

Kuitusaven hyödyntäminen leijupetikattilassa

Ossi Tourunen

Opinnäytetyö

Joulukuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), paperikoneteknologian tutkinto-ohjelma

Kunnossapito

Tekijä(t) Tourunen, Ossi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 12.2016
	Sivumäärä 62+16	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kuitusaven hyödyntäminen leijupetikattilassa		
Tutkinto-ohjelma Paperikoneteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Siistonen Matti, Kurki Matti		
Toimeksiantaja(t) Äänevoima Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Äänevoima Oy:n leijupetikattilalle ja siinä tutkittiin kuitusaven käyttäytymistä kattilan polttoainelinjoilla ja tulipesässä sekä selvitettiin, miten se vaikuttaa ilmapäästöihin leijupetipoltossa. Tavoitteena oli kartoittaa myös kuitusaven mukana tulevia riskejä prosessiin. Lisäksi tutkimuksessa esitetään yleisimpiä kuitusaven kuivatusmenetelmiä sekä kartoitetaan vaihtoehtoisia hyödyntämismahdollisuuksia kuitusavelle. Lisäksi tutkimuksessa on kuitusaven syöttölaitteistolle toimintakuvaus.</p> <p>Metsäteollisuudessa muodostuu vuosittain suuria määriä erilaisia kiinteitä jätteitä, lietteitä ja sivuvirtoja. Osa näistä on epäorgaanista ainetta ja osa sisältää myös orgaanista ainetta. Metsäteollisuudessa on jatkuvasti pyritty kehittämään sivuvirtojen hyötykäyttöä, joista polttaminen on yksi käytössä oleva menetelmä. Uusi asetus kaatopaikoista tuli rajoittamaan orgaanisen jätteen sijoittamista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle vuoden 2016 alusta.</p> <p>Opinnäytetyö oli yhdistelmä kvantitatiivista tutkimusmenetelmää sekä tutkivaa kehitystyötä eli toiminnallista työtä, jossa tulosten arviointi perustuu numeerisiin tuloksiin sekä ympäristön havainnointiin. Tutkimuksessa määriteltiin seurattavat parametrit, joiden avulla kattilassa tapahtuvia muutoksia ruvettiin tarkkailemaan ja analysoimaan laboratorion saattavien kosteus- ja lämpöarvotulosten pohjalta. Seurantajakso kesti neljä kuukautta.</p> <p>Tutkimuksen perusteella pystyttiin osoittamaan kuitusaven mukana tulevia muutoksia prosessiin ja prosessin hallintaan. Useita riskejä tunnistettiin ja niihin osattiin valmistautua ennalta. Saatujen tulosten avulla arvioitiin kuitusavea polttoaineena. Kuitusaven todettiin olevan sen mukana tulevista hyödyistä huolimatta huono polttoaine.</p>		
Avainsanat (asiasanat) kuitusavi, leijupetikattila, biopolttoaine		
Muut tiedot		

Author(s) Tourunen, Ossi	Type of publication Bachelor's thesis	Date 12.2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 62+16	Permission for web publication: x
Title of publication Burning deinking sludge in fluidized bed boiler		
Degree programme Degree Programme in Paper Machine Technology		
Supervisor(s) Siistonen, Matti, Kurki, Matti		
Assigned by Äänevoima Oy		
Abstract <p>The thesis was assigned by Äänevoima Oy. The goal of the thesis was to study how deinking sludge affects the boiler fuel lines and the furnace and how it will show in the air emissions. The aim was also determine the risks caused by deinking sludge in the process. In addition, the thesis presented general drying methods for deinking sludge and other potential using methods. The functional description the feeder system for deinking sludge is also defined in the thesis.</p> <p>Forest industry produces different kinds of solid waste, sludge and side flows per year. Some of these contain inorganic material while some also organic material. The forest industry has constantly attempted to develop these side streams. Burning is one of the current methods. The new decree on how to use landfills prevented accepting organic waste in the landfill from 2016 forwards.</p> <p>The thesis was a combination of quantitative research method and exploratory development where evaluation of the results is based on numerical results and also on observing the environment. The thesis defined what measurements will need to be followed. These measurements will be used to analyse the changes in the boiler. A laboratory will deliver moisture determinations and heating values of the deinking sludge which help analyze the results. The follow-up period was 4 months.</p> <p>The thesis showed the effects of deinking sludge in the combustion process and its management. Several risks were proven to be caused by deinking sludge. Based on the results, deinking sludge was found poor fuel despite its benefits.</p>		
Keywords/tags (subjects) deinking sludge, bubbling fluidized bed boiler, biofuel		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet, rajaukset ja toteutus	5
1.3	Tutkimusmenetelmät ja tietoperusta	7
1.4	Äänevoima Oy	8
1.5	Metsä Board Oyj.....	8
2	Metsäteollisuus nykypäivänä	9
2.1	Metsäteollisuuden kehittyminen	9
2.2	Metsäteollisuus ja ympäristö	10
2.3	Teollisuuspäästödirektiivi.....	10
3	Jätelainsäädäntö metsäteollisuuden näkökulmasta	11
3.1	Tavoitteena jätteiden vähentäminen.....	11
3.2	Euroopan unionin jätedirektiivi.....	12
3.3	Kaatopaikkadirektiivi	13
3.4	Jäteverolaki.....	15
4	Palaminen	16
4.1	Palamismekanismit.....	16
4.2	Kiinteiden polttoaineiden palaminen.....	17
4.3	Palamisessa syntyvät haitalliset päästöt	18
5	Leijukerros poltto	20
6	Äänevoima Oy:n biokattila	25
6.1	Biokattilan toimintakuvaus	27
6.2	Biokattilan päästörajat	30
6.3	Polttoainesuhteiden säätö	30
7	Kuitusavi	31
7.1	Kuitusaven muodostuminen	31
7.2	Kuitusaven ominaisuudet ja koostumus	32

	2
7.3 Kuitusaven kuivatusmenetelmät.....	34
7.4 Kuitusaven polttotekniikat	37
7.5 Kuitusaven vaikutus rikki-kloori-indeksiin.....	38
7.6 Kuitusaven muut hyödyntämismahdollisuudet	39
8 Kuitusaven syöttölaitteiston toimintakuvaus	43
8.1 Purkuasema	43
8.2 Vaihtolavat ja hydrauliiikka	44
9 Tutkimusosa sekä saadut tulokset.....	45
9.1 Kuitusaven syöttölaitteisto ja polttoaineen siirtolaitteisto	45
9.2 Kuitusaven vaikutukset polttoaineen siirtolaitteistoon.....	46
9.3 Polttoprosessi	48
9.4 Kuitusaven vaikutukset tulipesään.....	49
9.5 Kuitusaven vaikutukset Ilmapäästöihin.....	51
9.6 Kuitusaven vaikutukset lentotuhkaan.....	56
10 Yhteenveto kuitusaven polttamisesta.....	57
11 Pohdinta.....	60
Lähteet	63
Liitteet	66
Liite 1. Esimerkki Analyysitodistus kuitusavi	66
Liite 2. Jäteluettelo	67
Liite 3. Eri puupolttoaineiden ominaisuuksien vertailu.	68
Liite 4. Turpeen, kivihiilen ja lietteiden ominaisuuksien vertailu	69
Liite 5. Testiajo 6.7	70
Liite 6. Testiajo 14.7	71
Liite 7. Testiajo 24.7	72
Liite 8. Testiajo 2.8	73
Liite 9. Testiajo 13.8	74
Liite 10. Testiajo 15.8.....	75

Liite 11.	Testiajo 21.8.....	76
Liite 12.	Testiajo 25.8.....	77
Liite 13.	Testiajo 30.8.....	78
Liite 14.	Kuormitustesti 19.7.....	79
Liite 15.	Kuormitustesti 9.8.....	80
Liite 16.	Kuormitustesti 6.11.....	81

Kuviot

Kuvio 1.	Opinnäytetyön toteutussuunnitelma.....	6
Kuvio 2.	Äänevoiman omistusjakauma	8
Kuvio 3.	Tuotantoon suhteutetut päästövähennemät	11
Kuvio 4.	Ensisijaisuusjärjestys	13
Kuvio 5.	Lietteiden tuotto ja käsittely Suomessa	15
Kuvio 6.	Kiinteän polttoaineen palamisen vaiheet	18
Kuvio 7.	Tyypillisen leijupetikattilan tärkeimmät komponentit.....	23
Kuvio 8.	Kiertopetikattilan poikkileikkaus).....	25
Kuvio 9.	Teollisuuspäästädirektiivin (IED) vaikutukset Äänevoimalla	30
Kuvio 10.	Imusuodatin.....	32
Kuvio 11.	Kuitusavea syöttölävalta Äänevoimalla	33
Kuvio 12.	Linko Alfa Laval 2000	34
Kuvio 13.	Suotonauhapuristin	35
Kuvio 14.	Ruuvipuristin	36
Kuvio 15.	Kloorin tarttumisen ehkäiseminen tulistinputkiin suoja-aineiden avulla	38
Kuvio 16.	Esimerkki kaatopaikan rakennekerroksista.....	41
Kuvio 17.	Kuitusaven syöttölaitteisto.....	46
Kuvio 18.	Esimerkki petilämpötilojen romahduksesta.....	50
Kuvio 19.	Hapen ja petilämpötilojen vaikutukset NO _x -päästöihin	52
Kuvio 20.	Kuitusaven, turpeen, petilämpöjen ja hapen vaikutus SO ₂ -päästöihin	53
Kuvio 21.	SO ₂ seuraa jäännöshappea turpeen määrän pysyessä vakiona.....	54
Kuvio 22.	Voidaan huomata, että SO ₂ ja NO _x käyttäytyvät samankaltaisesti.....	54
Kuvio 23.	NO _x - ja CO-pitoisuudet esiintyvät toistensa vastakohtina	55

Kuvio 24. Kuitusaven hyötyjen ja haittojen vertailu	59
---	----

Taulukot

Taulukko 1. Kiinteiden polttoaineiden ominaisuuksia	19
Taulukko 2. Leijupetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja	21
Taulukko 3. Kiertopetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja.....	24
Taulukko 4. Mekaanisen vedenerotuksen vertailu	36
Taulukko 5. Määritellyt seurattavat muuttujat.....	48

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Metsäteollisuudessa muodostuu vuosittain suuria määriä erilaisia sivuvirtoja, kuten kiinteitä jätteitä ja lietteitä. Osa sivuvirroista on epäorgaanisia ja osa sisältää myös orgaanista ainetta, kuten esimerkiksi kuitusavi. Kaikkia näitä sivuvirtoja ei pystytä kuitenkaan hyödyntämään tehokkaasti, sillä olemassa olevien hyötykohteiden määrä ja laatu eivät ole aina riittävät. Metsäteollisuudessa on kuitenkin pyritty jatkuvasti kehittämään sivuvirtojen hyötykäyttöä, joista polttaminen on yksi merkittävä menetelmä.

Kuitusaven polttaminen on yleistynyt nykypäivänä ja tulee myös todennäköisesti listäntymään, koska uusi asetus kaatopaikoista rajoittaa orgaanisen jätteen sijoittamista tavanomaisen jätteen kaatopaikalle vuodesta 2016 lähtien. Onkin varsin todennäköistä, että erityisesti metsäteollisuuden lietteet ja jätteet kohdennetaan laitoksen käsittelyn piiriin entistä tarkemmin myös tulevaisuudessa. Jätteiden ja sivuvirtojen hyödyntämistä Euroopassa ohjataan jätedirektiivillä, joten jätteiden hyödyntämistä voidaan ohjalla haluttuun suuntaan muun muassa taloudellisin keinoin.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet, rajaukset ja toteutus

Tämän opinnäytetyön tavoite oli selvittää onko kuitusavea mahdollista polttaa Äänevoima Oy leijupetikattilassa yhtäjaksoisesti, sekä selvittää minkälaisia vaikutuksia sillä on kattilan tulipesään, ilmapäästöihin ja polttoainelinjoihin. Tutkimuksessa tarkastellaan myös pintapuolisesti muita vaihtoehtoisia kuitusaven hyödyntämismenetelmiä. Opinnäytetyössä kuvataan toimintakuvaus erilliselle kuitusaven syöttölaitteistolle, mutta sen toimivuuteen ja ongelmiin ei oteta kantaa vaan ne on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Kattilan käytettävyyttä ei vaaranneta eikä päästörajoja ylitetä koeajojen aikana. Kuitusavelle tehtiin lyhytjaksoinen koepoltto maaliskuussa 2016 ennen kiinteän

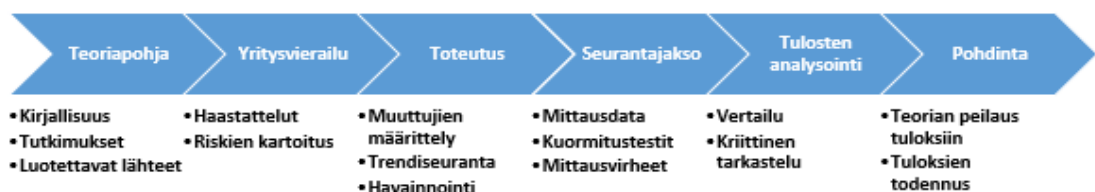
syöttölaitteiston rakentamista, joka aloitettiin puolestaan huhtikuussa 2016.

Kuitusaven polttaminen yhtämittaisesti saatiin aloitettua kesäkuussa 2016.

Opinnäytetyö toteutettiin työsopimuksen vierellä havainnoimalla sekä tutkimalla kuitusaven polttoprosessiin tuomia muutoksia. Tutkimuksessa määriteltiin opinnäytetyön kannalta tärkeät seurattavat mittaukset, joiden perusteella koottiin koko tutkimuksen kestävä trendiseuranta. Mittaustietoja vertailtiin sekä analysoitiin trendiseurannan avulla laboratoriokokeista saatavien kosteus ja lämpöarvo tuloksien pohjalta.

Seurantajakso kesti 4 kuukautta, jolloin tuloksista saatiin luotettavampia ja prosessimuutokset oli helpompi todentaa kuitusavesta johtuvaksi. Kattilalle suoritettiin erilaisia koeajoja sekä kuormitustestejä eri polttoaineilla korostetulla kuitusaven määrällä, jotta muutokset tulivat paremmin esille ja optimaallinen polttoainesuhde löydettiin.

Opinnäytetyön aikana järjestettiin myös yritysvierailu kuitusavea polttavaan saman konsernin voimalaitokseen, josta tietoa hankittiin haastatteluiden kautta sekä seurattiin prosessin toimintaa tapahtumapaikalla. Haastattelut herättivät kysymyksiä, mitkä tuli ottaa huomioon myös Äänevoimalla. Vierailun teemana oli aluksi teoriapohjainen tarkastelu, jonka jälkeen lähdettiin tutustumaan laitteisiin toimintapaikoilleen. Näin joitakin riskejä pystyttiin kartoittamaan jo ennakoon, ennen varsinaista opinnäytetyön tutkimusvaiheen aloitusta. Kuviossa 1 on esitetty opinnäytetyön toteutussuunnitelma.



Kuvio 1. Opinnäytetyön toteutussuunnitelma

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tietoperusta

Määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyössä käytettiin hyödyksi määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusmenetelmää, koska tulosten arviointi perustuu suoraan numeerisiin tuloksiin eli määritellyistä mittapisteistä saatavaan dataan. Määritellyistä mittapisteistä koottiin lista, jonka mukaan kuitusaven vaikutuksia päästiin analysoimaan tilanteesta ennen kuitusavea ja kuitusaven jälkeen. Näiden tulosten perusteella etsittiin syy- ja seuraussuhteita. Saatua tietoa vertailtiin keskenään kuin myös yrityksen aikaisempaan materiaaliin.

Tutkiva kehittämistyö eli toiminnallinen työ

Opinnäytetyössä käytettiin myös tutkivaa kehittämistyötä eli toiminnallista työtä, jossa menetelmänä oli koota tarpeeksi kattava tietoperusta alan kirjallisuudesta ja tutkimuksista. Teoriapohjan perusteella suunniteltiin käytännön menetelmiä, jolla teoriapohjaa voidaan osoittaa todeksi sekä hankkia uutta tietoa käytännön testien kautta. Tietoa hankittiin myös havainnoimalla prosessia kentältä käsin, kun mittausdataa ei ollut aina saatavilla. Saatua tietoa hyödynnettiin jakamalla sitä eteenpäin käyttöhenkilökunnalle.

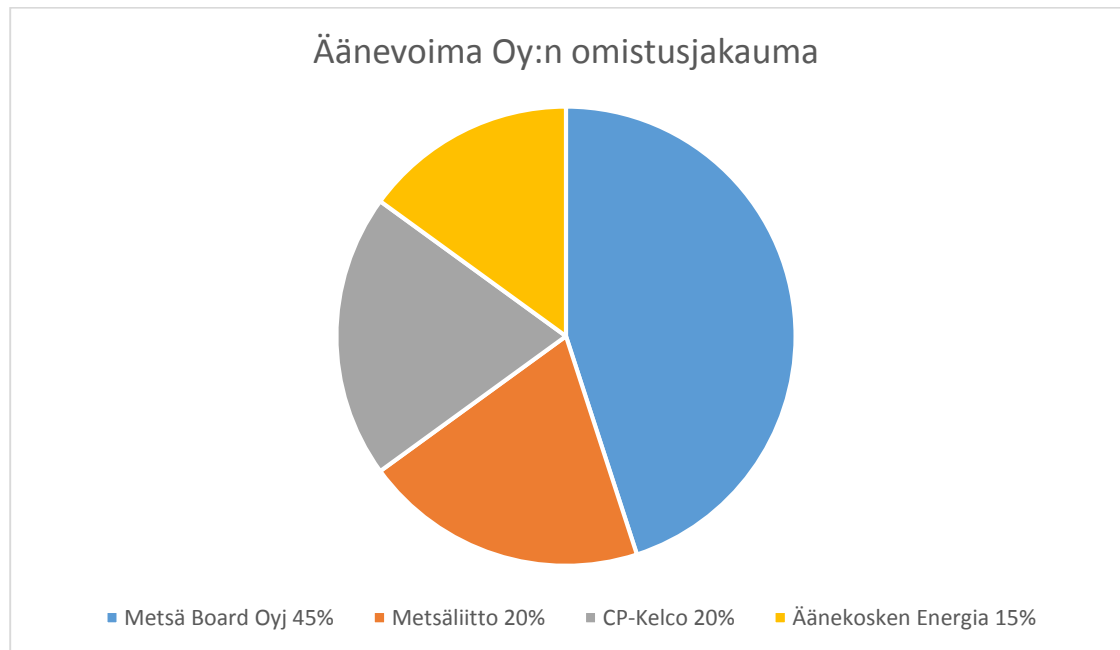
Haastattelut

Tietoa opinnäytetyöhön hankittiin myös valvomossa käytyjen keskusteluiden kautta, koska tutkija ei voinut itse olla aina paikalla uusien havaintojen tai ongelmatilanteiden aikana. Lisäksi tutkimuksessa järjestettiin yritysvierailu saman konsernin voimalaitokseen mistä haettiin käytännönkokemusta, haastatteleamalla henkilökuntaa sekä tutustumalla prosessiin. Voimalaitoksella oli ennalta paljon tietoa kuitusaven vaikutuksista polttoprosessiin, mikä oli kannattavaa käyttää hyödyksi myös Äänevoimalla.

Toisella yritysvierailulla käytiin tutustumassa Metsä Boardin jätevedenpuhdistamoon, jossa tutkimukseen liittyvää kuitusavea syntyy. Vierailulla haastateltiin käyttöhenkilökuntaa ja tutustuttiin kuitusaven kuivausprosessiin. Joitakin haastatteluita käytiin myöhemmin myös puhelimen välityksellä.

1.4 Äänevoima Oy

Äänevoima Oy on osakkuusyhtiö, josta Metsä Board Oyj omistaa 45 %, Metsäliitto 20 %, CP-Kelco 20 % sekä Äänekosken energia 15 %. (Ks. Kuvio 2.) Se tuottaa kaukolämpöä Äänekosken kaupungille sekä höyryä vieressä toimintaa harjoittaville Metsä Board Oy:n kartonkitehtaalle, CMC-sellua tuottavalle CP-Kelcolle sekä tarvittaessa myös Metsä Fibre Oy:n sellutehtaalle. Sähköä tuotetaan höyry- sekä vesiturbiinilla. Äänevoima Oy:n voimalaitoksen kokonaishyötysuhde on noin 85 %. Pääpolttoaineena se käyttää Metsä Fibrellä syntyvää koivu- sekä havukuorta. Sekundäärisiä polttoaineita ovat turve, tehdasalueelta kerätty energiajäte, bio- ja kuituliete sekä ostopuu. Vara- ja huippukattiloina toimivat öljykäyttöiset S40- ja Högfors- pakettikattilat. (Äänevoima Oy 2002)



Kuvio 2. Äänevoiman omistusjakauma (Äänevoima Oy 2002)

1.5 Metsä Board Oyj

Metsä Board on johtava eurooppalainen taivekartongin ja valkoisen ensikuitulainerin valmistaja työllistäen noin 2600 henkilöä. Metsä Board kuuluu osana Metsä Groupiin, ja sillä on tehtaot Suomessa Äänekoskella, Kyröskoskella, Takossa, Simpeleellä, Joutsenossa ja Kaskisissa. (Metsä Board 2015)

2 Metsäteollisuus nykypäivänä

2.1 Metsäteollisuuden kehittyminen

Suomalainen metsäteollisuus on nykypäivänä maailman johtavia ja innovatiivisimpia metsäteollisuudenyrityksiä. Suomalainen metsäteollisuus lähti kansainvälistymään vahvasti 80-luvun lopussa fuusioitumisien ja yritysostojen kautta. Yritykset alkoivat kasvaa nopeasti, ja uusia tuotantolaitoksia perustettiin myös ulkomaille kasvavalla vauhdilla. Toiminta oli huipussaan 1990-luvulla ja 2000-luvun alkupuolella, jolloin ulkomaan investoinnit olivat korkeimmillaan. Nykypäivänä suomalaisten yhtiöiden liikevaihdosta noin puolet syntyy Suomessa toimivissa tuotantolaitoksissa ja puolet ulkomailla olevissa yksiköissä.

