialaboratoriossa pellettipolttimella ja lämpöarvo määritettiin Oulun yliopiston kemianlaitoksen pommikalorimetrillä.



Kuva 13. Valmiit pelletit (kuvat: Ville Savela)

4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

4.1 Irtotiheys

Irtotiheys oli suurin seoksen B pelletin raaka-aineessa (muovi 5 %, olki 30 % ja hake 65 %) ja pelletissä (Taulukko 2). Tässä seoksessa hakkeen osuus oli suurin. Pelletti C:n irtotiheys oli alhainen suhteessa muihin pelletteihin, mutta raaka-aineseoksen irtotiheys oli kuitenkin korkeampi kuin seos A:n. Nyt tutkittujen seospellettien irtotiheys oli samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa tutkimuksissa saatujen hake-ruokohelpiseoksesta tai hake-kauranolki-seoksesta valmistettujen pellettien (470-513 g/l). Kuitenkin nyt tutkittujen muovi-olki-hakeseospellettien irtotiheys oli selvästi korkeampi kuin hakkeesta tai hake-muoviseoksesta (5/95 %) valmistettujen pellettien irtotiheys, joka on vaihdellut 383-402 g/l (Impola 16.10.2012, sähköpostiviesti).

Taulukko 2. Pelleteissä käytettyjen raaka-aineseosten ja pellettien irtotiheydet.

	Pelletti A	Pelletti B	Pelletti C
Raaka-aineen irtotiheys g/l	122,79	139,21	129,65
Pelletin irtotiheys g/l	490,78	514,37	471,02

4.2 Kosteuspitoisuus

Pelleteissä käytettyjen raaka-aineseoksien kosteuspitoisuudet vaihtelivat pikamittarilla pelletti C:n 12,2 %:sta pelletti A:n 13,9 %:iin. Lämpökaapissa mitatut kosteuspitoisuudet olivat raaka-aineella hieman alhaisemmat verrattuna pikamittarilla saatuihin tuloksiin (Taulukko 3). Jokaisessa seoksessa kosteuspitoisuus laski tasaisesti kahdesta kolmeen prosenttia valmiissa pelleteissä verrattuna raaka-aineseoksiin. Alhaisin kosteus oli pelletti C:ssä, alle 10 %.

Pelletin kosteuspitoisuus oli pikamittarilla mitattuna selvästi korkeampi kuin uunikuivauksesta saatu tulos. Kosteuspitoisuuksien ero näiden kahden mittausmenetelmän välillä voi osittain johtua siitä, että pikamittari oli kalibroitu nimenomaan hakkeen mittaukseen.

Aikaisemmin samalla laitteistolla tehdyssä pelletöinnissä, jossa raaka-aineseoksessa oli muovia mukana, oli kosteuspitoisuus kahdella eri seoksella pikamittarilla mitattuna 17,7 % ja 11,97 % ja uunikokeesta saatu kosteuspitoisuus 13,19 % ja 9,56 % Tässä seoksessa oli ensimmäisissä muovi/hake 5/95 % ja toisissa muovi /puru 5/95 % (Impola 16.10.2012, sähköpostiviesti).

Taulukko 3. Pelletin ja raaka-aineseosten kosteuspitoisuudet

	Pelletti A	Pelletti B	Pelletti C
Raaka-aineen kosteuspitoisuus pikamittarilla %	13,9	13,0	12,2
Raaka-aineen kosteuspitoisuus lämpökaapissa%	13,7	11,2	11,7
Pelletin kosteuspitoisuus pikamittarilla %	18,9	16,8	16,1
Pelletin kosteuspitoisuus lämpökaapissa%	11,2	10,1	9,8

