



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KUITUSAVEN HYÖDYNTÄMINEN ENERGIANTUOTANNOSSA

TEKIJÄ: Aapo Kovanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Aapo Kovanen			
Työn nimi Kuitusaven hyödyntäminen energiantuotannossa			
Päiväys	19.2.2015	Sivumäärä/Liitteet	39/7
Ohjaajat Ritva Käyhkö, Olli-Pekka Kähkönen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Metsä Tissue Oyj, ohjaajana Jyrki Leppäaho; Mäntän Energia Oy, ohjaajana Raino Talvio			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuitusaven rinnakkaispolton vaikutusta Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan toimintaan, savukaasupäästöihin sekä tuhkan määrään joulukuussa 2014 järjestetyssä koepoltossa. Koepolttojaksoista saatujen tulosten perusteella kartoitettiin tarvittavia investointeja, joilla kuitusaven rinnakkaispoltoille asetetut savukaasupäästöjen päästöraja-arvot pystyttäisiin alittamaan kuitusavea poltettaessa.</p> <p>Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattila tuottaa energiaa Metsä Tissue Oyj:n Mäntän paperitehtaalle sekä Mäntän keskustaajamaan. Vuonna 2014 K4-leijupetikattilan polttoaineina käytettiin turvetta, puupolttoaineita, puhdistamolietettä ja paperitehtaan jätepoltoaineita, sekä varapoltoaineina kivihiiltä ja öljyä. Kuitusavea syntyy Mäntän paperitehtaan siivousprosessissa n. 60 000 tonnia vuodessa. Kuitusavi koostuu siivousprosessissa kierrätyspaperista poistetuista epäpuhtauksista. Mäntän paperitehtaalla syntyneestä kuitusavea on hyödynnetty maankäyttötarkoituksessa. K4-leijupetikattilan nykyinen ympäristölupa ei mahdollista kuitusaven rinnakkaispoltoa. Tulevaisuudessa kuitusavea halutaan kuitenkin hyödyntää myös energiantuotannossa.</p> <p>Tässä työssä tehdyissä polttoaineanalyysissä kuitusaven kosteudeksi saatiin 68,6% ja kiintoaineen tuhkapitoisuudeksi 43 %. Kuitusaven teholliseksi lämpöarvoksi saapumistilassa saatiin 0,83 MJ/kg, teholliseksi lämpöarvoksi 7,97 MJ/kg ja kalorimetriseksi lämpöarvoksi 9,30 MJ/kg. Pommikalorimetrikokeissa kuitusaven tuhka muovautui kalorimetripommin upokkaassa ”möykkyksi”.</p> <p>Viisi päivää kestäneen koepolttojakson aikana kuitusavea lisättiin K4-leijupetikattilan tavanomaisten polttoaineiden sekaan. Kuitusavea poltettiin koepolttojakson aikana yhteensä 390 tonnia, kuitusaven osuuden ollessa poltetusta polttoaineesta n. 21 %. Koepolttojakson aikana savukaasuista mitattiin O₂-, H₂O-, SO₂-, NO_x-, HF-, TOC-, HCl- ja pölypitoisuuksia Mäntän Energia Oy:n jatkuvatoimisilla mittareilla.</p> <p>Koepolttojakson aikana vain CO- ja TOC-pitoisuudet savukaasuissa kasvoivat koetta edeltävään tilanteeseen verrattuna. Savukaasujen SO₂-pitoisuuden kuitusavella huomattiin olevan alentava vaikutus. Savukaasujen päästöt ylittivät kuitusaven rinnakkaispoltoille lasketut päästöraja-arvot koko kokeen ajan SO₂-, HF- ja HCl-pitoisuuksien osalta. Savukaasujen CO-pitoisuus ylitti rinnakkaispolton päästöraja-arvot kolmena ensimmäisenä päivänä. Pöly- ja TOC-pitoisuudet savukaasuissa alittivat päästöraja-arvot koko kokeen ajan. Koepolttojakson aikana syntyi 250 m³ tuhkaa.</p> <p>Koepolttojako osoitti, että Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattila soveltuu hyvin kuitusaven rinnakkaispoltoon. Kuitusaven polttaminen ei aiheuttanut ongelmia K4-leijupetikattilan toiminnassa. Rinnakkaispolto vaatii kuitenkin investointeja savukaasujen puhdistukseen, jotta kuitusaven rinnakkaispoltoille asetetut päästöraja-arvot pystytään alittamaan. Kuitusaven poltosta syntyneen tuhkan kelpoisuus kaatopaikkajätteenä täytyy tulevaisuudessa todentaa. Lisäksi olisi syytä selvittää pommikalorimetrikokeissa syntyneiden ”möykkyjen” alkuainekoostumus.</p>			
Avainsanat Kuitusavi, leijupetikattila, energiantuotanto, savukaasupäästöt, rinnakkaispolto, polttoaineanalyysi			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author Aapo Kovanen			
Title of Thesis Utilizing deinking sludge in energy production			
Date	19.2.2015	Pages/Appendices	39/7
Supervisors Ritva Käyhkö, Olli-Pekka Kähkönen			
Client Organisation /Partners Metsä Tissue Oyj, Mäntän Energia Oy			
<p>Abstract</p> <p>The goal of this thesis was to find out what kind of effect the combusting deinking sludge in Mäntän Energia Oy's K4-bubbling fluidized bed boiler will have on the boiler's emissions, operations and ash quality. The influence of combusting deinking sludge was surveyed in an experiment, which lasted for five days. In the experiment deinking sludge was added among the standard fuels. The results were used to survey possible investments, which might be needed to reduce emissions when combusting deinking sludge.</p> <p>Mäntän Energia Oy's K4-BFB produces energy for the Metsä Tissue Oyj's paper factory in Mänttä and for the city of Mänttä. In 2014 K4-BFB was using peat, wood fuels, sewage sludge and waste from the paper factory as a fuel and coal and oil as a reserve fuel. Mänttä paper factory is producing 60 000 tons of deinking sludge annually. Deinking sludge consists of impurities, which have been removed from recycled paper in the deinking process. The existing environmental permit doesn't allow using deinking sludge in energy production. In the future Metsä Tissue Oyj and Mäntän Energia Oy would like to use deinking sludge in energy production.</p> <p>In the fuel analysis made in this thesis deinking sludge's moisture was 68,3 %. Solid matter contained 43 % of ash contents. The higher heating value of the deinked sludge was 9,30 MJ/kg, the lower heating value was 7,97 MJ/kg and the gross heating value was 0,83 MJ/kg. In the fuel analysis tests deinking sludge's ash content moulded as a "lump" in a bomb calorimeter.</p> <p>Deinking sludge was combusted 390 tons in the test period. The percentage of the deinking sludge in the fuel was no more than 21 %. In the test period O₂, H₂O, SO₂, NO_x, HF, TOC, HCl and particulate emissions contents were measure from the fluid gases.</p> <p>In the test period CO and TOC contents were increased in fluid gases compared to the situation before the test period. Deinking sludge had decreasing effect for the SO₂ content in fluid gases. Fluid gases emission standard values were exceeded with SO₂, HF and HCl contents. CO content in fluid gases exceeded emission standard values in the first three days. Particulates and TOC contents were below emission standard values during the whole test period. During the test period 250 m³ of ash was generated.</p> <p>The results from the test period proved that K4-BFB is suitable for using deinking sludge in energy production. Using deinking sludge as a fuel did not cause any dramatic effect on the K4-BFB processes. However using deinking sludge in energy production will need investments to the flue gas cleaning system, so that the emission standard values can be fulfilled. For the formed ash analysis it will be needed to clarify if the ash will fulfill the standards for dump waste. Furthermore the lumps elemental composition should be investigate.</p>			
Keywords Deinking sludge, Bubbling fluidized bed boiler, fuel analysis, combusting			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
2	TOIMEKSIKSIANTAJAT	8
2.1	Metsä Tissue Oyj	8
2.1.1	Mäntän paperitehdas.....	8
2.2	Mäntän Energia Oy	8
3	KUITUSAVI.....	9
3.1	Määritelmä	9
3.2	Koostumus.....	9
3.3	Siistausprosessi	9
3.3.1	Raaka-aineen varastointi	10
3.3.2	Pulpperointi ja karkea- sekä hienolajittelu	10
3.3.3	Massan pesu.....	10
3.3.4	Mikroflotaatio ja lietteen käsittely	10
3.3.5	Viirapuristin, dispergointi ja 2. pesuri.....	11
3.4	Kuitusaven nykyinen hyödyntäminen Suomessa	11
3.4.1	Kuitusavi täyteaineena.....	11
3.4.2	Kuitusavi maankäyttötarkoituksessa	12
3.4.3	Poltto	12
4	MÄNTÄN ENERGIA OY:N LEIJUPETIKATTILA K4.....	12
4.1	Polttoaineen käsittely ja varastointi	12
4.1.1	Puupolttoaineet ja turve	12
4.1.2	Kiinteät jättepolttoaineet.....	13
4.1.3	Puhdistamoliete	13
4.1.4	Kivihiili	14
4.1.5	Polttoöljy	14
4.2	Kattilan toiminta	14
5	POLTTOAINEANALYYSI	15
5.1	Kosteuden määrittäminen	15
5.2	Lämpöarvojen määrittäminen.....	16
5.3	Tuhkapitoisuuden määrittäminen.....	17

6	KOEPOLTTOJÄRJESTELYT	18
6.1	Koepolttojakson tavoitteet	18
6.2	Aikataulu.....	18
6.3	Koejärjestelyt	19
6.4	Kattilan ajotapa	19
6.5	Näytteenotto	19
6.6	Mittaukset	20
6.7	Seuranta	20
7	POLTTOAINEANALYYSIEN TULOKSET	21
7.1	Kuitusavi	21
7.2	Kattilan polttoaine.....	21
7.3	Turve.....	22
7.4	Kattilan polttoaineen 0-näyte ilman kuitusavea	23
8	MÄNTÄN ENERGIA OY:N K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVOT.....	23
8.1	Päästöraja-arvot nykyisiä polttoaineita käytettäessä	23
8.2	Kuitusaven rinnakkaispoltossa ilmaan johdettavien päästöjen päästöraja-arvojen määrittäminen ..	23
8.3	Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan päästöraja-arvot kuitusaven rinnakkaispoltossa	24
9	KOEPOLTTOJAKSO.....	26
9.1	Ensimmäinen koepolttopäivä, polttokokeen aloitus	26
9.2	Toinen koepolttopäivä, tasaista polttoa vakiintuneella kuormalla	27
9.3	Kolmas koepolttopäivä, kuitusaven määrän kasvattaminen	28
9.4	Neljäs koepolttopäivä, kattilan kuorman kasvaminen kuitusaven määrän pysyessä ennallaan	29
9.5	Viides koepolttopäivä, polttojakson päättäminen	29
9.6	Yhteenveto.....	30
10	JOHTOPÄÄTÖKSET KOEPOLTTOJAKSOSTA	33
10.1	Kuitusaven rinnakkaispoltto.....	33
10.2	Koepolttojakson aikaisten päästöjen vertailu K4-kattilalle asetettuihin päästöraja-arvoihin	34
10.3	Koepolttojakson mittaustarkkuus	35
10.4	Tulipesän lämpötila.....	35
10.5	Petin lämpötila	35
10.6	Vertailu vuoden 2011 koepolttoon	36
10.7	Johtopäätökset nyt tehdystä kokeesta.....	36

10.8 Seuraavat vaiheet.....	37
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	39
LIITE 1. POLTTOAINEANALYYSISSÄ POLTTOAINENÄYTTEILLE SAADUT TULOKSET.....	40
LIITE 2. POLTTOKOEJAKSON AIKANA POLTETUN KUITUSAVEN MÄÄRÄ.....	41
LIITE 3. KUITUSAVEN PALAMISEEN TARVITTAVA HAPEN MÄÄRÄ SEKÄ SYNTYVIEN SAVUKAASUJEN VOLYYMI.....	42
LIITE 4. K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVOT KUITUSAVEN RINNAKKAISPOLTOSSA SO ₂ - JA NO _x -PITOISUUKSILLE	43
LIITE 5. K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVO KUITUSAVEN RINNAKKAISPOLTOSSA PÖLYPITOISUUDELLE	44
LIITE 6. K4-LEIJUPETIKATTILAN ARVOT KOEPOLTTOJAKSON AIKANA	45
LIITE 7. KOEPOLTTOJAKSON AIKANA SAVUKAASUISTA MITATUT KOMPPONENTTIEN PITOISUUKSIEN KESKIARVOT, REDUSOIDUT ARVOT SEKÄ VERTAILU PÄÄSTÖRAJA-ARVOIHIN KOEPOLTTOPÄIVITTÄIN.....	46

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää kuitusaven käytön vaikutus Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan toimintaan, savukaasupäästöihin ja tuhkan määrään. Kuitusaven vaikutusta K4-leijupetikattilan päästöihin tutkittiin koepoltossa, jossa käytettyjen polttoaineiden sekaan lisättiin kuitusavea. Koepolton aikana kuitusaven vaikutusta savukaasupäästöihin ja poltossa syntyneen tuhkan määrään mitattiin. Mittaustulosten perusteella kartoitettiin tarvittavia investointeja, joilla kuitusaven rinnakkaispoltoille asetetut savukaasupäästöjen päästöraja-arvot pystyttäisiin alittamaan kustannustehokkaasti kuitusavea polttaessa.

Kuitusavea syntyy Metsä Tissue Oyj:n paperitehtaan siistausprosessissa n. 60 000 t/v. Kuitusaven kiintoainepitoisuus on n. 30 %. Kuitusavea käytetään tällä hetkellä maankäytössä, mm. kaatopaikkojen tiivistyskerroksissa. Tulevaisuudessa kuitusavea halutaan hyödyntää myös energiantuotannossa. Voimassa oleva K4-leijupetikattilan ympäristölupa ei mahdollista kuitusaven rinnakkaispoltoa. Kuitusavea on poltettu Mäntän Energian K4-leijupetikattilassa vuosina 2011–2012 järjestetyissä kokeissa. Kesällä 2014 K4-leijupetikattilaan tehtiin remontti, jossa uusittiin kattilan puhaltimet sekä takavedon lämmönsiirtimet. Tässä työssä tehdyssä koepolttojaksossa haluttiin tietoa remontin vaikutuksesta kuitusaven polton päästöihin ja kattilan toimintaan.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

CO	Hiilimonoksidi
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
HCl	Suolahappo
HF	Fluorivety
NO _x	Typenoksidit
NTP	Normal Temperature and Pressure
SO ₂	Rikkidioksidi
TOC	Kaasumaiset ja höyrymäiset orgaaniset aineet orgaanisen hiilen kokonaismäärä

2 TOIMEKSIKSIANTAJAT

2.1 Metsä Tissue Oyj

Metsä Tissue Oyj on suomalainen hygieniaratkaisuja, sekä ruoanlaitto- ja pehmapaperia tuottava yritys. Tuotteita valmistetaan niin kuluttaja- kuin ammattikäyttöönkin. Eurooppalaisille kuluttajamarkkinoille yritys tarjoaa pehmapaperia tuotemerkeillä Serla, Lambi, Tento ja Mola. Ammattikäyttöön tarkoitettuja hygieniaratkaisuja myydään tuotemerkillä Katrin. Lisäksi yritys tarjoaa ruoanlaittopapereita kuluttaja- sekä ammattikäyttöön tuotemerkillä SAGA. Yritys tuottaa paperia 600 000 t/v yhdessätoista paperitehtaassa, jotka sijaitsevat Euroopassa. Metsä Tissue Oyj:n liikevaihto vuonna 2013 oli 1,0 miljardia euroa. Yhtiö työllistää 2800 ihmistä. Yrityksen omistavat Metsäliitto osuuskunta 91 % omistusosuudella ja Jozef Antosik 9 % omistusosuudella. Metsä Tissue Oyj on osa Metsä Group-konsernia. (Metsä Tissue Oyj 2014.)

2.1.1 Mäntän paperitehdas

Mänttä-Vilppulassa Pirkanmaalla sijaitseva Metsä Tissue Oyj:n Mäntän tehdas valmistaa pehmo- ja tiivispaperia. Paperinvalmistuksessa raaka-aineina käytetään havu- ja koivusellua sekä keräyspaperia. Mäntän tehtaan paperikoneiden PK1, PK7, PK9 ja PK10 vuosittainen paperintuotantokapasiteetti on noin 120 000 t/v. Paperikoneet PK1, PK9 ja PK10 valmistavat pehmapapereita ja paperikone PK7 valmistaa tiivispaperia. Tehtaalla on oma siistaamo, jossa kotikeräyspaperista tuotetaan uusiomasaa pehmapaperikoneille. Tehdas työllistää noin 400 henkilöä.