Metsäteollisuudessa voidaan ajatella olevan meneillään merkittävä maailmanlaajuisen murros. Paino- ja kirjoituspapereiden kysyntä on hiipunut teollisuusmaissa mistä on seurannut tehtaiden sulkemisia Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Kehittyvissä maissa sen sijaan paperin kysyntä on edelleen kasvussa, minkä seurauksena paperiteollisuutta ja investointeja on siirretty muun muassa Kiinaan ja Etelä-Amerikkaan. Niiden kilpailukyky perustuu lähinnä alhaisiin tuotantokustannuksiin, mutta myös lisääntyvä osaaminen ja huipputeknologia ja innovaatiot ovat nykyään valttikortteja. Paperiteollisuuden merkitys Aasiassa ja Etelä-Amerikassa tulee siis kasvamaan markkina-alueina, että tuottajina. Suomella on kuitenkin hyvät edellytykset säilyttää asemansa alan johtavana tuotanto- ja innovaatioympäristönä, mikä mahdollistaa metsäteollisuuden uusien tuotteiden ja palvelujen ja kilpailuetujen kehittämisen. Siksi onkin erityisen tärkeää panostaa tutkimukseen ja kehitykseen, metsäteollisuuden kannalta järkevään energia- ja ilmastopolitiikkaan ja kustannustehokkaisiin logistiikka- ja infrastruktuuriratkaisuihin. Suomen menestyksen tulee ratkaisemaan kilpailukyky ja kyky uudistua muuttuvilla markkinoilla, koska Suomen metsäteollisuus on monessa suhteessa oman alansa edelläkävijä, jolla on mahdollisuudet edistää kestävästä kehitystä. (Metsäteollisuus 2013)

2.2 Metsäteollisuus ja ympäristö

Metsäteollisuus asetti vuonna 2011 itselleen tavoitteen, miten se voi parantaa ja edelleen kehittää toimintaansa ympäristö- ja vastuullisuuskysymyksissä. Tästä syntyivät koko Suomen metsäteollisuuden yhteiset, aloja koskevat sitoumukset, jotka velvoittavat toimijaa kehittämään toimintaansa eri osa-alueilla vuoteen 2020 mennessä. Metsäteollisuuden yksi vahvuus on, että sen tuotteet perustuvat uusiutuvaan, kierrätettävään ja biohajoavaan luonnonvaraan. Näin kulutusta voidaan ohjata kestävämpään suuntaan. Suomi on kehittyneimpiä maita maailmalla metsäteollisuuden saralla, mikä edellyttää jatkuvaa parantamista ympäristö- ja vastuullisuusasioissa koko arvoketjussa. Tämä tarkoittaa jatkuvaa raportointia ympäristöasioista ja luonnonvarojen järkevää käyttöä. Näitä ovat puun alkuperän ja sen laillisuuden varmistaminen, uusiutuvan energiantuotannon osuuden kasvattaminen, käytön tehokkuuden parantaminen, vähentyneet ympäristöpäästöt ja tehokas jätteen käsittely. (Metsäteollisuus 2015)

2.3 Teollisuuspäästädirektiivi

Teollisuuden päästöistä annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin (2010/75/EU) eli niin sanotun IE-direktiivin kansallinen voimaansaattaminen aiheutti muutoksia lainsäädäntöön. Se yhdisti teollisuuspäästädirektiivin osaksi kansallista lainsäädäntöä. Polttoaineteholtaan vähintään 50 MW:n polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta laadittu uusi asetus (96/2013) astui voimaan helmikuussa 2013. Uusi asetus on laadittu vastaamaan IE-direktiivin vaatimuksia. Asetuksessa säädetään 1.1.2016 – 30.6.2020 voimassa olevasta kansainvälisestä siirtymä-suunnitelmasta, jonka avulla laitoksissa tarpeellisia ja välttämättömiä investointeja pystytään porrastamaan siten, että IE-direktiivissä säädetyt päästörajat tulevat toteutumaan 1.7.2020 alkaen, joten suuria investointeja päästöjen torjuntaan ei tarvitse toteuttaa kerralla. (Ympäristöministeriö 2016)

3 Jätelainsäädäntö metsäteollisuuden näkökulmasta

3.1 Tavoitteena jätteiden vähentäminen

Metsäteollisuus on onnistunut vähentämään kaatopaikkajätteidensä määrää merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana. Suomessa pelkästään massa- ja paperiteollisuuden kaatopaikkajätteet ovat vähentyneet yli 90 % vuodesta 1992 tuotannon määrään suhteutettuna. Metsäteollisuus on raportoinut ympäristövaikutuksista ja toimenpiteistään jo vuosikymmeniä ympäristön tilan parantamiseksi ja kantaa vastuunsa ympäristöasioista. Metsäteollisuus julkaisee ympäristötilastonsa vuosittain ja haluaa jatkuvasti kehittää toimintaansa. Vuonna 2013 metsäteollisuus käytti ympäristönsuojeluun yhteensä noin 122 miljoonaa euroa. Vuonna 2013 massa- ja paperiteollisuuden tuotantoon suhteutetut ilmaan kohdistuvat päästöt laskivat entisestään mutta veteen kohdistuvat päästöt pysyivät samalla tasolla edelliseen vuoteen verrattuna. (Ks. Kuvio 3.) (Metsäteollisuus 2015)



Kuvio 3. Tuotantoon suhteutetut päästövähennykset (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2013, 5.)

Suomen jätelainsäädäntö seuraa Euroopan Unionin jätelainsäädäntöä. Suomen jätelainsäädäntö on kuitenkin Euroopan säädäntöä laaja-alaisempi ja osittain tiukempi. Kaatopaikalle suoraan sijoitettavien jätteiden määrän väheneminen on tapahtunut suurelta osin ennen jäteveron kaltaisia taloudellisesti merkittäviä ohjauskeinoja. Teollisuuden kaatopaikoille laajennettu jätevero nosti sekä

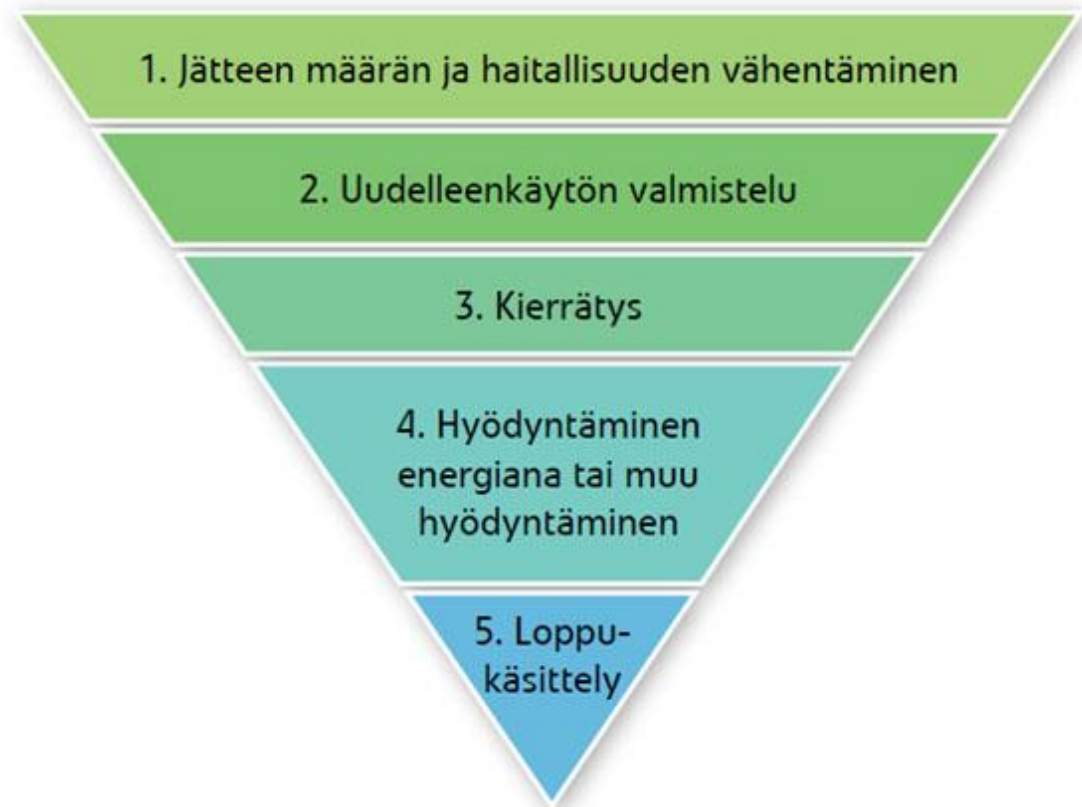
kaatopaikka-sijoittamisen että jätteiden hyötykäytön kustannuksia vuoden 2011 alusta. Jätevero heikentää metsäteollisuusyritysten kilpailukykyä Suomessa verrattuna muihin maihin esimerkiksi Ruotsiin, jossa metsäteollisuuden jätteistä ei tarvitse maksaa kallista jäteveroa. (Metsäteollisuus 2015)

Jätelain päällimmäisenä tarkoituksena on ehkäistä jätteistä ja jätehuollosta aiheutuva vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle sekä pyrkiä vähentämään jätteen määrää ja sen haitallisuutta, varmistaa toimiva jätehuolto ja ehkäistä roskaantumista. Nämä toimenpiteen yhdessä edistävät luonnonvarojen kestävää käyttöä. Uusi jätelaki (646/2011) tuli voimaan 1.5.2012. Sillä panttiin täytäntöön EU:n uusi jätedirektiivi ja saatettiin jätelainsäädäntö uudistetun perustuslain periaatteiden mukaiseksi. Lainsäädäntöä koskevat velvollisuudet ja periaatteet säilyivät suurimmilta osin ennallaan, mutta jätteen velvollisuuksista säädetään hieman aiempaa tarkemmin. (Uusi jätelaki n.d.)

3.2 Euroopan unionin jätedirektiivi

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/98/EY, annettiin 19 päivä marraskuuta vuonna 2008. Jätedirektiivillä on tarkoitus pyrkiä edistämään jätteen syntyä, uudelleenkäyttöä ja kierrätystä jäsenmaissa. Direktiivillä vahvistetaan ajatus viisiportaisesta jätehierarkiasta, jonka mukaan jätepolitiikassa on lähtökohtaisesti noudatettava 5 portaista ensisijaisuusjärjestystä (Ks. Kuvio 4.), joka menee seuraavasti: jätteen synnyn ehkäisy, valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen, loppukäsittely. (Euroopan unionin jätedirektiivi n.d.)

Jätteen synnyn ehkäisy etusijalla



Kuvio 4. Ensisijaisuusjärjestys (Ympäristöministeriö 2012, 2.)

Jätedirektiivin tarkoitus on selventää mikä kaikki on jätettä, ja pyrkiä sitä kautta yhdenmukaistamaan EU-maiden jätepolitiikkaa. Direktiivissä säädetään arviointiperusteista, joiden mukaan voidaan päättää milloin jäte lakkaa olemasta tai onko jokin tietty materiaalivirta sivutuotetta vai jätettä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY)

3.3 Kaatopaikkadirektiivi

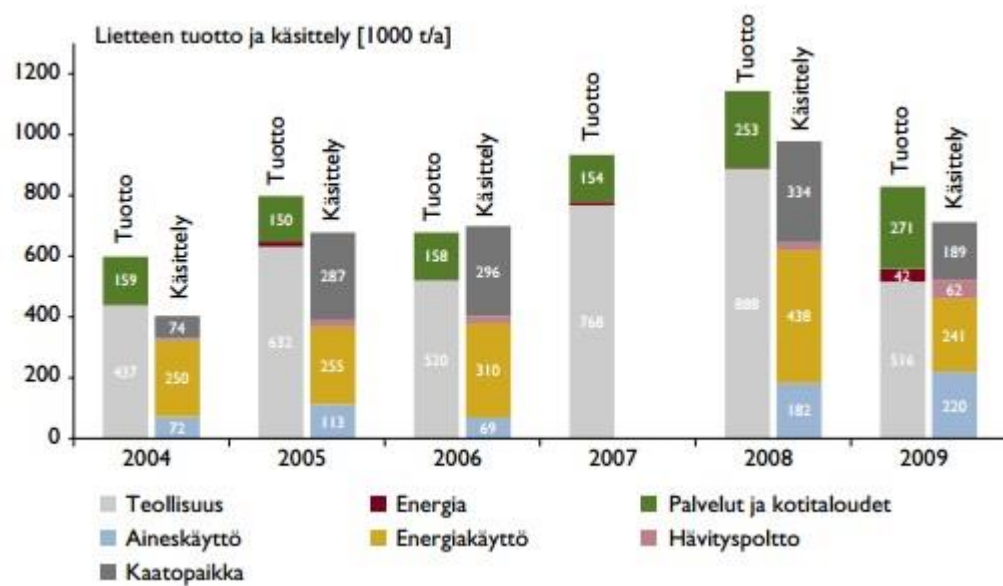
Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (VNa 331/2013 astui voimaan 1.6.2013 kumoten samalla vanhan päätöksen kaatopaikoista (861/1997). Asetuksen tarkoituksena on vähentää kaatopaikoista aiheutuvia ympäristövaikutuksia, ohjaamalla kaatopaikkojen suunnittelua, rakentamista, käyttöä, hoitoa, jälkihoitoa sekä jätteiden oikeaa sijoittamista. Orgaanisen ja biohajoavan jätteen vieminen tavanomaiselle kaatopai-

kalle on käytännössä kiellettyä 1.1.2016 alkaen. Tästä alkaen tavanomaiselle kaatopaikalle saa sijoittaa vain jätettä, jossa biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus määriteltynä orgaanisen hiilen kokonaismäärästä (TOC, total organic carbon) on enintään 10 %.

Orgaanisen ja biohajoavan jätteen kaatopaikkakielto ei koske kumminkaan seuraavia jätteitä (VNa 331/2013, 28§.): (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2013)

- 1) *energiantuotannossa tai jätteen polttamisessa syntyvä lento- tai pohjatuuhka, jos sen liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus on alle 800 milligrammaa kilogrammassa määritettynä nesteen ja kiinteän aineen suhteessa 10 kilogrammaa kuiva-ainetta kohden joko jätteen omassa pH:ssa 7.5-8;*
- 2) *pilaantunut maa-ainesjäte, pilaantunut ruoppausjäte tai asbestijäte, jos se sijoitetaan erillään muista jätteistä;*
- 3) *jätelain 3 §:n 1 momentin 6 kohdassa tarkoitettussa sivutuoteasetuksessa tarkoitetut eläimistä saatavat sivutuotteet, jos asetuksessa tai sen täytäntöönpanosäännöksissä hyväksytään niiden hautaaminen maahan tai muutkin jätteet erityistilanteessa, jos niiden sijoittaminen kaatopaikalle on välttämätöntä eläintautien torjumiseksi;*
- 4) *metsäteollisuudessa massan valmistuksessa syntyvä soodasakka tai keräyspaperin siistauksessa syntyvä liete;*

Keskeisimpinä tavoitteina kaatopaikkadirektiivissä on metaanipäästöjen ja suotovesikuormituksen vähentäminen. Hapettomissa olosuhteissa hajoava orgaaninen aines synnyttää metaania. Metaani on 23 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiili-dioksidi. Maataloussektorin ohella kaatopaikat ovat keskeisin metaanipäästöjen aiheuttaja Suomessa. Kaatopaikalla hallitsemattomasti kerääntyvä metaani aiheuttaa hajuhaittoja, kasvivaurioita sekä palo- ja räjähdysvaaran. Orgaaninen aines kaatopaikoilla lisää myös vesistökuormitusta, kun suotovesien ravinnepitoisuudet voivat nousta. (Kansallista aineistoa päästöjen määrittämiseen 2014) Alapuolella kuviossa 5 on esitetty diagrammi lietteiden tuotosta ja käsittelystä Suomessa.



Kuvio 5. Lietteiden tuotto ja käsittely Suomessa (Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Jermakka, J. 2012)

3.4 Jäteverolaki

Uusittu jäteverolaki (1126/2010) astui voimaan 1.1.2011, joka korvasi 1.9.1996 säädetyn vanhan jäteverolain. Jätevero on kannustintyyppinen ympäristövero, jolla kerätään valtiolle verotuloja. Sen ensisijainen tehtävä on kuitenkin kannustaa vähentämään kaatopaikkakäsittelyä ja lisäämään jätteen hyötykäyttöä ja etsimään vaihtoehtoisia käsittelytapoja jätteelle kaatopaikkasijoittamisen sijasta. Kohdistamalla vero suoraan kaatopaikoille toimitettaviin jätteisiin kierrätys ja vaihtoehtoiset jätteen hävitys menetelmät saavat lisää arvoa. Jätevero koskee kaikkia kaatopaikoille toimitettavia jätteitä, joiden toinen hyötykäyttö on mahdollista teknisestä näkökannasta, sekä myös ympäristöperusteisesti mikä tarkoittaa, että ympäristöhyötyjen on oltava niin sanottuja haittoja suuremmat. Paperin ja kartongin valmistuksessa ja jalostuksessa syntyvät sivuvirrat ja jätteet ovat suurimmilta osin verollisia, poikkeuksena keräyspaperin kierrätyksessä syntyvä siustausliete, joka on säädetty ehdollisesti verottomaksi, mutta verottomuuden voimaantulo vaatii Euroopan unionin komission valtiontukilupaa. Siustausliete on jäteverolaissa osoitetulla tavalla teknisesti kuin myös ympäristöperusteisesti hyödynnettävissä maarakentamisessa ja muun muassa energiana. Vuoden 2016 alussa lakiesityksessä jäteveroa päätettiin korottaa 55 eurosta

70 euroon tonnilta jätettä, joka on määrä kuljettaa kaatopaikalle. Jätevero on nous-
sut vuodesta 2010 vuoteen 2016 mennessä 40 euroa tonnilta. (Hallituksen esitys jä-
teverolain muuttamisesta 2015)

4 Palaminen

Maailmalla tuotetusta energiasta suurin osa on tuotettu polttoprosessien avulla. Polttamisen merkitys energiantuotannossa tulee säilymään merkittävänä pitkään myös tulevaisuudessa. Erillaiset polttoaineet tulevat siis olemaan koko maailmassa hallitsevin primäärienergianlähde ennen kuin keksitään jokin taloudellisesti kannattavampi ja helposti saatavissa oleva energianlähde. Fossiilisten polttoaineiden varannot ovat rajalliset, joten nykypäivänä on siirrytty voimalaitoksissa polttamaan niin sanottuja vaikeampia polttoaineita entistä enemmän kuten, kivihiiltä, turvetta ja erilaisia uusiutuvia polttoaineita. Öljyä ohjataan voimalaitoksilta enemmän liikenteen käyttöön hyödynnettäväksi. Uusiutumattomien polttoaineiden rajallinen saatavuus ja hinta vaikuttavat jatkuvasti niiden taloudellisempaan käyttöön, uusiutuvien polttoaineiden määrän lisääntymiseen, polttotekniikoiden kehittämiseen sekä polttoaineiden kierrätykseen. Nämä yhdessä edistävät ympäristövaikutuksia globaalisti. Suomessa noin 40 % sähköstä ja 60 % kaikesta energiasta tuotetaan juuri nimenomaan polttamalla erilaisia polttoaineita voimalaitoksilla. Trendi on kumminkin uusiutuvien polttoaineiden hyödyntämisessä enemmän ja entistä tehokkaammin. (Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M & Kurki-Suonio, I. 2002, 23-24)

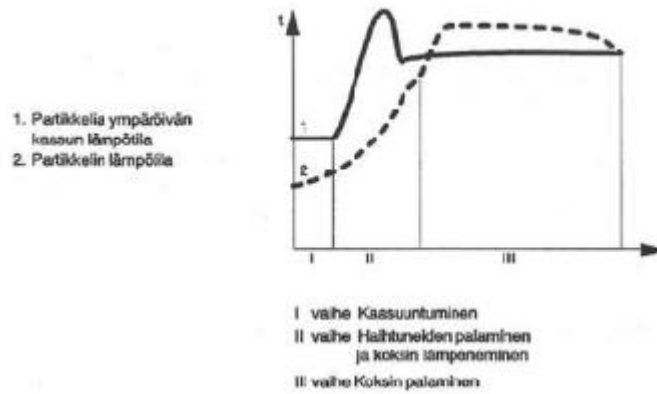
4.1 Palamismekanismit

Palamisella tarkoitetaan yleensä aineen kemiallista yhtymistä happeen. Polttoaineet sisältävät erilaisia aineita kuten hiiltä, vetyä, rikkiä ja typpeä. Nämä reagoivat palamisreaktiossa voimakkaasti hapen kanssa vapauttaen lämpöä eli reaktiot ovat valtaosin eksotermisiä, pois lukien typen ja hapen välinen reaktio, joka on endoterminen eli se kuluttaa lämpöä. Polttoaineen syttymisellä tarkoitetaan, että hapen ja polttoai-
neen välinen reaktio kiihtyy niin, että se pitää itse itseään yllä.

Reaktionopeus kasvaa jyrkästi lämpötilan kasvaessa, mutta riippuu lisäksi reagoivien aineiden pitoisuuksista sekä myös aktivoitumisenergiasta. Aktivoitumisenergialla tarkoitetaan energiaa, joka lähtöaineille on annettava niiden sidosten rikkomiseksi. Termisen syttymisteorian mukaan polttoaine-ilmaseos syttyy, kun lämpötila on kohonnut riittävän korkeaksi. Seos joko syttyy itse, jolloin polttoaine-ilmaseoksen lämmitykseen tarvittava energia saadaan suoraan palamisreaktiosta, tai se pakotetaan syttymään tuomalla siihen ulkopuolista energiaa esimerkiksi sytytysliekin- tai kipinän avulla. (Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000, 79-80)

4.2 Kiinteiden polttoaineiden palaminen

Kiinteän polttoaineen palaminen voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen. (Ks. Kuvio 6.) Ensimmäisessä vaiheessa polttoaineesta poistuu ympäristön lämmön vaikutuksesta kosteus ja haihtuvat aineet. Jotkin polttoaineet vaativat kuitenkin kuivauksen ennen kuin se voidaan sytyttää palamaan. Kun polttoaine partikkeli lämmitetään noin 400 – 500 °C lämpötilaan sekunnin murto-osassa juuri ennen polttoa jäännöskosteus poistuu ja kaasuuntuvat komponentit kaasuuntuvat erilleen polttoaineesta. Toisessa vaiheessa kaasuuntuneet komponentit syttyvät palamaan, jolloin polttoainehiukkasten ympärillä lämpötila nousee äkillisesti ja niiden lämpötila alkaa kohota. Kaasuuntuvien komponenttien palaminen kestää noin 0,2 – 0,5 sekuntia. Jos poltettava polttoaine sisältää runsaasti kaasuuntuvia komponentteja niiden palamisen tuottama lämpö riittää sytyttämään jäljelle jäävän koksipartikkelin palamaan. Vaiheessa kolme koksipartikkeli syttyy palamaan sen lämpötilan noustessa ympäristön lämpötilaa korkeammaksi eli noin 800 – 1000 °C lämpötilaan, jolloin se vapauttaa lämpönsä ympäristöön. Koksipartikkelin palaminen kestää koko paloajasta 50 – 70 % joka vaihtelee polttoainehiukkasen laadun ja koon mukaan. (Huhtinen ym. 2000, 82-83)



Kuvio 6. Kiinteän polttoaineen palamisen vaiheet (Huhtinen ym. 2000, 82)

4.3 Palamisessa syntyvät haitalliset päästöt

Palamisessa syntyvät haitalliset päästöt aiheuttavat merkittävää haittaa ympäristölle ja terveydelle. Syntyviin päästöihin ja niiden määrään vaikuttaa suuresti poltettava polttoaine ja sen ominaisuudet (Ks. taulukko 1.) mutta myös ajotekniset ratkaisut, tästä johtuen polttoaineiden seospoltolla on suuri vaikutus päästöjen hallinnassa. Savukaasut sisältävät polttoaineiden ja palamisilman reagoidessa syntyviä palamistuotteita. Vedyn palamisessa syntyy vettä ja hiilen palamisessa muodostuu hiilidioksidia sekä hiilimonoksidia eli häkää. Rikin palamisessa syntyy pääosin rikkidioksidia, josta kuitenkin osa hapettuu rikkiatrioksidiksi. Näiden lisäksi savukaasut sisältävät typpeä ja typen oksideja sekä palamisilman mukana tullutta argonia, palamisen hallintaa helpottavan ilmaylimäärän vuoksi. Polttoaineen kevyistä palamattomista aineosista muodostuu lentotuhkaa, joka pyritään erottamaan savukaasuvirrasta hiukkaspäästöjen minimoimiseksi. (Huhtinen ym. 2000, 91)

Taulukko 1. Kiinteiden polttoaineiden ominaisuuksia (Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E., Hyytiä, H. 2003, 27)

Ominaisuus	Hake	Kuori	Puru	Jyrsinturve	Kivihiili
Kosteus, %	45 - 55	50 - 60	50 - 60	45 - 55	10
Tuhka, % (d)	0,5 - 2	1 - 3	0,5 - 1	6	14
Haihtuvat aineet, % (d)	80 - 90	70 - 80	70 - 80	65 - 70	30
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (d)	19 - 20	19 - 20	19 - 20	20 - 21	29
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (ar)	7 - 10	6 - 9	6 - 9	8 - 10	26
Hiili, % (d)	52	55	50	54	72
Vety, % (d)	6,0	6,0	6,0	5,5	4,5
Typpi, % (d)	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	1,0
Rikki, % (d)	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<1,0
Happi, % (d)	40	37	43	33	8
Kloori, % (d)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1

Hiilimonoksidi (CO)

Hiilimonoksidia muodostuu epätäydellisessä palamisessa, kun happea ei ole riittävästi. Riittämättömällä happimäärällä hiili reagoi hapen kanssa muodostaen hiilimonoksidia ja lämpöä vapautuu vain noin neljäsosa verrattuna tilanteeseen, jossa happimäärä olisi riittävä, jolloin muodostuisi hiilidioksidia. Savukaasujen CO- eli häkäpitoisuutta voidaan pienentää käyttämällä palamisessa ilmaylimäärää. Ilmaylimäärä kuitenkin lisää kattilan läpi virtaavaa kokonaisilmamäärää, eikä näin kaikki ilma osallistu palamisreaktioon ja tätä kautta se lisää kattilan savukaasuhäviöitä. Palamisilma puhaltimien energian tarve kasvaa myös ilmaylimäärän mukana. Hiilimonoksidia esiintyy myös ilmaylimäärällä, koska polttoaineen ja palamisilman sekoittuminen ei ole koskaan täydellistä. Vaikka hiilimonoksidi on ihmiselle vaarallinen ei sitä lasketa kattilalaitoksissa ympäristöä haittaavaksi. (Huhtinen ym. 2000, 91)

Rikkidioksidi (SO₂)

Rikkidioksidia muodostuu tulipesässä, kun polttoaineen sisältämä rikki hapettuu rikkidioksidiksi. Rikkidioksidista puolestaan pieni osa hapettuu edelleen rikkitrioksidiksi tyypillisesti 1 – 2 % polttoaineen rikistä, joka puolestaan muodostaa veden kanssa rikkihappoa. Rikkihappo syövyttää kattilan lämpöpintoja, joten se halutaan estää pi-

tämällä savukaasujen lämpötila kattilan takavedossa kastepistettä korkeampana. Kattilan lämpöpintoja voidaan suojella kyseisellä menetelmällä, mutta rikki päästöt muodostavat ilmankosteuden sekä auringon valon kanssa rikkilaskeumia. Rikkilaskeumat happamoittavat suuresti maaperää sekä vesistöjä. (Huhtinen ym. 2000, 92., Raiko ym. 2002, 345-348)

Typen oksidit (NO_x)

Typen oksidit eli typpimonoksidi NO ja typpidioksidi NO₂ syntyvät typen ja hapen reagoissa keskenään. Kattilalaitosten typpipäästöistä puhuttaessa ei eritellä typen oksideja vaan puhutaan niiden yhteenlasketuista NO_x päästöistä. NO_x-kaasuilla on samankaltaisia ympäristöä happamoittavia vaikutuksia, kuin rikki päästöillä. Typen oksideja voi muodostua kolmella tavalla.

