



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MÄRÄN KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN POLTTAMINEN LEIJUPETIKATTILASSA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Anni Tontti	
Työn nimi Märän kierrätyspolttoaineen polttaminen leijupetikattilassa	
Päiväys	17.6..2018
Sivumäärä/Liitteet	27/9
Ohjaaja(t) Markku Huhtinen, Jukka Huttunen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Savonia ammattikorkeakoulu. Työn tavoitteena oli selvittää millä tavoin märkää ylijäämäpolttoainetta, joka koostuu kuoresta, kantohakkeesta ja jätevedenpuhdistamolietteestä, voidaan käyttää tutkimuskeskuksen leijupetikattilan polttoaineena. Polttoa kehoitettiin kahdella eri menetelmällä, joista ensimmäisessä märästä ylijäämäpolttoaineesta ja mdf-pölystä tehtiin 50/50-sekoitus ja toisessa tavassa ylijäämäpolttoaine kuivattiin ja murskattiin ennen polttoa.</p> <p>Kosteusprosentiltaan 54 % olleen märän ylijäämäpolttoaineen käyttäminen leijukerroskattilan polttoaineena onnistui, kun se sekoitettiin mdf-pölyyn. Polttoainesekoituksen valmistaminen käsin sekoittamalla sekä polttaminen oli kuitenkin huomattavasti suuritöisempää, kuin kuivatun ylijäämäpolttoaineen. Märkä polttoaineseos oli hankalampaa käsitellä ja tehdä. Kuivatun polttoaineen polttaminen kaikkine työvaiheineen oli selvästi helpompaa ja polton aikana kattilan lämpötilat olivat vielä tasaisemmat kuin seospolttoainetta käytettäessä.</p> <p>Varustamalla tutkimuskeskuksen polttoaineen käsittelyjärjestelmä märän kierrätyspolttoaineen ja MDF-pölyn koneellisella sekoituslaitteistolla saadaan märkä kierrätyspolttoaine käytettyä helposti leijukerroskattilan polttoaineena ja laskelmien mukaan nykyinen varastossa oleva polttoainemäärä riittäisi leijukerroskattilan lämmittämiseen täydellä teholla noin sadaksi tunniksi.</p>	
Avainsanat	
Leijukerroskattila, tutkimuskeskus, polttoaine, MDF-pöly	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Anni Tontti			
Title of Thesis Combustion of wet recycled fuel in a fluidized bed boiler			
Date	17.6.2018	Pages/Appendices	27/9
Supervisor(s) Markku Huhtinen, Jukka Huttunen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The commissioner of this thesis was Savonia University of Applied Sciences. The aim of the thesis was to find out how wet surplus fuel, containing bark, wood chips from stump and sludge from wastewater treatment plants, can be used as fuel for a fluidized bed boiler of Savonia UAS Energy Research Center. Combustion was tested by two different methods. In the first one wet surplus fuel was mixed with dust of medium density fibre board (MDF-dust) with mixing ratio 50/50 % and in the second one surplus fuel was dried and crushed before combustion test</p> <p>Using wet surplus fuel, which moisture content was 54%, as fuel of fluidized bed boiler succeeded, when it was mixed with MDF-dust. However hand making mix and its burnig was much more laborious compared to burning of dried surplus fuel. Wet fuel mixture was more difficult to handle and to produce. Burning the dried surplus fuel with all its work steps was easier and the temperatures of the boiler during the test were even more stable compared to those with mixed fuel test.</p> <p>By adding the mechanical mixing equipment to fuel handling system of the research center, wet recycled fuel can easily be used as fuel of fluidized bed boiler and according to calculations there is in the current fuel stock enough fuel for about 100 hours test at full capacity of the boiler.</p>			
Keywords			
BFB-boiler, research center, fuel, MDF-dust			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
1.1	Tausta.....	5
1.2	Tavoite.....	5
1.3	Toteutustapa .....	5
2	ENERGIATUTKIMUSKESKUS .....	6
2.1	Leijupetikattila energiatutkimuskeskuksessa .....	6
3	PALAMISEN TEORIAA JA LASKENTA.....	8
4	KÄYTETTÄVÄT POLTTOAINEET.....	10
4.1	MDF-pöly.....	10
4.2	Ylijäämäpolttoaine .....	10
4.3	Pelletti.....	10
5	TUTKIMUSAJOT .....	11
5.1	Valmistelut .....	11
5.2	Määrän ylijäämäpolttoaineen ja MDF-pölyn sekoituksen poltto.....	12
5.2.1	Polttoaineseos.....	12
5.2.2	Poltto ja havainnot .....	12
5.3	Kuivatun ylijäämäpolttoaineen poltto ja havainnot.....	13
6	POLTTOAINESEOKSEN TEKEMINEN BETONIMYLLYLLÄ.....	14
7	POLTTOAINEMÄÄRÄN RIITTÄVYYS .....	16
8	YHTEENVETO.....	17