2.2 Mäntän Energia Oy

Mäntän Energia Oy tuottaa energiaa Metsä Tissue Oyj:n Mäntän tehtaalle ja Mäntän keskustaajamaan. Pääosa Mäntän Energia Oy:n leijupetikattilan K4 tuottamasta energiasta johdetaan vastapaine- ja väliottohöyrynä turbiinin läpi Metsä Tissue Oyj:n tehtaalle. Turbiinin tuottama sähkö käytetään voimalaitoksen ja Mäntän paperitehtaan tarpeisiin.

Mäntän Energia Oy:n voimalaitos sijaitsee Mänttä-Vilppulan kaupungissa Metsä Tissue Oyj:n omistamalla kiinteistöllä. Mäntän Energia Oy:n omistavat Metsä Tissue Oyj 70% omistusosuudella ja Mäntän Kaukolämpö Oy 30% omistusosuudella (Talvio 2015). Mäntän Energian pääkattila K4 on polttoteholtaan 105 MW leijupetikattila. K4-leijupetikattilassa poltetaan jyrsinturvetta, puupolttaineita, mekaanisesti kuivattua puhdistamolietettä ja paperitehtaan kiinteitä jätteitä. Tukipolto- ja apupolttaineena toimivat raskas polttoöljy sekä kivihiili. K4 rakennettiin vuonna 1974 sulfiittitehtaan jäteliemikattilaksi ja se muutettiin vuonna 1993 kuplivaksi leijupetikattilaksi. Voimalaitokseen kuuluu lisäksi varakäytössä olevat kattilat K5 ja K3. (Aluehallintovirasto 2011.)

3 KUITUSAVI

3.1 Määritelmä

Kuitusavella tarkoitetaan paperiteollisuudessa syntyviä täyteaine- ja kuitupitoisia sivutuotteita, kuten kuitu- ja siistauslietteitä (Louhiniva 2001, 88). Tässä työssä kuitusavella tarkoitetaan siistausprosessin sivutuotteena syntyvää siistauslietettä, josta on erotettu siistausjätterejetti (kuva 1.).



Kuva 1. Siistausprosessin tuottamaa kuitusavea.

3.2 Koostumus

Siistausliete koostuu siistausprosessissa kierrätyspaperista poistetuista epäpuhtauksista, kuten painoväripartikkeleista sekä täyteaineista. Siistausjätterejetti muodostuu kotikeräyspaperista siistausprosessiin kuulumattomista epäpuhtauksista, kuten muoveista ja niiteistä. (Louhiniva 2001, 26, 88.)

Kuitusaven tuhkapitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin muilla paperi- ja selluteollisuuden lietteillä (Turunen 2003, 23). Vuonna 2013 Metsä Tissue Oy:n Mäntän tehtaalla syntyneen kuitusaven tuhkapitoisuudet olivat DI60-lietteessä 53 % ja DI70-lietteessä 60 %, kun kiintoa-ainetta DI60-lietteessä oli 33 % ja DI70-lietteessä 36 %. (Laboratorio 2013.)

3.3 Siistausprosessi

Siistausprosessin raaka-aineena käytetään lajiteltua keräyspaperia. Keskimääräinen kotikeräyspaperiraaka-aine sisältää sanomalehtipaperia 65–70 %, aikakausilehtipaperia 20–25 % sekä sekalaista pahvia, kartonkia ja paperia alle 10 %. Siistauksessa lajitellusta ja hajoitettusta keräyspaperista ero-

tetaan täyteaineet, painoväri ja muut paperin valmistuksessa käytetyt lisäaineet. Prosessissa syntyyä uusiokuitumassaa käytetään paperin raaka-aineena. (Seppälä 1999, 68.)

Vuonna 2014 Mäntän tehtaan siistaamo tuotti uusiomassalaatua DI60, jonka raaka-aineena käytettiin kotikeräyspaperia.

3.3.1 Raaka-aineen varastointi

Mäntän tehtaalle keräyspaperi varastoidaan siistaamon yhteydessä olevaan varastotilaan. Keräyspaperi saapuu tehtaalle joko irtopaperina tai paalittuna kuorma- ja rekka-autoilla. Irtotavara siirretään paperikasalta kuljettimelle pyöräkuormaajalla. Paperipaalit langotaan pyöräkuormaajaan hydraulikkaan liitetyllä paalinpurkajalla joko paperikasalle, josta ne siirretään kuljettimelle kauhalla, tai suoraan kuljettimelle.

3.3.2 Pulperointi ja karkea- sekä hienolajittelu

Paperikuljetin siirtää kuljettimelle syötetyn paperin varastotilasta pulperiin ja samalla pulperiin lisätään kemikaaleja. Pulperin pohjassa pyörivä terä hajoittaa keräyspaperin yksittäisiksi kuiduiksi (Mauno 2010, 9.). Paperiin kuulumattomat partikkelit, kuten muovi, paalilangat ja suuret metallit, pumpataan rejektirumpuun. Rejektirummusta rejekti siirretään kuljettimella rejektilavalle.

Pulperista pulperoitu paperimassa pumpataan välisäiliön kautta karkealajitteluun sakeamassapuhdistimille. Karkealajittelusta paperimassa syötetään hienolajitteluun. Hienolajittelun ensimmäisessä vaiheessa massa kulkee pyörrepuhdistimien läpi painesihdille. Pyörrepuhdistimissa ja painesihdissä sellaiset jakeet, kuten rautalangan pätkät, kiviaines, niitit sekä muut partikkelit, jotka eivät ole erotuneet pulperoinnissa, poistuvat massasta. (Seppälä 1999, 69.)

3.3.3 Massan pesu

Painesihdiltä massa pumpataan välisäiliöiden kautta suotonauhapesurille. Suotonauhapesuri puhdistaa massaa keskipakovoiman avulla. Pesurin pyöriessä pesurille syötetystä massasta poistuu suotokankaan läpi keskipakovoiman ansiosta pientä kiintoainetta. Pesurissa pyritään erottamaan massasta päällystepigmenttejä, painoväripartikkeleita, tahmoja sekä täyte- ja hienoaineita. Lisäksi massasta erotetaan pesurissa sekä kolloidisia että massaan liuenneita aineita. Pehmopaperia varten uusiomassasta on erotettava täyteaineet ja painoväri kokonaan, sekä hienoaines ainakin osittain. Suotautumaton massa kaavitaan telan pinnalta talteen ja se tippuu pesurin alapuolelle sijoitettuun säiliöön. (Mauno 2010, 19–20.)

3.3.4 Mikroflotaatio ja lietteen käsittely

Suotonauhapesurilta suotonauhakankaan läpi suotautunut kiintoaines pumpataan pesurilta mikroflotaatioon. Mikroflotaatioon syötetty ilma nostaa yhdessä prosessiin syötettyjen kemikaalien avulla suotonauhapesurilta suotonauhakankaan läpi suotautuneen kiintoaineksen mikroflotaation pintaan.

Tämä kiintoaineksesta muodostunut liete kaavitaan mikroflotaation pinnalta edelleen pudotusputkeen.

Mäntän tehtaan siistaamalla lietepuristimena toimii suotonauhapuristin. Pudotusputkesta liete pumpataan lietepuristimen yläviiran päälle, jossa lietteestä suotautuu vesi painovoiman vaikutuksesta. Yläviiralta liete ohjataan alemmalle viiralle lietepuristimen puristusosaan, jossa telojen leikkaus- ja puristusvoimien vaikutuksesta lietteestä suotautuu lisää vettä. Viiralta kuivatettu liete tippuu repijäruuveille. Repijäruuveilta siistausliete tippuu kuljettimelle, joka siirtää valmiin kuitusaven lietelavoille. (Raivio 2013, 18–19.)

3.3.5 Viirapuristin, dispergointi ja 2. pesuri

Suotonauhan alapuolisesta säiliöstä, johon pesty massa on tippunut pesurilta, massa syötetään viirapuristimelle. Viirapuristin nostaa massan sakeutta massan dispergointia varten. Dispergoinnissa massan sakeuden täytyy olla 22–35 %. Dispergerin sisässä on terät, joiden läpi massa kulkee. Massan kulkiessa dispergerissä muokkaimen läpi se hajoaa ja muokkaantuu. Massasta hajoavat pintaliimaus-, päällystepasta- ja vahapartikkelit sekä massaan pesurin jälkeen jääneet painovärit. Mekaaninen sekoitus parantaa massan lujuusominaisuuksia sekä bulkkia. Lisäksi dispergointi puhdistaa massan mikro-organismeista. Dispergerissä massaa lämmitetään höyryllä, jotta massaa voidaan valkaisu. Valkaisuaine syötetään dispergerissä lämmitetyn massan sekaan. (Mauno 2010, 23–24.)

Dispergeristä massa syötetään toiselle suotonauhapesurille, jossa massa pestään vielä viimeisen kerran. Toisessa suotonauhapesurissa massan sakeutta nostetaan, jonka jälkeen massa pumpataan MC-pumpulla kahteen massatorniin. Massatorneihin varastoitu massa on käyttökelpoista raaka-ainetta uuden paperin valmistusta varten.

3.4 Kuitusaven nykyinen hyödyntäminen Suomessa

Paperi- ja selluteollisuudessa syntyy suuria määriä kuitupitoisia lietejakeita. Lietteiden ominaisuudet eroavat toisistaan, riippuen siitä millaisten prosessien tuloksena ne ovat syntyneet. Ominaisuudet vaikuttavat lietteiden hyödyntämismahdollisuuksiin. (Louhiniva 2001, 9.)

3.4.1 Kuitusavi täyteaineena

Kuitusaven soveltuvuutta erilaisten materiaalien täyteaineena on tutkittu, mutta täyteaineeksi kuitusavea voidaan käyttää vain pieniä määriä. Kuitulevyjen ja tiilituotteiden valmistuksessa kuitusaven käyttö ei ole aiheuttanut havaittavaa haittaa tuotteen laadulle tai tuotantoprosessille, kun kuitusaven pitoisuus raaka-aineesta on ollut 15 % kuitulevyissä ja 10 % tiilituotteissa. Kuitusaven käyttöä muovin ja vanerin täyteaineena on tutkittu, mutta tietoa sen käytöstä ei ole saatavilla. (Louhiniva 2001, 123.)

3.4.2 Kuitusavi maankäyttötarkoituksessa

Kuitusaven vedenläpäisevyys on erittäin pieni ja se soveltuu erittäin hyvin mm. kaatopaikan pintasuojarakenteeseen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Sekoittamalla lentotuhkaa kuitusaveen sen lujuusominaisuuksia pystytään parantamaan, jolloin kuitusavi toimii sorbenttina pidättäen haitta-aineita. Kuitusavi on normaalia kiviainesta kevyempää. Tästä johtuen maankäyttötarkoituksessa kuitusavi voi olla kilpailukykyinen normaaliin kiviainekseen verrattuna, koska kuitusaven kuljetuskustannukset ovat normaalia kiviaineista pienemmät. (Louhiniva 2001, 87–88.)

Metsä Tissue Oy:n Mäntän tehtaalla kuitusavea on hyödynnetty mm. Mäntän taajamaan rakennetun tekonurmikentän tiivistyskerroksessa, sekä kaatopaikkojen pintasuojarakenteissa.

3.4.3 Poltto

Yli puolet Suomen metsäteollisuuden lietteistä poltetaan tehtaiden omissa kattiloissa (Moring 2012, 33). Vuonna 1999 Suomessa syntyneestä siistauslietteestä poltettiin 28 % (Louhiniva 2001, 26). Kuitusavea poltetaan yleensä metsäteollisuuden omissa monipolttoainekattiloissa (Louhiniva 2001, 6). Poltettaessa suuria määriä kuitusavea se voi aiheuttaa muutoksia kattiloiden palamisprosessissa mm. tulipesän paineeseen ja lämpötilaan, koska kuitusaven kokonaiskosteus on n. 65 % (Raivio 2013, 21). Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa siistauslietteen teholliseksi lämpöarvoksi saapumistilassa on määritetty 4,00 MJ/kg, joten sen polttamisesta ei energiantuotannollisesti ole juuri hyötyä (Tilastokeskus 2014). Kuitusaven polttamisen pääasiallinen tarkoitus onkin lietteen hävittäminen (Louhiniva 2001, 118).

4 MÄNTÄN ENERGIA OY:N LEIJUPETIKATTILA K4

4.1 Polttoaineen käsittely ja varastointi

4.1.1 Puupolttoaineet ja turve

Puupolttoaineet ja turve kuljetetaan voimalaitokselle rekoilla. Rekoista polttoaineet puretaan purkuhallin kolakuljettimelle, joko sivusta tai perästä kippaamalla. Puupolttoaine ja turve voidaan tarvittaessa purkaa myös purkuhallin edessä sijaitsevalle asfaltoidulle polttoainekentälle, josta ne siirretään purkuhallin kolakuljettimelle pyöräkuormaajilla. Kolakuljetin siirtää puupolttoaineen ja turpeen kiekoseulalle ja murskaimelle. Murskaimen jälkeen puupolttoaine ja turve siirretään nousevalla kolakuljettimella 1 500 m³ varastosiilon. Varastotilasta puupolttoaineet ja turve kuljetetaan ruuvisyötöllä ja kolakuljettimella polttoainetunnelin hihnakuljettimelle, joka kuljettaa polttoaineen 100 m³ kattilasii- loon. (LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO 2006, 12.)

4.1.2 Kiinteät jätepolttoaineet

Kiinteistä jätepolttoaineista suurin osa on Mäntän paperitehtaalla syntyvää polttoon kelpaavaa paperijätettä, kuten rullanpäitä, reunanauhoja ja hylkyrullia, sekä kuormalavoja (kuva 2.). Tehtaalta jätepolttoaine siirretään kuorma-autoilla suoraan jätemurskaimelle tai välivarastotilaan. Jättemurskain syöttää murskatun jätepolttoaineen muun polttoaineen sekaan kolakuljettimelle, josta polttoaineet siirretään polttoainetunnelin hihnakuuljettimella kattilasiiloon. (LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO 2006, 14.)



Kuva 2. Kiinteät jätepolttoaineet koostuvat lähinnä paperitehtaalta tulevasta paperista.

4.1.3 Puhdistamoliete

Puhdistamolietettä syntyy jätevedenpuhdistamolla, joka sijaitsee samalla teollisuusalueella Mäntän paperitehtaan ja Mäntän Energia Oy:n voimalaitoksen kanssa. Jätevedenpuhdistamolla käsitellään paperitehtaan, voimalaitoksen ja Mänttä-Vilppulan jätevedet. Jätevedenpuhdistusprosessi ei tarvitse ravinnelisäystä, sillä yhteispuhdistus mahdollistaa aktiivilieteprosessin toiminnan. Puhdistamoliete on jätevesilietettä, joka on kuivattu mekaanisesti. Jätevedenpuhdistamolta liete kuljetetaan traktorin peräkärjessä voimalaitokselle. Peräkärjystä liete kipataan voimalaitoksella sijaitsevaan 25 m³ liete-taskuun (kuva 3.). Lietetaskusta puhdistamoliete syötetään tankopurkaimella koteloidulle kolakuljettimelle, josta se syötetään muun kiinteän polttoaineen seassa polttoainetunnelin hihnakuuljettimella kattilasiiloon. (LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO 2006, 12.)



Kuva 3. Voimalaitoksen lietetasku. Etualalla kuitusaven kasauspaikka.

4.1.4 Kivihiili

Kivihiiltä kuljetetaan voimalaitokselle rekka-autoilla. Kivihiili on K4-kattilan varapolttoainetta ja sitä varastoidaan voimalaitoksen maapohjaiselle kivihiilikentälle, jossa varastoidaan kerrallaan korkeintaan 4 000 tonnia kivihiiltä. Kivihiilikentältä kivihiili kuljetetaan koteloitua hihnakuuljetinta pitkin hiilisii- loon. (LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO 2006, 14.)

4.1.5 Polttoöljy

Polttoöljyä kuljetetaan säiliöautoilla voimalaitokselle. Polttoöljy puretaan säiliöautoista maan pinnalla oleviin kahteen 120 m³ säiliöön. Säiliöt on varusteltu öljynerotuskaivolla ja kaksinkertaisilla vaipoilla. Öljyä lämmitetään jatkuvasti pumppaamalla sitä lämmönsiirtimien läpi. Öljysäiliöistä lämmitetty öljy pumpataan polttimille tarvittaessa. (Talvio 2015.)