Termistä typpioksidin muodostumista tapahtuu, kun palamisilman typpi reagoi palamisilman sisältämän hapen kanssa. Tämä kuitenkin vaatii korkeita lämpötiloja noin 1400 C astetta.

Nopea typpioksidien muodostuminen tapahtuu kun, palamisilman typpi reagoi palamisilman hapen kanssa hiilivetyradikaaleja runsaasti sisältävässä liekinosassa.

Polttoaineperäisen typpioksidin muodostuminen tapahtuu kun, polttoaineen sisältämä typpi reagoi palamisilman hapen kanssa. (Huhtinen ym. 2000, 92-93., Raiko ym. 2002, 305, 318)

5 Leijukerros poltto

Leijukerros polttoa alettiin soveltaa energiantuotannossa vasta 1970-luvulla, vaikka sitä olikin käytetty muissa teollisuuden haaroissa jo paljon aikaisemmin. Leijukerros poltto onkin yleistynyt laajasti viime vuosikymmenen aikana. Syynä tähän on, että polttotapa mahdollistaa monien erilaisten polttoaineiden polttamisen samassa kattilassa. Leijukerros poltossa polttoaine pudotetaan leijuvaan hiekan sekaan, mikä kuivattaa kovan polttoaineen nopeasti. Tämä menetelmä onkin yksi tärkeimmistä tekniikoista polttaa ympäristöystävällisesti kiinteitä polttoaineita. Leijupoltto tekniikkana

mahdollistaa alhaiset palamislämpötilat, jotka pitävät myös typenoksidipäästöt pieninä sekä savukaasujen rikinpuhdistus pysyy edullisena eikä polttoaineen esikäsitteilylle ole juurikaan tarvetta. Leijupolttto voidaan toteuttaa kuplivassa leijukerroksessa (BFB) tai kiertoleijukerroksessa (CFB). Suurimpana erona näissä kahdessa on se, että leijukerroskattiloissa hiekan leijutusnopeus on pienempi kuin kiertoleijukattiloissa. Leijukerroskattilassa pystytään määrittelemään petille raja, jossa hiekka loppuu ja sen yläpuolinen kaasutila alkaa. Hiekka pysyy paikallaan eikä lähde savukaasujen mukana kiertämään, mikä on taas kiertoleijukerroskattilan toimintaperiaate.

Leijupetikattilan (BFB) toimintaperiaate on, että polttoaine palaa hiekkaa tai hiekan kaltaista materiaalia sisältävässä kerroksessa, jota sanotaan petiksi joskus myös patjaksi. Petiä leijutetaan tulipesän pohjaan puhallettavalla ilmalla, jota sanotaan primääri-ilmaksi. Primääri-ilma on yleensä lämmitetty kuumista savukaasuista saatavalla hukkalämmöllä. Taulukossa 2 on esitetty leijupetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja. (Huhtinen ym. 2000, 153-155)

Taulukko 2. Leijupetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja (Huhtinen ym. 2000, 159)

Tilavuusrasitus	0,1-0,5 MW/m ³
Poikkipintarasitus	0,7-3 MW/m ²
Petin painehäviö	6,0-12 kPa
Leijutusnopeus	0,7-2 m/s
Petin korkeus	0,4-0,8 m
Primääri-ilman lämpötila	20-400 °C
Sekundääri-ilman lämpötila	20-400 °C
Petin lämpötila	700-1000 °C
Kaasutilan lämpötila	700-1200 °C
Sekundääri-ilman osuus	30-70 %
Ilmakerroin	1,1-1,4
Petin tiheys	1000-1500 kg/m ³

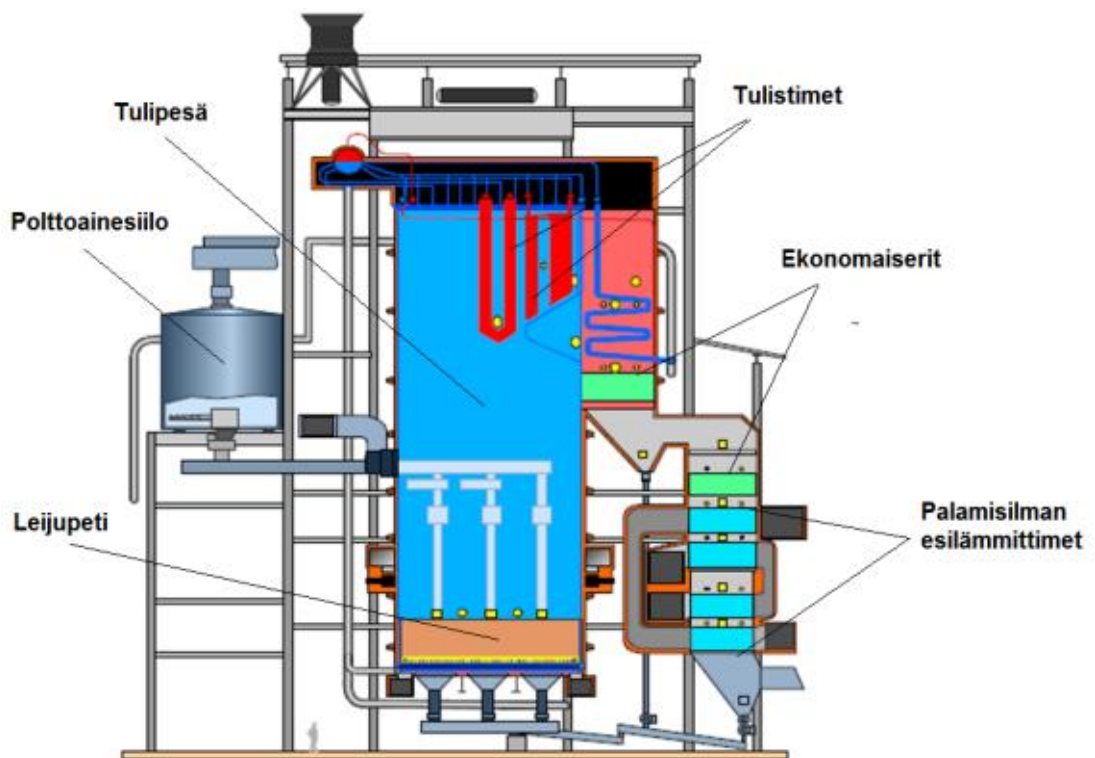
Polttoainetta syötetään petin päälle mekaanisesti. Polttoainesiilon alapuolinen kuljetin syöttää polttoainetta jakolaitteille, joista polttoaine kulkee sulkusyöttimen kautta pudotusputkeen, josta se putoaa petin päälle. Pudotusputkia on yleensä molemmilla puolilla kattilan seiniä useita. Näin polttoaine saadaan jakautumaan tasaisesti koko petin alueelle ja palamisesta tulee täydellisempää.

Petin sisältämän suuren lämpökapasiteetin ansiosta polttoaineet voivat olla myös kosteita ja sisältää suuria laatuvarioita, sillä kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kostea polttoaine kuivaa nopeasti ja saavuttaa syttymislämpötilan. Ennen kuin petiin voidaan ruveta syöttämään pääpolttoainetta, se on lämmitettävä tasolle, joka varmistaa pääpolttoaineen turvallisen syttymisen. Turvallinen lämpötila on 500 – 600 °C, joka on saatu aikaan alkulämmityksellä käyttämällä yleensä öljy tai kaasulämmitteisiä sytytyspolttimia. (Huhtinen ym. 2000, 157-158)

Tulipesän alaosan putket on vuorattu tulenkestävällä korkeita lämpötiloja sietävällä massalla. Vuorauksen tarkoitus ehkäistä putkien kulumista, koska leijuva hiekkakerros aiheuttaa voimakasta eroosiota. Suojavuoraus myös suojelee putkia ylikuumentumiselta. Tulipesän pohjassa on ilmanjakoarina. Sen tarkoitus on ohjata primääri-ilma tasaisesti koko tulipesän pohjaan, jotta hiekan leijuminen on tasaista. Arinan painehäviön tulee olla tarpeeksi suuri noin 30 – 50 % leijupetin painehäviöstä. Tällä varmistetaan ilman tasainen jakautuminen petiin. Nopeutta, jolla hiekkakerros alkaa leijua nimitetään minimileijutusnopeudeksi. Tähän nopeuteen vaikuttaa hiekan rakekoko. Mitä pienempi rakeista hiekkaa petissä on, sitä hitaammassa nopeudessa peti saadaan myös leijumaan. Leijutusnopeutta lisättäessä peti siis laajenee. Lisättäessä leijutusnopeutta minimileijutusnopeudesta, ei leijukerroksen aikaansaama painehäviö enää kasva, vaan se pysyy leijukerroksen hydrostaattisen paineen suuruisena. Kun leijutusnopeus on minimileijutusnopeutta suurempi, alkaa peti niin sanotusti kuplia. Tämä johtuu siitä, että minimileijutusnopeuden ylittävä ilmamäärä kulkee leijukerroksen läpi ilmakuplina. Tästä johtuu myös se, miksi leijukerroskattilaa nimitetään usein myös kuplivaksi leijupetikattilaksi. Mikäli ilman leijutusnopeus on suurempi kuin hiekkapartikkelien lentoonlähönnopeus, karkaavat hiekkapartikkelit kaasukattilaan ja lähtevät kulkemaan leijutusväliaineen mukana, joka on kiertopetikattilan tarkoitus.

Polttoaineen palamisessa syntyy tuhkaa, joka erotetaan leijupetistä poistamalla hiekkaa tulipesän pohjasta. Poistettu hiekka seulotaan, jotta siitä saadaan erotettua karkaava aines. Sen jälkeen puhdistettu hiekka palautetaan takaisin kattilaan tai hiekkasii- loon. Hienompijakoinen aines lähtee savukaasujen mukana, mistä se erotetaan yleensä sähkösuotimella. Petin lämpötilaa pyritään pitämään n: 100 °C alle tuhkan

pehmenemislämpötilan, jotta tuhka ei ala sulaa petissä eli sintraamaan hiekkaa. Sint-raantunut hiekka on vaikeasti poistettavaa ja vaatii yleensä kattilan alasajon. Petin lämpötilaa voidaan säätää savukaasujen kierrätyksellä, joka on kylmempää kuin leijua ylläpitävä primääri-ilma. Savukaasut ovat myös melkein hapettomia, joten hapen määrä kattilassa vähenee, mikä aikaansaa palamisreaktion hidastumisen ja peti alkaa jäähtyä. Jos petin lämpötila meinaa nousta liian korkeaksi säädöistä huolimatta, voidaan hätätapauksessa ruiskuttaa vettä suoraan polttoaineen sekaan. (Huhtinen ym. 2000, 158) Kuviossa 7 on esitetty leijupetikattilan tärkeimmät komponentit.



Kuvio 7. Tyypillisen leijupetikattilan tärkeimmät komponentit (Ikonen 2013)

Kiertopetikattilan toimintaperiaate on hyvin samantapainen kuin leijupetikattilassa. (Ks. Kuvio 8.) Kiertopetikattilassa käytetään suurempaa leijutusnopeutta ja pienempi-jakoisempaa petimateriaalia. (Ks. Taulukko 3.) Nämä yhdessä saavat petimateriaalin lähtemään kiertoon savukaasuvirran mukana. Kiertopetikattilassa ei voida erottaa selvää hiekan rajaa kuten leijupetikattilassa. Petin tiheys alkaa pienentyä korkeuden funktiona, osan petimateriaalista kulkeutuessa savukaasujen mukana. Tulipesästä

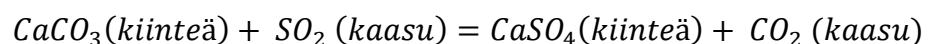
kaasuvirtauksen mukana lähteneet hiukkaset ja palamattomat partikkelit erotetaan savukaasuista syklonin avulla ja palautetaan takaisin tulipesään.

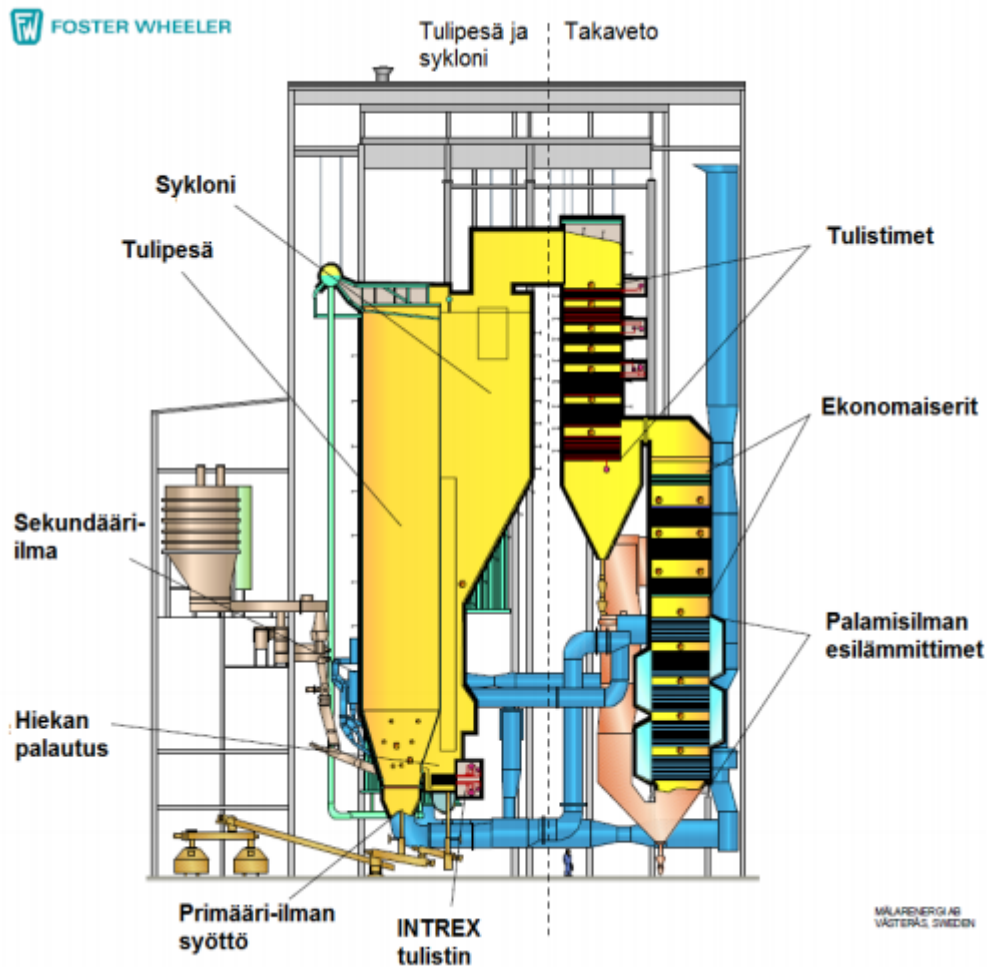
Taulukko 3. Kiertopetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja (Huhtinen ym. 2000, 161)

Suure	Yksikkö	Toiminta-arvo
Kokonaispainehäviö	kPa	10 - 15
Petimateriaali	mm	0,1 - 0,5
Leijutusnopeus	m/s	3 - 10
Petilämpötila	°C	850 - 950
Ilmakerroin	-	1,1 - 1,3
Minimikuorma	%	25 - 30

Polttoaine syötetään yleensä kiertopetikattilassa sekoittamalla se syklonissa erotetun hiekan joukkoon, mutta se voidaan syöttää myös suoraan tulipesään leijupetikattilan tavoin. Kiertopetikattilassa palamatta jääneet polttoainepartikkelit erotetaan syklonissa ja palautetaan takaisin tulipesään, jolloin saadaan palamisaikaa kasvatettua ja palamishyötysuhde kasvaa. Kiertopetikattilalla on mahdollista polttaa hyvin samantapaisia polttoaineita kuin leijupetikattilassa, mutta erotuksena myös hiilen polttaminen on mahdollista. Suomessa käytetäänkin valtaosassa kaukolämpövoimalaitoksissa kiertoleijutekniikkaa, koska on haluttu varautua myös hiilen polttamiseen.

Kiertopetikattilassa on pienet NO_x-päästöt ja mahdollisuus edulliseen rikinpoistoon savukaasuista. Koska palamislämpötilat jäävät alhaisiksi (800 – 950 °C) on NO_x:in muodostuminen vähäistä. Petiin voidaan syöttää myös ammoniakkaa, jolloin typpioksidipäästöt jäävät katalyytteinä tasolle 50 ppm. Rikinpoistossa voidaan tulipesään syöttää kalkkia (CaCO₃), jolloin kalkki reagoi polttoaineessa olevan rikin (SO) kanssa muodostaen kipsiä (CaSO₃). Muodostunut kipsi poistetaan kattilasta tuhkan mukana. Kipsin muodostumisen reaktioyhtälö osoitettu alla. (Huhtinen ym. 2000, 159-162.)





Kuvio 8. Kiertopetikatilan poikkileikkaus (Ikonen 2013)

6 Äänevoima Oy:n biokattila

Äänevoima Oy:n biokattila on ylhäältä kattilan teräsrakenteista ripustettu höyrylieriöllä varustettu luonnonkierto kupliva leijupetikattila (BFB). Luonnonkierrolla tulipesän putkiseinissä virtaava vesi- höyryseos kiertää kattilassa ilman erillistä kiertopumppua. Tämä johtuu lieriöstä lähtevän virtaavan veden ja höyryn tiheuseroista lasakuputkissa ja tulipesän seinämissä. Näin ollen biokattila ei tarvitse ulkopuolista pumppausenergiaa veden kierrätykseen kattilassa, joka on tärkeää sähkökatkoissa tai vastaavassa häiriötilanteessa, koska näin pystytään varmistamaan tulipesän riittävä jäähdytys. Biokattilan suurin höyryteho on sekapoltoissa 60,2 kg/s, mikä vastaa 157 MW:n lämpötehoa.

Biokattilan toiminta-arvot ovat seuraavat:

• valmistaja	Foster Wheeler energia Oy
• valmistusvuosi	2002
• pähöyryn max virtaus sekapoltossa	60,2 kg/s
• lämpöteho	157 MW
• vesitilavuus	117 m ³
• suurin sallittu paine	128 bar
• korkein sallittu sisällön lämpötila	535 °C
• tulipesän tilavuus	1270 m ³

Höyrykattiloissa energia veden höyryttämiseen sekä veden ja höyryn lämmittämiseen saadaan polttamalla erilaisia polttoaineita. Reaktio on eksoterminen eli polttoaineesta vapautuu lämpöä palamisreaktiossa, kun se reagoi palamisilman hapen kanssa. Äänevoima Oy:n biokattilassa poltetaan koivu- sekä havukuorta, vedenpuhdistamon lietteitä, turvetta, tehdasalueen energijätettä sekä erilaisia ostopuita. Vara- ja tukipolttoaineena toimii raskas polttoöljy.

Koivu- sekä havukuori

Äänevoimalla poltetaan Metsä Fibrellä sellun valmistusprosessista syntyvää koivu- sekä havukuorta primääripolttoaineena. Kuoren sekaan sekoitetaan jäteveden puhdistamisessa syntyvää kuitu- sekä biolietettä. Kuoren ja lietteen yhdistetty kuiva-ainepitoisuus on ollut keskiarvoltaan 48,84 % seurantajakson aikana.

Turve

Turve varastoidaan 1000 m³ siiloon, jonka pohjalla on ruuviannostelija. Turvesiilossa varastoidaan myös energijätettä, joka on kerätty tehdasalueelta. Turvetta pyritään polttamaan noin 10 – 20 % polttoainevirrasta. Turpeen laatua tarkkaillaan laboratorion kokein.

Energijäte

Energijätettä kerätään poltettavaksi vain tehdasalueelta, tehdasalueen ulkopuolelta energijätettä saa polttaa myös rinnakkaispolttona. Äänevoimalla on oma murskain, joten kerättyä energijätettä ei tarvitse murskata ulkopuolella, jolloin kustannukset

pysyvät mahdollisimman alhaisina. Energiajäte varastoidaan turvesiilossa, josta sitä annostellaan turpeen joukossa.

Ostopuu

Ostopuuta poltetaan tarvittaessa pääosin turpeen ja kuoren seassa. Ostopuut varastoidaan polttoaine aumaan, joka on tuulisuojattu ulkoilma varasto, josta ruuvikaira annostelee sitä tunnelihihnalle.

Jätelietteet

Jäteveden puhdistamisessa syntyy lietteitä, jotka sekoitetaan Äänevoimalla poltettavan kuoren joukkoon. Jäteliete koostuu primäärilietteestä sekä biolietteestä. Primääriliete on esiselkeytyksessä laskeuttamalla erotettua lietettä. Bioliete on jäteveden biologisessa puhdistuksessa syntyneitä lietettä. Primääri- ja bioliete pumpataan puristimiin, jossa kuiva-ainetta nostetaan. Tämän jälkeen lietteet sekoitetaan sekalietesäiliössä, jossa suhde on 80 % biolietettä ja 20 % kuitulietettä. Tämän jälkeen lietettä puristetaan vielä suotonauhapuristimella, jossa kuiva-aine on tarkoitus nostaa noin 20 % pitoisuuteen ennen kuin se sekoitetaan poltettavan kuoren sekaan.