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tausta

Energiatutkimuskeskus Savonia ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksella tarjoaa energiatutkimuspalveluita alan yrityksille ja se toimii myös oppimisympäristönä energiatekniikan perus- ja täydennyskouluksessa. (Savonia ammattikorkeakoulu 2014)

### 1.2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää millä tavoin aiemmasta tutkimuksesta jäljelle jäänyttä märkää kierrätyspolttoainetta saadaan hävitettyä polttamalla sitä leijupetikattilassa. Aiemmin suoritettujen koeajojen perusteella tiedettiin, että märkä kierrätyspolttoaine ei sellaisenaan sovellu leijukerroskattilan polttoaineeksi, koska jaksoittain tapahtuva polttoaineen syöttö tällä polttoaineella aiheuttaa liian suuria lämpötilaheilahteluja pedissä. Koska energiatutkimuskeskukselle oli aiemmista tutkimushankkeista jäänyt jäljelle lähes määrän kierrätyspolttoaineen verran hyvin kuivaa MDF-pölyä, asetettiin tavoitteeksi kokeilla saataisiinko näitä kahta polttoainetta sekoittamalla sopivassa suhteessa aikaiseksi polttoainetta, jota voitaisiin käyttää tutkimuskeskuksen leijukerroskattilan polttoaineena ilman liian suuria lämpötilavaihteluita.

Tämän lisäksi haluttiin myös kokeilla kuivatun ja samalla murskatun kierrätyspolttoaineen soveltuvuutta leijukerroskattilan polttoaineeksi.

### 1.3 Toteutustapa

Tavoitteen mukaisesti polttokoetta varten märkää ylijäämä polttoainetta sekoitettiin MDF-pölyyn, joka puolestaan on räjähdysmäisesti palavaa ainetta. Määrälle polttoaineelle ja räjähdysmäisesti palavalle aineelle oli tarkoitus löytää sopiva sekoitussuhde, jotta palaminen tapahtuu järkevästi ja vakaasti, mutta myös turvallisesti.

Toisessa polttokokeessa ylijäämäpolttoainetta poltettiin sen jälkeen, kun sitä oli kuivattu ja murskattu.

Ensimmäistä polttokoetta varten polttoaineseos sekoitettiin käsin. Tässä työssä on selvitetty ja otettu kantaa myös siihen, miten MDF-pölyn ja määrän kierrätyspolttoaineen sekoittaminen voitaisiin tehdä koneellisesti olemassa olevalla polttoaineensyöttö järjestelmällä.

Koeajoissa Savonia ammattikorkeakoulun tutkimuskeskuksen leijukerroskattilan toimintaa ja käyttäytymistä seurattiin koeajojen ajan mittaamalla tiedonkeruulaitteistolla leijukerroskattilasta paine- ja lämpötilatietoja. Koeajoissa läytetyistä polttoaineista otettiin näytteet, jotka tutkittiin Savonia ammattikorkeakoulun Varkauden kampuksen laboratoriossa.

## 2 ENERGIATUTKIMUSKESKUS

Tutkimuskeskuksessa on leijupeti- ja arinakattilat ja siellä voidaan tutkia, testata ja kehittää kierrätyspolttoaineiden, hakkeen, turpeen sekä pyrolyysiöljyn palamista. Myös materiaalien korroosikäyttäytymistä, savukaasupäästöjä ja niiden hallintaan liittyviä asioita on mahdollista tutkia energiaturkimuskeskuksessa. (Savonia ammattikorkeakoulu 2014)



Kuva 1. Tutkimuskeskus

### 2.1 Leijupetikattila energiaturkimuskeskuksessa



Kuva 2. Leijupetikattila (Savonia ammattikorkeakoulu)

Energiatutkimuskeskuksen 8 metriä korkean ja halkaisijaltaan 494 mm leveän tulipesän omaava leijupetikattila koostuu neljästä segmentistä ja takavedosta. Teholtaan se on korkeintaan 300kW ja savukaasumäärältä 600 Nm<sup>3</sup>/h. Tutkimuskattilassa ei ole vesihöyrypiiriä lämmöntalteenottoa varten. Lämmöntalteenotto onnistuu kuitenkin arinakattilan avulla, sillä leijukerroskattilan savukaasut voidaan johtaa vesijäähdytetyn arinakattilan kautta savupiippuun. (Savonia ammattikorkeakoulu 2014)

Kattilalla voidaan tutkia polttoaineiden vaihtelun ja sekoitussuhteen merkitystä muodostuviin savukaasuihin, ilman syötön vaihteluiden merkitystä palamiseen sekä kierto kaasun vaikutuksia. Kattilassa on monia mittaussyhteitä, joka mahdollistavat polton aikana lämpötilakäyttäytymisen seuraamisen kattilan eri osissa.