4.3 Mekaaninen kestävyys

Paras mekaaninen kestävyys oli pelletillä, jonka raaka-aineen seossuhde oli muovi 5 % - olki 45 % - hake 50 % (Taulukko 4). Tämän pelletin mekaaninen kestävyys oli lähes 97 %. Toisin sanoen pelletin hankaus- ja kuljetuskestävyys oli hyvä, sillä vain kolme prosenttia pellettien massasta laskettuna oli jauhautuneiden ja pieniksi murskautuneiden palasten osuus. Toisissa pellettiseoksissa mekaaninen kestävyys oli noin 1,5 % heikompi. Kuudesta valmistettujen pellettien sekä havupuupellettien käsittelykestävyydet vaihtelevat yleisesti 96-99 % ja lehtipuusta valmistettujen pellettien noin 95-96 %:iin (Työtehoseura 2005, 2-3).

Nyt saadut mekaaniset kestävydet vastasivat aiemmin tällä laitteistolla tehtyjen pellettien mekaanisia kestävyksiä hyvin. Aikaisemmin tehdyt kokeet seoksilla muovi/hake (5/95 %) ja muovi /puru (5/95 %), tuottivat mekaaniseksi kestävyudeksi 82,14 % ja 95,95 %. Puolestaan hake-ruokohelpi- tai hake-kauraseoksista valmistettujen pellettien mekaaniseen kestävyteen (64-88 %) verrattuna näiden seospellettien mekaaninen kestävyys oli parempi. (Impola 16.10.2013, sähköpostiviesti).

Taulukko 4. Muovia sisältävien seospellettien mekaaninen kestävyys

	Pelletti A	Pelletti B	Pelletti C
Rummutuslujuus %	96,83	95,31	95,36

4.4 Polttokoe ja lämpöarvot

Muovi-olki-hake-pellettilaaduissa ei keskenään ollut palamisen osalta suuria eroja. Muovia eniten sisältänyt pelletti tuotti myös nopea eniten (Taulukko 5), kun taas olkea vähiten sisältävä paloi puhtaimmin. Tehon nostaminen, eli pelletin syötön lisääminen oli tehtävä näillä muovia sisältävillä seospelleteillä portaittain, jottei pellettipoltin sammunut. Muita polttoaineita poltettaessa (puu, hake, muovi-puru, muovi-hake) syöttöä pystyi suurentamaan kerralla niin suureksi kuin halutun tehon saavuttamiseksi oli tarpeen. Rakenteeltaan muovi-olki-hake-pelletit olivat helposti murenevia, mikä aiheutti poltossa liekin ajoittaista heikkenemistä. Muovi 5 % - olki 45 % - hake 50 % -sekoitus (pelletti A) syttyi ja paloi kolmesta muovia sisältäneestä pellettistä parhaiten. Se syttyi nopeimmin ja palaminen oli tasaisinta. Tämä sekoitus myös paloi suurimmalla liekillä näistä tutkituista muoviseospelleteistä (Kukkonen 31.1.2013, sähköpostiviesti).

Korkein kalorimetrinen lämpöarvo oli pelletillä C, lähes 20,5 megajoulea kilossa ja pellettien A ja B lämpöarvo oli noin 19 megajoulea/kg (Taulukko 5). Toisin sanoen saavutetut teholliset lämpöarvot olivat yli 4 kWh/kg sekä muovi 5 % - olki 30 % - hake 65 % että muovi 10 % - olki 40 % - hake 50 % seoksista valmistetuissa pelleteissä (Taulukko 5.). Saavutettu lämpöarvo jäi alle neljän kWh/kg vain pelletissä, jossa oli käytetty eniten olkea (muovi 5 % - olki 45 % - hake 50 %). Eniten olkea sisältävää pellettiä kului myös poltossa eniten, koska tämän pelletin syttyminen oli hidasta (Kukkonen 31.1.2013, sähköpostiviesti). Tämän vuoksi siitä saatiin polttokoe suoritettua vain 16 kW teholla.