Polttoöljy

Polttoöljyä varastoidaan maanpäällisessä 990 m³ säiliössä. Säiliö on ympäröity varoaltaalla ja varustettu öljynerotuskaivoilla. Öljy pidetään jatkuvasti 85 °C kierrättämällä sitä lämmönsiirtimien läpi, jotta sitä voidaan tarvittaessa pumpata öljypolttimille. Öljyä käytetään yleensä vain biokattilan ylösajo tilanteessa sekä kahdella varakattilalla: S40 ja Högfors, jotka ovat öljykattiloita. Varakattiloita tarvitaan lähinnä biokattilan huoltoseisokeissa tai biokattilan ongelmatilanteissa, jolloin tarvittava höyrymäärä tehtaille saadaan tehtyä nopeasti öljykattiloilla.

6.1 Biokattilan toimintakuvaus

Polttoaine varastoidaan kahteen kattilarakennuksen etuseinällä sijaitsevaan 200 m³ syöttösiiloon. Kattilaa syöttäviä polttoainelinjoja on kahdella seinällä. Syöttösiiloista polttoaine puretaan pyörivillä ruuvipurkaimilla kolakuljettimille. Kolakuljettimelta polttoainetta syöttötorviin annostelee molemmilla linjoilla kolme ryöstöruuvia. Syöttötorvissa on polttoaineen sulkusyöttimet, joiden tarkoitus on syöttää polttoainetta

kattilaan ja erottaa tulipesän paine polttoainelinjoista. Sulkusyöttimiltä polttoaine putoaa osittain leijukerrokseen. Polttoaine palaa leijukerrosarinassa, jossa se kuivuu, kaasuuntuu ja palaa. Hienompi aines polttoaineesta lähtee savukaasujen mukaan ja palaa leijukerroksen yläpuolella suspensiotilassa. Leijukerros koostuu hiekkakerroksesta, jonka korkeus on lepotilassa mitattuna noin 0,6 – 0,7 m, raekoko on 0,5 – 1,5 mm ja sulamispiste yli 1100 °C. Leijukerrosta leijutetaan ilmalla tai ilman ja savukaasun seoksella, jota kutsutaan kiertokaasuksi. Leijukerroksen lämpötila on 750 – 850 °C polttoaineen kosteudesta, kattilan kuormasta ja petin laadusta riippuen.

Polttoaineen mukana tulevat karkeammat ja raskaammat palamattomat partikkelit ja huono karkeutunut hiekka poistetaan tulipesän pohjaan sijoitettujen tuhkanpoistoputkien- sekä ruuvien kautta pohjatuhkalavalle. Huonokuntoinen ja karkea hiekka vaikeuttaa petin leijumista, jos sitä ei vaihdeta tarpeeksi usein. Petipaine kertoo hiekan määrän tulipesässä, ja se pyritään pitämään vakiona. Pohjatuhkaruuvit poistavat karkeaa materiaalia ja huonoa hiekkaa tulipesästä jatkuvasti, jolloin tulipesän petipaine myös laskee. Hiekkaa täytyy lisätä määräajoin, kun petipaine kattilassa on laskenut. Hiekkaa lisätään tulipesään erillisestä hiekkasiilosta.

Ilmaa, jolla leijutusta pidetään yllä, kutsutaan primääri-ilmaksi. Primääri-ilma on lämmitetty yli 200 °C palamisilman esilämmittimellä. Savukaasujen loppulämpötilan roikkuessa lähellä happokastepistettä voidaan käyttää lisäksi höyrytoimista palamisilman esilämmitintä. Primääri-ilmalla ohjataan petin optimaalista leijumista ja polttoaineen kunnollista palamista. Primääri-ilma johdetaan primääri-ilmapuhaltimella tulipesän pohjalla sijaitsevaan 2-osaiseen arinakaappiin. Ja sieltä edelleen arinan pohjassa oleville suuttimille, jotka estävät hiekan valumisen ilmakaappiin ja jakavat ilman tasaisesti koko arinan alle. Suuttimia on arinan pohjassa yhteensä 3450 kpl. Kattilan palamisilman säädössä pidetään tulipesään syötettävä ilmamäärä oikeana suhteessa polttoainemäärän. Pääkriteereinä ovat polttoainemäärä ja savukaasun O²-pitoisuus. Primääri-ilman joukkoon voidaan ajaa kiertokaasua, jonka tarkoitus on säätää petin lämpötilaa. Kiertokaasu on sähkösuotimen jälkeisestä kanavasta otettua savukaasua ja niin sanotusti inertti kaasu, koska siinä ei ole juurikaan jäljellä enää palamista ylläpitävää happea.

Kattilaan pumpataan höyryn tuottamiseksi syöttövettä, joka on ionipuhdistettua ja kemikalisoitua kattilavettä. Veden kierron kannalta kattila voidaan ajatella karkeasti

pitkäksi putkeksi, jonka toisesta päästä vesi syötetään sisään nesteenä ja toisesta päästä se tulee ulos höyrynä. Syöttövesi kulkee syöttövesitankista yhdellä tai kahdella syöttövesipumpulla savukaasun lämpöä hyödyntävien syöttöveden esilämmittimien kautta, missä se lämmitetään lähelle kylläistä lämpötilaa. Esilämmittimet laskevat savukaasujen lämpötilaa ja parantavat kattilan hyötysuhdetta. Esilämmittimien jälkeen vesi johdetaan lieriöön, josta vesi kulkee laskuputkia pitkin tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alapäähän.

Höyrystinputkissa osa vedestä alkaa höyrystyä. Höyrystinputkista kylläisen veden ja vesihöyryn seos palaa takaisin lieriöön, missä muodostunut höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Höyrystymättä jäänyt kylläinen vesi sekoittuu lieriöön syötettävään uuteen syöttöveeseen ja lähtee uudelle kierrokselle laskuputkien kautta takaisin höyrystinosaan.

Lieriöstä on jatkuvasti ulospuhallus, koska veden ja höyryn erottuessa haitalliset aineet jäävät veteen ja näin epäpuhtaudet pääsevät rikastumaan lieriössä. Höyrystynyt vesi nousee lieriön yläosaan ja virtaa sieltä tulistimille, missä höyryn lämpötilaa nostetaan ilman paineen korotusta eli höyry tulistuu. Mitä kuumempaa höyry saadaan johdettua höyryturbiiniin, sitä enemmän siitä saadaan liike-energiaa. Höyryn loppulämpötilaa säädetään vesiruisikutuksella, joka otetaan syöttövesipumpulta puhtauden takaamiseksi. Tulistunut höyry johdetaan päähöyryputkea pitkin reduktioventtiilien kautta paineistamaan välipaine (11,5 bar) -ja matalapaine (3,5 bar) -höyrytukkeja, josta höyry johdetaan asiakkaille käytettäväksi.

Tukkien paineistuksesta ylijäänyt höyry johdetaan turbiiniin, missä on tarkoituksena muuttaa höyryn sisältämä lämpöenergia mahdollisimman tehokkaasti mekaaniseksi energiaksi. Turbiinin johtosiivistössä höyryn lämpötila ja paine laskevat. Koska paine alenee, höyryn tilavuus pyrkii kasvamaan eli höyry paisuu turbiinissa, jolloin höyryn virtausnopeus kasvaa. Turbiinista saatavaa liike-energiaa hyödynnetään generaattorissa, joka muuttaa pyörimisliikkeen energian sähköksi. Turbiinin läpi kulkenutta matalapaineista- sekä lämpöistä höyryä kutsutaan vastapaineeksi, jolla voidaan myös paineistaa höyryn matalapainetukkia, tällöin saadaan enemmän höyryä virtaamaan turbiinin läpi ja näin enemmän sähköä. Välipainetukki voidaan paineistaa myös turbiinin välilottohaaroista, kun kattila on riittävän suurella kuormalla. (Foster Wheeler Energia Oy 2002)

6.2 Biokattilan päästörajat

Polttoaineteholtaan vähintään 50 MW:n polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta annettu uusi asetus (96/2013) astui voimaan helmikuussa 2013. Asetus on uusittu vastaamaan IE-direktiivin vaatimuksia. IE-direktiivin pohjalta tehty kansallinen SUPO-asetus eli asetus suurien polttolaitoksien päästöjen rajoittamisesta astui voimaan biokattilalla 1.1.2016 alkaen (Ks. Kuvio 9.) Biokattilalla poltetaan SUPO-laitoksena noin 60 % kuori-lieteseosta, 20 % ostopuuta, 20 % turvetta ja 0,2 % raskasta polttoöljyä. Uudet ilma päästörajat aiheuttivat muutoksia kattilan ajotapamalleihin, mutta oikealla polttoaineseoituksella päästöt saadaan pysymään hallinnassa. Biokattilan rikkidioksidi- typenoksidi- ja hiukkaspäästöjä tarkkaillaan jatkuvatoimisilla mittauksilla. Hiilidioksidipäästöjä lasketaan ominaispäästöjen ja käytetyn polttoainemäärän perusteella. Myös savukaasujen määrää, lämpötilaa ja jäännöshappea mitataan jatkuvatoimisesti. Kaikki päästömittauksista kerätty data kootaan Valmetin ympäristöraportointijärjestelmään, jonka avulla niitä voidaan jatkuvasti seurata ja tutkia. (Teollisuuspäästädirektiivin kansallinen toimeenpano n.d.)

Päästö			Seurantajakso
SUPO -asetuksen liitteen IV sekoitussäännön mukaan mg/m ³ (n) 6 % O ₂		LCP poltto 31.12.2015 saakka mg/m ³ (n) 6 % O ₂	
Rikkidioksidi (SO ₂)	220	450	kuukausikeskiarvo
Typenoksidit (NO ₂)	250	600	kuukausikeskiarvo
Hiukkaset	20	50	kuukausikeskiarvo

Kuvio 9. Teollisuuspäästädirektiivin (IED) vaikutukset Äänevoimalla (Asiantuntija, M. 2016)

6.3 Polttoainesuhteiden säätö

Polttoainetta voidaan annostella kattilaan neljällä ruuviannostelijalla sekä erillisellä kuitusaven ruuviannostelijalla. Kesäaikaan normaali polttoainevirta kattilaan tunnelihihnalla kattilan kuormasta ja polttoaineen laadusta riippuen on noin 5 – 12 kg/s hihnalta punnitun vaikalukeman mukaan. Normaali polttoaineseoitus on ollut, että turvetta pyritään ajamaan noin 10 – 20 % lietettä sisältävän kuoren sekaan, päästö

rajat huomioiden. Kuorivaraston koosta riippuen ostohakkeita ajetaan kuoren ja turpeen sekaan tarvittaessa.

Kuitusaven syöttäminen kattilaan vaatii minimissään yhden ruuviannostelijan käytintiedon, jotta kuitusavea voidaan annostella tunnelihihnalle polttoaineen sekaan. Kaikkia ruuviannostelijoita voidaan ohjata erikseen tai antaa automaattisäädön hoitaa annostelu polttoainesilojen pintojen mukaan. Kuitusaven annosteluruuvi saa pyörintänopeus ohjauksena polttoainehihnalta punnitun polttoainevirran mukaan. Valvomosta voidaan asettaa haluttu ruuvin pyörintänopeus prosentteina hihnalla kulkevaa polttoainevirtaa vastaavaksi.

7 Kuitusavi

Kuitusaven koostumus vaihtelee tehdaskohtaisesti ja millaisesta prosessista se on peräisin. Se voidaan ryhmitellä sen alkuperän mukaan kolmeen eri ryhmään. Metsä Board Äänekosken kuitusavi voidaan lukea kuuluvan ryhmään B. (Finncao Oy 2001)

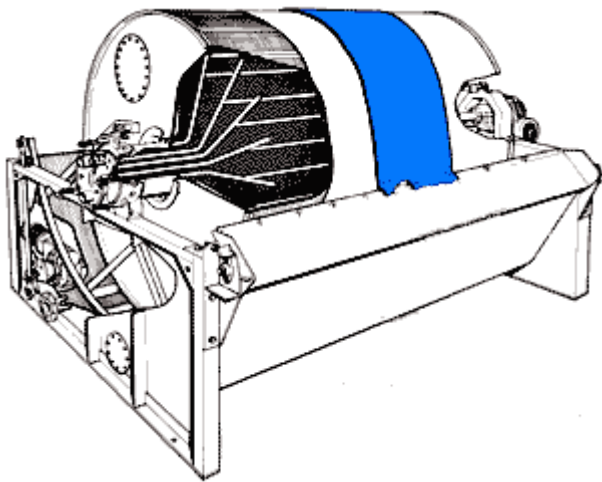
- *ryhmä A: kuitulietteet, jotka muodostuvat mekaanista massaa raaka-aineenaan käyttävillä paperitehtailla*
- *ryhmä B: kuitulietteet, joita muodostuu sellua raaka-aineena käyttävillä paperitehtailla*
- *ryhmä C: siistauslietteet*

Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) on luetteloinut yleisimmät jätteet ja vaaralliset jätteet erilliseen jäteluetteloon. Jäteluettelosta erittelemällä saadaan kuitusaven jätenimikkeeksi 03 03 10 (Ks. Liite 2.)

7.1 Kuitusaven muodostuminen

Kuitusaven muodostuminen lähtee liikkeelle, kun Äänekosken kartonkitehtaalta kulkeutuu kanaalia pitkin puhdistusasemalle viiran läpäissyttä nollavettä, suihkutusvesiä, säiliöiden pesuvesiä, pastapitoisia vesiä sekä hylkyjärjestelmän vedet. Kaikki nämä vedet sisältävät jossain määrin kuitua. Pastapitoiset vedet tekevät kuitusavelle savimaisen rakenteen sen sisältämän kaoliinin takia. Tulevat kanaalivedet välpätään eli ohjataan säleikön läpi. Säleikön läpäissyt vesi kulkee pumppausaltaalle, jossa siihen lisätään alunaa, joka on selkeytyskemikaali. Pumppausaltaalta kuitupitoinen vesi

pumpataan selkeyttimen syöttöaltaalle, jossa veteen lisätään polymeeriä. Polymeeri on kemikaali, jonka tarkoitus on saada kuidut flokkaantumaan selkeyttimellä, joka helpottaa kuitujen erottumista vedestä. Syöttöaltaalta vesi pumpataan selkeyttimelle, jossa kuitujen on tarkoitus painovoiman vaikutuksesta laskeutua altaan pohjalle, josta se voidaan pumpata edelleen sakeuttimelle. Sakeutunut kuitu- ja savipitoinen vesi ohjataan imusuotimelle. Imusuodin on iso sylinteri, jonka pinnalle muodostetaan kuitusavi matto imemällä kuitusavea sylinterin pintaan omasta pienestä altaasta. (Ks. Kuvio 10.) Kuitumatosta poistetaan vettä imun avulla, jonka jälkeen se irrotetaan sylinterin pinnasta ohuella vesisuihkulla, kun suurin osa vedestä on poistunut. Tämän jälkeen kuivattu kuitusavi kuljetetaan hihnakuljettimilla ruuviannostelijalle. Ruuviannostelija levittää kuitusaven kuorma-auton lavoille, jotka täytyttyään voidaan kuljettaa jatkokäsittelyyn, joko Äänevoimalle polttoon tai jätehuoltoalueelle välivarastoon. (Asiantuntija, A. 2016)



Kuvio 10. Imusuodatin (Engineering aspects in solid-liquid separation n.d.)

7.2 Kuitusaven ominaisuudet ja koostumus

Metsä Boardin kuitusavea voidaan pitää hyvin tasalaatuisena, kuiva-aine heittoja syntyy eniten ratakatkoissa ja tehtaan alasajoissa. Kuitusaven suhteellisen suuresta kosteudesta huolimatta se ei silmämääräisesti tarkasteltuna vaikuta kovinkaan märältä.

Sen voidaan huomata olevan hieman kostea ja puristettaessa siitä saadaan vielä irtamaan vettä. Väri on hyvin vaalea, mutta puristeltaessa siitä voidaan erottaa myös harmaita osia sekä tarkasti katsottuna kuidun päitä. Tuoksultaan se on hyvin neutraali ja hieman savimainen. Koostumusta voidaan kuvata hyvin kastuneeksi paperimassaksi. Kolmen kuukauden tarkastelujakson aikana kuukausittainen kuiva-aineen keskiarvo on ollut 27,57 % – 30,52 %. Kuiva-ainepitoisuus on noussut kuukausittain, kun jätevedenpuhdistamolla on ryhdytty kiinnittämään enemmän huomiota kuiva-ainepitoisuuteen. Tarkastelujakson ulkopuolella lokakuussa kuukausittainen kuiva-ainepitoisuus oli jo 33,41 %.

Kuitusaven Tuhkapitoisuudeksi on määritelty tarkastelujakson aikana 28,1 – 36,5 m-% k-a. Tehollinen lämpöarvo on vaihdellut 8,13 – 10,22 MJ/kg ka välillä. Kalorimetrinen lämpöarvo on vaihdellut 8,79 – 11,13 MJ/kg k-a välillä. Lämpöarvot on määritelty ulkopuolisella yrityksellä. (Ks. Liite 1.) Kuviossa 11 on kuitusavea Äänevoimalla.



Kuvio 11. Kuitusavea syöttölavalta Äänevoimalla

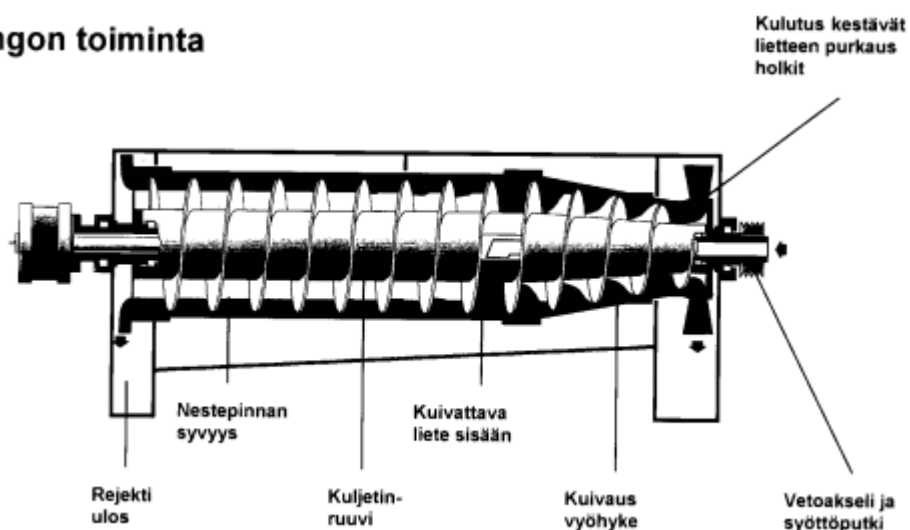
7.3 Kuitusaven kuivatusmenetelmät

Kuivatusmenetelmää suunniteltaessa on otettava huomioon syntyvän kuitusaven laatu ja määrä, hankita- ja käyttökustannukset, kuivatun saven kuiva-ainepitoisuus, suodosveden kiintoainepitoisuus, erotusaste sekä kuivatun saven kuljetuskustannukset. Mekaaninen vedenerotus on investointikustannuksiltaan kohtuullisen hintainen ja varmatoiminen. (Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001., Ojanen, P. 2001)

Lingot

Lietteiden kuivaukseen käytetyt lingot perustuvat keskipakovoimilla kiihdytettyyn laskeuttamiseen. Lingoissa on kartionmallinen rumpu, jonka sisällä on pyörivä ruuvi. Dekantterilinko on rumputyyppinen pyörivä sentrifugi, jossa raskaammat ainekset erottuvat keskipakovoiman vaikutuksesta rummun ulkokehälle. (Ks. Kuvio 12.) Ruuvi-kuljettimella kiintoaines siirretään rummun kartiopintaa pitkin pois nesteestä, jolloin se kuivuu ja poistuu rummusta. Erotuskapasiteettia voidaan säädellä rummun kierrosnopeudella, nestepinnan syvyydellä sekä rummun kuljetinruuvin erokierrosluvulla, jolla voidaan säätää saven oloaikaa lingossa. Syöttökapasiteetti on lingoilla yleensä vaihtelevasti 1-200 m³/h ja energiantarve noin 1-1,5 kWh/lietetonni. Linkouksella päästään keskimäärin nykypäivänä noin 35 % kuiva-ainepitoisuuteen. (Lohiniva ym. 2001., Ojanen, P. 2001)

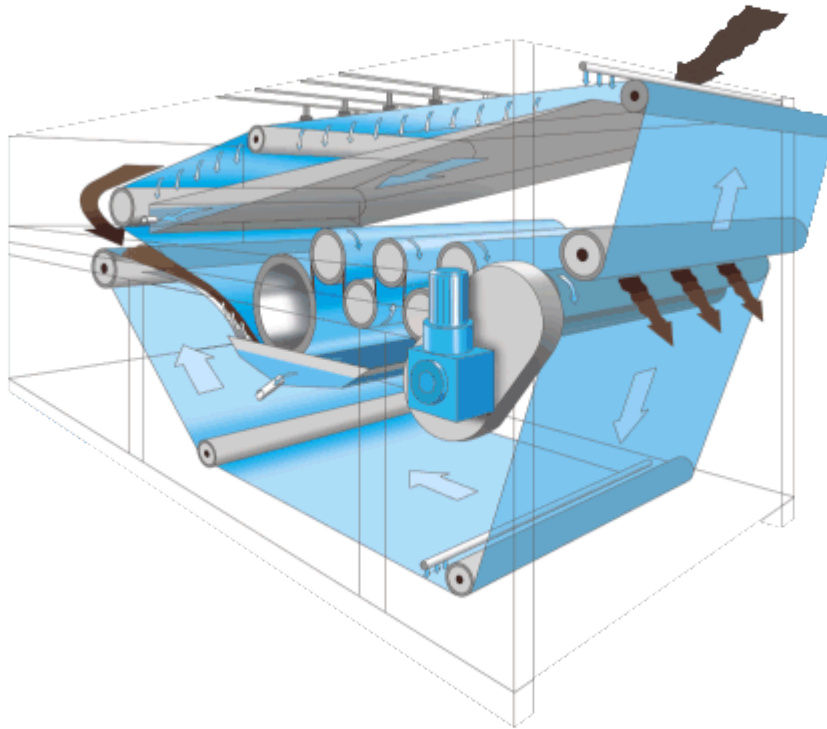
Lingon toiminta



Kuvio 12. Linko Alfa Laval 2000 (Lohiniva ym. 2001)

Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristimessa suodatus tapahtuu painovoiman ja puristustelojen aiheuttamista puristus- ja leikkausvoimista sekä näiden yhteisvaikutuksesta. Käsiteltävä savi tai liete ohjataan hitaasti kulkevan yläviiran päälle, jossa vesi suodattuu painovoiman avulla. Liete tai savi ohjataan alemmalle viiralle kahden viiran väliin, jossa tapahtuu puristusvaihe. (Ks. Kuvio 13.) Suotonauhapuristimen toimintaan vaikuttaa viiran nopeus, puristusvaiheessa viirojen väliin muodostuva paine sekä lietteen syöttönopeus. Viiran kestoikä on suhteellisen lyhyt ja on herkkä tulevan lietteen ja saven laadulle. (Ojanen, P. 2001)

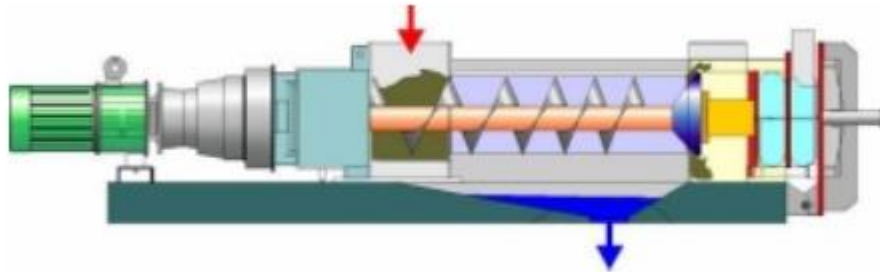


Kuvio 13. Suotonauhapuristin (Huber technology n.d.)