4.2 Kattilan toiminta

Kattilan K4 hiekkapeti saadaan leijumaan johdettaessa tulipesän alaosaan paineistettua ilmaa. Polttoaine syötetään petin yläpuolelta tulipesään syöttöruuveilla (LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO 2006, 10). Kattilan ilmatasoja voidaan säätää erikseen seinä- tai tasokohtaisesti. Primääri-ilmajärjestelmä syöttää ilman petin alapuolelta tulipesään. Sekundaari-ilmajärjestelmät on jaettu kahteen tasoon kattilan sivuseinille. Tertiääri-ilmajärjestelmä toimii kattilan taka- ja etuseinillä ja sitä pystytään säätämään myös suutinkohtaisesti. Savukaasut nousevat tulipesästä vaakavetoon, jossa ne virtaavat vertikaalisen kaksivaiheisen tulistimen ja ekonomaiserin 2. vaiheen kautta alaspäin konvektio-osaan. Konvektio-osassa savukaasut virtaavat luvon 2. vaiheen läpi ekonomaiserin 1. vaiheelle, josta ne jatka luvon 1. vaiheen läpi savukaasujen puhdistukseen (Talvio 2015). Savukaasut puhdistetaan multisyklonilla ja kaksikenttäisellä sähkösuotimella. Sähkösuotimelta puhtaat savukaasut virtaavat 112 metrisestä savupiipusta ulos. (FUNDACON OY 2011, 1.) Kattila K4:n tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan tekniset tiedot (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2006, 10.)

Selite	Lukuarvo
Polttoainetehto, MW	105 MW
Sähköteho	25 MW
Lämpöteho	94 MW
Kokonaishyötysuhde	90 %
Vuosittainen käyttöaika	8400 h/a

5 POLTTOAINEANALYYSI

5.1 Kosteuden määrittäminen

Tässä työssä kolmen kuitusavinäytteen, turvenäytteen, polttoaineen 0-näytteen ja kolmen kattilan polttoainenäytteen kosteuden määrittämiseen käytettiin kierrätyspolttoaineille tarkoitettua CEN/TS 15414-2 standardiin perustuvaa ENEMEN-001 vakuuminenettelmää. Yhdentoista kattilan polttoainenäytteen kosteusmäärittämiseen käytettiin ISO 589-menetelmää.

Polttoainenäytteet punnittiin PB-3002-S/PH Mettler Toledo tai PB-602-Mettler Tolde yläkuppivaa'alla. Punnituksen jälkeen näytteitä möyhennettiin niin, että niiden voitiin olettaa olevan homogeenisiä. Tämän jälkeen kuivausastiat punnittiin tyhjinä 0,1 g tarkkuudella. Tässä työssä kuivausastioina käytettiin 850 ml ja 1 900 ml foliovuokia. Punnittuihin kuivausastioihin siirrettiin vähintään 300 g ja enintään 600 g polttoainenäytettä. Kustakin polttoainenäytteestä otettiin kaksi kosteusmäärittämissä näytettä.

Punnituksen jälkeen kuitusavinäytteistä, turvenäytteestä, polttoaineen 0-näytteestä ja kolmesta kattilan polttoainenäytteestä otetut kosteusmäärittämissä näytteet laitettiin Vacucell 55 kuivausuniin, jonka lämpötila oli säädetty lämpötilaan 105 ± 2 °C. Yhdestätoista kattilan polttoainenäytteestä tehdyt kosteusmäärittämissä näytteet laitettiin Mäntän Energian ilmastoituun lämpökaappiin, jonka lämpötila oli säädetty 105 ± 2 °C.

Kuivausastioissa olevia näytteitä kuivattiin niin kauan, että näytteen massan muutos 60 minuutin mittausvälillä oli alle 0,2 %. Näytteet täytyi punnita uunista otettaessa 15 sekunnin aikana, jottei kosteus ehtinyt absorboitua näytteisiin. Näytteiden kokonaiskuivausaika ei saanut ylittää 24 tuntia.

Kokonaiskosteuspitoisuus saatiin laskemalla käyttäen kaavaa

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

missä

M_{ar} on polttoaineen kosteuspitoisuus saapumistilassa massaprosentteina

m_1 on tyhjän kuivausastian massa grammoina

m_2 on kuivausastian ja näytteen massa grammoina ennen kuivausta

m_3 on kuivausastian ja näytteen massa grammoina kuivauksen jälkeen

(Savonia 2014, Laboratoriotyöohje 1.)

5.2 Lämpöarvojen määrittäminen

Polttoainenäytteiden lämpöarvot määritettiin standardin SFS-EN 14918 mukaisesti.

Kalorimetrinen lämpöarvo määritettiin polttoaineille pommikalorimetrillä. Kustakin polttoainenäytteestä tehdyt kosteusmäärittämisnäytteet sekoitettiin keskenään. Sekoitettujen polttoaineiden kosteusmäärittämisnäytteet jauhettiin Retsch SM100 leikkaavassa myllyssä alle 0,2 mm partikkeleiksi. Jokaisesta jauhetusta näytteestä punnittiin Mettler-Toledo AB 104-S/PH analyysivaa'alla kaksi noin 1 g näytettä 0,1 g tarkkuudella. Punnitut näytteet puristettiin pelleteiksi T51201 pellettiprässillä 9 kilogramman puristusvoimalla. Pelletit irroitettiin pellettimuotista pellettiprässi 2811:llä. Pelletit poltettiin yksitellen happiatmosfäärissä 6200CLEF pommikalorimetrin kalorimetripommissa.

Pommikalorimetrissä kalorimetripommi oli upotettuna nesteeseen ja pelletin palaessa kalorimetripommista nesteeseen vapautuva lämpöenergia mitattiin. Samanaikaisesti A&D MS-70 pikakosteusanalyysaattorilla määritettiin analysoitavan polttoainenäytteen kosteus. Pikakosteuden avulla ilmakeivän näytteen lämpöarvo muutettiin vastaamaan absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvoa. 6200CLEF pommikalorimetri laski polttoaineelle tehollisen lämpöarvon veteen siirtyneen energian ja polttoaineen kosteuden perusteella.

Kalorimetrinen lämpöarvo saatiin laskentakaavalla

$$Q_{gr,d} = Q_{gr,da} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2)$$

missä

$Q_{gr,d}$ on kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa

$Q_{gr,da}$ on analyysikostean (ilmakuivan) näytteen kalorimetrinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa

M_{ad} on näytteen (ilmakuivan) analyysikosteus massaprosentteina

Absoluuttisen kuivan polttoaineen tehollinen lämpöarvo laskettiin kaavalla

$$Q_{net,d} = Q_{gr,d} - 0,02443 \times M \quad (3)$$

missä

$Q_{net,d}$ on polttoaineen tehollinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa

$Q_{gr,d}$ on polttoaineen kalorimetrinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa

M on polttoaineen kuiva-aineen sisältämän vedyn palaessa syntynyt vesimäärä massaprosentteina

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa saatiin laskentakaavalla

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} \times \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02443 \times M_{ar} \quad (4)$$

missä

$Q_{net,ar}$ on polttoaineen tehollinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa saapumistilassa

$Q_{net,d}$ on polttoaineen tehollinen lämpöarvo megajouleina kilogrammassa

M_{ar} on vastaavan polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa massaprosentteina

(Savonia 2014, Laboratoriotyöohje 2.)

5.3 Tuhkapitoisuuden määrittäminen

Tuhkapitoisuudet määritettiin SFS-EN 14775 menetelmän mukaisesti ja tuhkamäärityksissä käytettävät lämpötilat olivat standardin ISO 1171 mukaisia.

Tuhkapitoisuuden määrittäminen voidaan tehdä suoraan yleisestä analyysitestausnäytteestä kosteuspitouksen määrittämisen yhteydessä tai suljetussa eksikaattorissa säilytetystä analyysitestausnäytteen osasta. Mikäli määrittäminen tehdään analyysitestausnäytteen osasta, on se pidettävä absoluuttisen kuivana ennen punnitsemista. Tässä työssä tuhkapitoisuuden määrittäminen tehtiin suoraan yleisestä analyysitestausnäytteestä. Jokaisesta polttoainenäytteestä otettiin kolme tuhkamääritysnäytettä.

Tuhkamääritys aloitettiin hehkuttamalla posliiniupokkaita lämpökäsittelyuuni Rohde ME 17-13SG:ssä 550 ± 10 °C lämpötilassa 60 minuuttia, jonka jälkeen upokkaita jäähdytettiin kivilevyn päällä noin 5-10 minuuttia. Tämän jälkeen upokkaat siirrettiin eksikaattoriin, jossa niiden annettiin jäähtyä huoneenlämpöiseksi. Lämpökäsittellyt posliiniupokkaat punnittiin Mettler-Toledo AB 104-S/PH analyysivaa'alla 0,1 gramman tarkkuudella. Punnittuihin posliiniupokkaihin annosteltiin noin gramman verran yleistä analyysinäytettä, joka levitettiin tasaisesti upokkaan pohjalle ja punnittiin Mettler-Toledo AB 104-S/PH analyysivaa'alla.

Näytettä sisältävät posliiniupokkaat laitettiin huoneenlämpöiseen Rohde ME 17-13SG lämpökäsittelyuuniin. Huoneenlämpöistä Rohde ME 17-13SG lämpökäsittelyuunia lämmitettiin kuumennusohjelmalla, joka ensin nosti uunin lämpötilan tasaisesti 500 ± 15 °C asteeseen 50 minuutissa. Tämän jälkeen

uunin lämpötila nostettiin 60 minuutin kuluessa tasaisesti 815 ± 15 °C asteen lämpötilaan. Tätä lämpötilaa pidettiin vähintään 60 minuutin ajan uunissa. Sitten posliiniupokkaat tuhkiin otettiin uunista kivilevyille, jossa niiden annettiin jäähtyä 5-10 minuuttia. Kivilevyiltä posliiniupokkaat tuhkiin siirrettiin eksikaattoriin, missä niiden annettiin jäähtyä huoneen lämpötilaan. Posliiniupokkaat tuhkiin punnittiin Mettler-Toledo AB 104-S/PH analyysivaa'alla 0,1 milligramman tarkkuudella välittömästi, kun ne olivat saavuttaneet huoneen lämpötilan.

Kustakin polttoainenäytteestä tehtiin kolme rinnakkaismäärittystä, joiden avulla lasketut tuhkapitoisuudet saivat erota toisistaan korkeintaan 0,2 prosenttiyksikköä. Näytteen tuhkapitoisuus kuiva-aineesta laskettiin kaavalla

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (5)$$

missä

A_d on näytteen tuhkapitoisuus kuiva-ainetta kohti massaprosentteina

m_1 on tyhjän astian massa grammoina

m_2 on astian ja näytteen massa grammoina

m_3 on astian ja tuhkan massa grammoina

M_{ad} on määrittämiseen käytetyn testausnäytteen kosteusprosentteina

(Savonia 2014, Laboratoriotyöohje 3.)

6 KOEPOLTTOJÄRJESTELYT

6.1 Koepolttojakson tavoitteet

Koepolttojakson tavoitteena oli selvittää kuitusaven käytön vaikutus Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan palamisprosessiin, savukaasupäästöihin ja tuhkan määrään. Koepolttojaksosta saaduilla tuloksilla pyrittiin kartoittamaan taloudellisimpia keinoja, joilla K4-leijupetikattilalle asetetut savukaasujen päästöraja-arvot pystytään alittamaan ja tuhkan laatu saadaan täyttämään pysyvälle kaatopaikkajätteelle asetetut vaatimukset. Koepolttojakson vaatimukseen kuului myös, että kattilan käytettävyyttä ei saanut kokeen aikana vaarantaa.

6.2 Aikataulu

Koepolttojakso toteutettiin 8.-12.12.2014 välisenä aikana. Kuitusavea poltettiin lisäämällä sitä voimalaitoksen käytössä olevien polttoaineiden sekaan. Kuitusavea poltettiin vuorokauden ympäri. Koe alkoi maanantaina 8.12.2014 klo 8, jolloin kuitusavea syötettiin voimalaitoksen lietetaskuun. Lietteen määrää oli tarkoitus kasvattaa viikon aikana mahdollisuuksien mukaan. Kuitusaven syöttäminen lietetaskuun lopetettiin perjantaina 12.12.2014 klo 9.

6.3 Koejärjestelyt

Ennen kokeen alkamista huolehdittiin, että lietetaskun viereen oli kuljetettu tarpeeksi kuitusavea, jotta koe voitiin aloittaa. Kuitusavi siirrettiin kuorma-autoilla siistausprosessista punnituksen kautta lietetaskun viereen kasaksi (kuva 4.). Tuhkasiilo tyhjennettiin ennen kokeen alkamista, jotta siilotuhkanäytteistä voidaan myöhemmin todentaa tuhkan kaatopaikkakelpoisuus. Lisäksi voimalaitoksen henkilökuntaa informoitiin koepoltosta. Kuitusaven syöttämisestä lietetaskuun vastasi voimalaitoksen henkilökunta.



Kuva 4. Ennen koepolttojakson alkamista kuitusavea kasattiin lietetaskun viereen, josta lietettä syötettiin lietetaskuun kauhakuormaajalla.

6.4 Kattilan ajotapa

Kokeen aikana oli tarkoituksena pitää kattilan säädöt sen hetkisissä parhaissa käytössä olevissa arvoissa. Poltettavan kuitusaven määrää oli tarkoitus lisätä vuorokausittain. Kuitusaven määrän lisääminen oli kuitenkin riippuvainen kattilan kuormasta. Kokeen aikana primääri/sekundaari-ilmasuhde pyrittiin pitämään 1,0:ssa, joka vastasi kokeen alkuhetken tilannetta. Lietetaskun kuljettimen nopeus nostettiin 70 % nopeudesta 95 % nopeuteen kuitusaven syöttämisen alettua. Kokeen aikana valvomohenkilökunta tarkkaili kuitusaven vaikutusta kattilan toimintaan. Erityistä huomiota kiinnitettiin petin lämpötiloihin.

6.5 Näytteenotto

Kuitusavinäytteet otettiin siistaamalla lietepuristimen jälkeiseltä lietekuljettimelta. Kuitusavinäytteitä otettiin 24 tunnin sisällä kolme kappaletta niin, että jokainen 8 tunnin työvuoro otti yhden näytteen. Näyteastioihin merkittiin näytteen ottaneen työvuoron nimi sekä näytteenottopäivämäärä.

Ennen koepolttojakson alkamista siilo- ja pohjatuuskasta otettiin ns. 0-näytteet. Koepolttojakson aikana otettiin kustakin mitattavasta määreestä neljä näytettä päivisin klo 8 ja klo 17 välisenä aikana. Käytetystä polttoaineesta otettiin näyte kahden tunnin välein polttoainekuljettimelta (kuva 5.). Lisäksi polttoon menevästä kuitusavesta otettiin näyte kahden tunnin välein lietetaskun vieressä olevasta kuitusavikasasta. Tuhkanäytteitä otettiin pohjakuljettimelta ja tuhkasii-losta kahden tunnin välein. Ensimmäiset polttoaine- ja tuhkanäytteet otettiin maanantaina 8.12.2014 klo 8. Viimeiset polttoainenäytteet ja tuhkanäytteet otettiin torstaina 11.12.2014 klo 16. Näytteiden ostopäivä vastasi opinnäytetyöntekijä itse. Kokeen jälkeen polttoainekuljettimelta kerättiin polttoaineesta yksi 0-näyte. Turvekuormista viikon aikana otetuista turvenäytteistä tehtiin kokeen jälkeen yksi koontinäyte polttoaineanalyysia varten. Kaikki näytteet toimitettiin tehtaalta laboratorioon ilmatiiviissä pakkauksissa.



Kuva 5. Polttoaineesta otettiin neljä näytettä päivässä polttoainekuljettimella sijainneesta näytteenottopaikasta.

6.6 Mittaukset

Kattilan toimintaa koskevat mittaukset suoritettiin seitsemän päivän aikana. Tarkkailujaksoa pidennettiin varsinaista koepolttajaksoa pidemmäksi, jotta tarkkailujaksoon saatiin vertailukohta. Päästömittaukset suoritettiin Mäntän Energian omilla jatkuvatoimisilla mittareilla. FTIR-analysaattorilla mitattiin H_2O -, SO_2 -, NO_x -, HF-, TOC- ja HCl-pitoisuuksia savukaasuista. Lisäksi tulipesän lämpötilaa sekä O_2 -pitoisuutta ja hiukkasten kokonaismäärää savukaasuista mitattiin jatkuvatoimisilla mittareilla.

Polttoainenäytteille tehtiin polttoaineanalyysi mittaamalla polttoaineista kosteus, tuhkapitoisuus ja lämpöarvot. Tuhkan laadun määrittäminen päätettiin jättää tämän opinnäytetyön ulkopuolelle tarvittavien laitteiden ja riittävän osaamisen puuttumisen vuoksi.

6.7 Seuranta

Koepolttojakson aikana pidettiin kirjaa lietetaskuun syötetyn kuitusaven määrästä sekä ajankohdista. Lisäksi puhdistamolietteen saapumisajankohdat kirjattiin vuoropäiväkirjaan. Jokainen vuoro vastasi omasta kirjanpidostaan. Kattilan ohjausjärjestelmän K4 yleiskaavio 1:stä, K4 yleiskaavio 2:sta sekä K4 savutiekaaviosta printattiin kahden tunnin välein kopio.