Poltoissa muodostuva savukaasu pystytään ohjaamaan myös suodattimien kautta piippuun tai korroosiotestauskammioon, jossa voidaan tutkia kuinka eri polttoaineet vaikuttavat savukaasujen korroosioominaisuuksiin. (Savonia ammattikorkeakoulu 2014)

Erillinen sisäpiippu ja savukaasuimuri savukaasun sivuvirrälle mahdollistavat esimerkiksi katalyytin syötön ja sen puhdistusvaikutusten testaamisen. Näitä testauksista saatuja arvoja pystytään vertaamaan päävirrasta mitattuihin arvoihin. (Savonia ammattikorkeakoulu 2014)

### 3 PALAMISEN TEORIAA JA LASKENTA

Palaminen tarkoittaa sitä, että aine yhtyy kemiallisesti happeen. Hiili (C), vety (H), typpi (N) ja rikki (S) ovat polttoaineissa olevia hapen kanssa reagoivia ainesosia. (Huhtinen, Nurminen, Kettunen ja Pakkanen 2000)

Kun kiinteitä polttoaineita poltetaan, ensimmäisessä vaiheessa polttoaineesta poistuvat kosteus sekä haihtuvia aineita ympäristön lämmön vaikutuksesta. Tässä vaiheessa polttoaineesta vielä oleva kosteus poistuu juuri ennen polttamista, kun polttoaine lämmitetään 400 – 600 celsius asteen lämpötilaan. Myös kaasuuntuvat elementit haihtuvat tässä vaiheessa. (Huhtinen ym. 2000)

Seuraavassa vaiheessa kaasuuntuvien komponenttien syttyessä palamaan, lämpötila alkaa kohota polttoainehiukkasten ympärillä ja ne alkavat lämmetä. (Huhtinen ym. 2000)

Tämän jälkeen koksipartikkeli alkaa palaa ja sen lämpötila nousee korkeammaksi kuin tätä ympäröivä lämpötila, jolloin se alkaa luovuttaa lämpöä ympäristöönsä. (Huhtinen ym. 2000)

Kun polttoaineen sisältö on tiedossa, tarvittava palamisilman määrä voidaan laskea. Myös muodostuvien savukaasujen määrä voidaan laskea, ja niistä voidaan tehdä päätelmiä palamisen täydellisyydestä ja ilmamäärän oikeasta määrästä. (Huhtinen ym. 2000)

Polttoaineen kosteus määritetään vertaamalla polttoaineen sisältämää vesimäärää märän polttoaineen painoon. Polttoaineen kosteus saadaan selville kuivaamalla polttoainenäyte uunissa ja määrittämällä punnitsemalla märän ja kuivatun näytteen painoero. (Huhtinen ym. 2000)

$$x = m_{(vesi)} / (m_{(vesi)} + m_{kuiva})$$

Polttoaineen lämpöarvo määritetään kalorimetrissa polttamalla kuiva polttoainenäyte ja mittaamalla palamisessa vapautuva energia. Kalorimetrilla määritetystä kuivan polttoaineen lämpöarvosta saadaan laskemalla seuraavalla kaavalla kostean polttoaineen lämpöarvo. (Huhtinen ym. 2000)

$$H_{u(kostea)} = H_{u(kuiva)} \times (1 - m_{vesi}) - I_{25} * m_{vesi}$$

Missä  $H_{u(kuiva)}$  = kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)  
 $I_{25}$  = veden höyrystymislämpö (2443 kJ/kg kun t=25°C)  
 $H_{u(kostea)}$  = kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)  
 $m_{vesi}$  = veden määrä kosteassa polttoaineessa (kg H<sub>2</sub>O/kg pa)

Kun polttoaineen lämpöarvo on tiedossa voidaan polttoaineteho laskea kaavalla (Huhtinen ym. 2000)



$$\Phi_{pa} = m_{pa} * H_{u(kostea)}$$

Missä,  $H_{u(kostea)}$  = kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)  
 $m_{pa}$  = polttoainevirta (kg/s)

## 4 KÄYTETTÄVÄT POLTTOAINEET

### 4.1 MDF-pöly

MDF-pöly on peräisin MDF-levyistä, joita käytetään esimerkiksi sisustus- ja huonekaluteollisuudessa. Levy valmistetaan puristamalla hienoksijauhattua puukuitua ja sidosaineita kuten ureaformaldehydihartsiliimaa. Laboratoriotutkimuksen mukaan MDF-pölynäytteen kokonaiskosteus oli 9,5%. (Liite 2 Laboratorioanalyysi)