Taulukko 5. Pellettien lämpöarvot ja syötetyt pellettimäärät

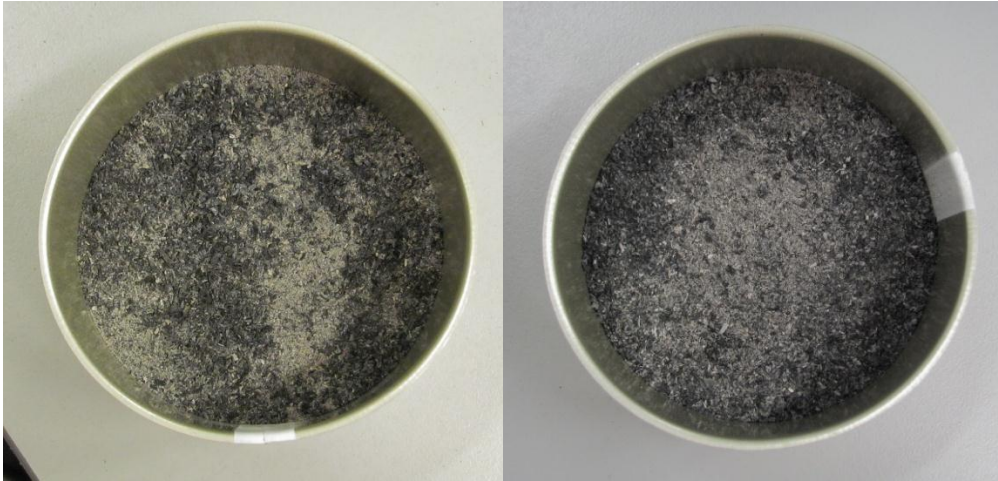
Pellettilaatu	Tavoite kW	Syötetty polttoaine g/h	Polttoaine- ero g/10min	Lämpö- arvo MJ	Saavutettu lämpöarvo kWh/kg	Nokiluku
Pelletti A	16	3542	708,4	18,99	3,83	2
Pelletti B	15	3223	644,6	19,66	4,09	0-1
	20	2178	726,0		4,14	0-1
Pelletti C	16	3325	665,0	20,48	4,02	2-3
	20	3333	744,3		4,22	2-3

Näiden seospellettien lämpöarvot megajouleina mitattuina vastasivat hyvin kutterinlastusta ja sahanpurusta sekä puuhakkeesta valmistettujen pellettien kalorimetrisia lämpöarvoja, jotka vaihtelevat 18,5-19,2 megajouleen/kg (Kuokkanen 2013, 6). Puusta valmistetuissa pelleteissä tehollinen lämpöarvo on 4,75 MWh tonnia kohden (Vapo 2005, 10) ja kalorimetrinen lämpöarvo 19-21 MJ/kg (Kuokkanen 2013, 6), joten näiden muovi-olki-hake-seospellettien teholliset ja kalorimetriset lämpöarvot jäivät jonkin verran alhaisemmiksi verrattuna puupellettien lämpöarvoihin.

Pellettiä kului vähiten käytettäessä seosta, joka sisälsi haketta eniten (muovi 5 % - olki 30 % - hake 65 %). Lisäksi pienin raaka-aineen kulutus saavutettiin, kun teho oli nostettu 20 kW:iin tunnissa (Taulukko 5.). Muovia eniten sisältävää pellettiä poltettaessa muodostui kuitenkin klinkkeriä (kuva 14), mitä ei kahdessa muussa laadussa ilmennyt (kuva 15).



KUVA 14. Muovi 10 % - Olki 40 % - Hake 50 % - seoksen tuhkat ja klinkkeriä. (kuva: Minni Kukkonen)



KUVA 15. Vasemmalla muovi 5 % - olki 30 % - hake 65 % ja oikealla muovi 5 % - olki 45 % - hake 50 % - seosten tuhkat. (kuvat: Minni Kukkonen)