Ruuvipuristin

Ruuvipuristimessa rei'itetyn sylinterin sisällä kiertyvä ruuvi puristaa savea tai lietettä seinämiä vasten. Ruuvin puristava vaikutus saa aikaan painetta ja vesi alkaa suotautumaan reikälevyn lävitse. (Ks. Kuvio 14.) Seinämien lieterkerros toimii suodatinväli-

neena. Ruuvipuristimessa ei ole välttämätöntä käyttää flokkaavaa polymeeriä. Ruuvipuristimella päästään korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin, mutta yleensä liete tarvitsee esikuivatuksen. (Lohiniva ym. 2001., Ojanen, P. 2001)



Kuvio 14. Ruuvipuristin (Lohiniva ym. 2001)

Kiekkopuristin

Kiekkopuristin koostuu eri akseleilla olevista kiekkoista. Lietettä tai savea syötetään kahden pyörivän kiekon väliin, jotka puristavat pyöriessään väliin jäävää lietettä. Puristinvoimaa voidaan säädellä. (Lohiniva ym. 2001)

Taulukkoon 4 on koottuna mekaanisen vedenerotuksen menetelmien hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 4. Mekaanisen vedenerotuksen vertailu (Lohiniva ym. 2001)

	Edut	Haitat	Käyttö
Lingot	+ 15–30 % ka + helppohoitoinen	– energiankulutus korkea – investointi melko suuri (tarvittavat rakenteet)	Isot ja keskisuuret yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot
Suotonauhapuristimet	+ 15–30 % ka + malleja runsaasti + pieni energiakulutus	– herkkä lietteen laadulle – bio- ja yhdyskuntalietteelle tarvitaan usein tukiaine (kuitu/turve)	Metsäteollisuuden lietteet. Pienet ja keskisuuret yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot
Ruuvipuristin	+ 20–40 % ka ilman polymeeriä + voidaan lisätä höyry, jolloin >50 % ka + suljettu rakenne + suhteellisen pieni tilantarve	– lähinnä primääriletteille, nykyään myös muille – bio- ja yhdyskuntalietteille tarvitaan tukiaine (kuitu/turve) – kallis laite – kuluvia osia	Metsäteollisuuden lietteet
Imusuodatin	+ helppo käyttää + vähäinen huoltotarve	– energiankulutus korkea – melu – huoltoa vaativa	Jäämässä pois käytöstä
Kiekkopuristin	+ yli 40 % ka	– ei sovellu biolieteteille – tarvitaan esikuivaus esim.suotonauhapuristin	Metsäteollisuus

7.4 Kuitusaven polttotekniikat

Kuitusaven regenerointi paperin tai kartongin valmistukseen ei ole taloudellisesti kannattavaa eikä sen muodostumista pystytäärkevin keinoin enempää rajoittamaan. Lietteeseen on siis etsittävä ratkaisu ensisijaisuusjärjestyksen mukaisesti, joko kierrätyksestä tai muusta hyödyntämisestä tässä tapauksessa polttamisesta.

Kuitusaven polttamisessa käytetään yleensä seospolttoa, jossa kuitusaven osuus pyritään pitämään alle 10 %. Kuitusavea voidaan polttaa myös ainoana polttoaineena, mutta silloin tarvitaan yleensä todella kuivaa ja polttoarvoltaan hyvää kuitusavea, mikä ei ole yleensä taloudellisesti kannattavaa suurien kuivatuskustannuksien takia. Yleisimpiä tapoja metsäteollisuudessa on kuitusavien polttaminen seospolttona leijukerroskattiloissa.

Leijupetikattiloissa voidaan teknisesti polttaa kuitusavea, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 30 – 35 %. Kuiva-aineen kalorimetrisen lämpöarvon tulisi olla suuruudeltaan 8 – 14 MJ/kg ilman tukipolttoaineita. Käytännössä kuitusavi on kuitenkin sekoitettava tukipolttoaineeseen tasaisesti rajujen lämpötilamuutosten takia tulipesässä. Kiertopetikattiloissa suuremmat leijutusnopeudet vaativat korkeamman kuiva-ainepitoisuuden, noin 35 – 45 %. Kuitusavi poltetaan yleensä pieninä osuuksina pääpolttoaineeseen sekoitettuna. Leijukerroskattiloissa petimateriaaliin on sitoutunut suuri määrä lämpöenergiaa, joka edesauttaa petilämpöjen tasaisuutta. Sen takia lämpöarvoltaan huonon- eli yleensä kostean kuitusaven- syöttäminen ei saa aikaan niin suuria heilahduksia petilämpötiloissa tai petipaineissa. (Lohiniva ym. 2001)

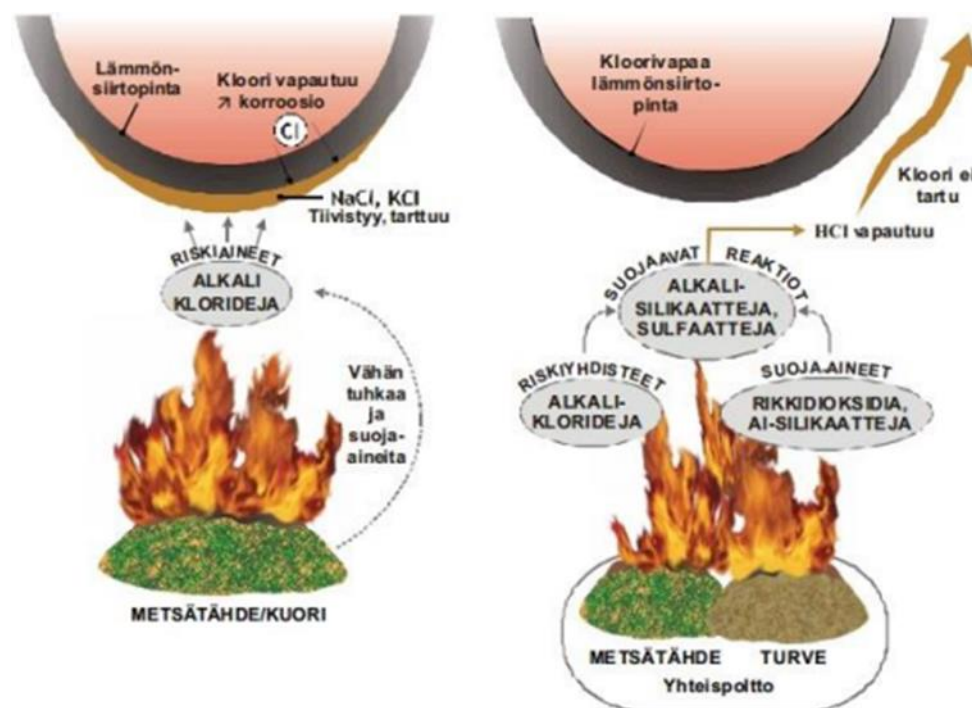
Arinakattiloissa lämpötilat ovat yleensä korkeita, mutta palamainen epätäydellistä. Kosteat polttoaineet huonontavat palamisen täydellisyyttä ennestään, joten tästä syystä arinapoltoissa kuitusaven kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla noin 10 – 15 %. (Lohiniva ym. 2001)

Soodakattiloissa palaminen tapahtuu erityisen valvotusti ja hallitsemalla kekoa. Soodakattiloissa kuitusaven polttoratkaisut vaihtelevat hyvin paljon laitoskohtaisesti. Yksi käytössä oleva tapa on sekoittaa mekaanisesti kuivattu kuitusavi laihaan mustaliipeään, jolloin se käy lävitse haihduttamon kuivatusprosessin. (Lohiniva ym. 2001)

Kuitusavea voidaan polttaa myös MSW- ja 100-prosenttisilla REF-laitoksilla. Kuitusavi polttoainevirrassa ei juuri lisää päästöjä, ainoastaan savukaasuvirtojen määrä kasvaa. Näissä laitoksissa voidaan polttaa myös jätteenpolttodirektiivin alaisia yhdyskuntalietteitä, koska laitoksilla on siihen tarvittavat luvat ja mittauslaitteisto. (Lohiniva ym. 2001)

7.5 Kuitusaven vaikutus rikki-kloori-indeksiin

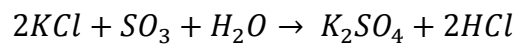
Poltettaessa puuperäisiä polttoaineita kattilassa muodostavat ne palaessaan likaavia ja myös syövyttäviä yhdisteitä kuten alkaliklorideja. Tämän ilmiön takia kattilassa on suotavaa polttaa pieni määrä turvetta puuperäisen polttoaineen seassa, koska on havaittu, että turpeen sisältämät rikki ja alumiinisilikaatit tuhoavat kloorin alkalikloridit ennen niiden kerrostumista tulistimien pintaan. (Ks. Kuvio 15.) VTT on teettänyt myös kyseisestä ilmiöstä tutkimuksen. Kuitusavi sisältää myös joissakin määrin samoja suoja-aineita. Kuitusavi sisältää rikkiä ja paperin tai kartongin täyteaineena käytetty kaoliini on alumiinisilikaatti. (Aho, M. 2012)



Kuvio 15. Kloorin tarttumisen ehkäiseminen tulistinputkiin suoja-aineiden avulla (Aho, M. 2012)

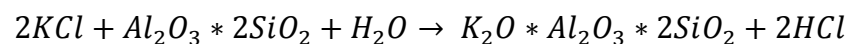
Teorian puolelta tarkasteltuna rikki / kloori-suhde olisi 0,5, koska yksi mooli rikkiatrioksidia (SO_3) pystyy hajottamaan kaksi moolia alkaliklorideja. Suurin osa poltosta syntyvästä rikistä on kuitenkin rikkidioksidia (SO_2), joten käytännössä reaktioaika on alkalikloridien kanssa liian hidas keretäkseen tapahtua suoraan tulipesässä. Todellinen suhdeluku tulisi olla siis paljon suurempi. (Aho, M. 2012)

Alkalikloridien sulfatoitumisen esimerkkiyhtälö on (Aho, M. 2012)



Alumiinisilikaateista vain happamat yhdisteet voivat toimia tehokkaasti. Jos reaktioaika olisi rajaton, riittävä Al/Cl-suhde olisi 1

Esimerkkiyhtälö alumiinisilikaattireaktiosta on (Aho, M. 2012)



7.6 Kuitusaven muut hyödyntämismahdollisuudet

Kuitusavella tiedetään olevan runsaasti hyviä sekä kehityskelpoisia ominaisuuksia, jotka ovat ohjanneet sen hyötykäyttöä erityisesti maanrakennuksessa. Kuitusavi on helposti muokattavaa eikä se pääse liettymään. Kuitusaven tiedetään kestävän hyvin erilaisia sääolosuhteita ja muutoksia, se parantaa vedenpidätyskykyä ja vastustaa tehokkaasti pintavesieroosiota. Suomessa kuitusaven tutkimista sekä markkinointia on edesauttanut Finncao Oy, jonka pääasiallisena toimialana on metsäteollisuuden ja energiantuotannon sivutuotteiden ympäristöhuolto. Finncao on toimittanut kuitusaven ensisijaisesti kaatopaikkarakentamiseen, liikuntapaikkarakentamiseen sekä käytettäväksi maanparannusaineena erilaisissa kasvualustoissa. (Raivio, A. 2013., Wikström, L. 2015)

Kuitusaven hyödyntämisen kannalta olisi kannattavinta, jos se osattaisiin tuotteistaa ongelmallisen jäte ajattelun sijasta. Tämä kuitenkin vaatii tarkkaa seuranta kuitusaven koostumuksesta ja erilaiset lupamenettelyt astuvat voimakkaammin esiin. Kuitusavelle on olemassa muitakin hyödyntämismahdollisuuksia suoraan energiaksi polttamisen sijaan, joista jäljempänä on esitelty varteenotettavampia.

Mullan raaka-aine

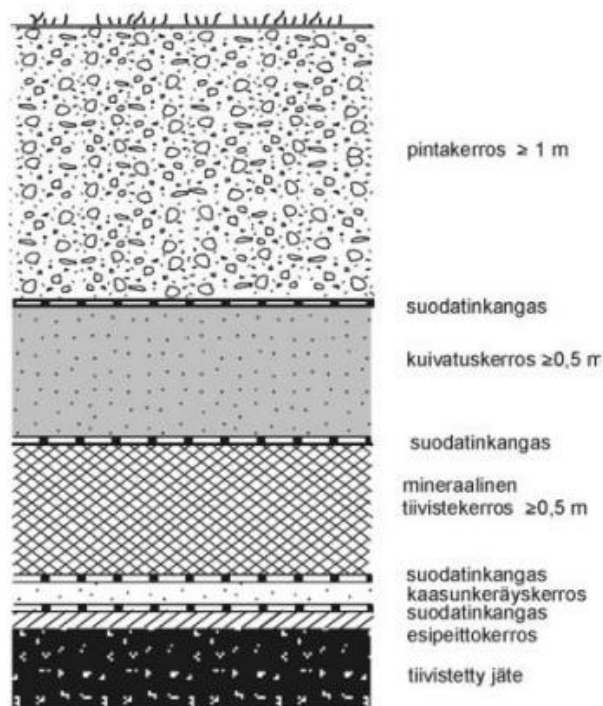
Kuitusavi on mahdollista hyödyntää mullan raaka-aineena. Se tuo mullan rakenteseen haluttua kiinteyttä ja kuohkeutta, koska mullan pääraaka-aineena yleensä käytetty turve on liian hienojakeista ja höttöistä. Ravinneaineita kuitusavessa ei sellaisenaan ole juurikaan, joten sen käyttöä voidaan perustella ainoastaan parantamaan koostumusta. Tuoreeltaan kuitusavi on helppoa käsitellä mutta ajan kanssa se rupeaa kovettumaan ja sen sekoittaminen on haastavampaa. Kuitusavea käytetäänkin mullan raaka-aineena, jos sen raskasmetalliarvot sallivat sen käytön. Kuitusaven osuus mullan lopputuotteesta vaihtelee mullan laadun, kosteuden ja raekoon mukaan. Yleensä sen osuus pussitetusta mullasta on kuitenkin alle 10 %. (Raivio, A. 2013)

Metsä Fibrellä on olemassa yhteistyötä Kekkilän kompostointilaitosten kanssa, jossa hyödynnetään sivutuotevirtoja kuten hiekkaista puunkuorta. Metsä Boardin kuitusavi voisi olla osana metsäteollisuuden sivuvirtojen hyötykäyttöä, mikä tukee kestävästä kehitystä. Äänekoskella sijaitsee myös Kekkilän kompostointilaitos, joten kuljetuskustannukset pysyisivät kohtuullisina. (Kekkilä ja Metsä Group aloittavat merkittävän yhteistyön n.d.)

Kaatopaikan peittomateriaali

Kun jäteasema on saavuttanut riittävän korkeuden, se täytyy tasata, tiivistää ja muotoilla reunoiltaan kaatavaksi. Jäteasema koostuu kuudesta kerroksesta, jossa jokaisella on oma tarkoituksensa. (Ks. Kuvio 16.) Tiivistetyn jätteen päälle tehdään yleensä **esipeittokerros**, jonka tarkoitus on muodostaa tasainen ja kantava pinta. Esipeittomateriaaliksi kelpaa myös lievästi pilaantunut maa-aines. Esipeittokerroksen päälle tehdään **kaasunkeräyskerros**, jonka tarkoitus on kerätä muodostuva kaasu ja johtaa

kaasukeräilyverkostoon ja lisätä kantavuutta. Tämän päälle muodostetaan **tiivistekerros**, jonka päätehtävänä on vähentää vesien imeytymistä tiivistettyyn jätteeseen ja ohjata kaasun purkautumista. Tiivistekerrokseen kohdistuvat vesimassat on tarkoitus ohjata pois jätekasasta **kuivatuskerroksella**, joka on yleensä salaojamattoa tai rengasrouhetta. Kuivatuskerroksen päälle levitetään **suodatinkerros**, jonka on tarkoitus ehkäistä kuivatuskerrosta tukkeentumasta. Ylin kerros on **pintakerros**, jolla koko kasa peitetään. Sen tarkoitus on toimia kasvukerroksena, joka antaa kasvullisuudelle hyvät olosuhteet ja estää alempia kerroksia syntyvän kasvillisuuden juurilta. Se suojaaa alempia kerroksia myös roudalta, kuivumiselta ja kerrosten halkeamiselta. Kuitusavi jäteaseman peittomateriaalina on mahdollista hyödyntää **tiivistekerroksessa**. Se tukisi kestäväen kehityksen periaatteita, ja vähentäisi luonnonmateriaalien tarvetta. Teknisesti tarkasteltuna kuitusavi soveltuu tavanomaisen tiivistekerroksen korvauksiksi helpon käsiteltävyyden, puhtauden ja vedensuodatusominaisuuksien ansiosta. Tiivistekerroksen paksuus pitäisi olla minimissään noin 500 millimetriä. Kuitusaveen voitaisiin myös sekoittaa voimalaitoksessa syntyvää tuhkaa stabiloimaan lopputuote. (Raivio, A. 2013., Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331. 2013)



Kuvio 16. Esimerkki kaatopaikan rakennekerroksista (Raivio, A. 2013)

Käyttö lannoitteena tai maanparannusaineena paikallisesti

Puhdas kuitusavi kelpaisi sellaisenaan lannoitteeksi tai maanparannusaineeksi mutta sen käyttö lannoitteena ei sellaisenaan tunnu järkevältä, koska kuitusavi on hyvin ravinne köyhää. Lisäksi Suomessa voidaan käyttää pelkästään sellaisia lannoitteita, jotka ovat joko kansallisessa tyyppinimiluettelossa tai EY-asetuksen mukaisessa lannoitetyyppien luettelossa. Kuitusavi kuuluu ryhmään 3A5 eli ”*maanparannusaineena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet*”. (Raivio, A. 2013)

Mädätys

Mädätyksen eli biokaasutuksen pitkstä historiasta huolimatta sen yleistyminen on ollut hyvin hidasta. Biokaasutusteknologia kuitenkin mahdollistaa kolme tärkeää piirrettä, kun puhutaan biotaloudesta. Se tarjoaa ravinnekierrätyksen, tuottaa uusiutuvaa energiaa sekä edistää materiaalinkierrätystä. Teollisuuden entisistä jätteistä ja sivuvirroista saatava hyöty olisi kestävä kehityksen mukaista. Biokaasutus on jätteen laitosmaista käsittelyä ja vähentää näin muun muassa hajuhaittoja. Biokaasutuksessa jätteiden mädätyksestä syntyvä metaani olisi hyödynnettävissä esimerkiksi tehdasalueen ajoneuvoissa sekä myytävissä ulkopuolelle, jos sen laatu ja puhtaus voidaan varmistaa. Mädätyksessä syntyvää mädätysjäännöstä on mahdollista kuivata ja puristaa pelleteiksi, jonka lämpöarvo vastaisi suunnilleen metsähaketta. (Ks. Liite 3.) (Alakangas, E. 2000) Biokaasu voitaisiin hyödyntää hyvin esimerkiksi Äänekoskelle nousevan biotuotetehtaan energiaksi. Mädätysjäännös voitaisiin hyödyntää esimerkiksi Äänevoiman biokattilassa.

Kuitusaven biokaasutusta on kokeiltu ennenkin mutta siinä on havaittu muutamia haittapuolia. Sen sisältämän kaoliinin on todettu kertyvän putkistojen pinnalle erittäin nopeasti lopulta aiheuttaen tukkeutumisia. Kuitusavi tuottaa myös hyvin vähän hyödynnettävää kaasua. Jäljelle jäänyt lopputuote mädätysjäännös eli käsittelyjäännös ei kuitenkaan juuri enää sisällä orgaanisia aineita, joten se voidaan toimittaa jätteenkäsittelyalueelle tavanomaisena jätteenä. Käsittelyjäännös kuitenkin sisältää juuri niitä raaka-aineita jota kaasutusprosessiin on syötetty. Siksi se sisältää myös arvokkaita ravinteita, joten se olisi syytä hyödyntää. (Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015., Asiantuntija, V. 2016)

Maisemointi ja viherrakentaminen

Kuitusavea on mahdollista käyttää maisemoinnissa sekä viherrakentamisessa. Sen raskasmetallipitoisuudet kuitenkin estävät sen käytön sellaisenaan viljelyskäyttöön. Lisäksi kuitusavi sellaisenaan on vielä biohajoavaa, joten sitä ei voida käyttää pohjana alueilla joille on tarkoitus rakentaa kiinteistöjä tai tieverkkoja. Kuitusavi on kuitenkin hyvin tiivistä ja helppoa muovata, joten sitä käytetään meluvallien, tienvarsi penger-ten ja liikuntapaikkojen rakentamisessa hyödyksi. (Raivio, A. 2013) Teollisuuden sivutuotteet ovat tämmöisessä rakentamisessa luonnonmateriaaleja parempi vaihtoehto, mutta ongelmaksi nousee rakentamiskohteet Keski-Suomessa, missä kuitusavi saataisiin hyödynnettyä. Kuitusaven pitäisi myös varastoida suuria määriä.

8 Kuitusaven syöttölaitteiston toimintakuvaus

8.1 Purkuasema

Kuitusavi kuljetetaan vaihtolava-autolla kuitusaven purkuasemalle, jonka tarkoituksena on annostella kuitusavi hallitusti polttoainevirtaan, purkuaseman alapuolella kulkevalle polttoainehihnalle. Purkuasema on täysin lämpöeristetty ja lämmitetty glykoli kierrolla, joka on otettu haaralla polttoainetunnelista. Asema on varustettu nosto-ovella vaihtolavan jättöpuolelta, purkupuolella on tarvittavat huolto-ovet. Lavan vastaanotto on varustettu telineellä, jonka päälle vaihtolava työnnetään nostokoukullisella kuorma-autolla. Vaihtolava kulkee ohjainrautoja pitkin osittain vastaanottosiiloon, jonka pohjalla on repijätelat ja annosteluruuvikuljetin.

Mekaaniseen kokonaisuuteen sisältyy 2kpl puskulevyllä varustettuja vaihtolavoja, vaihtolavateline, vastaanottosiilo, hydraulikkatoimiset lukot lavan kiinnitykseen, repijätelat, kaksiakselinen annosteluruuvi, pudotusyhde sekä hydraulikkakoneikko putkituksineen.

8.2 Vaihtolavat ja hydrauliiikka

Kuitusaven purkamisessa käytettävät vaihtolavat on varustettu puskulevyllä, jolla kuitusavi annostellaan valvomosta määritetyllä nopeudella vastaanottosiilon. Puskulevy, lavan lukitus sekä perälauta toimivat hydraulisesti. Vaihtolava työnnetään kuorma-auton kyydistä rakennuksessa olevaan vaihtolavatelineeseen. Telineen lavan ohjausraudat sekä telineen etuosan stopparit kohdentavat vaihtolavan oikealle paikalleen. Vaihtolavatelineen lavalukot on varustettu tunnistimilla, joilla todetaan lavan lukittuneen ja jonka tulee olla aktivoituneena, jotta syöttöjärjestelmä voi käynnistyä. Tarkoituksena on estää vaaratilanteiden syntyminen, jossa järjestelmä voisi käynnistyä ilman että vaihtolava on lukittuna. Normaalisti paikallaan oleva vaihtolava ja vastaanottosiilo muodostavat umpinaisen suojatun kokonaisuuden, jolloin estetään henkilöiden pääsy repijäteloille ja siilon nieluun laitteiston ollessa toiminnassa.