### 4.2 Ylijäämäpolttoaine

Käytössä oleva ylijäämäpolttoaine koostuu puun kuoresta, kantohakkeesta ja jätevedenpuhdistamolietteestä. Näistä puun kuori on pääkomponentti. Polttoaine ei ole tasalaatuista, joten raaka-aineiden osuudet vaihtelevat tilanteen mukaan. Laboratoriotestauksemme mukaan ulkona pressun alla säilytetyn märän polttoaineen kokonaiskosteus oli noin 54%. (Liite 1 Laboratorioanalyysi) Mielenkiinnosta ja vertailun vuoksi otimme myös näytteen taivasalla säilytystä polttoaineesta ja sen kokonaiskosteus oli noin 74%. (Liite 3 Laboratorioanalyysi)

### 4.3 Pelletti

Puupelletti tehdään puristamalla purua, hiontapölyä ja kutterilastua sylinterin muotoisiksi puristeiksi. Nämä raaka-aineet ovat puuteollisuuden sivutuotteita. Pellettiä voidaan myös valmistaa puristamalla tuoretta biomassaa, kuorta ja haketta. Tämä edellyttää kuitenkin näiden murskaamista ja kuivausta ennen pelletointia.

(Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT 2016)

## 5 TUTKIMUSAJOT

### 5.1 Valmistelut

Ennen jokaista tutkimusajoa leijupetikattila tyhjennetään hiekasta ja palamattomista polttoainejäämistä. Kun tuhkanpoistoluukun kautta on poistettu likimain 100 kg petimateriaalia edellisen ajon jäljiltä, lasketaan pohja ja imuroidaan viimeisetkin hiekat. Tutkimustuloksen luotettavuuden kannalta on tärkeää, että kattila on tyhjä polton aloittaessa.



Kuva 3. Ilmalaatikon avaus ja puhdistus

Edellisen polttokoneen jäljiltä kattilaan on tehty pieni muutostyö. Ilmasuuttimiin niitattiin popniiteillä yhdet aukot umpeen kustakin suuttimesta. Aiemman kokemuksen perusteella oltiin päätelty, että kattilaan syötettävän primääri-ilman virtauksessa on parantamisen varaa, ja suuttimien aukkojen niittaamisella haettiin parempaa pedin leijumista. Tavoitteena oli vähentää palamattoman materiaalin määrää sekä toisaalta hiekan sintraantumista.



Kuva 4. Ilmasuuttimien niittaus

Kattilan ylösajo aloitettiin esilämmityksellä ennen tutkimusten aloitusta. Kattilaan laskettiin hiekkaa valmiiksi joitakin kiloja ja leistereillä lämmitettiin petiä. Usean tunnin pedin lämmityksen jälkeen, kun pedin lämpötila oli tarpeeksi korkea, käynnistettiin primääri-ilmapuhallin ja syötettiin pieni määrä pellettiä tulipesään sulkusyöttimen kautta. Liekin syttyttyä, sitä ylläpidettiin ensin syöttämällä pellettiä tulipesään ja myöhemmin pellettiä käytettiin myös märemmän polttoainesekoituksen poltossa apuna.

Jos liekkiä ei saada syttymään kohtuullisen ajan kuluttua, on myös mahdollista saada tuli aikaan syöttämällä esimerkiksi palavaa paperia avatun näkölasin kautta tulipesään.

## 5.2 Märän ylijäämäpolttoaineen ja MDF-pölyn sekoituksen poltto

### 5.2.1 Polttoaineseos

Ensimmäiseksi päätettiin kokeilla märän ylijäämäpolttoaineen ja MDF-pölyn sekoitusta suhteella 50/50. Sekoitettavan polttoaine-erän määrä oli 20 kg. Sekoitus tehtiin punnitsemalla vaa'alla 10 kg MDF-pölyä sekä 10 kg ylijäämäpolttoainetta, ja sekoittamalla ne saavissa mahdollisimman tasaiseksi koostumukseksi. Polttoainesekoituksen valmistaminen tehtiin ulkoilmassa ja hengityssuojaimin varustautuneena MDF-pölyn hienojakoisuuden takia.

Koska kyseessä oli näin pieni kokeiluerä, seos kannettiin suoraan välisiiloon, josta ruuvikuljetin kuljetti polttoaineen sulkusyöttimelle. Loppujen lopuksi kokeilun edetessä 20 kg:n polttoaine-erien sekoittamista jatkettiin läpi koko koeajon.

### 5.2.2 Poltto ja havainnot

Kokeen aluksi oli havaittavissa paljon savua sulkusyöttimen läheisyydessä ja lisäksi valvomossa trendejä seuraamalla näkyi huomattava notkahdus lämpötiloissa siirryttäessä pelletin poltosta polttoaineseoksen polttoon. Tähän reagoitiin lisäämällä jälleen pelletin osuutta tulipesään menevästä polttoaineesta.