7 POLTTOAINEANALYYSIEN TULOKSET

7.1 Kuitusavi

Polttoaineanalyysi tehtiin kolmesta kuitusavinäytteestä, jotka otettiin marraskuussa 2014. Kuitusavinäytteet otettiin vuorokauden aikana kahdeksan tunnin välein suoraan siistausprosessista. Polttoaineanalyysi osoitti, että kuitusavesta 68,6 % on vettä ja kiintoaineesta 43 % on tuhkaa. Pommikalorimetrimittauksissa kuitusaven sisältämä tuhka muovautui kiinteiksi ”möykkyiksi”. Tuhkamöykkyjen kemiallista koostumusta ei selvitetty, joten jää arvailujen varaan mitä ”möykkyt” sisälsivät. Yhden kuitusavinäytteen pommikalorimetrissä synnyttämä ”möykky” on nähtävissä kuvassa 6. Polttokoejakson ensimmäisenä kolmena päivänä kuitusavesta otettiin näytteitä, joista määritettiin kokonaiskosteus. Polttoainejakson aikana tehdyt kokonaiskosteusmääritykset vastasivat polttoaineanalyysissä kuitusavelle määritettyä 68,6 % kosteusarvoa. Kokeen aikana vallinnut sateinen keli ei ollut vaikuttanut kuitusaven kosteuteen. Kuitusaven teholliseksi lämpöarvoksi saapumistilassa mitattiin 0,83 MJ/kg, teholliseksi lämpöarvoksi 7,97 MJ/kg ja kalorimetriseksi lämpöarvoksi 9,30 MJ/kg. Näytekohtaiset polttoaineanalyysin mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.



Kuva 6. Pommikalorimetrissä kuitusaven sisältämä tuhka muovautui ”möykkyksi”.

7.2 Kattilan polttoaine

Kattilan polttoainenäytteet otettiin neljänä ensimmäisenä koepolttopäivänä kattilasiiloon polttoainetta siirtävältä kuljettimelta neljästi päivässä klo 9 – 16 välisenä aikana. Polttoaineen koostumus polttoainekuljettimella vaihteli huomattavasti johtuen voimalaitoksen polttoaineensyöttöjärjestelmästä. Yksittäisiä polttoaineita siirtävät kuljettimet ja ruuvit eivät syötä polttoainetta polttoainekuljettimelle tasaisesti, minkä johdosta kattilan polttoainenäytteet eivät olleet suoraan vertailukelpoisia keskenään. Kattilan polttoainenäytteistä mitattiin kosteuspitoisuus, kiintoaineen tuhkapitoisuus ja lämpöarvot. Yhden päivän aikana otettujen näytteiden mittaustuloksista laskettiin kullekin koepolttopäivälle kosteuspitoisuuden, kiintoaineen tuhkapitoisuuden sekä lämpöarvojen keskiarvot. Koepolt-

topäivien mittaustulosten keskiarvoja voitiin vertailla keskenään. Ensimmäisen koepolttopäivän ensimmäinen näyte jouduttiin hylkäämään epäonnistuneen näytteenoton johdosta, siten ensimmäisen koepolttopäivän polttoaineesta laskettiin keskiarvot kolmen näytteen perusteella. Jäljempänä tässä luvussa kerrotut arvot ovat edellä kuvatun mukaisesti laskettuja keskiarvoja.

Koepolttojakson aikana valtaosa, arviolta 60 %, poltettavasta polttoaineesta oli turvetta. Tyypillisesti käytössä olevista polttoaineista puupolttoainetta oli polttoaineen seassa hyvin pieniä määriä. Murskaimelta tullut paperi oli pääasiassa pehmopaperia, mutta toisena koepolttopäivänä murskaimelta tuli myös runsaasti tiivispaperia polttoaineen sekaan.

Ensimmäisen koepolttopäivän polttoaineet sisälsivät 49,5 % kosteutta. Kiintoaineesta 11,3 % oli tuhkaa. Kolmen polttoainenäytteen keskiarvo tehollisesta lämpöarvosta saapumistilassa oli 8,10 MJ/kg. Alemmaksi eli teholliseksi lämpöarvoksi ensimmäisen päivän näytteiden osalta saatiin 18,24 MJ/kg ja ylemmäksi eli kalorimetriseksi lämpöarvoksi 19,58 MJ/kg.

Toisen koepolttopäivän polttoaineanalyysistä eteenpäin polttoaineanalyysi tehtiin suunnitelman mukaisesti neljästä näytteestä. Toisen koepolttopäivän polttoaineiden kosteudeksi saatiin 50,9 %, kuiva-aineen tuhkamäärän ollessa 13,85 %. Saapumistilassa olevan polttoaineen teholliseksi lämpöarvoksi saatiin 7,52 MJ/kg, teholliseksi lämpöarvoksi 17,69 MJ/kg ja ylemmäksi lämpöarvoksi 19,02 MJ/kg. Toisen koepolttopäivän neljästä näytteestä kaksi sisälsi huomattavia määriä tiivispaperia ja näiden kahden näytteen kokonaiskosteus jäi kahta muuta päivän polttoainenäytettä selvästi alhaisemmaksi.

Kolmannen koepolttopäivän polttoainenäytteiden kokonaiskosteuksien keskiarvo oli 48,4 %. Tuhkaa näytteiden kiintoaineesta oli neljän näytteen keskiarvona 5,9 %. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 8,38 MJ/kg, tehollinen lämpöarvo 18,52 MJ/kg ja ylempi lämpöarvo 19,85 MJ/kg.

Neljännän koepäivän polttoainenäytteissä kuitusaven määrän kasvu polttoaineessa tuli selkeimmin esille mittaustuloksissa. Näytteiden kosteuspitoisuus oli koepolttopäivistä suurin 53,4 % ja tuhkaa polttoaineen kiintoaineesta oli keskimäärin peräti 19,75 %. Mitatut lämpöarvot olivat koepolttojakson aikana otetuista näytteistä alimmat. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 6,36 MJ/kg, tehollinen lämpöarvo 16,32 MJ/kg ja kalorimetrinen lämpöarvo 17,65 MJ/kg.

Näytekohtaiset polttoaineanalyysin mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

7.3 Turve

Koepolttojakson aikana polttoon mennyt turve oli toimitettu kahdelta eri toimittajalta. Jokaisesta saapuneesta turvekuormasta otettiin näyte. Turvenäytteistä tehtiin yksi koontinäyte, johon kerättiin näytettä jokaisesta turvekuormanäytteestä. Turvenäytteen avulla voitiin tarkastella muiden polttoaineiden vaikutusta kattilaan menevän polttoaineen ominaisuuksille vertaamalla turvenäytteestä saatuja tuloksia kattilan polttoaineesta saatuihin tuloksiin. Turpeen kokonaiskosteudeksi saatiin 38,3 %

ja kuiva-aineesta 14,7 % oli tuhkaa. Kalorimetrinen lämpöarvo turpeella oli 20,58 MJ/kg, tehollinen lämpöarvo 19,25 MJ/kg ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa 10,95 MJ/kg.

7.4 Kattilan polttoaineen 0-näyte ilman kuitusavea

Koepolttojakson jälkeen polttoainekuljettimelta otettiin yksi vertailunäyte, josta tehtiin polttoaine-analyysi. Tämä ns. 0-näyte edusti normaalisti käytössä olevaa polttoaineseosta, eikä se sisältänyt lainkaan kuitusavea. 0-näytettä käytettiin vertailukohtana koepolttojakson aikana otettuihin näytteisiin. 0-näytteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 9,12 MJ/kg, tehollinen lämpöarvo 19,30 MJ/kg ja ylempi lämpöarvo 20,63 MJ/kg. Polttoaineesta 46,8 % oli kosteutta ja kiintoaineksen tuhkapitoisuus oli 8,6 %.

8 MÄNTÄN ENERGIA OY:N K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVOT

8.1 Päästöraja-arvot nykyisiä polttoaineita käytettäessä

Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilalle Vaasan hallinto-oikeuden päätöksen 08/0108/1 mukaiset savukaasujen pitoisuusraja-arvot kiinteitä polttoaineita käytettäessä ovat seuraavat:

- Pölypitoisuus:	50	mg/Nm ³
- Rikkidioksidi:	710	mg/Nm ³
- Typenoksidit:	600	mg/Nm ³

”Päästöraja-arvoja katsotaan noudatetun, jos jatkuviissa mittauksissa kalenterivuoden yhdenkään kalenterikuukauden keskiarvo ei ylitä raja-arvoja ja jos kaikista 48 tunnin keskiarvoista 97 prosenttia ei ylitä 110 prosenttia raja-arvoista.” (Vaasan hallinto-oikeus 2008.)

8.2 Kuitusaven rinnakkaispoltossa ilmaan johdettavien päästöjen päästöraja-arvojen määrittäminen

Kuitusavea käytettäessä päästöraja-arvot määräytyvät kullekin savukaasun sisältämälle epäpuhtaudelle ja hiilimonoksidille jätteenpolttoasetuksen 151/2013 liitteen 3 kohdassa 1 esitetyn kaavan mukaan. Kaava on

$$C = \frac{V_{jäte} \times C_{jäte} + V_{prosessi} \times C_{prosessi}}{V_{jäte} + V_{prosessi}} \quad (6)$$

missä

$V_{jäte}$ on pelkästään jätteen poltossa syntyvä savukaasun volyyymi. Volyyymi määritetään sen jätteen mukaan, jonka lämpöarvo on pienin asetuksessa säädettyjen olosuhteiden mukaiseksi muunnettuna. $C_{jäte}$ on jätteenpolttoasetuksen 151/2013 liitteessä 3 määrätty vuorokausikeskiarvo savukaasujen epäpuhtauksille sekä hiilimonoksidille.

$V_{prosessi}$ on muusta kuin jätteenpoltosta syntyvän savukaasun volyyymi

C_{prosessi} on jätteenpolttoasetuksen 151/2013 liitteessä 3 savukaasujen epäpuhtauksille ja hiilimonksidille määrätty vuorokausikeskiarvo muuta kuin jätettä poltettaessa.

C on päästöraja-arvo jätteen rinnakkaispoltossa

(Koskinen 2006, 11.)

Kuitusaven poltosta syntyvien savukaasujen volyyymi lasketaan kaavalla

$$N_{sk(teor)} = n_c + n_{h_2} + n_s + 3,76 \times N_{o_2(teor)} + n_n + n_{h_2o} \quad (7)$$

missä

$N_{sk(teor)}$ on teoreettinen savukaasujen volyyymi

n_c on kuitusaven sisältämän hiilen määrä mooleina polttoaineesta

n_{h_2} on kuitusaven sisältämä vetymolekyylien määrä mooleina polttoaineesta

n_s on kuitusaven sisältämä rikki mooleina polttoaineesta

$N_{o_2(teor)}$ on teoreettinen kuitusaven palamiseen tarvittava hapen määrä mooleina polttoaineesta

n_n on kuitusaven sisältämän typen määrä mooleina polttoaineesta

n_{h_2o} on kuitusaven sisältämä veden määrä mooleina polttoaineesta

(Huhtinen 2000, 86.)

Kuitusaven palamiseen tarvittava teoreettinen hapen määrä lasketaan kaavalla

$$N_{o_2(teor)} = n_c + 0,5 \times n_{h_2} + n_s - n_{o_2} \quad (8)$$

missä

$N_{o_2(teor)}$ on teoreettinen kuitusaven palamiseen tarvittava hapen määrä mooleina polttoaineesta

n_c on kuitusaven sisältämän hiilen määrä mooleina polttoaineesta

n_{h_2} on kuitusaven sisältämä vetymolekyylien määrä mooleina polttoaineesta

n_s on kuitusaven sisältämä rikki mooleina polttoaineesta

n_{o_2} on kuitusaven sisältämä hapen määrä mooleina polttoaineesta

(Huhtinen 2000, 85.)

8.3 Mäntän Energia Oy:n K4-leijupetikattilan päästöraja-arvot kuitusaven rinnakkaispoltossa

Jätteenpolttolaitoksella tarkoitetaan laitosta, jonka pääasiallinen tarkoitus on jätteen lämpökäsittely, riippumatta siitä, hyödynnetäänkö lämpökäsittelyssä syntynyt energia vai ei. Jätteen rinnakkaispolttolaitoksella, joksi K4-leijupetikattila kuitusavea poltettaessa luokiteltaisiin, tarkoitetaan laitosta, jonka pääasiallinen tarkoitus on tuottaa energiaa tai aineellisia tuotteita käyttämällä jätettä vakinaisena tai lisäpolttoaineena. (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta, 2 § kohta 4 ja 5.)

Päästöraja-arvojen määrittäminen edellyttää kuitusaven alkuainekoostumuksen tuntemista. Tässä työssä kuitusaven alkuainekoostumuksen lähdeaineistona on käytetty vuoden 2011 koepolttojakson yhteydessä kuitusavelle teetetyn polttoaineanalyysin tuloksia. Kuitusaven kosteuden lähdeaineistona on käytetty tämän työn yhteydessä kuitusavelle teetetyn kosteusanalyysin tulosta, joka on esitetty

kohdassa 7.1. Kuitusaven poltosta syntyvän savukaasun volyymin laskentataulukot on esitetty liitteessä 3. Rinnakkaispolton päästöraja-arvojen laskutoimitukset on esitetty SO₂- ja NO_x-pitoisuuksien osalta liitteessä 4. Pöypitoisuuden päästöraja-arvon laskutoimitukset on esitetty liitteessä 5. SO₂-, NO_x- ja pölypitoisuuksien päästöraja-arvojen laskennassa V_{prosessi} arvona on käytetty Fundaco Oy:n K4-leijupetikattilalle laskemaa savukaasun volyymin arvoa 3,71 m³/kg_{pa} (Fundacon Oy 2011, 10).

Vetyfluorille, vetykloridille, kokonaishiilelle ja hiilimonoksidille ei ole määrätty prosessipitoisuusarvoja jätteenpolttoasetuksessa, ympäristönsuojelulaissa tai K4-leijupetikattilan ympäristöluvassa, joten prosessipitoisuusarvo HF-, HCl-, TOC- ja CO-pitoisuuksille täytyi laskea todellisten massapitoisuuksien mukaan. Tietyissä tapauksissa voidaan käyttää suoraan jätteenpolttoasetuksen 151/2013 liitteessä 1 jätteenpolttolaitokselle asetettuja vuorokausikeskiarvoja, eikä kaavaa [6] tällöin sovelleta. (Koskinen 2006, 26.) Tässä työssä vetyfluorille, vetykloridille, kokonaishiilelle ja hiilimonoksidille on käytetty jätteenpolttoasetuksen 151/2013 liitteen 1 jätteenpolttolaitokselle asetettuja vuorokausikeskiarvoja, koska polttoaineiden todellisia massapitoisuuksia ja koostumuksia ei tämän opinnäytteen polttokoejaksolla mitattu.

K4-leijupetikattilalle päästöraja-arvot ovat kuitusaven rinnakkaispoltossa 6 % happipitoisuudella:

- Rikkidioksidi:	284	mg/Nm ³
- Typenoksidit:	334	mg/Nm ³
- Pölypitoisuus:	37	mg/Nm ³

K4-leijupetikattilan päästöraja-arvot ovat kuitusaven rinnakkaispoltossa 11 % happipitoisuudella:

- Orgaanisen hiilen kokonaismäärä:	10	mg/Nm ³
- Hiilimonoksidi:	50	mg/Nm ³
- Suolahappo:	10	mg/Nm ³
- Fluorivety	1	mg/Nm ³

Päästöraja-arvot annetaan yleensä kuivissa kaasuissa tietyssä normaalitilan happipitoisuudessa. Edellä esitettyjen päästöraja-arvojen normaalitilana käytetään Suomessa ja Euroopassa käytössä olevaa NTP:n määritelmää, jossa normaalitilan lämpötila on 273 K ja paine 101,3 kPa. (VTT 2004, 46.) K4-leijupetikattilan mittausjärjestelmästä koepoltojakson ajalta saadut savukaasujen mittaustulokset olivat valmiiksi normaalitilassa.

Komponenteille koepoltojakson savukaasujen mittaustuloksista saadut kosteat pitoisuudet oli redusoitava vastaamaan komponenttien pitoisuuksia kuivissa kaasuissa tietyssä happipitoisuudessa, jotta tuloksia voitiin verrata päästöraja-arvoihin.

Komponentin kostean pitoisuuden muutos kuivaksi pitoisuudeksi lasketaan kaavalla (9)

$$c_{kuiva} = \frac{c_{kosteaa}}{1 - \frac{c_{H_2O}}{100}}$$

missä

c_{kuiva} on komponentin pitoisuus kuivassa kaasussa

$c_{kosteaa}$ on komponentin pitoisuus kosteassa kaasussa

c_{H_2O} on vesihöyryn osuus savukaasuissa prosentteina

(VTT 2004, 52.)