Vaihtolavan puskulevyn käyttökoneistona toimii hydraulikoneikko ja kaksitoimiset hydraulisyliinterit. Koneikko sijaitsee rakennuksen teknisessä tilassa, josta on putkitusliittimille rakennuksen vastaanottotilan nosto-oven viereen. Hydraulikoneikko on varustettu jäähdytyksellä. Vaihtolavan käyttösylinterit on integroitu vaihtolavan rakenteeseen ja lavan hydrauliiikka kytketään pikaliittimillä koneikkoon. Pikaliittimet on varustettu paineen vapautuksella. Vaihtolavan puskulevy on sylinteritoiminen, joka työntää polttoaineen tarvittavalla nopeudella siilon. Puskulevy voidaan pikaliikkeellä siirtää takaisin nollapisteeseen ennen lavan irrotusta telineestä. Koneikon käyttöventtiileillä on painelähettimet, jotka mm. tunnistavat kun lava on kokonaan tyhjentynyt (paineraja).

Vaihtolavan puskulevy saa ohjauksen vastaanottosiilon repijätelojen yläpuoliselta pintavahdilta (ultraäänianturi). Pintavahti rajoittaa vaihtolavan puskulevyn toimintaan siten, että kuljettimet eivät ylikuormitu, eikä suunniteltua kuljetuskapasiteettia ylitetä. (Seimec Oy. n.d.)

9 Tutkimusosa sekä saadut tulokset

Kuitusavelle tehtiin lyhytjaksoinen koepoltto maaliskuussa 2016 ennen kiinteän syöttölaitteiston rakentamista, joka aloitettiin puolestaan huhtikuussa 2016. Kuitusaven polttaminen yhtämittaisesti saatiin aloitettua kesäkuussa 2016. Kuitusavea syntyy vieressä toimivalla Metsä Board Oy:n kartonkitehtaalla noin 16 – 55 m³ päivässä prosessin toiminnasta riippuen. Tutkimuksessa kerättiin tietoa polttoainelinjoista silmämääräisesti havainnoimalla, sekä polttoprosessin seurannassa käytettiin hyväksi myös ennalta määriteltyjä kattilan mittauksia, jotka otettiin trendiseurantaan. Seurattavia mittauksia oli yhteensä 33 kappaletta.

9.1 Kuitusaven syöttölaitteisto ja polttoaineen siirtolaitteisto

Kuitusaven syöttöprosessi lähtee käyntiin, kun kuorma-auto tuo täyden kuitusavilavan kartonkitehtaan puhdistamolta. Valvomoon tulee ilmoitus täydestä kuitusavilavasta ja kuitusaven annostelu saa ehtojen täytyttyä luvan käynnistyä. Syöttölaitteisto koostuu hydraulisesti toimivasta kuitusaven syöttölavasta, jossa on puskulevy. (Ks. Kuvio 17.) Puskulevy syöttää kuitusavea syöttökaukaloon pinnanmittauksen ohjajana. Syöttökaukalossa on kaksi repijätelaa, joiden on tarkoitus hienontaa kuitusavea sekä taata tasainen syöttö annosteluruuveille. Annosteluruuvit syöttävät kuitusavea polttoainekentän hihnalle. Annosteluruuvit saavat ohjauksensa polttoainekentän hihnalla kulkevasta polttoainemäärästä, jota mitataan jatkuvatoimisesti hihnava’alla. Ohjauksien arvoja voidaan muuttaa valvomosta. Kuitusavi syötetään polttoainekentän polttoainehihnalle viimeisenä muun polttoainesekoituksen päälle. Polttoaine kulkee hihnaa pitkin magneetille ja kiekkoseulalle. Magneetti erottaa raudan polttoaineesta ja kiekkoseula kuljettaa liian suuret kappaleet tikkulavalle, joka vieään murskaimelle. Kiekkoseulan läpi tullut aksepti polttoaine kuljetetaan ketju- ja hihnakuljettimilla polttoainesiiloihin, missä tasauslaite levittää polttoaineen tasaisesti siiloon. Siilojen pintoja mitataan radiometrisillä pinnanmittauksilla. Polttoainesiiloja on kaksi, joista lähtee kuljettimet vasemmalle ja oikealle seinälle kattilaa.



Kuvio 17. Kuitusaven syöttölaitteisto

9.2 Kuitusaven vaikutukset polttoaineen siirtolaitteistoon

Arvioitaessa kuitusaven vaikutuksia syöttölaitteistoon apuna ei ole kuin muutama virtamittaus sekä pyörintävahti kuljettimissa ja seuloissa. Näin vaihtoehdoksi jää silmämääräinen havainnointi. Joitakin riskikohtia tiedettiin jo ennestään olevan polttoainelinjoilla, joten kysymys oli, voiko kuitusavi korostaa näitä ongelmakohtia. Kokeemusperäistä tietoa myös haettiin saman konsernin toiselta voimalaitokselta. Yritysvierailun aikana kokemuksia käytiin kentällä yksitellen läpi ja ilmenneitä ongelmia pohdittiin sekä vertailtiin systemaattisesti: voivatko samat ongelmat toistua Äänevoimalla. Näin joitakin riskejä saatiin kartoitettua ennakkoon. Kuitusaven käyttäytymistä polttoainelinjoilla tarkkailtiin pääosin silmämääräisesti, seuraamalla kuitusaven etenemistä prosessissa.

Tulokseksi saatiin todettua: prosessin toimiessa normaalisti syöttölaitteistossa ei ole havaittavissa muutoksia kuitusaven myötä kesäaikaan kuiva-aineen ollessa noin 30 %. Haitoiksi voidaan kuitenkin lukea lisääntynyt puhdistuksen tarve polttoaine tunnelissa pudotustorven kohdalla sekä hihnan ohjainrullissa. Märkä kuitusavi saa aikaan roiskeita seinille ja lattialle nykyisellä ratkaisulla. Epänormaalissa prosessitilanteessa on kuitenkin havaittu muutamia riskejä, joihin puututtiin. Kun kuitusaven kuiva-aine

on matala ja lava sisältää reilusti vettä tiedostettiin riski, että suuren vesimäärän vapautus nopeasti hihnalle voi saada aikaan hihnan luistamisen vetopäässä tai polttoainevirran paikalleen jäämisen hihnan ulostulevassa kohdassa, jossa hihnalla on nousua maanpinnalle. Joidenkin kuitusavilavojen mukana huomattiin olevan mahdollisuus, että kuitusaven mukana kulkeutuu rikkivetyä purkauspaikalle jätevedenpuhdistamolta. Ilmaa raskaampana kaasuna se voi kerääntyä myös polttoainetunneliin. Tästä seurasi, että polttoainetunnelissa ja kuitusaviasemalla ei saa liikkua ilman kaasumittaria ja kiinteät kaasuvaroittimet asennetaan kuitusaviasemalle. Kuitusaven pudotustorveen tehtiin kesän aikana useita muutoksia liiallisten roiskeiden ja tukkeutumisien ehkäisemiseksi. Koska kuitusavi annostellaan viimeisenä muun polttoainevirran päälle, havaittiin varteenotettava riski. Koska kuitusavi on hyvin tiivistä ja painavaa, on syytä tutkia, jaksako polttoainehihnan lopussa oleva magneetti erottaa turpeen ja kuoren mukana tulevan raudan polttoainevirrasta tukkimasta arinasuuttimia. Tämä selviää vasta kattilan huoltoseisokissa, kun tulipesässä päästään käymään ensimmäisen kerran. Arinakaapin paineissa ei kuitenkaan havaittu muutoksia tutkimuksen aikana.

Yritysvierailulta saadut kokemukset korostivat kuitusaven talviajan käyttäytymistä. Ongelmia oli ollut sulkusyöttimien muurautumisessa umpeen talviaikaan, kun ilma on kylmempää. (Asiantuntija, T. 2016) Sulkusyöttimien tiivistysilma oli ennen ollut paineilmaa, mutta se on sittemmin vaihdettu lämmitettyyn ilmaan eikä ongelmia ollut enää tullut. Erilaiset laitetekniset ratkaisut muuttavat tilannetta kuitenkin Äänevoimalla. Voidaan tehdä johtopäätös, että vikatiheys ei olisi yhtä suuri Äänevoimalla, koska tiivistysilma on valmiiksi lämmintä primääri-ilmaa. Muurautumista ei ole silmämääräisesti tarkasteltuna kesäaikaan havaittavissa. Talviaikaan muita kuvitteellisia tilanteita ovat erilaiset kuitusaven jäätymiset kylmille metallipinnoille, kuten kiekko-seula, pudotustorvet ja kuljettimien lavat. Edellisinä talvina ongelmia on ollut pyörintävahdin jäätymiset nousevalla hihnakuljettimella. Lisääntynyt kosteus kuitusaven myötä voi aiheuttaa ongelmia aiempaa tiheämmin. Ratkaisuna tähän voisi olla pyörintävahdin sijoittaminen ylemmäs hihnaa tarvittaessa, koska kosteus kerääntyy nimenomaan hihnan alapäähän. Mahdollisia kylmien kelien ongelmia on tarkoitus tunnistaa ja arvioida talvella 2016, mutta niitä ei voida tarkastella tässä opinnäytetyössä kuin ajatuksen tasolla.

9.3 Polttoprosessi

Seurattavia arvoja kuitusaven syötön hetkellä olisi liikaa eikä kaikkia kattilassa tapahtuvia muutoksia voida kerätä huomioimaan seuraamalla vain operointinäyttöjä.

Opinnäytetyön alussa päätettiin määrittää polttoprosessin kannalta tärkeimmät arvot, joissa kuitusaven vaikutukset tulisivat ensimmäiseksi näkymään jatkuvatoimisten mittauksien kautta. (Ks. Taulukko 5.) Saaduista mittauservoista voidaan piirtää koko polttojakson kestävä trendi, jota on mahdollisuus tarkastella jälkepäin, jolloin tulosten tarkasteleminen helpottuu huomattavasti ja myös erinäisiä häiriöitä kattilan toiminnassa voidaan luontevasti rajata pois. Näin myös virhearvioiden määrä vähentyy huomattavasti. Trendeistä kerättäviä mittaustuloksia, voidaan vertailla laboratorion saatuun kuitusaven koetuloksiin luontevasti ja perustella johtuuko mahdolliset muutokset esimerkiksi kuitusaven laatuvaihteluista, vai onko kattilassa toiminnassa ollut jotakin normaalista poikkeavaa tapahtuman hetkellä.

Kattilalle tehtiin kuormituskokeita hallitusti lisäämällä kuitusaven määrää suhteessa polttoainevirtaan. Kuitusavea ajettiin lopussa täydellä syöttönopeudella jo 4 kg/s mittattuun polttoainevirtaan.

Taulukko 5. Määritellyt seurattavat muuttujat

1. Tulipesän lämpötila (peti)	18. Höyryn lämpötila 3-tulistimen jälkeen
2. Tulipesän lämpötila alasekundääritaso vasen	19. Hetkellisarvo NOx
3. Tulipesän lämpötila alasekundääritaso oikea	20. 1h NOx keskiarvo
4. Tulipesän lämpötila yläsekundääritaso vasen	21. Hetkellisarvo SO ²
5. Tulipesän lämpötila yläsekundääritaso oikea	22. 1h SO ² keskiarvo
6. Peti paine	23. Hetkellisarvo hiukkaset
7. Primääri-ilman määrä	24. 1h hiukkaset keskiarvo
8. Sekundääri-ilman määrä	25. Hetkellisarvo CO
9. Sekundääri-ilman paine	26. 1h CO keskiarvo
10. Kiertokaasun määrä	27. Nuohoushöyryn virtaus
11. Savukaasun määrä	28. Hiekan määrä tulipesään
12. Savukaasun lämpötila savupiipussa	29. Pohjatuhkan poisto
13. Savukaasun kosteus	30. KPA vasen ja oikea ryöstöruuvi käyntitila
14. Savukaasun O ² -pitoisuus	31. Kuitusaven syöttö
15. Primääri-ilman arinan alla	32. Polttoaine määrä polttoainekentältä
16. Päähöyryn paine	33. Lentotuhkan määrä
17. Päähöyryn virtaus	

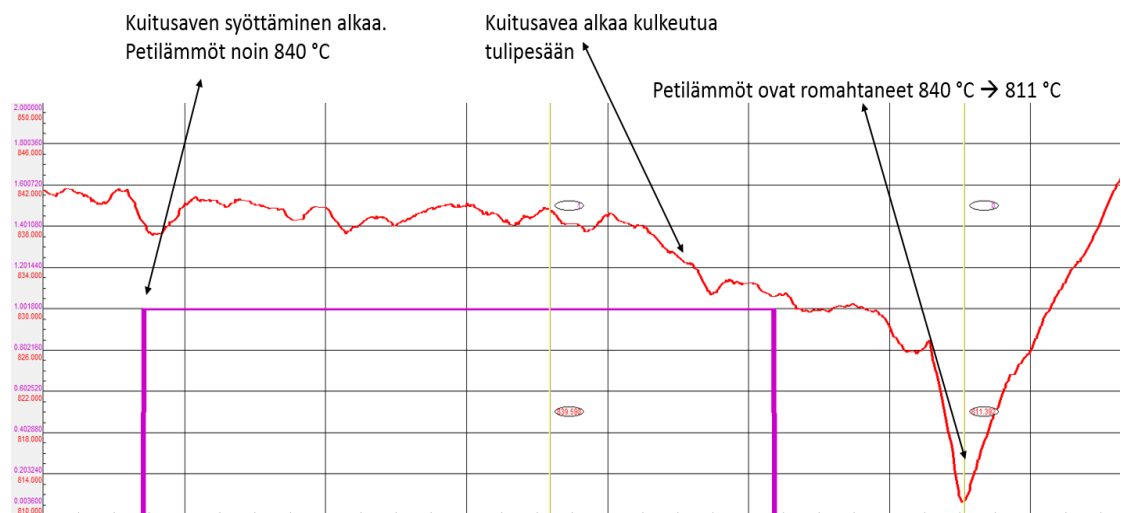
9.4 Kuitusaven vaikutukset tulipesään

Kuitusavella katsottiin olevan huomioitava vaikutus kattilan petilämpötiloihin erityisesti, kun kattilaa ajettiin minimi kuormalla, jolloin kuitusaven osuus pysyy keskimäärin suurempana polttoainevirrassa. Tyypillinen pudotus on noin 10 – 25 °C kuitusaven määrästä ja muiden polttoaineiden laadusta riippuen. (Ks. Kuvio 18.) Myös kuitusaven jakautuminen siiloihin vaikuttaa tähän pudotukseen. Kuitusavi saa aikaan äkillisen petilämpöjen notkahduksen, ennen kuin kattilan ilmasäädöt kerkeävät reagoimaan petilämpötilojen laskuun. Kattilan säädöt reagoivat pienentyneisiin petilämpötiloihin vähentämällä kylmempää ja hapetonta kiertokaasua. Vähentynyt kiertokaasu lisätään kuumaan ja hapelliseen primääri-ilmaan kertoimien kautta. Myös sekundääri-ilma määrää nostetaan kattilasäätöjen kautta. Kattilan tulipesään on lisättävä hiekkaa korvaamaan pois seulottu huonolaatuinen hiekka. Hiekkaa lisätään kerralla noin 500 kg mikä aiheuttaa pienen notkahduksen petilämpötiloihin hetkellisesti, tämä on kuitenkin huomioitu tarkastelussa. Tulipesän yläsekundääri- sekä alasekundääri lämpötilamittaukset heittelevät ilmajaon mukana, joten kuitusaven ei voida osoittaa vaikuttavan mittauksien mukaan suoraan näihin lämpötiloihin.

Kuten aikaisemmin todettiin kuitusavi ei jakaudu aina tasaisesti molempiin polttoainesiiloihin vaan suurin osa kuitusavesta voi olla vain toisessa siilossa. Tämä johtuu polttoainelinjan teknisistä ratkaisuista. Tästä seuraa kuitusaven meneminen polttoon vai toiselle seinälle kattilaa. Tämä aiheuttaa epätarkkuutta ja heittelyä mittauksista saatuihin tuloksiin, joten tulosten analysoinnista tulee haastavampaa. Kuitusaven on myös joissakin tilanteissa huomattu vierivän polttoainesiilosta suoraan kattilan syöttöruuville joten, saven polttoon kulkeutumiseen kestävä aika ei ole aina riippuvainen polttoainesiilojen pinnasta ja kattilan kuormasta. Lisäksi mittauksien määrittämiseen tuo heittoa polttoainesiilojen pinnanmittaukset jotka eivät ole absoluuttisen tarkkoja. Polttoaineen havaittiin myös kasaantuvan siiloon toiselle seinälle ajoittain. Kun kasaantunut keko romahtaa, saa polttoaineruuvi normaalia aikaisemmin kuitusavea polttoon mikä vaikeuttaa mittapisteiden määrittämistä. Siilojen ollessa noin 50 % pinnassa pitäisi normaalisti päällimmäinen polttoaine, tässä tapauksessa kuitusaven kulkeutua kattilaan polttoon 1,0 – 1,5 tunnissa. On kuitenkin huomattu, että siilon pinnan ajoittain tapahtuvat romahdukset ovat polttoainekeon kaatumisista aiheutuvia,

jolloin kuitusavea saadaan polttoon jopa 30 minuutissa siilon pinnan ollessa 50 % kun kuitusaven syöttö polttoprosessiin on aloitettu.

Kuitusaven osuus polttoainevirrasta on normaalilla tilanteella suhteellisen pieni, noin 10 – 20 % painoarvoltaan mitattuna, joten kuitusaven kosteudella ei ole suurta merkitystä kattilan tulipesässä tapahtuviin muutoksiin. Lämpötilan romahduksen suuruuteen vaikuttaa enemmän muiden polttoaineiden kosteus, lietteen määrä kuoressa sekä kattilan höyrynkehitys. Polttoon menevästä kuoresta ei voida määrittää lietteen osuutta ja polttoaineen kosteutta tarkasti ilman erillisiä laboratorioskokeita, koska erilaatuisia kuori- sekä liete-eriä on saatettu sekoittaa keskenään kauhakuormaajalla polttoainekentällä.



Kuvio 18. Esimerkki petilämpötilojen romahduksesta

9.5 Kuitusaven vaikutukset Ilmapäästöihin

Kuitusavella ei voitu katsoa olevan suoraan havaittavaa vaikutusta kattilan ilmapäästöihin polttoaineena vaan ne ilmenivät epäsuorasti palamisprosessin muutoksina, joita kuitusavi sai aikaan tulipesässä.

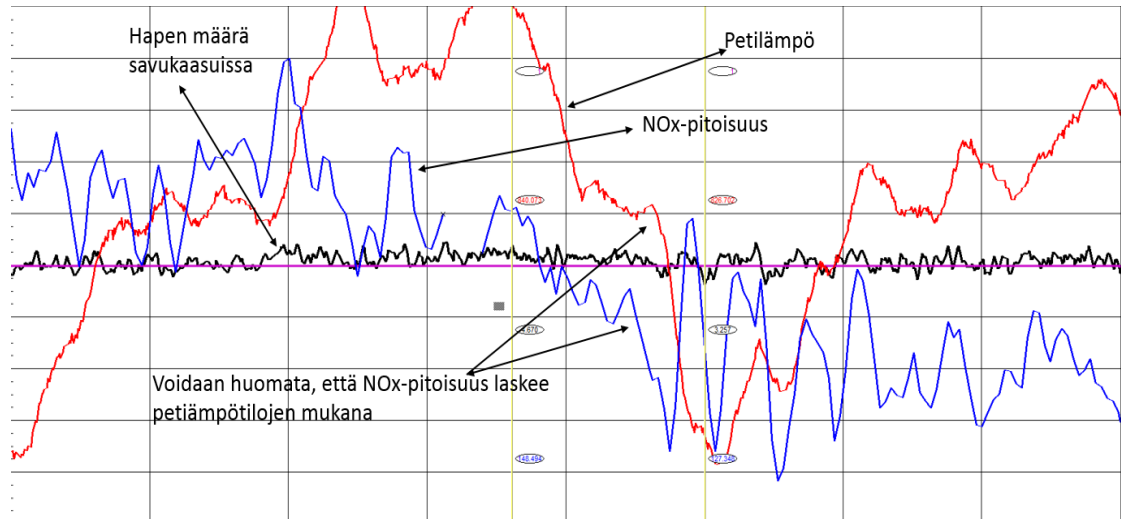
NO_x-pitoisuudet

NO_x-päästöt ovat olleet suurin ongelman aiheuttaja biokattilalla ennestään, joten niiden hallintaan on kiinnitettävä eniten huomiota. Kuitusavi sai aikaan kattilan petilämpötilojen laskun, josta seurasi NO_x-päästöjen pienentyminen hetkellisesti. NO_x-päästöt lähtivät kuitenkin kohoamaan perässä, kun kattilan säädöt reagoivat petilämpötilojen äkilliseen laskuun. Kattilan säädöt alkavat tässä tilanteessa vähentää hapettoman ja kylmemmän kiertokaasun määrää leijutuskaasuna ja korvaa sen kertoimien kautta kuumalla ja hapellisella primääri-ilmalla, joka saa petilämmöt takaisin nousuun. Ylimääräisen hapen määrä kattilassa siis lisääntyy tässä tilanteessa, joka voi saada aikaan termisen NO_x-pitoisuuden nousun, jos palamislämpötilat ovat riittävän korkeita. Teorian mukaan termisen NO_x alkaa muodostua vasta 1400 °C lämpötiloissa, joten tätä nousua ei pystytty selittämään suoraan termisen muodostuksen kautta. (Huhtinen, M. Ym. 2000, 92-93.) NO_x-pitoisuuden nousua pystyttiin perustelemaan polttoaineperäisen typpioksidin muodostumisen kautta, koska hapellinen palamisilmamäärä kasvoi tilanteessa, joten tyrellä oli enemmän vapaata happea muodostua.

Savukaasujen takaisinkierrätyksellä on mahdollista pienentää NO_x-päästöjä, koska ylimääräisen hapen määrä kattilassa vähenee eikä tyrellä ole niin suurta mahdollisuutta sitoutua ylimääräiseen happeen. Kiertokaasu on myös luonnollisesti kylmempiä kuin kuuma primääri- ja sekundääri-ilma, joten senkin voitiin huomata vähentävän NO_x-päästöjen muodostumista. Tähän samaan tilanteeseen päästään vähentämällä ylimäärä hapen määrää suoraan kattilansäädöistä, mutta se vaikuttaa puolestaan myös palamisen täydellisyyteen, mikä aiheuttaa ylimääräisiä CO-päästöjä. Tämä tilanne korostuu kesäaikaan kattilan ollessa pienellä kuormalla, jolloin suhteellinen

ilmaylimäärä on suurimmillaan. Tuloksiin oli mahdollista aiheutua heittoa, koska hap-
piantureita ei ole kalibroitu viimeisimpien vaihtojen jälkeen. Tästä on mahdollista ai-
heutua se, että jäännöshapen määrä ei ollut kattilassa tarkalleen todellinen kaikissa
tilanteissa.

Alla oleva kuvio esittää, kuinka NO_x-pitoisuus on riippuvainen savukaasun O₂-pitoi-
suudesta sekä petilämpötiloista.