Polttoaineseoksen koostumus oli vaihtelevaa ja sulkusyötin tukkeutuikin muutamaan otteeseen seoksessa olleiden tikkujen vuoksi. Näkölasista katsomalla ja seuraamalla valvomon käyttöliittymällä trendien sekä päästömittausten muutoksia pystyttiin hakemaan sopivia säätöjä primääri-ilmapuhelimelle ja ruuvikuljettimelle ja lopulta päästiinkin hallittuun tilanteeseen, jossa poltettiin yksistään polttoaineseosta ilman, että pedin lämpötiloissa esiintyi merkittävää heilahtelua. Tämä nähdään liitteen 4 petilämpötilojen mittauskäyristä.

### 5.3 Kuivatun ylijäämäpolttoaineen poltto ja havainnot

Kuivattu ylijäämäpolttoaine on samaa ylijäämää kuin aikaisemmassa testissä käytetty polttoaine, mutta tämä erä on kuivattu hieman alle 40%:n kosteuteen. Kuivatun polttoaineen käyttäminen oli helpompaa ja sen käsittely punnitukseen tapahtuikin paljon joutuisammin. Kuivauksen yhteydessä polttoainetta oli murskattu ja siitä oli tullut hienojakoisempaa. Koska kuivattua ylijäämäpolttoainetta ei tarvinnut sekoittaa mihinkään, se pystyttiin kuljettamaan kolakuljettimella pihalta tutkimuskeskuksen sisälle ruuvikuljettimelle.

Kattilan esilämmityksen ja pelletin syötön jälkeen siirtyminen tähän kuivattuun ylijäämäpolttoaineeseen tapahtui helpommin verrattuna märän polttoaineen syöttämiseen. Pellettiä ei tarvinnut käyttää yhtä paljon polton tukena kuin aiemmassa testissä. Tämä johtui siitä, että kuivempi polttoaine jäähdytti vähemmän tulipesää ja paloi paremmin pienemmän kosteuspitoisuutensa ansiosta kuin aikaisemmin testattu märkä polttoaine.

## 6 POLTTOAINESEOKSEN TEKEMINEN BETONIMYLLYLLÄ

Jotta jatkossa kosteasta kierrätyspolttoaineesta ja MDF-pölystä voitaisiin valmistaa koneellisesti pienellä työmäärällä leijukerroskattilan polttoaineeksi soveltuvaa seospolttoainetta, tutkittiin ylijäämäpolttoaineen ja MDF-pölyn sekoittumista betonimylyssä. Testit tehtiin samalla sekoitussuhteella, kuin aikaisemmin tehty koepoltto oli tehty eli 50/50 suhteella.

Ylijäämäpolttoaineesta sekä mdf-pölystä otettiin rinnakkaisnäytteet laboratoriotestausta varten. Betonimylyyn laitettiin samat määrät kosteaa kierrätyspolttoainetta (kosteus 64,5%) ja kuivaa MDF-pölyä (kosteus 7,9%)

Ensin betonimylyyn laitettiin noin neljä kiloa ylijäämäpolttoainetta sekä neljä kiloa MDF-pölyä. Tällöin myllyä pyöritettiin 5 minuutin ajan. Betonimylyn suuaukolle asetettu pahvi esti kevyttä MDF-pölyä lähtemistä tuulen mukaan. Sekoituksen jälkeen seoksesta otettiin näytteet kosteuspitoisuuden määrittämiseksi.



Kuva 5. Polttoaineseos 5 min sekoituksella    Kuva 6. Polttoaineseos 10 min sekoituksella

Seuraavaksi tehtiin samalla sekoitussuhteella seos, joka laitettiin pyörimään betonimyllyyn 10 minuutiksi maksimaalisessa kallistuskulmassa.

Laboratoriotestauksista kävi ilmi, että 5 min betonimyllyssä sekoitetusta seoksesta otettujen näytteiden kokonaiskosteudet olivat 35,3% ja 36,9% ja 10 minuutin sekoituksella seoksen kokonaiskosteudet olivat 36,7% ja 36,7%. (Liitteet 5, 6, 7 ja 8)

Laskennallinen keskiarvo kuivan ja märän polttoaineen seossuhteelle on  $(64,5 + 7,9)/2 = 36,2\%$  eli voidaan todeta polttoaineiden sekoituksen onnistuvan hyvin betonimyllyn kaltaisella sekoittimella.

## 7 POLTTOAINEMÄÄRÄN RIITTÄVYYS

Mätkää kierrätyspolttoainetta on käytettävissä arviolta  $10 \text{ m}^3$  ja kun sen tiheys on  $430 \text{ kg/m}^3$  on käytettävissä oleva mätkä polttoainemäärä  $4300 \text{ kg}$ . Kun tästä valmistetaan seospolttoainetta sekoittamalla siihen sama määrä kuivaa MDF-pölyä saadaan seospolttoainetta yhteensä  $8600 \text{ kg}$ .