Muovi-olki-hake-seospellettien hyötysuhde oli noin 92 % (Taulukko 6.). Muovi-olki-hake-seospellettien hiilidioksidipitoisuudet vaihtelivat 12-13 %:iin savukaasujen osuudesta (Taulukko 6.). Verrattuna pelkästään puusta valmistettujen pellettien polttoon näiden muovia sisältävien pellettien hiilidioksidipäästöt olivat jonkin verran korkeammat, sillä puusta valmistettujen pellettien poltossa ei synny hiilidioksidia juuri lainkaan (Vapo 2005, 10). Aikaisemmin tehtyjen muovia ja purua tai muovia ja haketta sisältäviin pellettiseoksiin verrattuna näiden seospellettien hiilidioksidipitoisuus savukaasuissa oli keskimäärin hiukan alhaisempi (Kukkonen 2013, sähköpostiviesti), koska seassa oli olkea. Nyt tutkittujen pellettien savukaasut sisälsivät happea noin 8 %, joka on huomattavasti vähemmän verrattuna hakkeen, kuoren ja purun polttoon, joissa happipitoisuus on vaihdellut 37-40 % (Jalovaara, Aho, Hietamäki & Hyytiä 2003).

Taulukko 6. Savukaasujen pitoisuudet ja palamisen hyötysuhde

	Teho kW	Lämpötila savukaasu °C	Lämpötila huone °C	O ₂ %	CO ppm	CO ₂ %	NO ppm	Palamisen hyötysuhde %
Pelletti A	16,27	159,3	21,6	7,9	66,4	12,5	314,7	92,5
Pelletti B	15,81	158,0	20,7	8,9	79,7	11,7	274,8	91,9
	18,05	170,4	21,7	8,1	93,2	12,4	296,2	91,4
Pelletti C	16,04	160,6	20,3	8,4	87,5	12,1	271,2	92,3
	18,85	178,1	21,7	7,6	93,2	12,9	307,2	92,0

Hiilimonoksidia syntyy epätäydellisen palamisen yhteydessä. Hiilimonoksidin määrä vaihteli tehoittain ja pellettiseoksittain 66-93 osaa miljoonassa (ppm) (Taulukko 6). Jatkuvakäyttöisissä pellettipolttimissa palaminen on tehokasta, jolloin yleensä päästöt jäävät pieniksi. Pienten ja keskisuurten pellettikattiloiden tuottamat hiilimonoksidimäärät ovat vaihdelleet 85-250 mg/MJ, kun vastaavat arvot hakekattiloissa ovat olleet 500-620 mg/MJ (STTV 2008,13).

4.5 Energian kulutus pelletin valmistuksessa

Pelletin valmistuksen kokonaisenergiankulutukset olivat pelletti A:n ja B:n osalta vertailukelpoisia. Pelletti C:tä valmistettaessa puristimen syöttöruuvi tukkeutui, johtuen seoksen suuremmasta muovimäärästä. Tämän takia pellettien puristusaika oli pelletti C:llä kaikkein suurin. Pelletit A ja B puristettiin lähes samassa ajassa (Taulukko 7.), pelletti C:n puristusaikaa nosti tukkeuman selvittäminen.

Pellettien valmistuksessa energiankulutukseen vaikuttaa muun muassa puristusaine, johon vaikuttavat raaka-aineen kosteuspitoisuus, matriisin reikien koko ja muoto (Hyrkäs 2010, 10). Näiden muovi-olki-hakeseospellettien valmistuksessa energiankulutus oli keskimäärin 5 kWh (Taulukko 7.). Energiankulutus valmistettua pellettikiloa kohden oli pelletti B:llä pienin, A:ta ja B:tä valmistettiin 30 kg ja C:tä 27 kg. Tukkeutumisen takia pelletti C:n puristaminen lopetettiin ennen kuin kaikki materiaali oli puristettu.