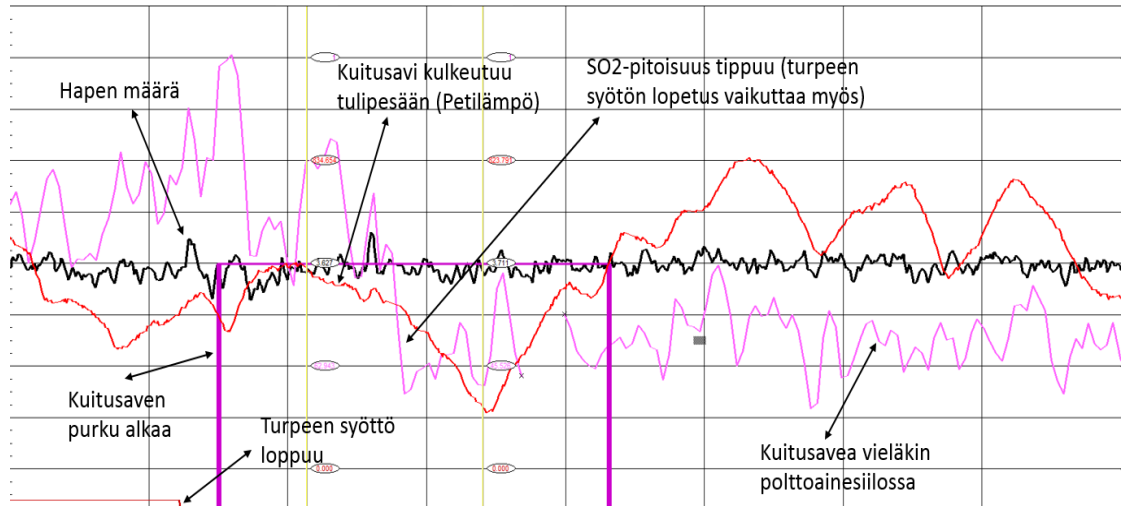


Kuvio 19. Hapen ja petilämpötilojen vaikutukset NO_x-päästöihin

SO₂-pitoisuudet

SO₂-päästöissä ei ollut havaittavissa mittauksissa merkittävää muutosta pienillä kui-
tusavi määrillä. Suurempi merkitys oli käytettävillä polttoainesuhteilla. Rikkidioksidi-
päästöjä voidaan vähentää tuntuvasti seospoltolla polttamalla esimerkiksi turvetta ja
puupolttoaineita seoksena. Koska puun tuhka sitoo turpeen palamisesta vapautuvaa
rikkiä ja samanaikaisesti puunpolton pienhiukkasten muodostuminen pienenee,
koska ne sitoutuvat turpeen suurempi kokosiin hiukkasiin ja saadaan näin erotettua
paremmin. Kuitusaven sisältämällä karbonaateilla on havaittu olevan rikkipäästöjä si-
tova vaikutus. (Leppäaho, J. 2016) Tämä pystyttiin osoittamaan todeksi kuormitusko-
keilla, ja seuraamalla yleisesti rikkidioksidin pitoisuutta kattilassa kuitusaven polton
aikana. (Ks. Kuvio 20.) Kuormituskokeiden aikana kuitusavea ajettiin moninkertaisesti
polttoon normaaliin määrään verrattuna mille ei normaalisti ole ollut tarvetta. Käy-
tännössä rikkidioksidin vähennyksen voidaan katsoa olevan kuitusaven myötä hyvin

pieni verrattuna polttoaineiden suhteeseen ja laatuun. SO₂-pitoisuuden suurta laskua trendissä selittää myös turpeen polttamisen lopetus, joten tulos ei ole täysin validi.



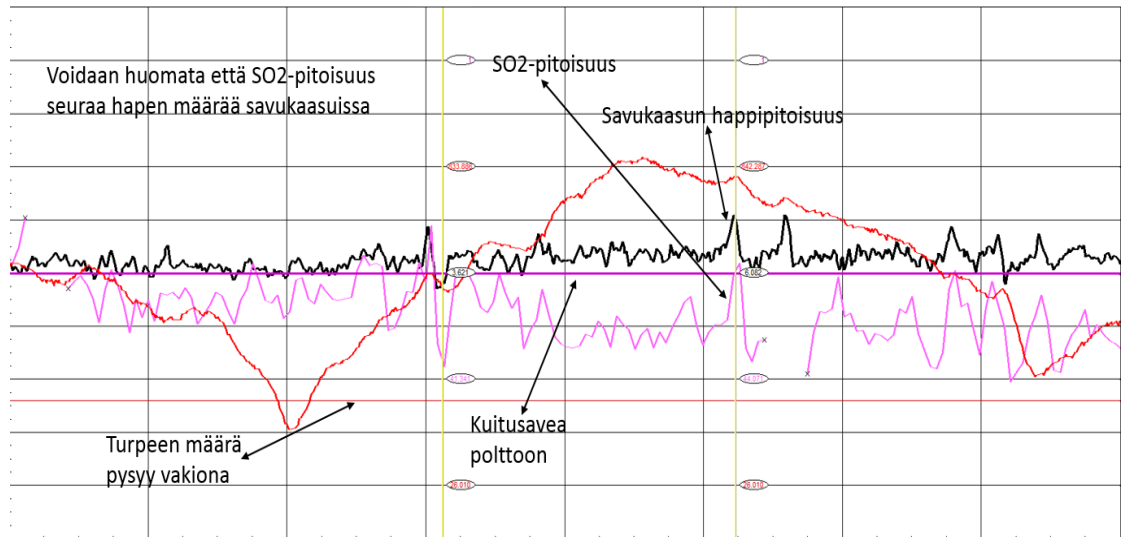
Kuvio 20. Kuitusaven, turpeen, petilämpöjen ja hapen vaikutus SO₂-päästöihin

Teoria sanoo, että poltettaessa rikkiä sisältäviä polttoaineita ei rikkidioksidin syntymistä voida estää pelkästään polttoteknisin keinoin. (Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M & Kurki-Suonio, I. 2002, 348) SO₂-pitoisuuden huomattiin kuitenkin seuraavan hyvin tarkasti kattilan jäännöshappipitoisuutta. (Ks. Kuvio 21.) Tämä tarkoittaa sitä, että petilämpötilojen lasku aiheuttaa myös SO₂-pitoisuuden nousun, koska kattilan jäännöshappipitoisuus nousee primääri- ja sekundääri-ilman korjatessa lämpötila heilahdusta. Käytännössä SO₂-pitoisuus siis nousee kuitusaven myötä kattilasäädön kautta.

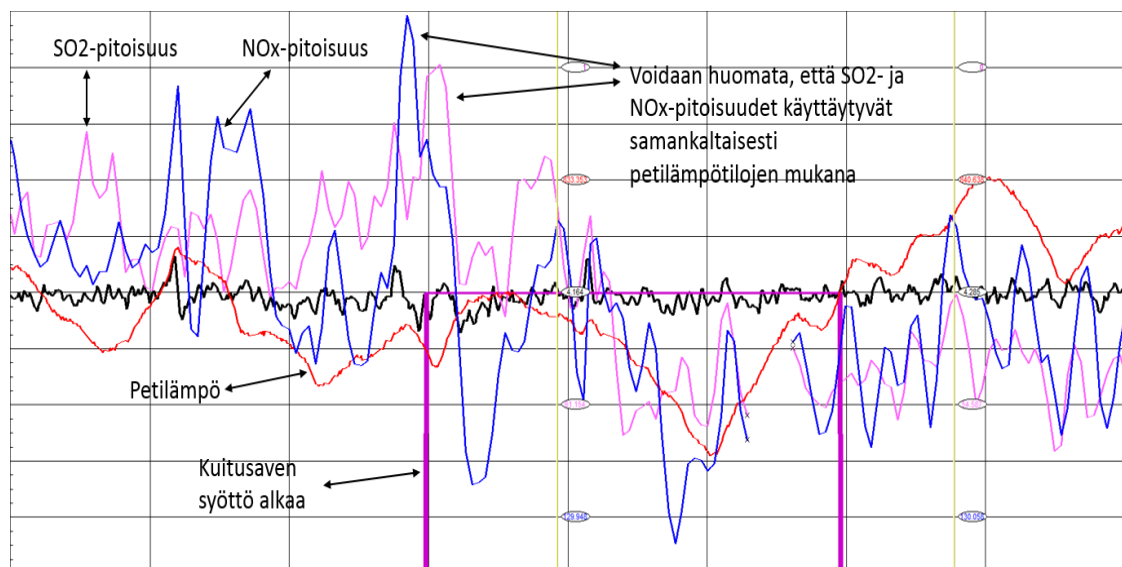
SO₂-pitoisuuden laskeminen jäännöshapen perässä voidaan selittää siten että, hapen määrän pudotessa palamisen täydellisyys huonontuu. Tästä seuraa, että rikki ei pääse vapautumaan polttoaineesta ja muodostamaan tulipesässä rikkidioksidia savukaasuvirtaan, vaan jää rikiksi pohja- ja lentotuhkaan sitoutuneena. Tämä tulisivin selvittää myöhemmin lentotuhkasta otettavien laboratorionäytteiden mukaan myös todeksi.

Voitiinkin todeta, vaikka kuitusavella on sen sisältämien karbonaattien myötä SO₂-päästöjä vähentävä vaikutus, tapahtui vastakkainen ilmiö kattilasäädön kautta. Koska

jäännöshapen määrä lähtee nousuun, tulee polttoaineen palamisesta täydellisempää ja rikki pääsee vapautumaan polttoaineesta paremmin savukaasuvirtaan muodostaen rikkidioksidia, joka näkyy päästömittauksissa SO_2 -pitoisuuksien kohoamisena. SO_2 - ja NO_x -pitoisuudet kulkevatkin hyvin pitkälti rinnakkain kattilasäädön takia. (Ks. Kuvio 22.)



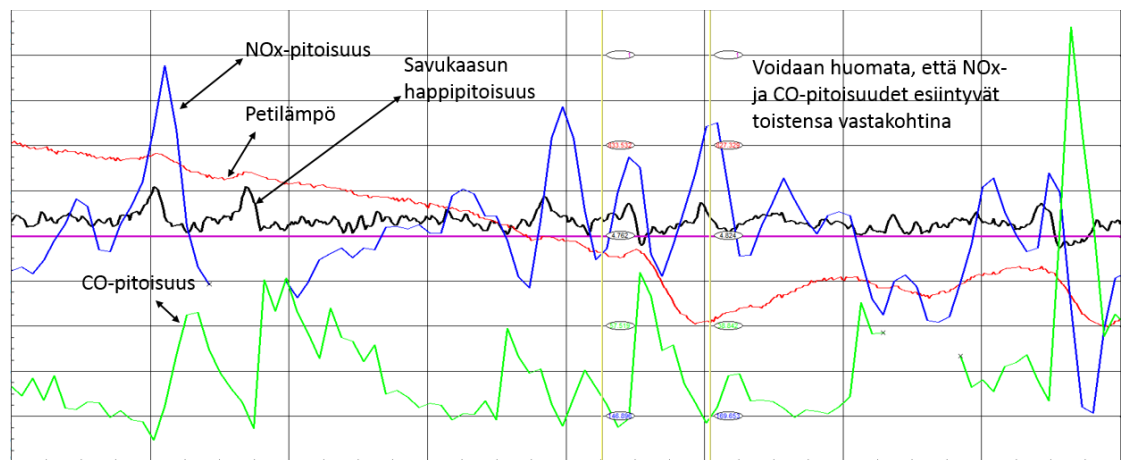
Kuvio 21. SO_2 seuraa jäännöshapetta turpeen määrän pysyessä vakiona



Kuvio 22. Voidaan huomata, että SO_2 ja NO_x käyttäytyvät samankaltaisesti

CO-pitoisuus

CO-pitoisuuden voitiin huomata nousevan hetkellisesti, kun kuitusavi laski petilämpötiloja ennen kattilan säädön reagoitua tähän muutokseen, jolloin palaminen ei tapahtunut täydellisesti. CO-päästöjen voitiin katsoa olevan vastakohta NO_x-päästöille. (Ks. Kuvio 23.) Tämä pystyttiin selittämään tulipesän lämpötilalla ja hapen määrällä kattilassa. Lämpötilan ollessa korkealla, on kattilassa normaalia vähemmän happea johtuen kiertokaasun isommasta määrästä mikä myös pyrkii jäähtyttämään petiä.



Kuvio 23. NO_x- ja CO-pitoisuudet esiintyvät toistensa vastakohtina

Hiukkaspitoisuudet

Hiukkaspitoisuuksissa ei tapahtunut kuitusaven myötä suuria muutoksia päästöjen kannalta. Vaikka lentotuhkan määrän voidaan katsoa lisääntyneen, ei sillä ole vaikutusta päästöjen hiukkaspitoisuuksiin, koska sähkösuodatin saa erotettua tuhkan savukaasuvirrasta normaalisti. Äänevoiman sähkösuodatin on kolme kenttäinen, joten hiukkasia ei pääse savukaasujen mukana ilmaa mittauksien mukaan.

9.6 Kuitusaven vaikutukset lentotuhkaan

Kuitusaven myötä tuhkan määrän voitiin katsoa nousseen vuoteen 2015 verrattuna. Tämä pystyttiin havaitsemaan myös lentotuhkan kiertonopeuden kasvuna, jolla oli joitakin negatiivisia vaikutuksia. Kiertonopeuden muutos aiheutti purkamisen aikana ruiskutettavan kasteluveden höyrystymistä tuhkan kohonneen lämpötilan takia. Tuhkaa syntyy noin viidennes toimitetusta kuitusaven määrästä.

Kuitusavella on tutkimuksissa todettu olevan voimallistuhkaa parantava vaikutus, sen vähäisten raskasmetallipitoisuuksien vuoksi. (Raivio, A. 2013)

Kattilan takavedossa huomattiin lämpötilojen laskua, mikä aiheutti ylimääräisen nuohouksen tarvetta erityisesti takavedossa. Lisääntynyt nuohouksen tarve altistaa kattilan rikkihapon muodostukselle, lisäksi kattilan hyötysuhde heikkenee ylimääräisen nuohouksen myötä. Kuitusavella voi olla siis kattilaa likaavia vaikutuksia kattilan kylmemmissä osissa, joka selviää paremmin vasta seuraavassa huoltoseisokissa. Silmä-määräisesti tarkasteltuna kuitenkin tulistimien pinnassa on normaalia vähemmän havaittavissa likaantumista. Voikin olla mahdollista, että kuitusavella on rikki-kloori-indeksin mukaan erityisesti tulistinputkia suojaava vaikutus, joten ne pysyvät myös puhtaampana. Puhtaammat tulistinputket voivat teoriassa vähentää esimerkiksi rikkitrioksidin muodostumista, koska rikkitrioksidi ei pääse muodostumaan katalyyttisesti koska tulistinputkien kerrostumat toimivat katalyyttinä 500 – 800 °C lämpötilassa. (Raiko ym. 346-347)

Äänevoiman lentotuhka on tavallisesti hyödynnetty metsälannoitteeksi. Myöhemmin havaittiin kuitenkin, että lentotuhka ei rakeistu enää entisellä tavalla. Tätä ilmiötä on syytä tutkia jatkossa lisää. Mahdollista voisi olla esimerkiksi, että siilon purkuvaiheessa kiehahtava vesi voisi aiheuttaa tämän ilmiön, koska tuhkan kosteus ei ole riittävä. Laboratorio kokeista selvisi, että tuhkan neutralointikyky on noussut 42 % kuitusavea edeltäneestä tilanteesta. Kuitusaven Tuhkapitoisuudeksi on määritelty tarkastelujakson aikana 28,1 – 36,5 m-% k-a.

10 Yhteenveto kuitusaven polttamisesta

Kuitusaven polttaminen ei tuonut koejakson aikana merkittäviä ongelmia prosessiin ja sen polttaminen on mahdollista toteuttaa Äänevoima Oy:n biokattilassa vaarantamatta kattilan käytettävyyttä tai päästörajoja kesäaikaan. Suurimmat ongelmat osoitautuivat toistaiseksi polttoaineensiirtolaitteistoon ja sen ympäristöön. Rikkivedyn kulkeutumista kuitusaviasemalle voidaan pitää merkittävänä turvallisuusriskinä. Näin ollen kuitusaviasemalle ja polttoainetunneliin asennettiin rikkivedyn hälyttimet, jotka antavat hälytyksen valvomoon havaitessaan sitä ilmassa.

Puhdistamon ongelmatilanteissa on mahdollisuus syntyä todella kosteita kuitusavi eriä. Jos kuitusavi erän voidaan havaita olevan silmämääräisesti todella märkää, päätettiin yleiseksi käytännöksi ohjata kyseinen erä aina välivarastoon. Joitakin kuitusaveen liittyviä riskejä pystyttiin kartoittamaan ennakkoon, mitkä voivat tapahtuessaan vaarantaa kattilan käytettävyyden. Kuten raudan lisääntyminen tulipesässä, mikä voi tukkia arinasuuttimia, jolloin suurilla höyrykuormilla arinakaapin paine voi nousta, eikä leijutuskaasua saada tarpeeksi kattilaan. Tästä seuraa huonontunut petin leijuminen, joka vaikuttaa palamisen täydellisyyteen tai pahimmillaan kattilalukituksen kautta alasajoon. Nousevan hihnakuuljettimen pyörintävahdin jäätyminen voi aiheuttaa tilanteen, missä hihnan pysähtyessä hihna ei jaksa lähteä pyörimään, vaan luistaa vetopyörällä, josta voi syntyä tilanne missä polttoaine voi loppua kattilan syöttösiiloista. Sulkusyöttimen muurautumiset ja yleiset kuitusaven jäätymiset metallipinoille voivat aiheuttaa hankaluuksia talviaikaan, joita tiedettiin käyneen konsernin toisella laitoksella. Kaikista näistä riskeistä ei pystytä esittämään konkreettisia tuloksia ennen vuosihuoltoseisokkia ja tarpeeksi kylmiä kelejä.

Kuitusaven vaikutukset tulipesään näkyivät ensimmäisenä kattilan petilämpötilojen notkahduksena. Kattilan ilmasäätö kerkeää kuitenkin reagoida notkahdukseen nopeasti, eikä kuitusavi näin pääse vaikuttamaan suuresti palamistapahtumaan. Muutoksia palamisen täydellisyyteen voitiin kuitenkin havaita nousseen CO-pitoisuuden mukana lämpötilan notkahduksen ajan. Kuitusaven kosteudella ei ollut selvää yhteyttä petilämpötilojen notkahduksen suuruuteen. Notkahduksen suuruuteen vaikutti enemmän, miten kuitusavi oli jakautunut polttoainesiiloihin, kuoren kosteus sekä lietteen määrä kuoressa.

Ilmapäästöihin kuitusavella ei voitu katsoa olevan merkittävää suoraa vaikutusta suurillakaan kuitusavi määrillä. Päästöarvojen nousuja ja laskuja pystyttiin kuitenkin havaitsemaan tapahtuvan epäsuorasti kattilasäätöjen reagoidessa kuitusaven aikaansaamiin muutoksiin tulipesässä. Äänevoima Oy:n ilmapäästöt ovat olleet ennestäänkin alhaiset, mutta suurimpia ongelmia on aiheuttanut NO_x-pitoisuudet. Kuitusavella ei ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta NO_x-pitoisuuksiin.

Testiajojen aikana huomattiin NO_x-pitoisuuksien lähtevän nousuun lisääntyneen sekundääri- ja primääri-ilman mukana. Tätä NO_x-pitoisuuden nousua voidaan perustella polttoaineperäisen muodostuksen kautta, koska hapellisen palamisilmamäärän osuus nousee petilämpöjen notkahduksen kautta. NO_x:in muodostuminen on kuitenkin hyvin vähäistä ja lyhytkestoista, joten se ei aiheuta erityisiä toimenpiteitä kattilan ajotapamalleihin.

SO₂-pitoisuudet ovat pysyneet hyvin alhaisina jo ennen kuitusaven polttamisen aloitusta. Kuitusavella sisältämällä karbonaateilla tiedetään olevan rikkiä sitova vaikutus, mutta SO₂-päästöjen voitiin katsoa päinvastaisesti nousseen kuitusaven myötä. Käytännössä tämä nousu on kuitenkin merkityksetön. Nousu voidaan selittää laskevien petilämpötilojen seurauksena, kun kattilan säätö lisää hapellisen palamisilman määrää. Ylimääräinen happi saa rikkipitoisuuden savukaasuvirrassa nousuun.

CO-pitoisuus nousi hetkellisesti kuitusaven myötä, koska palamisen täydellisyys huonontuu petilämpötilojen notkahduksen ajaksi. CO-pitoisuudella ei ole kuitenkaan luparajoja, joten muutosta ei voida pitää merkittävänä ilmapäästöjen kannalta.

Hiukkaspitoisuuksiin päästöjen kannalta kuitusavella ei ollut merkitystä, sähkösuodatin saa erotettua hiukkaset normaaliin tapaan savukaasuvirrasta.

Lentotuhkan määrän voitiin katsoa nousseen verrattuna vuoteen 2015, jonka myötä myös lentotuhkan kiertonopeus siilossa nopeutui. Kiertonopeuden muutos aiheutti lentotuhkan purkamisessa ruiskutettavan veden kiehumista. Kattilan takavedossa huomattiin lämpötilojen laskua, jota voidaan selittää suurentuneella tuhkanmäärällä. Tästä seurasi lisääntynyt kattilan nuohouksen tarve, joka heijastuu suoraan kattilan hyötysuhteeseen. Tuhkan rakeistumisessa huomattiin myös tapahtuvan muutoksia, koska se ei enää rakeistu itsekovetusmenetelmällä entiseen tapaan. Syynä tähän voi olla siilon purkuvaiheessa kiehahtava kostutusvesi, joten tuhka ei ole enää riittävän

kosteaa rakeistumaan itsekovetusmenetelmällä. Tuhkan neutralointikyky on nousut 42 % kuitusavea edeltäneestä tilanteesta.

Lopputuloksena koepolttojaksosta voitiin todeta, että Äänevoima Oy:n biokattila soveltuu kuitusaven polttamiseen. Kuitusavella ei ole merkittäviä vaikutuksia kattilan ilmapäästöihin tai käyttäytymiseen leijupetitekniikan ansiosta. Analysoimalla kuitusaven hyviä ja huonoja ominaisuuksia (Ks. Kuvio 24.), voidaan kuitusaven todeta kuitenkin olevan huono polttoaine suuren kosteuden ja heikon lämpöarvonsa vuoksi. Myös kuitusaven suuret laatuvaihtelut ovat mahdollisia. Polttamisen voidaankin katsoa olevan mahdollisuus säästää jätemaksuissa, jossa kuitusavi muutetaan pienempään tilavuuteen ja saadaan lopputuote jätteenkäsittelyaseman hyväksymään muotoon orgaanisen aineen palaessa energiaksi.

Hyödyt:	Haitat:
Säästöt jäteveroissa.	Lämpötila romahdukset tulipesässä.
Suojaa tulistimia.	Kuitusaven heikko lämpöarvo.
Katalyyttien väheneminen tulistimissa.	Nuohouksen lisääntynyt tarve.
Pienentynyt rikkirtiksidin muodostuminen.	Hyötysuhteen laskeminen.
Kaatopaikka kuormituksen väheneminen.	Lentotuhkan rakeistumisen ongelmat.
Positiivinen brändi.	Nopeutunut tuhkakierto.
Turpeen määrän vähentäminen teoriassa mahdollista.	Palamisen epätäydellisyyden lisääntyminen.
Tuhkan raskasmetallipitoisuuksien väheneminen.	NOX-pitoisuuden nouseminen kattilasäädön kautta.
	SO ₂ -pitoisuuden nouseminen kattilasäädön kautta.
	CO-pitoisuuden nouseminen.
	Lentotuhkan rikkipitoisuuden nouseminen.
	Lisääntynyt puhdistuksen tarve polttoainelinjoilla.
	Rikkivedyn kulkeutuminen kuitusaven mukana.
	Raudan osuuden mahdollinen nousu tulipesässä.
	Kuitusaven jäätyminen talviaikaan.
	Lisääntynyt puhaltimien energiankulutus.