Kun seos polttoaineen kosteus on n.  $36\%$  ja sen lämpöarvo n.  $12,5 \text{ MJ/kg}$ , vastaa  $8600 \text{ kg:n}$  polttoaine-erä energiamääränä  $12,5 \text{ MJ/kg} * 8600 \text{ kg} = 107\,500 \text{ MJ}$ , joka MWh:ksi muutettuna on  $107\,500/3600 = 30 \text{ MWh}$  eli  $30\,000 \text{ kWh}$ .

Kattilan polttotehon ollessa n.  $300 \text{ kW}$  riittää polttoaine jatkuvalla käytöllä  $30\,000 \text{ kWh}/300 \text{ kW} = 100 \text{ h}$ .



## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää millä tavoin märkää ylijäämäpolttoainetta, joka koostuu kuoresta, kahtihakkeesta ja jätevedenpuhdistamolietteestä, voidaan käyttää laboratorion leijupetikattilan polttoaineena. Polttoa kokeiltiin kahdella eri menetelmällä, joista ensimmäisessä määstä ylijäämäpolttoaineesta ja MDF-pölystä tehtiin 50/50 sekoitus ja toisessa tavassa ylijäämäpolttoaine kuivattiin ja murskattiin ennen polttoa.

Koepolttojen tekeminen olisi vaatinut mielestäni omalta osaltani enemmän aikaisempaa kokemusta kyseisen leijupetikattilan käyttäytymisestä. Onneksi mukana työskentelemässä oli enemmän kokemusta omaavia henkilöitä.

Kosteusprosentiltaan 54 % olleen määrän ylijäämäpolttoaineen käyttäminen leijukerroskattilan polttoaineena onnistui, kun sen sekoitti MDF-pölyyn. Polttoainesekoituksen valmistaminen käsin sekoittamalla sekä polttaminen oli kuitenkin huomattavasti suuritöisempään, kuin kuivatun ylijäämäpolttoaineen. Märkä polttoaineseos oli hankalampaa käsitellä ja tehdä. Kuivatun polttoaineen polttaminen oli kaikkine työvaiheineen helpompaa ja polton aikana kattilan lämpötilat olivat vielä tasaisemmat kuin seospolttainetta käytettäessä.

Varustamalla polttoaineen käsittelyjärjestelmä kierrätyspolttoaineen ja MDF-pölyn koneellisella sekoituslaitteistolla saadaan märkä kierrätyspolttoaine käytettyä helposti leijukerroskattilan polttoaineena. Laskelmien mukaan nykyinen varastossa oleva polttoainemäärä riittäisi leijukerroskattilan käyttämiseen täydellä teholla noin sadaksi tunniksi.

## LÄHTEET

HUHTINEN, Markku, KETTUNEN, Arto, NURMINEN, Pasi, PAKKANEN, Heikki 2000.  
Höyrykattilatekniikka. 5. uusittu painos. Helsinki. Oy Edita Ab

Savonia, Energiatutkimuskeskuksen esittely,(Luettu 2.4.2018) Saatavissa:

<https://energiatutkimus.savonia.fi/index.php>

ALAKANGAS, Eija, HURSKAINEN, Markus Hurskainen, LAATIKAINEN-LUNTAMA, Jaana KORHONEN,  
Jaana, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, 2016 (Luettu 4.4.2018) Saatavana:

<https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Kuvat:

Kuva 2. <https://energiatutkimus.savonia.fi/index.php/tilat-ja-laitteet/leijupetikattilympaeristoe>

## LIITE 1



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus



Näytetunnus: Muju  
 Näyte saapui laboratorioon: 10.4.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 10.4. - 11.4.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Muju-Anni Tontti-2  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste  
 Näytteen massa, g: 1202

Määritys	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	53,8	m- %

Määritys	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	10.4. - 11.4.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen  
[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)  
 Matemaattisten aineiden lehtori  
 Puh. 044 785 6780

Anni Tontti  
[anni.e.tontti@edu.savonia.fi](mailto:anni.e.tontti@edu.savonia.fi)  
 Opinnäytetyön tekijä

## LIITE 2



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus



Näytetunnus: MDF  
 Näyte saapui laboratorioon: 10.4.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 10.4. - 11.4.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-MDF-Anni Tontti-1  
 Näytteen kuvaus: MDF  
 Näytteen massa, g: 917

Määrittäjä	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	9,5	m- %

Määrittäjä	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	10.4. - 11.4.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen  
[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)  
 Matemaattisten aineiden lehtori  
 Puh. 044 785 6780

Anni Tontti  
[anni.e.tontti@edu.savonia.fi](mailto:anni.e.tontti@edu.savonia.fi)  
 Opinnäytetyön tekijä

## LIITE 3



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus



Näytetunnus: Märkä muju  
 Näyte saapui laboratorioon: 10.4.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 10.4. - 11.4.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Märkä muju-Anni Tontti-3  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste  
 Näytteen massa, g: 1805