Taulukko 7. Energiakulutus ja kulunut aika

	Pelletti A	Pelletti B	Pelletti C
Puristuksen energiakulutus kWh	5,25	5,071	4,92
Energiakulutus kWh/kg	0,175	0,169	0,182
Puristukseen kulunut aika min.	40	42	55

Pellettien puristukseen käytetty aika oli huomattavasti pidempi kuin esimerkiksi samalla laitteistolla tehtyjen purusta ja hakkeesta valmistettujen pellettien. Tällöin puristukseen kulunut aika on vaihdellut 12-18 minuuttiin. Myös seospellettien, joissa on käytetty raaka-aineena haketta ja ruokohelpeä, vaatima puristusaika on ollut lyhyempi, noin 20 minuuttia. Sen sijaan muovihakeseoksesta (5/95 %) valmistetun pelletin puristusaika on ollut 36 minuuttia (Imppola 16.10.2013, sähköpostiviesti). Käytetty puristusaika vaikuttaa suoraan energiankulutukseen.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin muovin käyttöä pellettien lisäaineena. Pelletit valmistettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun koepelletöintilaitteistolla. Pellettien raaka-aineina käytettiin paalimuovia, haketta ja pyöröpaalattua olkea kolmella eri seoksella. Pelleteille tehtiin tarvittavat kokeet laadun selvittämistä varten. Pellettien polttokokeet suoritettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön energialaboratorion pellettipolttimella. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millainen seos palaa parhaiten ja aiheuttaa vähiten nokea ja hävikkiä. Tärkeää oli myös mekaanisen kestävyuden selvittäminen, jotta pelletti kestää käsittelyä. Valmistuksessa myös havainnointiin, miten pelletin eri seossuhteet vaikuttivat pelletin valmistusaikaan, energian kulutukseen ja työn sujuvuuteen.

Kokeiden tulosten perusteella voidaan arvioida, että paras hake-olki-muovi-seos oli pelletti B seossuhteilla 65-30-5%, koska sen kohdalla sekä pelletin puristaminen että polttokoe onnistui hyvin. Kokeiden perusteella voidaan todeta muovin ja hakkeen lisäämisen olkipellettiin mahdollistavan muovin ja oljen hyödyntämisen myös pienemmissä polttolaitoksissa ja pellettikattiloissa.

Liikuteltavalla laitteistolla pellettiä voitaisiin tehdä maataloilla paikan päällä, jolloin saataisiin hyödynnettyä maatalouden sivutuotteita ja jätettä. Liian suuri olkimäärä pelletissä aiheuttaa epätasaisuutta palamisessa ja osaa pellettipolttimista on vaikea saada syttymään hyvin olkipitoisella materiaalilla. Liiallinen muovin käyttö puolestaan aiheuttaa nyt käytetyllä laitteistolla ongelmia pelletin puristuksessa ja tuhkaan jää klinkkeriä.

Mikäli pyöröpaalimuovia aiotaan hyödyntää pellettien valmistuksessa muutoinkin kuin koetarkoituksissa, muovin käsittely tulee saada tehokkaaksi. Muovi voitaisiin esimerkiksi rakeistaa. Se olisi mahdollista esimerkiksi paalimuovien pakkaukseen suunnitellulla lämpöpaalaimella, joka korkealla lämpötilalla tiivistää muovit palkeiksi. Tällöin muovi olisi vähän tilaa vievässä muodossa ja materiaalia voisi varastoida pidempään pelletöintiä varten, jolloin saataisiin kerralla puristettua enemmän pellettiä. Ennen pelletöintiä palkit silputtaisiin hakkurilla kuten metsähake.

Oljen hienontamisen voisi tehdä paalisilppurilla, mikä helpottaisi työtä valmistettaessa pellettiä isommassa mittakaavassa. Olkea sisältävistä materiaaleista oli helppo puristaa pellettiä, mutta polttaminen ei ollut yhtä yksinkertaista. Olkea sisältävä pelletti tuottaa tuhkaa enemmän kuin pelkkä puupelletti. Tämä asettaa vaatimuksia pellettikattilalle, jolloin tuhkanpoiston tulisi olla automaattinen.