Komponentin pitoisuuden redusointi päästöraja-arvossa määriteltyyn happipitoisuuteen lasketaan kaavalla

(10)

$$c_{O_2-reduoitu} = c_{kuiva} \times \frac{20,9 - O_{2,vertailu}}{20,9 - O_{2,mitattu}}$$

missä

$c_{O_2-reduoitu}$ on komponentin reduoitu pitoisuus

c_{kuiva} on komponentin pitoisuus kuivassa savukaasussa

$O_{2,vertailu}$ on happipitoisuus, johon komponentin pitoisuus halutaan redusoida

$O_{2,mitattu}$ on komponentin kuivalle pitoisuudelle mitattu happipitoisuus.

(VTT 2004, 52.)

9 KOEPOLTTOJAKSO

9.1 Ensimmäinen koepolttopäivä, polttokokeen aloitus

Koepolttojakso alkoi maanantaina 8.12.2014 klo 8.05, jolloin ensimmäinen kauhallinen kuitusavea syötettiin lietetasuun. Ensimmäisenä koepäivänä kattilan kuorma oli 13,22 kg/s. Kattilan kokonaisilmamäärä oli 62,02 kNm³/h primääri-ilmamäärän ollessa 32,00 kNm³/h. Päivän aikana kuitusavea poltettiin 53 t, kuitusaven osuuden ollessa n. 18 % kiinteistä polttoaineista. Päivän aikana lietetasuun tuotiin kuitusaven lisäksi kolme kuormaa puhdistamolietettä. Puhdistamolietteen osuus kiinteistä polttoaineista oli 11 %. Petin lämpötila laski ensimmäisen koepäivän aikana 844 °C asteesta noin 6 °C astetta.

Kuitusaven vaikutus kattilan savukaasupäästöihin ja petin lämpötilaan alkoi näkyä muutaman tunnin kuluttua ensimmäisestä kuitusavikauhallisesta. Päivän aikana vesihöyryn sekä hapen määrä savukaasuissa alkoi kohoamaan hitaasti. Koetta edeltäviin arvoihin verrattuna vesihöyryn määrä savukaasuissa kasvoi 6 % ja hapen 9 %. SO₂-pitoisuus laski koetta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna 16 %, NO_x-pitoisuus 4 %, HCl-pitoisuus 7 % ja HF-pitoisuus 10 %. TOC-pitoisuus savukaasuissa nousi 24 % ja CO-pitoisuus 76 % koetta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna. Hiukkaspäästöt, eli pölypitoisuus savukaasuissa, pienenevät koetta edeltäneestä 0,43 mg/Nm³ pölypitoisuudesta 0,13 mg/Nm³. Ensimmäisen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koetta edeltäneen tilanteen savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvot. Ensimmäisen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvo, maksimiarvo ja minimiarvo sekä savukaasupäästöjen muutos koetta edeltäneen tilanteen arvoihin verrattuna.

Pitoisuudet savukaasuissa		H ₂ O [%-til.]	O ₂ [%-til.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	Nox [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]
Koetta edeltänyt tilanne	Keskiarvo	19,63	5,39	316,82	267,57	52,05
1. Koepolttopäivä	Keskiarvo	20,75	5,89	264,90	257,59	91,74
	Maksimi	22,68	6,95	296,59	291,00	155,08
	Minimi	19,24	5,51	223,60	237,87	40,78
	Muutos koetta edeltävään keskiarvoon	6 %	9 %	-16 %	-4 %	76 %
Pitoisuudet savukaasuissa		Pöly [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	HF [mg/Nm ³]	HCl [mg/Nm ³]	
Koetta edeltänyt tilanne	Keskiarvo	0,43	1,04	4,50	23,33	
1. Koepolttopäivä	Keskiarvo	0,13	1,29	4,07	21,67	
	Maksimi	0,61	2,04	4,28	24,42	
	Minimi	-0,26	1,11	3,72	19,07	
	Muutos koetta edeltävään keskiarvoon	-69 %	24 %	-10 %	-7 %	

9.2 Toinen koepolttopäivä, tasaista polttoa vakiintuneella kuormalla

Toisena koepolttopäivänä lietteen määrää kiinteistä polttoaineista oli tarkoitus lisätä. Paperitehtaan seisokista johtuen kattilan kuorma oli vain 12,35 kg/s, eikä kuitusaven määrä pystytty nostamaan suunnitelman mukaisesti. Toisenakin koepäivänä kuitusaven osuus kiinteästä polttoaineesta pysyi n. 18 %. Kuitusavea poltettiin vuorokauden aikana 80 tonnia, minkä lisäksi kuitusaven sekaan lietetas-kuun tuotiin yhteensä kolme kuormaa puhdistamolietettä. Puhdistamolietettä oli kiinteistä polttoaineista toisena koepolttopäivänä 7 %. Kokonaisilmamäärä toisena koepolttopäivänä oli 59,72 kNm³/h primääri-ilmamäärän ollessa 32,91 kNm³/h. Petin lämpötila vaihteli päivän aikana 850 °C ja 792 °C asteen välillä, lämpötilan ollessa keskimäärin 827 °C.

Ensimmäisen koepolttopäivän arvoihin verrattuna vesihöyryn määrä savukaasuista pysyi lähes samana, mutta hapen määrä kasvoi 7 %. CO-pitoisuus savukaasuista pieneni 11 %. TOC-, HCl- ja HF-pitoisuudet pienenivät muutaman prosentin. SO₂- ja NO_x-pitoisuudet pysyivät lähes muuttumattomina ensimmäiseen päivään verrattuna. Pölypitoisuuden vuorokauden keskiarvo oli alle nolla. Pölypitoisuus oli siis niin pieni, että se oli mittausalueen ulkopuolella. Toisen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Toisen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvo, maksimiarvo ja minimiarvo sekä savukaasupäästöjen muutos ensimmäisen koepolttopäivän arvoihin verrattuna.

Pitoisuudet savukaasuissa		H ₂ O [%-til.]	O ₂ [%-til.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	Nox [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]
2. Koepolttopäivä	Keskiarvo	20,55	6,29	261,45	259,73	81,92
	Maksimi	22,29	6,93	326,44	290,42	130,30
	Minimi	18,97	5,55	225,41	237,48	43,78
	Muutos 1. koepolttopäivän keskiarvoon	-1 %	7 %	-1 %	1 %	-11 %
Pitoisuudet savukaasuissa		Pöly [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	HF [mg/Nm ³]	HCl [mg/Nm ³]	
2. Koepolttopäivä	Keskiarvo	-0,061	1,24	3,81	21,14	
	Maksimi	0,449	1,93	4,08	24,27	
	Minimi	-0,432	1,05	3,53	19,17	
	Muutos 1. koepolttopäivän keskiarvoon	-146 %	-4 %	-6 %	-2 %	

9.3 Kolmas koepolttopäivä, kuitusaven määrän kasvattaminen

Kuitusaven määrää kiinteistä polttoaineista päätettiin nostaa kolmantena koepolttopäivänä 4 t/h, kun kahtena edellisenä päivänä kuitusavea lisättiin polttoaineen sekaan 3 t/h. Kuitusaven osuus kiinteistä polttoaineista nousi muutoksen myötä 23 % ja vuorokauden aikana kuitusavea poltettiin yhteensä 97 tonnia. Kolmantena päivänä kattilan kuorma oli 12,52 kg/s. Kokonaisilmamäärä pieneni hieman 59,07 kNm³/h primääri-ilmamäärän ollessa 32,08 kNm³/h. Lietetaskuun tuotiin päivän aikana vain yksi kuorma puhdistamolietettä ja puhdistamolietteen osuus kiinteästä polttoaineesta oli 3 %. Petin lämpötila vaihteli päivän aikana 846 °C ja 802 °C asteen välillä.

Hapen määrä savukaasuista pieneni toiseen koepolttopäivään verrattuna 3 % ja veden määrä pysyi samana kuin toisena koepolttopäivänä. SO₂-pitoisuus nousi 6 %, HCl-pitoisuus 10 % ja HF-pitoisuus 6 % toisesta koepolttopäivästä. CO-pitoisuus laski 18 % ja TOC-pitoisuus 8 % edelliseen päivään verrattuna. NO_x-pitoisuus pysyi lähes muuttumattomana toiseen päivään verrattuna. Hiukaspäästöt kasvoivat toisesta koepolttopäivästä, päästöjen ollessa edelleen vähäisiä. Kolmannen päivän savukaasupäästöjen pitoisuudet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kolmannen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvo, maksimiarvo ja minimiarvo sekä savukaasupäästöjen muutos toisen koepolttopäivän arvoihin verrattuna. Pölypitoisuuden muutosta ei voida laskea prosentteina, koska toisena päivänä pölypitoisuudelle mitattu arvo oli mittausalueen ulkopuolella.

Pitoisuudet savukaasuissa		H ₂ O [%-til.]	O ₂ [%-til.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	Nox [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]
3. Koepolttopäivä	Keskiarvo	20,63	6,12	277,48	253,26	66,81
	Maksimi	22,37	6,70	326,55	286,13	95,97
	Minimi	19,31	5,20	231,00	230,04	39,66
	Muutos 2. koepolttopäivän keskiarvoon	0 %	-3 %	6 %	-2 %	-18 %
Pitoisuudet savukaasuissa		Pöly [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	HF [mg/Nm ³]	HCl [mg/Nm ³]	
3. Koepolttopäivä	Keskiarvo	0,131	1,14	4,18	22,51	
	Maksimi	1,310	1,38	4,53	25,60	
	Minimi	-0,295	0,96	3,74	19,47	
	Muutos 2. koepolttopäivän keskiarvoon		-8 %	10 %	6 %	

9.4 Neljäs koepolttopäivä, kattilan kuorman kasvaminen kuitusaven määrän pysyessä ennallaan

Neljäntenä koepolttopäivänä oli paperitehtaan viimeinen seisokkipäivä ja kaksi pysähdyksissä olevaa paperikonetta sekä siistauslaitos käynnistyivät päivän aikana. Seisokin loppumisesta johtuen kattilan kuorma kasvoi 14,24 kg/s. Kuitusaven määrä päätettiin pitää kolmannen koepolttopäivän määrässä, jolloin kuitusavea oli 21 % kiinteistä polttoaineista. Vuorokauden aikana poltettiin 107 tonnia kuitusavea. Kattilan kokonaisilmamäärä kasvoi saavuttaen 66,63 kNm³/h, primääri-ilman ollessa 33,06 kNm³/h. Neljäntenä koepolttopäivänä lietetaskuun ei lisätty yhtään puhdistamolietettä. Lisäksi murskain oli iltapäivään asti pysähdyksissä huoltotöiden vuoksi, joten kiinteitä jätepolttoaineita oli polttoaineen seassa muita koepolttopäiviä vähemmän. Petin keskimääräisessä lämpötilassa tai lämpötilavaihteluissa ei tapahtunut muutoksia kolmanteen koepolttopäivään verrattuna.

Kolmannen koepolttopäivän arvoista hapen pitoisuus savukaasuista laski 8 % ja vesihöyryn pitoisuus kasvoi 4 %. SO₂-pitoisuus kasvoi 3 % ja HCl-pitoisuus kasvoi 9 % edellisen päivän arvoihin verrattuna. NO_x-pitoisuus laski 2 %, CO-pitoisuus 28 %, TOC-pitoisuus 5 % ja HF-pitoisuus 4 % kolmannen koepolttopäivän arvoista. Hiukkaspäästöt kasvoivat neljäntenä koepolttopäivänä, jolloin myös koepolttojakson aikainen pölypitoisuuden huippuarvo 1,819 mg/Nm³ mitattiin. Neljännen koepolttopäivän savukaasujen pitoisuudet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Neljännen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvo, maksimiarvo ja minimiarvo sekä savukaasupäästöjen muutos kolmannen koepolttopäivän arvoihin verrattuna.

Pitoisuudet savukaasuissa		H ₂ O [%-til.]	O ₂ [%-til.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	Nox [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]
4. Koepolttopäivä	Keskiarvo	21,42	5,65	287,02	249,22	48,38
	Maksimi	23,57	6,00	337,59	288,13	98,76
	Minimi	20,01	5,10	215,74	228,07	22,90
	Muutos 3. koepolttopäivän keskiarvoon	4 %	-8 %	3 %	-2 %	-28 %
Pitoisuudet savukaasuissa		Pöly [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	HF [mg/Nm ³]	HCl [mg/Nm ³]	
4. Koepolttopäivä	Keskiarvo	0,727	1,09	4,56	21,55	
	Maksimi	1,819	1,36	5,11	24,01	
	Minimi	0,031	0,95	4,16	19,08	
	Muutos 3. koepolttopäivän keskiarvoon	457 %	-5 %	9 %	-4 %	

9.5 Viides koepolttopäivä, polttojakson päättäminen

Viidentenä eli viimeisenä koepolttopäivänä viimeiset kuitusavikauhalliset syötettiin lietetaskuun klo 9.00. Lietteen palaminen kattilassa loppui arvion mukaan noin klo 12. Viimeisenä koepolttopäivänä klo 00.00 – 12.00 välisenä aikana kattilassa poltettiin 53,47 tonnia kuitusavea, kuitusaven määrän ollessa 20 % kiinteistä polttoaineista. Kattilan kuorma oli kyseisenä ajanjaksona 14,14 kg/s. Kokonaisilmamäärä viidennen koepolttopäivän oli 64,52 kNm³/h, primääri-ilman ollessa 32,02 kNm³/h. Viimeisenä koepolttopäivänä klo 12.00 mennessä lietetaskuun ei tuotu yhtään kuormaa puhdistamolietettä. Petin lämpötila pysyi kahden edellisen päivän kaltaisena.

Vesihöyryn ja hapen määrät savukaasuissa pysyivät edellisestä päivästä lähes muuttumattomina. SO₂-pitoisuus laski 20 % ja NO_x-pitoisuus 3 % neljänteen koepolttopäivään verrattuna. CO-pitoisuus savukaasuissa kasvoi 7 % edellisestä päivästä. HF-pitoisuus pieneni 7 % sekä HCl-pitoisuus kasvoi 7 % ja TOC-pitoisuus kasvoi 3 % neljännen koepolttopäivän arvoihin verrattuna. Pölypitoisuus savukaasuissa pieneni neljännestä koepolttopäivästä 6 %. Viidennen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuudet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Viidennen koepolttopäivän savukaasupäästöjen pitoisuuksien keskiarvo, maksimiarvo ja minimiarvo sekä savukaasupäästöjen muutos neljännen koepolttopäivän arvoihin verrattuna.

Pitoisuudet savukaasuissa		H ₂ O [%-til.]	O ₂ [%-til.]	SO ₂ [mg/Nm ³]	Nox [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]
5. Koepolttopäivä	Keskiarvo	21,50	5,60	229,04	242,09	51,75
	Maksimi	22,69	5,77	267,99	251,29	65,70
	Minimi	20,59	4,91	178,25	229,12	43,42
	Muutos 4. koepolttopäivän keskiarvoon	0 %	-1 %	-20 %	-3 %	7 %
Pitoisuudet savukaasuissa		Pöly [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	HF [mg/Nm ³]	HCl [mg/Nm ³]	
5. Koepolttopäivä	Keskiarvo	0,686	1,13	4,24	19,23	
	Maksimi	1,54	1,23	4,89	23,55	
	Minimi	0,23	1,05	3,92	16,76	
	Muutos 4. koepolttopäivän keskiarvoon	-6 %	3 %	-7 %	-11 %	

9.6 Yhteenveto

Polttokoejakson aikana kuitusavea poltettiin yhteensä n. 390 t. Kuitusavikasalle siirrettyjen kuormien kuitusavimäärät ja lietetaskuun syötetyn kuitusaven tuntikohtaiset määrät on esitetty liitteessä 2. Kuitusaven polton vaikutusta voimalaitoksen toimintaan voidaan pitää koepolttojakson perusteella vähäisenä. Kattilan kuorman ollessa korkeimmillaan 14,24 kg/s ja kuitusaven osuuden kiinteistä polttoaineista ollessa enimmillään 23 %, ei havaittu kriittisiä muutoksia syntyneissä savukaasupäästöissä tai kattilan toiminnassa. Savukaasuissa tapahtuneiden pitoisuuksien muutokset koetta edeltäneeseen tilanteeseen on esitetty taulukossa 7.