Määritys	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	73,5	m- %

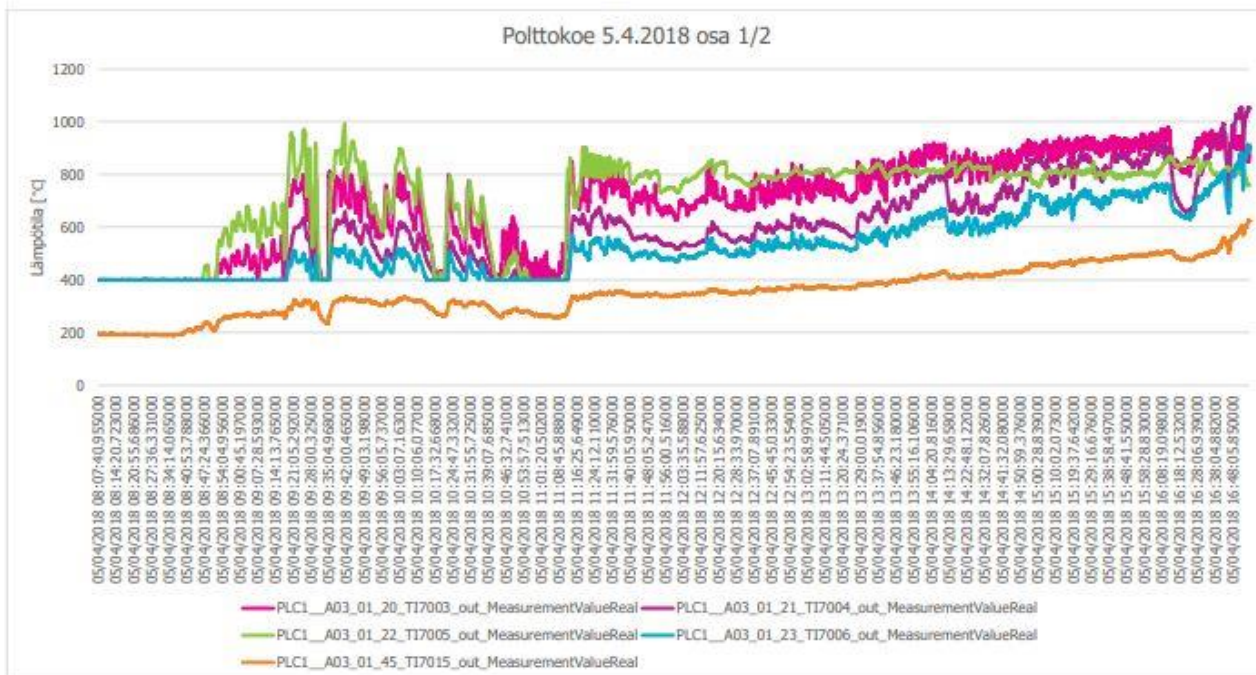
Määritys	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	10.4. - 11.4.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

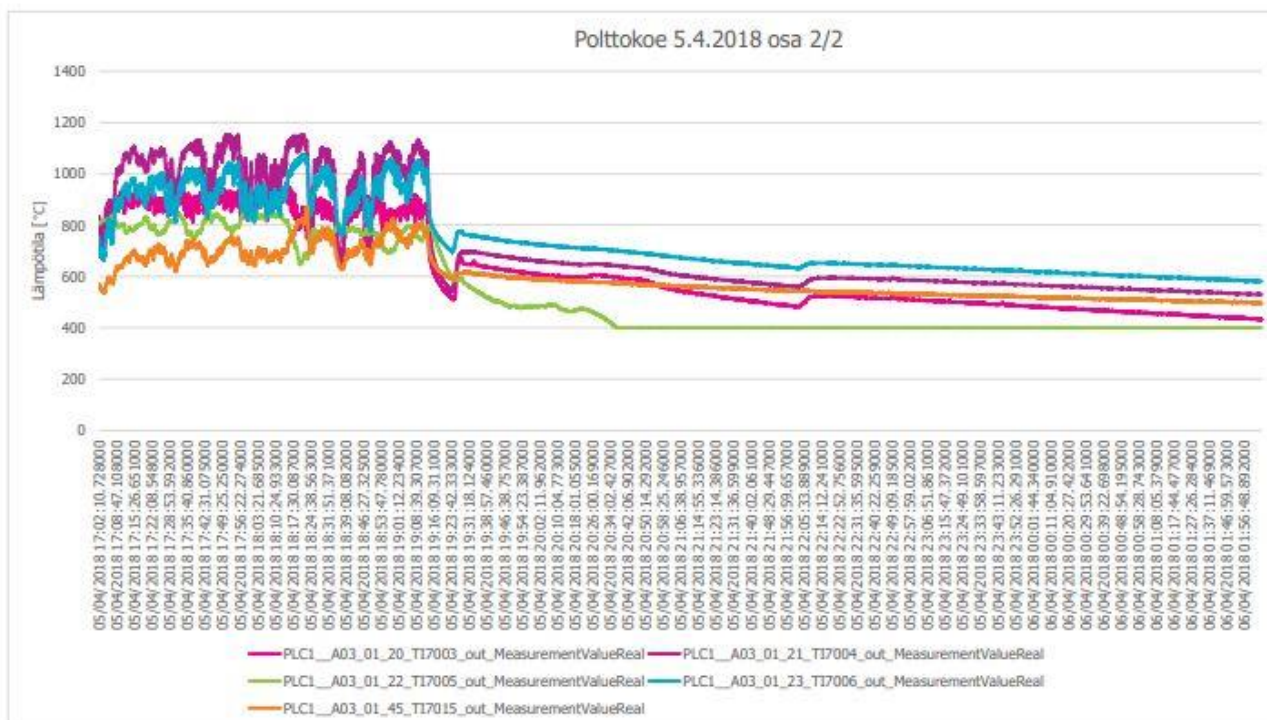
Ari Mikkonen  
[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)  
 Matemaattisten aineiden lehtori  
 Puh. 044 785 6780