Opinnäytetyötä tehdessämme olemme oppineet mittaustulosten vertailtavuuden olevan erityisen tärkeää, kun kehitellään uusia tuotteita. Tästä on varmasti hyötyä meille jatkossa omissa ammateissamme.

Pellettien valmistus lähellä olevista ja muuhun käyttöön sopimattomasta raaka-aineista olisi ekologista. Seospelleteille olisi käyttäjiä, jos ne saadaan järkevällä hinnalla valmistettua, eikä poltossa ilmenisi ongelmia.

Tätä tutkimusta voisi jatkaa tekemällä pelletin valmistuskokeita näillä raaka-aineilla isommassa mittakaavassa ja tehokkaammalla laitteistolla. Isommalla laitteistolla seossuhde ei pysy välttämättä yhtä tasaisena kuin tässä kokeessa, joten olisi mielenkiintoista tietää, miten se vaikuttaa pelletin laatuun ja polttokokeisiin.

LÄHTEET

Aalto, M. Pelletöintiprosessi ja ohjeita pelletöintiin pienen mittakaavan laitteistolla. Hakupäivä 7.5.2013 http://oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pellettien_valmistus_ja_ohjeistus.pdf.

Alakangas, E. & Oravainen, H. Polttokelpoisten muovien tunnistaminen. Hakupäivä 14.5.2013.

http://base.jenergielehti.fi/ebase_filebank/64-Muovin_poltto-ohje.pdf

Bioenergia Suomessa 2012. Biopolttoainetietoja. Hakupäivä 14.5.2013.

<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?SivuID=9166>

Hyrkäs, J. 2010. Biomassan pelletöinti. Oulun Yliopisto. Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratorio. Opinnäytetyö.

Impola, R. Projektipääällikkö BioE-logia –hanke. Pelletin polttokokeet. Sähköpostiviesti. 8.2.2013.

Impola, R. Projektipääällikkö BioE-Logia -hanke. Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti 16.10.2012.

Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. SYKE. Suomen ympäristö 649. ISBN 952-11-1488-6.

Kuokkanen, M., Kolppanen, R. & Kuokkanen, T. Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen. Hakupäivä 13.5.2013.

http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti_info_010911.pdf

Kukkonen, M. 2013. Pelletin polttokokeet. Sähköpostiviesti 31.1.2013.

Kylmänen, E. 2013. Pellettikokeet. Sähköpostiviesti 14.5.2013.

Metsäntutkimuslaitos. 2010. Metsätilastotiedote 10/2010. Hakupäivä 17.5.2013
<http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2010/puupelletit09.htm>.

Motiva. 2009. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Opas. Helsinki: Motiva

Oravainen, H. Pellettien pienpolton haasteet. Hakupäivä 13.5.2013.
http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/tapahtumat/kestavaa_energiaa/oravainen_heikki.pdf

Pellettienergia 2013. Pelletin tuotanto. Hakupäivä 10.5.2013.
<http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>.

SFS-Käsikirja 35-2. 2012. Kiinteät biopolttoaineet. Osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näyteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoittamisperustoille. Suomen standardisoimisliitto SFS RY.

STTV. 2008. Puun pienpolttua koskevat terveydelliset ohjeet. STTV oppaita 6/2008. Hakupäivä 13.5.2013. http://www.valvira.fi/files/ohjeet/Puun_poltto-opas.pdf

Sweden power chippers AB. Pellettipuristimen PP150 Kompakt käyttöohjeet. Moniste.

Työtehoseura 2005. Puupelletin käsittelykestävyyden mittaamenetelmät. Metsätiedote. Helsinki:Työtehoseura

Vapo. Pellettikirja. 2005. Ajatuksia ja ohjeita taloudelliseen puulämmitykseen. Vapo. ISBN 951-53-2737-7.

Ympäristö 2011. Kioton pöytäkirja. Hakupäivä 14.5.2013

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi>

Ympäristö 2013. EU:n ilmasto- ja energiapaketti. Hakupäivä 14.5.2013.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=264826&lan=FI>