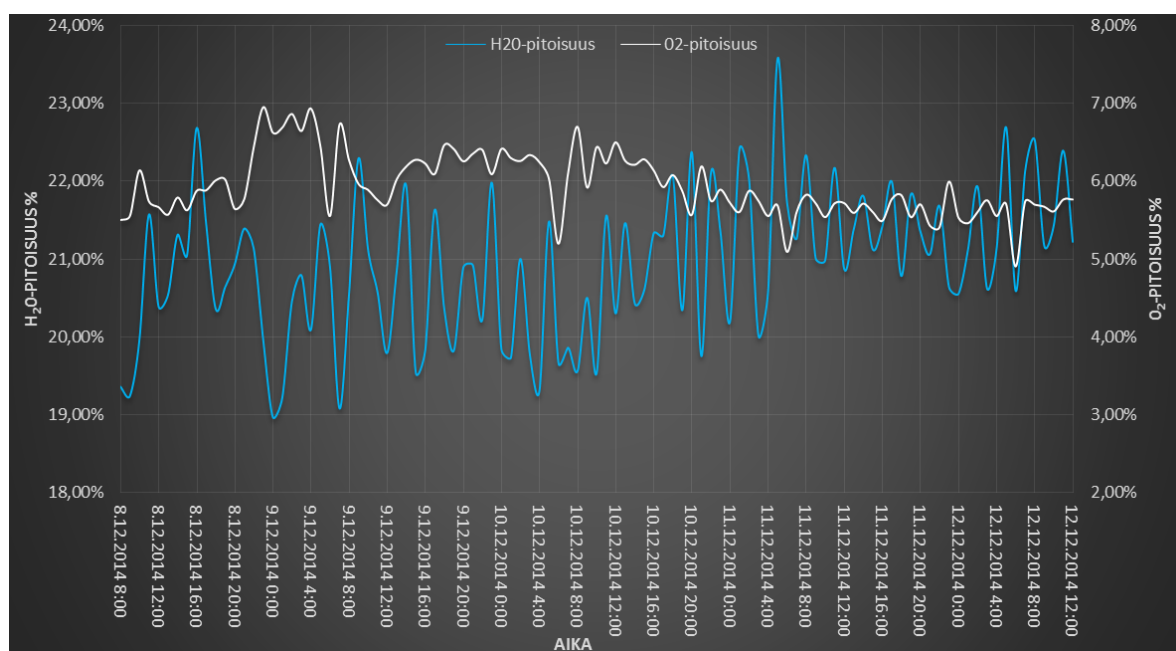
Taulukko 7. Savukaasuissa koepolttojakson aikana tapahtuneet muutokset koetta edeltäviin arvoihin verrattuna. Mittaustulokset on redusoitu vastaamaan päästöraja-arvoissa sovellettuja happipitoisuuksia.

Komponentti	Mittaustulos koe red. [mg/Nm ³]	Mittaustulos edeltävä red. [mg/Nm ³]	Muutos
SO ₂	355,90	404,99	-12%
NO _x	336,46	342,03	-2%
Pöly	0,40	0,55	-27%
CO	60,09	44,21	36%
TOC	1,04	0,88	18%
HF	3,69	3,82	-4%
HCl	18,90	19,82	-5%

Vesihöyryn määrä savukaasuista oli koepolttojakson aikana keskimäärin 20,93 %, vesihöyryn määrän ollessa suurimmillaan 23,57 %. Vesihöyryn määrä kasvoi koepolttojaksoa edeltävästä tilanteesta noin 6 % kokeen aikana. Kuitusaven vaikutusta vesihöyryn määrän kasvamiseen voidaan pitää il-

meisenä polttoaineanalyysin tulosten perusteella; polttoaineanalyysissa kuitusaven kokonaiskosteudeksi saatiin lähes 70 %. Vesihöyryn määrä savukaasuista kasvoi suoraan verrannollisesti lietteen suhteellisen määrän kasvun kanssa.

Palamattoman hapen määrä savukaasuista kasvoi kahtena ensimmäisenä päivänä voimakkaasti, lähes 14 % koetta edeltäneestä tilanteesta. Toisen koepolttopäivän jälkeen hapen määrä savukaasuista alkoi kuitenkin hitaasti laskea. Koepolttojakson aikana hapen määrä savukaasuista kasvoi yhteensä 10 % koetta edeltävään tilanteeseen verrattuna, hapen määrän ollessa korkeimmillaan 6,95 %. Hapen määrän kasvuun kokeen aikana saattoivat vaikuttaa kuitusaven lisäksi petissä tapahtuneet lämpötilan muutokset ja ilmamäärän suhteellisesti suurempi osuus. Hapen ja vesihöyryn pitoisuuksien muutokset koepolttojakson aikana ovat nähtävissä kuvaajassa 1.

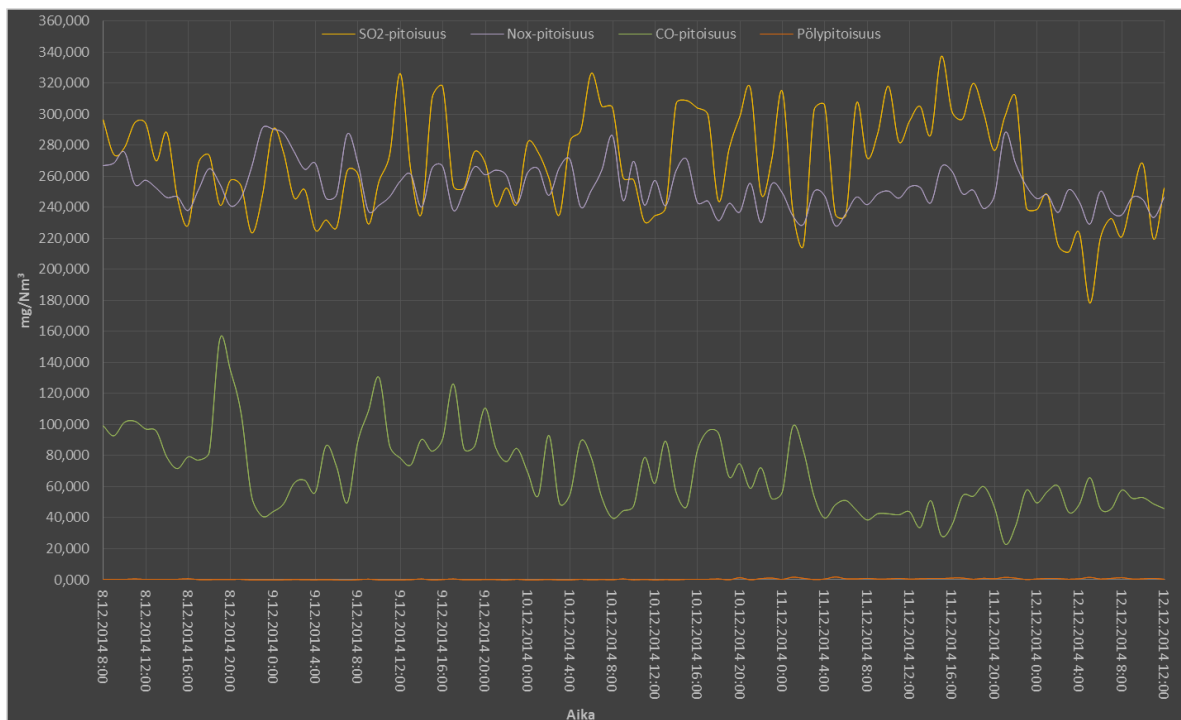


Kuvaaja 1. Hapen ja vesihöyryn pitoisuus savukaasuista koepolttojakson aikana.

CO-pitoisuus kuivista savukaasuissa koepolttojakson aikana oli keskimäärin $60,09 \text{ mg/Nm}^3$, redusoituna 11 % happipitoisuuteen. Suurimmillaan häkäpitoisuus oli kahtena ensimmäisenä päivänä, jolloin CO-pitoisuus kuivista savukaasuista kävi hetkellisesti $130,47 \text{ mg/Nm}^3$, redusoituna 11 % happipitoisuuteen. Ensimmäisen kahden päivän korkeampiin CO-pitoisuuksiin vaikutti kolmea seuraavaa koepolttopäivää suurempi puupolttoaineen määrää. Puupolttoaineet kohottavat CO-pitoisuutta savukaasuissa. Koetta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna CO-pitoisuus kasvoi 36 %. TOC-pitoisuus kuivista savukaasuista oli koepolttojakson aikana keskimäärin $1,04 \text{ mg/Nm}^3$ redusoituna 11 % happipitoisuuteen. Suurin mitattu TOC-pitoisuus kuivista savukaasuista koepolttojakson aikana oli $1,719 \text{ mg/Nm}^3$, redusoituna 11 % happipitoisuuteen. Koetta edeltäneisiin arvoihin verrattuna TOC-pitoisuus kasvoi koepolttojaksoa edeltävästä tilanteesta 18 %.

Kuuden prosentin happipitoisuuteen redusoidut SO_2 - ja NO_x -pitoisuudet kuivissa savukaasuissa lasivat koepolttojaksoa edeltävästä tilanteesta. Rikkidioksidi laski koetta edeltäneestä tilanteesta peräti 12 %. NO_x -pitoisuus laski maltillisemmin 2 % koetta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna. Kuitu-

savella oli savukaasujen SO_2 -pitoisuutta laskeva vaikutus. Kuitusaven käyttämisen polttoaineen seassa on havaittu parantavan savukaasujen rikki-kloori-indeksiä (Raivio 2013, 23). Kuitusaven on huomattu sitovan rikkidioksidia ja näin ollen vähentävän rikkidioksidipäästöjä. Suurimmillaan rikkidioksidipäästöt kuivissa savukaasuissa olivat $417,13 \text{ mg/Nm}^3$ koepolttojakson keskimääräisten päästöjen ollessa $355,90 \text{ mg/Nm}^3$, redusoituna 6 % happipitoisuuteen. Kuivien savukaasujen NO_x -pitoisuus oli koejakson aikana keskimäärin $336,46 \text{ mg/Nm}^3$, pitoisuuden ollessa suurimmillaan $388,113 \text{ mg/Nm}^3$, kun pitoisuudet redusoitiin 6 % happipitoisuuteen. SO_2 -, NO_x -, CO- ja pölypitoisuuksien muutokset koepolttojakson aikana ovat nähtävissä kuvaajassa 2.



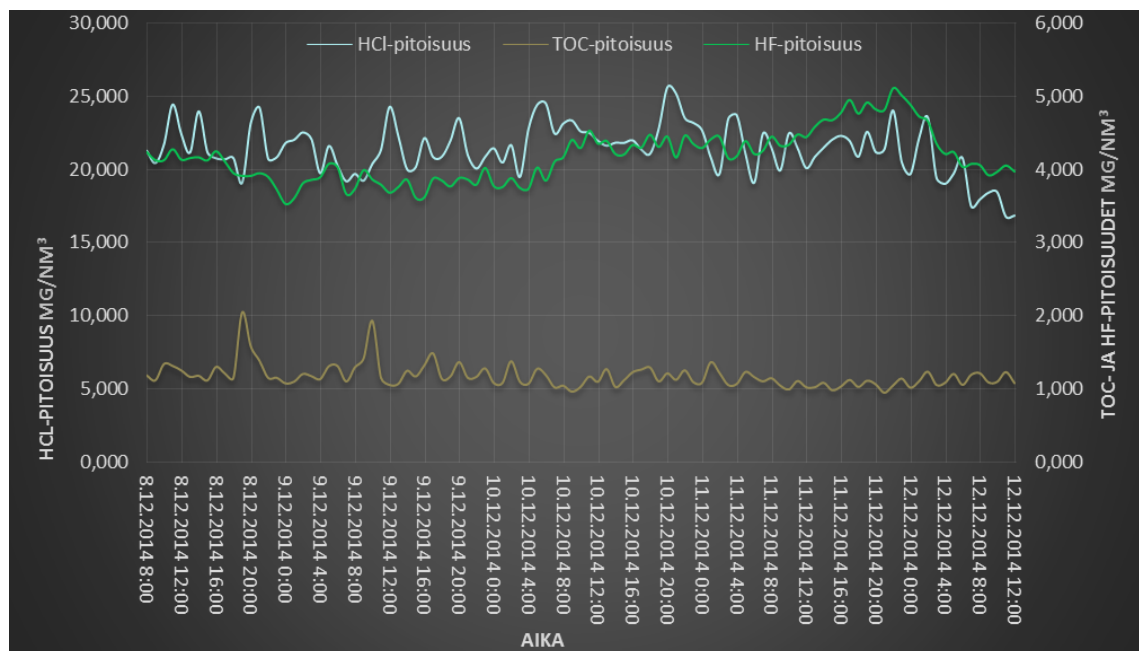
Kuvaaja 2. SO_2 -, NO_x -, CO- ja pölypitoisuudet koepolttojakson aikana.

HF- ja HCl-pitoisuudet savukaasuista laskivat koetta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna. Keskimääräinen HCl-pitoisuus savukaasuista oli $18,90 \text{ mg/Nm}^3$ redusoituna 11 % happipitoisuuteen ja laskua koetta edeltäneeseen arvoon oli 5 %. HF-pitoisuus laski koetta edeltävästä tasosta 4 % ja HF-pitoisuus kuivista savukaasuista oli kokeen aikana keskimäärin $3,69 \text{ mg/Nm}^3$ redusoituna 11 % happipitoisuuteen. TOC-, HF- ja HCl-pitoisuuksien muutokset koepolttojakson aikana ovat nähtävissä kuvaajassa 3.

Hiukkaspäästöt olivat kokeen aikana erittäin alhaisia (kuvaaja 2.). Koepolttojakson aikana pölypitoisuus kuivista savukaasuista oli keskimäärin $0,40 \text{ mg/Nm}^3$, redusoituna 6 % happipitoisuuteen. Suurin yksittäinen hiukkaspäästöarvo kuivista savukaasuista redusoituna 6 % happipitoisuuteen $2,33 \text{ mg/Nm}^3$ mitattiin neljäntenä koepolttopäivänä. Hiukkaspäästöt pienuivat koetta edeltävään tilanteeseen verrattuna 27 %.

Koejakson aikana syntyi 250 m³ tuhkaa. Tuhkaa syntyi koepolttojakson aikana n. 2,5 m³/h. Määrä on n. 10-15 % suurempi kuin tavanomaisia polttoaineita käytettäessä. Kuitusaven polton voidaan todeta lisäävän syntyvän tuhkan määrää.

Päiväkohtaiset kattilan arvot koepolttojakson aikana on esitetty liitteessä 6.



Kuvaaja 3. TOC-, HF- ja HCl-pitoisuudet koepolttojakson aikana.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET KOEPOLTTOJAKSOSTA

10.1 Kuitusaven rinnakkaispolttot

Polttoaineille tehdyissä polttoaineanalyysissä selvitettiin polttoaineiden kosteuspitoisuus, tuhkan määrä kuiva-aineessa sekä lämpöarvot. Polttoaineanalyysistä saatujen tulosten perusteella voidaan todeta kuitusaven olevan pienen lämpöarvonsa ja suuren tuhka- sekä vesipitoisuudensa vuoksi keho polttoaine. Kuitusavi soveltuu ainoastaan rinnakkaispolttot sekoitettuna muiden polttoaineiden sekaan. Koepolttojakson aikana kuitusaven suhteellinen osuus polttoaineesta oli korkeimmillaan 23 %. Kattilan polttoaineesta tehdyistä polttoaineanalyysistä voidaan todeta kuitusaven lisäämisen polttoaineen sekaan alentaneen polttoaineen lämpöarvoa ja nostaneen sen kosteuspitoisuutta merkittävästi. Koepolttojakson jälkeen otettuun 0-näytteeseen, joka ei sisältänyt kuitusavea, verrattuna koepolttojakson aikana käytetyn polttoaineen kosteuspitoisuus oli 32 % suurempi, kuiva-aineen tuhkapitoisuus oli 3 % suurempi ja saapumistilassa olevan polttoaineen lämpöarvo oli 31 % pienempi.

Kuitusavelle polttoaineanalyysissä mitattu lämpöarvo saapumistilassa 0,83 MJ/kg on huomattavasti pienempi kuin Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa 2014 siistauslietteelle annettu 4,00 MJ/kg lämpöarvo käyttöttilassa. Polttoaineluokituksessa ei ole kerrottu siistauslietteen ominaisuuksista lämpöarvon lisäksi mitään muuta. Luokituksessa ei ole mainintaa, mikä on ollut siistauslietteen kosteuspitoisuus. Voidaan olettaa, että siistauslietteelle saatu lämpöarvo saapumistilassa 4,00 MJ/kg on saa-

tu siistauslietteestä, jonka kiintoainepitoisuus on tässä kokeessa käytettyä kuitusavea huomattavasti suurempi. Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen mukainen siistauslietteen lämpöarvo käyttötilassa on voitu saada siistauslietteestä, jota on kuivattu erillisillä menetelmillä kuin Mäntän paperitehtaalla tuotettavaa kuitusavea. Esimerkiksi ruuvipuristimella kuivatun siistauslietteen kiintoainepitoisuus voi olla yli 50 %, jolloin myös lämpöarvo saapumistilassa nousee merkittävästi.