Anni Tontti  
[anni.e.tontti@edu.savonia.fi](mailto:anni.e.tontti@edu.savonia.fi)  
 Opinnäytetyön tekijä

## LIITE 4 (1/2)



## LIITE 4 (2/2)



## LIITE 5



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus

Janne Ylönen/ Anni Tontti  
Anni Tontin opinnäytetyö  
Markku Huhtinen ohjaaja



Asiakas vastaa näytteenotosta, säilytyksestä sekä toimituksesta laboratorioon.

Asiakkaan näytetunnus: 22.5.2018 Näyte 5  
 Näyte saapui laboratorioon: 22.5.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 24.5. - 25.5.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Tontti-5-kosteus  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste + Kuori + MDF-pöly sekoitus  
 Näytteen massa, g: 866

Määrittäminen	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	35,3	m- %

Määrittäminen	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	24.5. - 25.5.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen

[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)

Matemaattisten aineiden lehtori

Puh. 044 785 6780



## LIITE 6



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus

Janne Ylönen/ Anni Tontti  
Anni Tontin opinnäytetyö  
Markku Huhtinen ohjaaja



Asiakas vastaa näytteenotosta, säilytyksestä sekä toimituksesta laboratorioon.

Asiakkaan näytetunnus: 22.5.2018 Näyte 6  
 Näyte saapui laboratorioon: 22.5.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 24.5. - 25.5.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Tontti-6-kosteus  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste + Kuori + MDF-pöly sekoitus  
 Näytteen massa, g: 1031

Määrittäminen	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	36,9	m- %

Määrittäminen	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	24.5. - 25.5.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen

[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)

Matemaattisten aineiden lehtori

Puh. 044 785 6780

## LIITE 7



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus

Janne Ylönen/ Anni Tontti  
Anni Tontin opinnäytetyö  
Markku Huhtinen ohjaaja



Asiakas vastaa näytteenotosta, säilytyksestä sekä toimituksesta laboratorioon.

Asiakkaan näytetunnus: 22.5.2018 Näyte 7  
 Näyte saapui laboratorioon: 22.5.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 25.5. - 27.5.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Tontti-7-kosteus  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste + Kuori + MDF-pöly sekoitus  
 Näytteen massa, g: 901

Määrittäminen	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	36,7	m- %

Määrittäminen	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	25.5. - 27.5.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen  
[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)  
 Matemaattisten aineiden lehtori  
 Puh. 044 785 6780

## LIITE 8



# SAVONIA

## Tutkimustodistus

Opiskelijankatu 3  
78211 Varkaus

Janne Ylönen/ Anni Tontti  
Anni Tontin opinnäytetyö  
Markku Huhtinen ohjaaja



Asiakas vastaa näytteenotosta, säilytyksestä sekä toimituksesta laboratorioon.

Asiakkaan näytetunnus: 22.5.2018 Näyte 8  
 Näyte saapui laboratorioon: 22.5.2018  
 Näytteen analysointi pvm: 25.5. - 27.5.2018  
 Tutkimusnumero: ENE18-Tontti-8-kosteus  
 Näytteen kuvaus: Kuitupuriste + Kuori + MDF-pöly sekoitus  
 Näytteen massa, g: 917

Määrittäminen	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	36,7	m- %

Määrittäminen	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	25.5. - 27.5.2018	SFS-EN ISO 18134-2 CENTS 15414-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen  
[ari.mikkonen@savonia.fi](mailto:ari.mikkonen@savonia.fi)  
 Matemaattisten aineiden lehtori  
 Puh. 044 785 6780