Tässä työssä polttoaineanalyysissä mitattu lämpöarvo on myös pienempi, kuin vuonna 2011 koepolttojakson yhteydessä kuitusavelle saatu lämpöarvo saapumistilassa 1,48 MJ/kg (Fundacon Oy 2011, 7). Vuoden 2011 kuitusaven lämpöarvo saapumistilassa on mitattu kuitusavella, jonka kosteus on ollut 65,7 %. Nyt kuitusavelle tehdyssä kosteuserityksessä kosteuspitoisuudeksi saatiin 68,6 %. Saapumistilan lämpöarvojen ero nyt tehdyn polttoaineanalyysin ja vuonna 2011 tehdyn polttoaineanalyysin välillä selittyy täten suurimmalta osin polttoaineanalyysissä käytettyjen kuitusavinäytteiden kosteuseroilla.

Koepolttojakson aikana käytetylle turpeelle tehdyn polttoaineanalyysin tulokset vastasivat sekä vuonna 2011 koepolttojakson yhteydessä turpeelle tehdyssä polttoaineanalyysissä saatua (Fundacon Oy 2011, 7) että Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa ilmoitettua käyttötilassa olevan turpeen lämpöarvoa (Tilastokeskus 2014).

10.2 Koepolttojakson aikaisten päästöjen vertailu K4-kattilalle asetettuihin päästöraja-arvoihin

Koepolttojakson aikaiset päästöt ylittivät rinnakkaispolton päästöraja-arvot hiukkaspäästöjä ja kokonaishiilen määrää lukuun ottamatta (Taulukko 8.). HCl- ja HF-pitoisuudet ylittivät koko kokeen ajan selvästi 151/2013 jätteenpoltoasetuksessa jätteenpolttolaitokselle asetetut raja-arvot. Rikkidioksidipitoisuus savukaasuissa ylitti rinnakkaispolton päästöraja-arvon kokeen aikana neljänneksellä, mutta 5. koepolttopäivänä rikkidioksidipitoisuus ylitti päästöraja-arvon vain 9 %. Savukaasujen NO_x-pitoisuus ylitti päästöraja-arvot niukasti kahtena ensimmäisenä koepolttopäivänä ja päästöraja-arvo alittui kolmena viimeisenä koepolttopäivänä. CO-pitoisuus savukaasuissa ylittyi selvästi kolmena ensimmäisenä koepolttopäivänä, mutta päästöraja-arvo alittui hiilimonoksidin osalta kahtena viimeisenä koepolttopäivänä. Pöly- ja TOC-pitoisuudet alittivat päästöraja-arvot selvästi koko koepolttojakson ajan. Komponenttien vuorokausikeskiarvot koepolttojakson ajalta on esitetty liitteessä 7.

Taulukko 8. Koepolttojakson aikana mitattujen päästöjen redusointi päästöraja-arvoja vastaavaan happimäärään sekä redusoitujen päästöarvojen vertailu päästöraja-arvoihin.

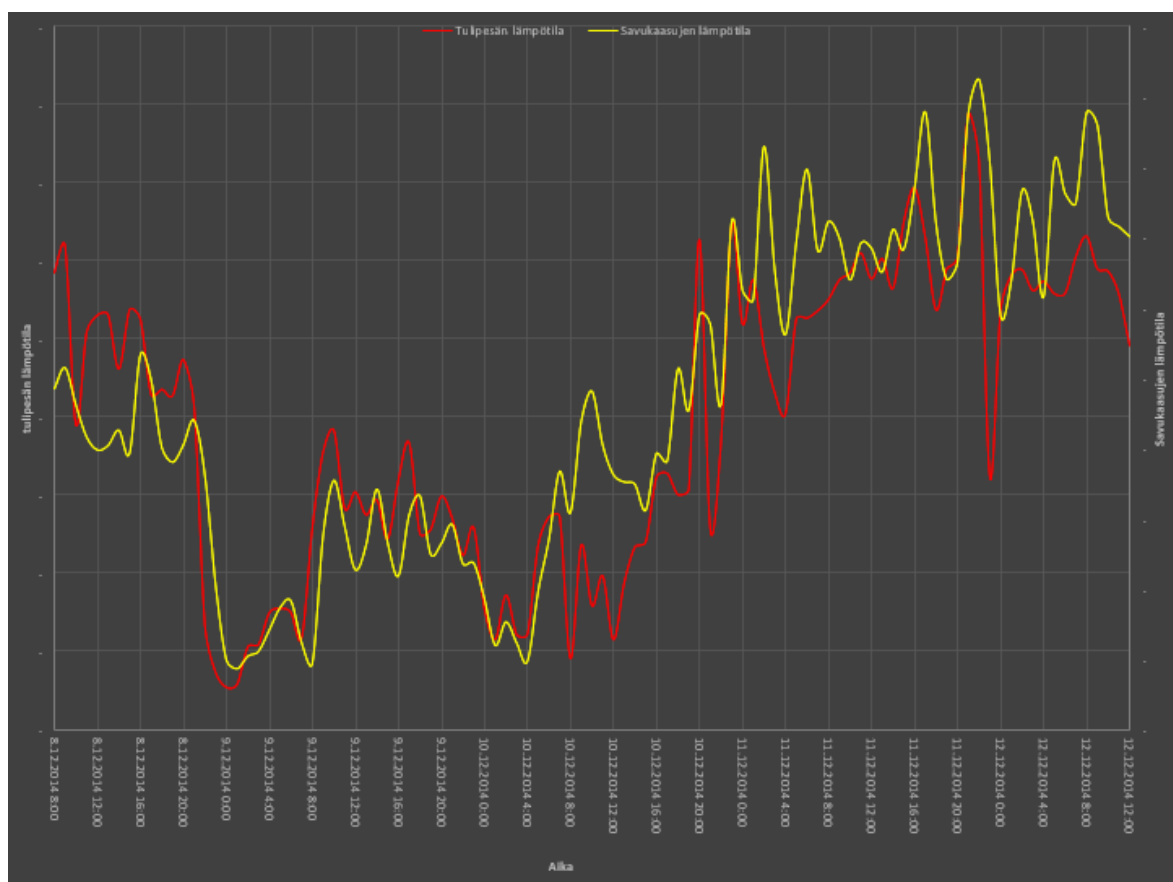
Komponentti	Mitattu mg/Nm ³	Redusoitu (O ₂ 6%) [mg/Nm ³]	Redusoitu (O ₂ 11%) [mg/Nm ³]	Päästöraja-arvo [mg/Nm ³]	Erotus raja- arvoon
SO ₂	267,71	355,90		284	25 %
NO _x	253,09	336,46		334	1 %
Pöly	0,30	0,40		37	-99 %
CO	68,03		60,09	50	20 %
TOC	1,17		1,04	10	-90 %
HF	4,17		3,69	1	269 %
HCl	21,40		18,90	10	89 %

10.3 Koepoltojakson mittaustarkkuus

Voimalaitoksen FTIR-analysointia ja jatkuvatoimisia mittauslaitteita ei kalibroitu ennen koetta. Mittauslaitteistot tulisi kalibroida ennen ja jälkeen kokeen, jotta pystyttäisiin laskemaan mittaustulosten systemaattinen virhe.

10.4 Tulipesän lämpötila

Tulipesän lämpötilan mittaus ei toiminut koepoltojakson aikana normaalisti. Tulipesän lämpötilan mittaustulokset olivat todellisia tulipesän lämpötiloja huomattavasti pienemmät. Mittaustuloksista voidaan kuitenkin nähdä tulipesän lämpötilassa tapahtuneet muutokset. Näiden muutosten voidaan todeta olevan todellisia, koska ne vastaavat savukaasujen lämpötilassa tapahtuneita muutoksia (kuvaaja 4.).



Kuvaaja 4. Tulipesän ja savukaasujen lämpötilojen muutos mittauslaitteiden tulosten mukaan koepoltojakson aikana.

10.5 Petin lämpötila

Petin lämpötila pieneni kokeen aikana koetta edeltävästä tilanteesta. Petin lämpötilaan vaikutti kokeen aikana kuitusaven polton lisäksi tulipesään ajoittain lisättävä hiekka. Polttoaineista murskaimelta syötetyt paperitehtaan jätteet saattoivat myös alentaa petin lämpötilaa hetkellisesti. Murskaimen syöttämän polttoaineen ja hiekansyötön määrää ei voida täysin arvioida, mutta niiden vaikutuksen petin lämpötilaan voidaan kuitenkin olettaa olevan vähäistä. Hetkelliset petin lämpötilan alenemiset voivatkin selittyä kuitusaven lisäksi myös tulipesään syötetyllä hiekalla.

10.6 Vertailu vuoden 2011 koepolttoon

Nyt tehty koepolttojako vahvisti vuonna 2011 tehdyn kokeen päätelmän, että K4-leijupetikattila soveltuu hyvin kuitusaven rinnakkaispolttoon. Vuoden 2011 kokeessa päästöraja-arvot ylittyivät selvästi savukaasujen hiukkas- ja HCl-pitoisuuden osalta. (FUNDACON OY 2011, 5.) Vuoden 2011 koepoltosta savukaasujen pölypitoisuus laski dramaattisesti nyt tehdyssä kokeessa. Lisäksi TOC- ja CO-pitoisuudet savukaasuissa olivat pienempiä kuin vuoden 2011 kokeessa. Vuoden 2011 koetta pienemmät CO- ja TOC-pitoisuudet kertovat palamisprosessin olleen nyt tehdyssä kokeessa vuoden 2011 koetta puhtaampi. Savukaasujen HF-pitoisuudessa ei havaittu merkittäviä muutoksia kokeiden välillä.

Edelliseen kokeeseen verrattuna nyt tehdyssä koepoltossa kattilan teho oli kokeen aikana pienempi. Kuitusaven suhde käytetyistä polttoaineista oli tässä kokeessa n. 21 % polttoaineesta, kun se vuoden 2011 koepoltossa oli n. 20 %. Nyt tehdyssä kokeessa käytetty kuitusavi oli n. 3 % kosteampaa, kuin vuoden 2011 kokeessa käytetty kuitusavi.

10.7 Johtopäätökset nyt tehdystä kokeesta

Koepolton tulosten analysoinnissa selvisi, että kuitusavella ei ole merkittäviä vaikutuksia kattilan savukaasupäästöihin eikä petin lämpötilaan. Koska K4-leijupetikattilan mittauslaitteistoja ei oltu kalibroitu ennen koetta, savukaasuja ja kattilaa koskevia mittaustuloksia ei voida pitää täysin valideina.

CO- ja TOC-pitoisuuksien kasvaminen koetta edeltävästä tilanteesta kertoo siitä, että kuitusaven palaminen ei ollut täysin puhdasta. Palamisen epäpuhtauteen vaikuttavat kuitusaven suuri kosteus- ja tuhkapitoisuus. Lisäksi palamisen epäpuhtauteen voivat vaikuttaa kuitusavessa olevat epäpuhtaudet, joista viitettä antoivat pommikalorimetrikokeissa muodostuneet ”möykkyt”. Tässä työssä kuitusavelle, eikä pommikalorimetrikokeissa muodostuneille ”möykkyille” suoritettu alkuaineanalyysejä, joten epäpuhtauksien vaikutusta palamisprosessiin ei voida tulosten perusteella todentaa.

Kuitusavi kasvatti syntyneen lentotuhkan määrää. Tässä työssä tuhkan kaatopaikkakelpoisuutta ei mitattu. Kuitusaven poltosta syntyvän tuhkan kaatopaikkakelpoisuuden selvittäminen on erityisen merkittävää, jotta kuitusavea voitaisiin alkaa polttamaan K4-leijupetikattilassa. Kuitusaven on kuitenkin havaittu muissa tutkimuksissa yleisesti parantavan tuhkan laatua (Raivio 2013, 21).

Polttokokeessa käytetyn kuitusavimäärän polttaminen ei kasvattanut K4-leijupetikattilan savukaasupäästöjä, H₂O- , CO- ja TOC-pitoisuuksia lukuun ottamatta, verrattuna koetta edeltävän tilanteen svukaasupäästöihin. Kuitusaven rinnakkaispoltto vaatii kuitenkin toimenpiteitä K4-leijupetikattilan savukaasunpuhdistusjärjestelmältä, jotta rinnakkaispoltolle asetetut päästöraja-arvot voidaan alittaa. SO₂- ja HCl-päästöjä voitaisiin alentaa savukaasupesurilla. Savukaasupesuri alentaa SO₂- ja HCl-pitoisuuksia, minkä lisäksi savukaasupesuriin pystytään asentamaan lämmön talteenotto. Savukaasupesurilla voidaan päästä rikkidioksidin ja vetykloridin osalta jopa 90 % erotusasteeseen. Lisäksi savukaasupesuri pystyisi jopa puolittamaan savukaasujen hiukkaspitoisuuden. Savukaasupesurin läm-

mön talteenoton tuottamaa lämpöenergiaa voitaisiin käyttää paperitehtaan massakeskuksen vesien lämmittämiseen. Toinen savukaasupesurin tuottaman energian käyttökohde voisi olla kuitusaven terminen kuivattaminen. Voimalaitoksen nykyiseen savukaasunpuhdistusjärjestelmään ei voida asentaa savukaasupesuria johtuen voimalaitoksen vanhasta, tiilestä valmistetusta piipusta. Savukaasupesurin hankkiminen vaatisi siis investoinnin myös uuteen piippuun.

Savukaasupäästöjä voitaisiin alentaa vaihtoehtoisesti sähkösuodinta laajentamalla. Sähkösuotimen laajennus ei vaatisi välttämättä voimalaitoksen piipun uusintaa. Voimalaitoksen leijupetimuutoksen suunnitelleen ja toteuttaneen yrityksen Foster Wheelerin ja kesän 2014 kattilan remontista vastanneen yrityksen Andritzin edustajat suosittelivat sähkösuotimen laajentamista savukaasupäästöjen pienentämiseksi.

Kuitusaven rinnakkaispoltossa päästöraja-arvot ovat todellisuudessa nyt käytettyjä päästöraja-arvoja suuremmat HF-, HCl-, CO- ja TOC-pitoisuuksien osalta, kun päästöraja-arvot lasketaan todellisten poltossa käytettävien polttoaineiden massapitoisuuksien mukaan.

10.8 Seuraavat vaiheet

Keväällä 2015 on tarkoitus järjestää toinen koepolttojakso, jossa kuitusaven vaikutusta kattilaan ja sen savukaasupäästöihin aiotaan tutkia. Tulevan kokeen yhteydessä on tarkoitus selvittää täyttääkö koepolttojakson aikana syntynyt tuhka kaatopaikkasijoitukselle asetetut kriteerit. Lisäksi olisi selvitettävä kuitusaven pommikalorimetrikokeissa synnyttämien ”mökkyjen” alkuainekoostumus. ”Mökkyjen” alkuainekoostumuksen perusteella voitaisiin päätellä millainen vaikutus kuitusavella on K4-leijupetikattilan petiin. Mikäli kuitusavi muodostaa petissä palaessaan pommikalorimetrikokeissa havaittujen kaltaisia ”mökkyjä”, voi kuitusaven jatkuva polttaminen aiheuttaa suuria ongelmia petin toimintaan ja näin ollen vaikuttaa myös kattilan toimintaan.

Keväällä 2015 järjestetyssä kokeessa tullaan mittaamaan tässä työssä tehtyjen mittausten lisäksi Länsi- ja Sisä-Suomen aluehallintoviraston kuitusaven koepoltolle määräämät furaani-, raskasmetalli- ja dioksidimittaukset. Mittauslaitteisto tulisi kalibroida ennen ja jälkeen kokeen, jotta mittaustuloksia voitaisiin pitää täysin luotettavina ja systemaattinen virhe pystyttäisiin laskemaan. Tulevan kokeen mittaustuloksista, jotka mitattaisiin kalibroiduilla laitteistoilla, voitaisiin todentaa nyt tehdystä kokeesta saatujen tulosten paikkaansapitävyyttä.

Tähän astisissa kokeissa ei ole selvitetty, kuinka paljon kuitusavea voidaan lisätä polttoaineen sekaan ilman, että kattilan toiminta vaarantuu, savukaasupäästöt ylittävät ratkaisevasti luparaja-arvot tai tuhkan laatu heikkenee niin, ettei sitä pystytä sijoittamaan kaatopaikalle. Kevään 2015 kokeessa olisi hyvä testata kuitusaven polttamista siten, että kuitusaven määrä polttoaineesta olisi nyt tehtyä koetta suurempi. Kuitusavea tuotetaan Mäntän paperitehtaalla 60 000 t/v. Läheskään kaikkea paperitehtaan tuottamaa kuitusavea ei pystyttäisi polttamaan jatkossa, mikäli kuitusaven kosteuspitoisuus ja kuitusaven määrä kattilan polttoaineista olisi tässä työssä käytetyn kaltainen. Tulevaisuudessa polttoon tulevan kuitusaven laatu voi vaihdella, mikäli Mäntän paperitehtaalla aletaan tuottamaan

erilaatuisia uusiomassalaatuja. Erilaisista uusiomassalaaduista tuotettu kuitusavi asettaa erityyppisiä haasteita kattilan toiminnalle.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

FUNDACON OY 2012. Päästömittausraportti. Fundacon Oy Turku.

KOSKINEN, Joni 2006. Jätteen rinnakkaispolton rooli ja rajaehdot Suomen jätestrategiassa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016 Taustaselvitys Osa I. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15. Edita Prima Oy, Helsinki 2006. ISBN 952-11-2434-2

LABORATORIO 2013. Uusiomassalietteiden kuiva-aine ja tuhkaprosentit 2013. Metsä tiesse Oy Mäntän paperitehdas 2013.

LOUHINIVA, Elina, MÄKINEN, Tuula ja SIPILÄ, Kai, 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT:n tiedotteita 2081 ISBN 951-38-5796-4

LÄNSI- JA SISÄSUOMEN ALUEHALLINTOVIRASTO, Päätös Nro 75 399/2011/1. Vaasa.

LÄNSI-SUOMEN YMPÄRISTÖLUPAVIRASTO, LUPAPÄÄTÖS Nro 21/2006/2 2006.

MAUNO Arto 2010. Uusiomassan valmistuksen ja massan laadun optimoinnin työkalujen kehitys. Tampereen ammattikorkeakoulu Paperitekniiikan koulutusohjelma, Tampere. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12700/Mauno_Arto.pdf?sequence=2

METSÄ TISSUE OY 2014. Who We Are. Metsä Tissue Oyj:n kotisivut. Viitattu 9.11.2014. Saatavissa: <http://www.metsatissue.com/company/whoweare/Pages/Default.aspx>

MORING, Helena 2012. PUOLIKEMIALLISEN SELLU- JA KARTONKITEHTAAN LIETTEEN HYÖTYKÄYTTÖ. Puunjalostustekniikan tutkinto-ohjelma. Aalto-yliopisto. Espoo.

RAIVIO, Ari-Jukka 2013. KUITUSAVEN JATKOKÄSITTELYVAIHTOEHDOT. Opinnäytetyö. KYMEN-LAAKSON ammattikorkeakoulu Energiatekniiikan koulutusohjelma, Kotka. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/68522/Ari-Jukka_Raivio.pdf?sequence=1

SAVONIA-ammattikorkeakoulu 2014. Laboratoriotyöohje 1. Kierrätyspolttoaineiden kosteuspuiteisuuden määrittäminen uunikuivausmenetelmällä. Kokonaiskosteuden määrittäminen yksinkertaistetulla menetelmällä. Varkaus: Savonia-ammattikorkeakoulu.

SAVONIA-ammattikorkeakoulu 2014. Laboratoriotyöohje 2. Kierrätyspolttoaineiden kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon määrittäminen. Varkaus: Savonia-ammattikorkeakoulu.

SAVONIA-ammattikorkeakoulu 2014. Laboratoriotyöohje 3. Kierrätyspolttoaineiden tuhkapitoisuuden määrittäminen. Varkaus: Savonia-ammattikorkeakoulu.

SEPPÄLÄ, Markku J. (toim.), KLEMETTI, Ursula, KORTELAINEN, Veli-Antti, LYYTIKÄINEN, Jorma, SIITONEN, Heikki, SIRONEN, Raimo 1999. Kemiallinen metsäteollisuus 1. Paperimassan valmistus. Helsinki: Opetushallitus.

UUSIOMASSA LIETTEIDEN KUIVA-AINE JA TUHKAPROSENTIT 2014. Tutkimustulos. Metsä Tissue Oyj, Mänttä.

TALVIO, Raino 2015. Opinnäytetyökeskustelu. Mänttä-Vilppula 2015.

TILASTOKESKUS 2014. Polttoaineluokitus 2014.

TURUNEN, Olli 2003. Metsäteollisuuden kaatopaikkatoiminnan kehittäminen. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/35463/nbnfi-fe20031391.pdf?sequence=1>

VAAKAN HALLINTO-OIKEUS 2008. Päätös 08/0108/1. Vaasa.

VALTIONEUVOSTON ASETUS JÄTTEEN POLTTAMISESTA 2013. 151/2013. Helsinki.

VTT 2004. Päästömittaustekniikan perusteet. VTT. Saatavissa: <http://www.isy.fi/osa1.pdf>

LIITE 1. POLTTOAINEANALYYSISSA POLTTOAINENÄYTTEILLE SAADUT TULOKSET

Näyte	Näytteenottopäivämäärä	Kalorimetritinen lämpöarvo [MJ/kg]	Tehollinen lämpöarvo [MJ/kg]	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]	Kokonaiskosteus [%]	Kuiva-aineen tuhkapitoisuus [%]
Siistausliete 1.	4.11.2014	9,25	7,91	0,70	69,60	43,00
Siistausliete 2.	5.11.2014	9,43	8,10	0,90	68,30	42,70
Siistausliete 3.	5.11.2014	9,23	7,90	0,89	67,80	43,50
Polttoaine kattila 1.	8.12.2014	20,41	19,07	9,63	43,90	7,40
Polttoaine kattila 2.	8.12.2014	17,67	16,34	5,35	58,50	18,50
Polttoaine kattila 3.	8.12.2014	20,66	19,33	9,32	46,00	8,00
Polttoaine kattila 4.	9.12.2014	20,87	19,54	10,09	43,00	7,60
Polttoaine kattila 5.	9.12.2014	19,55	18,22	7,77	50,60	10,80
Polttoaine kattila 6.	9.12.2014	17,78	16,45	5,95	55,60	18,40
Polttoaine kattila 7.	9.12.2014	17,87	16,54	6,25	54,20	18,60
Polttoaine kattila 8.	10.12.2014	19,70	18,37	8,07	49,50	12,70
Polttoaine kattila 9.	10.12.2014	19,80	18,47	8,43	48,00	9,20
Polttoaine kattila 10.	10.12.2014	19,91	18,58	8,03	50,20	12,00
Polttoaine kattila 11.	10.12.2014	19,98	18,65	8,97	45,90	12,20
Polttoaine kattila 12.	11.12.2014	19,56	18,22	8,16	48,70	14,90
Polttoaine kattila 13.	11.12.2014	18,14	16,81	6,83	51,90	18,30
Polttoaine kattila 14.	11.12.2014	15,73	14,40	4,44	59,20	25,10
Polttoaine kattila 15.	11.12.2014	17,18	15,85	6,01	53,80	20,70
Polttoaine 0-näyte	13.12.2014	20,63	19,30	9,12	46,80	8,60
Turve	13.12.2014	20,58	19,25	10,95	38,30	14,70

LIITE 2. POLTTOKOEJAKSON AIKANA POLTETUN KUITUSAVEN MÄÄRÄ

KUITUSAVEN MÄÄRÄ					
Kuitusaven kuljetus kuitusavikasalle			Kuitusaven syöttäminen lietetaskuun		
pvm	klo	Netto kg	pvm	klo	Kauhallisten lkr
6.12.2014	13:53	17800	8.12.2014	08.05	1
6.12.2014	22:01	21980	8.12.2014	09.00	3
6.12.2014	22:15	21440	8.12.2014	12.00	3
6.12.2014	22:33	12520	8.12.2014	15.00	3
7.12.2014	8:14	20560	8.12.2014	18.00	3
7.12.2014	8:27	22300	8.12.2014	21.00	3
7.12.2014	8:44	23060	8.12.2014	24.00	3
7.12.2014	12:53	21000	9.12.2014	03.00	3
7.12.2014	13:10	11020	9.12.2014	06.00	3
7.12.2014	21:53	23020	9.12.2014	09.00	3
7.12.2014	22:06	23920	9.12.2014	12.00	3
7.12.2014	22:23	14400	9.12.2014	15.00	3
8.12.2014	5:44	18120	9.12.2014	18.15	3
8.12.2014	5:57	19280	9.12.2014	21.02	3
8.12.2014	11:11	25120	9.12.2014	24.00	3
8.12.2014	14:37	21980	10.12.2014	03.00	3
8.12.2014	14:50	23340	10.12.2014	06.00	3
8.12.2014	18:17	22620	10.12.2014	09.00	4
8.12.2014	20:55	17320	10.12.2014	13.40	4
9.12.2014	9:48	10180	10.12.2014	15.45	4
Netto kg yhteensä		390980	10.12.2014	18.10	4
		390,98 t	10.12.2014	20.45	4
			10.12.2014	24.00	4
			11.12.2014	03.00	4
Kauhallisen massa		3,341709 t	11.12.2014	06.00	4
			11.12.2014	09.00	4
			11.12.2014	12.00	4
			11.12.2014	15.00	4
			11.12.2014	18.00	4
			11.12.2014	21.00	4
			11.12.2014	24.00	4
			12.12.2014	03.00	4
			12.12.2014	06.00	4
			12.12.2014	09.00	4
			Kauhallisia yhteensä		117

LIITE 3. KUITUSAVEN PALAMISEEN TARVITTAVA HAPEN MÄÄRÄ SEKÄ SYNTYVIEN SAVUKAASUJEN VOLYYMI

Komponentti	Määrä (kuivassa polttoaineessa) % *	Määrä (kosteassa polttoaineessa) kg/kgpa *	Molekyylipaino kg/kmol	Määrä (kosteassa polttoaineessa) kmol/kgpa	O ₂ -tarve kmol/kgpa	Syntyneiden savukaasujen määrä kmol/kgpa
C	26,2	0,082	12,01	0,006849958		
H ₂	1,5	0,005	2,016	0,00233631		
S	27,41	0,086	32,06	0,002684573		
O ₂	13,705	0,043	32	0,001344803		
N ₂	0,07	0,000	28,02	7,84440E-06		
Yht					0,00865699	0,082498387
H ₂ O**	0	0,686	18,016	0,038077265		

Komponentti	Määrä (polttoaineessa) %	Reaktiotuote	Syntyvien savukaasujen määrä kmol/kgpa	Osuus kuivissa savukaasuissa %	Osuus kosteissa savukaasuissa %	Syntyneiden savukaasujen määrä kmol/kgpa
C	0,00685	CO ₂	0,00685	16,3%	8,3%	
H ₂	0,00234	H ₂ O	0,04041		49,0%	
H ₂ O	0,03808					
S	0,00268	SO ₂	0,00268	6,4%	3,3%	
O ₂	0,00134					
N ₂	0,00001	N ₂	0,03256	77,3%	39,5%	
		Yhteensä kostea	0,08251		100,0%	
		Yhteensä kuivat	0,04209	100,0%		

Komponentti	Määrä savukaasuissa kmol/kgpa	Molekyylipaino kg/mol	Määrä savukaasuissa kg/kgpa	Moolitilavuus m ³ /kmol	Määrä savukaasuissa m ³ /kgpa
CO ₂	0,00685	44,01	0,301466668	22,26	0,152480073
H ₂ O	0,0404	18,016	0,728090952	22,4	0,905264062
SO ₂	0,0027	64,06	0,171973726	21,98	0,059006907
N ₂	0,0326	28,02	0,912278694	22,4	0,729302025
Yht	0,0825		2,11381004		1,846053068

*Fundacon Oy 2011

**Kovanen 2014

LIITE 4. K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVOT KUITUSAVEN
RINNAKKAISPOLTTOSSA SO₂- JA NO_x-PITOISUUKSILLE

Rinnakkaispolton päästöraja-arvo SO₂-pitoisuudelle savukaasuissa

$$V_{\text{jäte}} = 1,85 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{pa}}$$

$$C_{\text{jäte}} = 50 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$V_{\text{prosessi}} = 3,71 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_{\text{prosessi}} = 400 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$\frac{V_{\text{jäte}} \times C_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}} \times C_{\text{prosessi}}}{V_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}}} = C$$

$$\frac{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 50 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}}} = 284 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Rinnakkaispolton päästöraja-arvo NO_x-pitoisuudelle savukaasuissa

$$V_{\text{jäte}} = 1,85 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{pa}}$$

$$C_{\text{jäte}} = 200 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$V_{\text{prosessi}} = 3,71 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_{\text{prosessi}} = 400 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$\frac{V_{\text{jäte}} \times C_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}} \times C_{\text{prosessi}}}{V_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}}} = C$$

$$\frac{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 200 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}}} = 334 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

LIITE 5. K4-LEIJUPETIKATTILAN PÄÄSTÖRAJA-ARVO KUITUSAVEN
RINNAKKAISPOLTTOSSA PÖLYPITOISUUDELLE

Rinnakkaispolton päästöraja-arvo pölypitoisuudelle savukaasuissa

$$V_{\text{jäte}} = 1,85 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{pa}}$$

$$C_{\text{jäte}} = 10 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$V_{\text{prosessi}} = 3,71 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_{\text{prosessi}} = 50 \text{ mg}/\text{m}^3$$

$$\frac{V_{\text{jäte}} \times C_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}} \times C_{\text{prosessi}}}{V_{\text{jäte}} + V_{\text{prosessi}}} = C$$

$$\frac{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 10 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} \times 50 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}} + 3,71 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{pa}}}} = 37 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

LIITE 6. K4-LEIJUPETIKATTILAN ARVOT KOEPOLTTOJAKSON AIKANA

Kattilan arvot										
Päivämäärä	Tarkasteluväli [h]	Kattilan kuorma [kg/s]	P-aineen syöttö [kg/s]	Lietekauhallisia [kpl]	Kuitusaven määrä [t]	Kuitusavea [t/h]	Kuitusavea [kg/s]	Kuitusaven suhde p-aineesta [%]	Ilmamäärä [kNm ³ /h]	Primaari-ilmamäärä [kNm ³ /h]
08.12.2014	16,00	13,22	5,27	16	53,47	3,34	0,93	17,63 %	62,06	32,00
09.12.2014	24,00	12,35	5,12	24	80,20	3,34	0,93	18,13 %	59,72	32,91
10.12.2014	24,00	12,52	4,94	29	96,91	4,04	1,12	22,70 %	59,07	32,08
11.12.2014	24,00	14,24	5,81	32	106,93	4,46	1,24	21,31 %	66,63	33,06
12.12.2014	12,00	14,14	5,68	16	53,47	4,46	1,24	21,81 %	64,52	32,02

LIITE 7. KOEPOLTTOJAKSON AIKANA SAVUKAASUISTA MITATUT KOMPPONENTTIEN
PITOISUUKSIEN KESKIARVOT, REDUSOIDUT ARVOT SEKÄ VERTAILU PÄÄSTÖRAJA-ARVOIHIN
KOEPOLTTOPÄIVITTÄIN

Komponentti	Mitattu mg/Nm ³	Redusoitu (O ₂ 6%) [mg/Nm ³]	Redusoitu (O ₂ 11%) [mg/Nm ³]	Päästöraja-arvo [mg/Nm ³]	Erotus raja- arvoon
1. koepolttopäivä					
SO ₂	264,90	354,55		284	25 %
NO _x	257,59	344,77		334	3 %
Pöly	0,13	0,18		37	-100 %
CO	91,74		81,58	50	63 %
TOC	1,29		1,15	10	-89 %
HF	4,07		3,62	1	262 %
HCl	21,67		19,27	10	93 %
2. koepolttopäivä					
SO ₂	261,45	346,57		284	22 %
NO _x	259,73	344,29		334	3 %
Pöly	-0,06	-0,08		37	-100 %
CO	81,92		72,15	50	44 %
TOC	1,24		1,09	10	-89 %
HF	3,81		3,36	1	236 %
HCl	21,14		18,62	10	86 %
3. koepolttopäivä					
SO ₂	277,48	365,70		284	29 %
NO _x	253,26	333,78		334	0 %
Pöly	0,13	0,17		37	-100 %
CO	66,81		58,50	50	17 %
TOC	1,14		1,00	10	-90 %
HF	4,18		3,66	1	266 %
HCl	22,51		19,71	10	97 %
4. koepolttopäivä					
SO ₂	287,02	381,76		284	34 %
NO _x	249,22	331,48		334	-1 %
Pöly	0,73	0,97		37	-97 %
CO	48,38		42,76	50	-14 %
TOC	1,09		0,96	10	-90 %
HF	4,56		4,03	1	303 %
HCl	21,55		19,04	10	90 %
5. koepolttopäivä					
SO ₂	229,04	308,27		284	9 %
NO _x	242,09	325,83		334	-2 %
Pöly	0,69	0,92		37	-98 %
CO	51,75		46,28	50	-7 %
TOC	1,13		1,01	10	-90 %
HF	4,24		3,79	1	279 %
HCl	19,23		17,20	10	72 %