Kuvio 24. Kuitusaven hyötyjen ja haittojen vertailu

11 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kuitusavea polttoaineena ja selvittää, miten kuitusaven hyödyntäminen energiaksi vaikuttaisi polttoaineensiirtolaitteistoon sekä kattilan toimintoihin. Lisäksi työssä pohdittiin kuitusaven muita hyödyntämismahdollisuuksia sekä laadittiin toimintakuvaus kuitusaven syöttölaitteistolle. Kattilan toimivuutta testattiin syöttämällä kuitusavea polttoprosessiin erilaisia määriä eri polttoaineyhdistelmillä sekä erilaisilla höyrykuormilla. Tuloksien pohjalta todettiin kuitusaven polttoprosessiin tuomat hyödyt, haitat, muutokset ja niiden vaikutukset kattilan toimivuuteen ja tunnistettiin mahdollisia riskitilanteita. Lopputulokseksi kuitusaven polttamisen todettiin olevan mahdollista jatkuvana virtana myös jatkossa Äänevoimalla. Kuitusavi ei vaaranna kattilan käytettävyyttä eikä myöskään aiheuta ilmapäästöissä merkittäviä muutoksia kesäaikaan.

Polttoainelinjojen ongelmien tutkiminen perustui suurimmaksi osaksi silmämääräiseen havainnointiin, koska kuitusaven tuomia muutoksia ei voida mitata mittareilla polttoainelinjoilla. Tietoa hankittiin myös yritysvierailuilta ja niillä tehdyistä haastatteluista, jotta ongelmien tarkastelu osattaisiin heti alussa kohdistaa todennäköisimpiin paikkoihin.

Kuitusaven aiheuttamat muutokset polttoprosessin ilmenivät kattilan toiminnan häiriöinä. Muutoksia havainnointiin jatkuvatoimisten mittauksien avulla ja keräämällä ne trendiseurantaan. Silmämääräinen tarkastelu on hyvin rajallista tutkittaessa kuitusaven vaikutuksia polttoprosessiin, koska kattilan sisäpuolella ei päästä käymään kuin vasta vuosihuoltoseisokissa. Kattilassa on muutamia tarkastusluukkuja, joista pystytään seuraamaan petin leijumista ja palamistapahtumaa, mutta käytännössä tästä ei ole suurta apua kuitusaven vaikutuksia analysoitaessa. Silmämääräinen tutkiskelu toimikin enemmän polttoprosessin havainnointia tukevana ja apuna ajanmäärityksessä, milloin kuitusavi kulkeutui tarkasti kattilaan. Mittaustulosten kerääminen trendiseurantaan mahdollisti tulosten analysoinnin jälkikäteen, kun laboratorio-koikeista oli selvinnyt kuitusaven kosteuspitoisuus. Kosteuspitoisuuksien avulla pystyttiin esittämään johtopäätöksiä, onko kuitusaven kosteudella merkitystä kattilassa tapahtuviin muutoksiin tai niiden suuruuteen. Trendiseuranta myös mahdollistaa

monien eri mittaustulosten yhtäaikaisen analysoinnin ja vertailun, joten kattilan normaalit kuorman muutokset ja häiriöt voitiin helpommin erottaa erilleen kuitusaven aiheuttamista muutoksista.

Kuitusaven vaikutuksien toteamisessa käytettiin hyödyksi myös kuormituskokeita, joissa kuitusaven osuutta polttoainevirrasta nostettiin hallitusti. Ilman kuormituskokeita polttoprosessissa tapahtuvat muutokset olivat hyvin merkityksettömiä, eikä tuloksiin olisi saanut selvää rajaa onko tapahtumien takana kuitusavi vai jokin muu prosessin muutos. Kuormituskokeilla muutokset oli helpompi osoittaa kuitusavesta johtuvaksi. Tällä menetelmällä saatiin myös tuloksien analysointiin varmuutta.

Kuitusavella todettiin teorian pohjalta olevan joitakin hyödyllisiä ominaisuuksia ja piirteitä, kuten esimerkiksi katalyyttien väheneminen tulistimissa. Katalyyttien väheneminen vähentäisi rikkiatrioksidin muodostumista katalyyttisesti tulistinalueella ja tätä kautta rikkihapon synnyn vaara vähenisi. Kuitusaven mukana kuitenkin on ilmennyt lisääntyntä nuohouksen tarvetta, joka edesauttaa rikkiatrioksidin muodostaa rikkihappoa veden kanssa, koska nuohouksen takia kosteus savukaasuissa lisääntyy. Ylimääräinen nuohouksen tarve heijastuu myös suoraan kattilan hyötysuhteeseen. Näin kuitusaven hyödyt ja haitat kumoavat toisensa. Vertailemalla hyviä ja huonoja puolia todettiin kuitusaven polttamisen olevan kuitenkin enemmän kustannustekijä. Kannattavaksi kuitusaven polttamisen tekee se, että jätemaksuissa voidaan säästää jäteverot ja sen muoto saadaan muutettua jäteaseman hyväksymään muotoon. Siksi jatkossa tulisikin mieltä myös muita hyödyntämismahdollisuuksia tarkemmin. Löytyisikö tehdasalueelta tai parhaillaan nousevalta biotuotetehtaalta mahdollisia kohteita, joissa kuitusavea voitaisiin hyödyntää tehokkaammin. Tässä voisikin olla jatko tutkimuksen aihe.

Epäluotettavuutta tutkimukselle tuo erityisesti mittapisteiden määrittely seuranta-jakson aikana. Erilaisissa ajotilanteissa kuitusaven kulkeutuminen tulipesään vaati monien asioiden huomioimista ja väärin määritellyt datan keräyspisteet tekevät tiedosta käytännössä arvotonta. Myös polttoaineiden laaduissa oli eroja tutkimuksen aikana. Joitakin mittauspisteitä ei ole kalibroitu viimeisen vaihdon jälkeen, joten mittaustuloksia ei voida pitää absoluuttisen tarkkoina. Näiden asioiden takia tuloksien analysointiin pitää suhtautua osittain kriittisesti ja koetulokset tulee pystyä toistamaan tarvittaessa.

Tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jakamalla tietoa valvomoon käyttökonekunnalle. Lisäksi tiedetään, että kuitusaven nykyisellä maksimi syöttökapasiteetilla ei vaaranneta kattilan käytettävyyttä tai ilmapäästöjä kesäaikaan kuiva-ai-
neen ollessa normaali noin 30 %. Kuitusaven maksimiannostelulle ei ole ollut kesän aikana minkäänlaista tarvetta. Useiden testauksien kautta kuitenkin todettiin, että täyden kuitusavilavan tyhjennys voidaan hoitaa tarvittaessa alle tuntiin, normaalin 2 – 4 tunnin sijasta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että noin 4kg/s polttoainevirtaan voidaan kuitusaven annostelua käyttää täydellä kapasiteetilla. Tällaiseen tilanteeseen oli hyvä saada varmuus, jos kartonkitehtaalla syntyy ongelmien takia kuitusavea suuria määriä päivässä.

Tutkimuksessa ennakkoon kartoitettujen riskipaikkojen avulla jokainen henkilökunnasta osaa keskittyä kuitusaven riskien tunnistuksessa oikeisiin paikkoihin. Tutkimus myös helpottaa tarkkailtavia riskipaikkoja talvella 2016 ennakkoon. Jos havaittuja ongelmakohtia ilmenee, niihin on ennestään jonkinlaista tietoa ja joihinkin on myös mietitty mahdollisia ratkaisuja. Talvi 2016 tulee olemaan erityistä huomion kiinnittämistä kuitusaven käyttäytymiseen kylmillä pinoilla.

Jatkossa tulee kiinnittää huomiota kuitusaven talviajan käyttäytymiseen ja erityisesti kylmiin pintoihin, kuten kiekoseuloihin. Lisäksi vuosihuoltoseisokissa tulee tutkia kuitusaven vaikutuksia tarkemmin tulistimiin ja kattilan takavedon likaisuuteen, kun kattilan sisäpuolella päästään käymään. Lyhyt kestoisen SO₂-pitoisuuden lasku jäännöshapen perässä on perusteltu tuloksissa palamisen huonontumisena kuitusaven takia, jossa rikki jää tuhkaan sitoutuneena eikä vapaudu savukaasuvirtaan. Siksi lentotuhkan ja pohjatuhkan rikkipitoisuuden mahdollinen kohoaminen tulisi selvittää myöhemmin laboratoriokeinein.

Lähteet

- Aho, M. 2012. Indeksilukujen soveltaminen likaantumisen ja korroosion alun ennustamiseen puu/turve-seoksilla. VTT tutkimusraportti 8.10.2012 Jyväskylä. Viitattu 25.8.2012. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-06472-12.pdf>
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>
- Asiantuntija, A. 2016. Käyttöhenkilökunta. Metsä Board Äänekoski. Haastattelu & yritysvierailu 2016.
- Asiantuntija, T. 2016. Käyttöpäällikkö. Konsernin toinen voimalaitos. Haastattelu & yritysvierailu 23.5.2016.
- Asiantuntija, V. Projekti-insinööri. EcoEnergy SF. Puhelin haastattelu.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. EUR-Lex. Annettu 19.11.2008. Viitattu 3.7.2016 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2008.312.01.0003.01.FIN&toc=OJ:L:2008:312:TOC
- Euroopan unionin jätedirektiivi n.d. Artikkele Kunnat.net sivustolla. Sisältö tarkistettu 28.4.2016 Innalla Tuulia. Viitattu 20.6.2016 <http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/yty/jatehuolto/jatedirektiivi/Sivut/default.aspx>
- Engineering aspects in solid-liquid separation n.d. The rotary drum filter. Viitattu 9.8.2016. <http://www.solidliquid-separation.com/VacuumFilters/vacuum.htm>
- Finncao Oy. 2001. Finncao-kuitusavet pintarakenteiden tiivistekerroksissa. Viitattu 20.7.2016. <http://www.metsatissue.com/en/AboutUs/Operations-in-Finland/Suomi/tuotannon-sivutuotteet/Documents/Suunnittelu-%20ja%20mitoitusohje%20pintarakenteiden%20tiiviskerrokset.pdf>
- Foster Wheeler Energia Oy. 2002. Käyttöohjekirja.
- Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi jäteverolain 5 ja 6 §:n muuttamisesta 2015. Hallituksen esitys Helsingissä 28.9.2015. Viitattu 1.7.2016. <https://www.edilex.fi/he/20150035>
- Huber technology. N.d. Waste water solutions. Viitattu 23.8.2016. http://www.huber.fi/res/Pdf/bs_en.pdf
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Opetushallitus. Helsinki: Edita.
- Ikonen, O. 2013. Biovoimalaitoksen energiatehokkuuden parantaminen ja osakuorma-ajon optimointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energiatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 10.7.2016. <http://www.doria.fi/handle/10024/94433>
- Jalovaara, J., Aho, J., Hietämäki, E., Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristökeskus.

Viitattu 2.7.2016.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40560/SY_649.pdf?sequence=1

Kekkilä ja Metsä Group aloittavat merkittävän yhteistyön. N.d. Artikkelellä Kekkilä.fi-sivustolla. Viitattu 6.8.2016 <http://www.kekkila.fi/articles/kekki-la-ja-metsa-group-aloittavat-merkittavan-yhteistyon>

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia. Suomen Biokaasuyhdistys ry. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Leppäaho, J. 2016. Uusiomassatehtaan uusinta. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Teknologiaosaamisen johtaminen YAMK. Viitattu 1.8.2016 <https://publications.theseus.fi/handle/10024/112434>

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT tiedotteita 2081. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Viitattu 27.7.2016 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Metsä Board. Vuosikertomus. 2015. Viitattu 4.6.2016.

<http://www.metsaboard.com/MaterialArchive/Annual%20reports%20and%20summaries/2016/Metsa-Board-vuosikertomus-2015.pdf>

Metsäteollisuus 2015. Metsäteollisuudesta jätteitä yhä vähemmän. Artikkelellä metsäteollisuus.fi sivustolla viitattu 8.6.2016.

<https://www.metsateollisuus.fi/painopisteet/ymparisto/tehtaiden-ymparistoasiat/Metsateollisuudesta-jatteita-yha-vahemman--97.html>

Metsäteollisuus 2014. Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2013. Metsäteollisuus ry:n julkaisu vuoden 2013 ympäristötilastoista. Viitattu 27.6.2016

<https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/4775.pdf>

Metsäteollisuus 2013. Tietoa alasta. artikkeli 21.05.2013 metsäteollisuus.fi sivustolla.

Viitattu 8.6.2016 <https://www.metsateollisuus.fi/tietoa-alasta/metsateollisuus-suomessa/yleista/Suomalaiset-metsateollisuuskonsernit-maailman-suurimpien-joukossa--1111.html>

Metsäteollisuus 2015. Ympäristö ja vastuullisuussitoumukset. Artikkelellä metsäteollisuus.fi sivustolla. Viitattu 8.6.2016

<https://www.metsateollisuus.fi/painopisteet/ymparisto/Ymparisto-ja-vastuullisuussitoumukset/Metsateollisuuden-ymparisto-ja-vastuullisuussitoumukset--Vastuullisuus-biotalous-kehittamisen-ytimessa--196.html>

Ojanen, P. 2001. Sellu ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Kouvola: Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 223. Viitattu 17.7.2016 <http://www.doria.fi/handle/10024/113719>

Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja Palaminen. Toinen täydennetty painos. Jyväskylä.

Raivio, A. 2013. Kuitusaven jatkokäsittelyvaihtoehdot. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, energiatekniikka- automaatio- ja prosessitekniikan koulutusohjelma. Viitattu 1.8.2016. <https://www.theseus.fi/handle/10024/68522>

Seimec Oy. N.d. Esittelymateriaali.

Teollisuuspäästödirektiivin kansallinen toimeenpano n.d. Artikkelit Ecobio.fi sivustolla. Viitattu 23.6.2016. <http://www.ecobio.fi/2013/04/teollisuuspäästödirektiivin-kansallinen-toimeenpano-2/>

Uusi jätelaki. N.d. Artikkelit Kunnat.net-sivustolla. Viitattu 16.7.2016 <http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/jatehuolto/jatelakiuudistus/Sivut/default.aspx>

Valtioneuvoston asetus jätteistä. 2012. Finlex.fi 19.4.2012 jäteluettelo pdf liite. Viitattu 1.8.2016. <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6094.pdf>

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331. 2013. Finlex.fi 2.5.2013. Helsinki: Valtioneuvosto. Viitattu 10.8.2016. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Jermakka, J. 2012. Taustamuistio kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamista varten. Ympäristöministeriö, raportteja 11/2012. 1.6.2012. Viitattu 24.7.2016. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/41421>

Wikström, L. 2015. Potential use of side streams in composites. VTT julkaisu, Saksa Munich: Reffibre Viitattu 2.8.2016 http://reffibre.eu/events/munich-presentations-nov-2015/8_reffibre2_wikstrom_sec.pdf

Ympäristöministeriö 2012. Ajankohtaista jätelain uudistuksesta. Ympäristöministeriön faktalehdet. Toukokuu 2012. Viitattu 25.6.2016. <http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Faktalehdet>

Ympäristöministeriö 2016. Ympäristönsuojelulain uudistaminen. Viitattu 12.6.2016. <http://www.ym.fi/ysluudistus>

Äänevoima Oy 2002. Esittelymateriaali.

Liitteet

Liite 1. Esimerkki Analyysitodistus kuitusavi

LABTIUM		ANALYYSITODISTUS Y1602088-00	1 (1) 28.07.2016	ENAS
Tilaaja	Metsä Fibre Oy Äänekosken tehdas Ostotilaus 4500127654 44100 Äänekoski			FINAS Finnish Accreditation Service T025 (EN ISO/IEC 17025)
Näytetiedot	Äänevoima Oy:n kuitusavinäyte			
Näytetyyppi	Polttoaine-Muut bio- ja sekapolttoaineet	Näyte otettu	17.06.2016	
Tilausnumero	4500127654	Saapumispvm	21.07.2016	
		Tutk. valmistuspvm	28.07.2016	

Analyysi	Tulos	Yksikkö	Menetelmä	
Tuhkapitoisuus (815 °C)	28.1	m-% k-a	A	ISO 1171
Rikkihaittoisuus	0.06	m-% k-a	A	ASTM D 4239 (mod), EN ISO 16994, EN 15289
Kalorimetrinen lämpöarvo	11.14	MJ/kg k-a	A	EN 14918, EN 15400, ISO 1928
Tehollinen lämpöarvo	10.22	MJ/kg k-a	A	EN 14918, EN 15400, ISO 1928
Tehollinen lämpöarvo	2.839	MWh/t k-a	A	
C	34.3	m-% k-a	A	EN ISO 16948, EN 15104, EN 15407, ISO 29541
H	4.2	m-% k-a	A	EN ISO 16948, EN 15104, EN 15407, ISO 29541
N	0.29	m-% k-a	A	EN ISO 16948, EN 15104, EN 15407, ISO 29541

A) Akkreditoitu määrittämenetelmä

Kalorimetrinen lämpöarvo: Rinnakkaismäärittämissä sallittua suurempi ero (>150 J/g). Tulos laskettu 4 määrittäksen keskiarvosta (min-max. 11.03 - 11.28 MJ/kg).

Liite 2. Jäteluettelo

20	179/2012
02 06 03	jätevesien käsittelyssä toimipaikalla syntyvät lietteet
02 06 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
02 07	jätteet, jotka syntyvät alkoholijuomien ja alkoholittomien juomien valmistuksessa (lukuun ottamatta kahvin, teen ja kaakaon valmistusta)
02 07 01	raaka-aineiden pesussa ja puhdistuksessa sekä mekaanisessa käsittelyssä syntyvät jätteet
02 07 02	alkoholin tislauSJätteet
02 07 03	kemiallisessa käsittelyssä syntyvät jätteet
02 07 04	kulutukseen tai jalostukseen soveltumattomat aineet
02 07 05	jätevesien käsittelyssä toimipaikalla syntyvät lietteet
02 07 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
03	PUUN KÄSITTELYSSÄ SEKÄ LEVYJEN JA HUONEKALUJEN, MASSAN, PAPERIN JA KARTONGIN VALMISTUKSESSA SYNTYVÄT JÄTTEET
03 01	puun käsittelyssä sekä levyjen ja huonekalujen valmistuksessa syntyvät jätteet
03 01 01	kuori- ja korkkijätteet
03 01 04*	sahajauho, lastut, palaset, puu ja puupohjaiset levyt (kuten lastulevy ja vaneri), jotka sisältävät vaarallisia aineita
03 01 05	muut kuin nimikkeessä 03 01 04 mainitut sahajauho, lastut, palaset, puu ja puupohjaiset levyt (kuten lastulevy ja vaneri)
03 01 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
03 02	puunsuojauksessa syntyvät jätteet
03 02 01*	halogeenittomat orgaaniset puunsuojakemikaalit
03 02 02*	klooratut orgaaniset puunsuojakemikaalit
03 02 03*	organometalliset puunsuojakemikaalit
03 02 04*	epäorgaaniset puunsuojakemikaalit
03 02 05*	muut puunsuojakemikaalit, jotka sisältävät vaarallisia aineita
03 02 99	puunsuojakemikaalit, joita ei ole mainittu muualla
03 03	massojen, paperin ja kartongin valmistuksessa ja jalostuksessa syntyvät jätteet
03 03 01	kuori- ja puujätteet
03 03 02	soodasakka (joka syntyy keittolipeän hyödyntämisessä)
03 03 05	keräyspaperin siistauslietteet
03 03 07	keräyspaperin ja -kartongin pulperoinnissa syntyvät mekaanisesti erotetut jätteet
03 03 08	kierrätykseen tarkoitettujen paperin ja kartongin lajittelussa syntyvät jätteet
03 03 09	meesajäte
03 03 10	mekaanisessa erotuksessa syntyvät kuitujätteet sekä kuitu-, täyteaine- ja päällystysainelietteet
03 03 11	muut kuin nimikkeessä 03 03 10 mainitut, jätevesien käsittelyssä toimipaikalla syntyvät lietteet
03 03 99	jätteet, joita ei ole mainittu muualla
04	NAHKA-, TURKIS- JA TEKSTIILITEOLLISUUDEN JÄTTEET
04 01	nahka- ja turkisteollisuuden jätteet
04 01 01	lihaus-, halkaisu- ja trimmausjätteet
04 01 02	kalkitusjätteet

Liite 4. Turpeen, kivihiilen ja lietteiden ominaisuuksien vertailu

Ominaisuus	Jyrsinturve	Palaturve	Kivihiili (keskiarvo)	Mustalipeä	Bioliete	Siistausliete	Primääriliete	Seosliete*
Kosteus, %	48,5	38,9	10	65–80 % kuiva-aine- pitoisuus	80	< 60	60–70	70
Kalorimetrisen lämpöarvo, MJ/kg	22,1	22,5	28,8	13–15	-	6,9–15,0		
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg	20,9	21,3	27,9	10–13	17,4	8–13		
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg	9,66	11,9	24,8	-	0	2,9	2,3	2,5
Irttoiheys saapumistilassa, kgf-m ³	340	389		-				
Tuhkapitoisuus kuiva-aineessa, %	5,1	4,5	14	-	10	30–60	0,4	10–30
Hiilipitoisuus kuiva- aineessa C, %	52–56	52–56	76–87 (71,5)	35–38	45	25–45	44	45
Vetyttöisyys kuiva-aineessa (H), %	5,0–6,5	5,0–6,5	3,5–5,0 (4,5)	3,5–4,5	6	2,7–5,5	5	5,5
Rikkiäisyys kuiva-aineessa (S), %	0,05–0,3	0,05–0,3	<0,5	3,5–6,0	1,2	0,1–0,3	0,1	0,45
Typpiäisyys kuiva-aineessa (N), %	1,0–3,0	1,0–3,0	0,8–1,5 (1,3)	0,05–0,20	0,4	0,1–0,9	0,4	
Natrium, Na	0,007	0,007	0,012	18–23		0,1–0,3		2–4
Kalium, K	0,02	0,02	0,003	1–6		0,2–0,5		0,6–0,7
Fosfori, P			0,01	0,01			0,02	1,9–2,5
Kloori, Cl, %	0,02–0,06	0,02–0,06	0,10	0,1–2,5	1,5	0,1–0,6	0,5	0,75

* primääri-, bio- ja kuorimolietteen seos. Seoslietteen ominaisuuksiin vaikuttaa biolietteen osuus.

Liite 5. Testiajo 6.7

Päivämäärä 6.7.2016 klo 12.35	Kuiva-aine 27,13 %	Kosteus 72,87 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 12:35	Kuitusavi mukana klo 14:00	Muutos
Savukaasun O2-pitoisuus %	4,78	4,796	0,016
Savukaasun kosteus %	25,264	28,251	2,987
Savukaasun lt savupiippu °C	158,521	160,656	2,135
Päähöyryn paine bar	104,961	105,815	0,854
Päähöyryvirtaus kg / s	21,769	21,774	0,005
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	534,636	531,485	-3,151
Petilämpötilojen keskiarvo °C	845,478	835,634	-9,844
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	925,155	931,858	6,703
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	756,149	800,535	44,386
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	897,047	888,559	-8,488
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	694,697	722,976	28,279
Kiertokaasu virtaus nm3/s	4,179	4,087	-0,092
Kiertokaasun paine mbar	151,097	152,247	1,15
Petipaine mbar	49,726	49,326	-0,4
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	137,195	136,997	-0,198
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	138,89	154,019	15,129
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	45,858	46,905	1,047
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	90,458	78,109	-12,349
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 1h KA	1,616	2,492	0,876
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	119,031	135,029	15,998
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	42,827	45,631	2,804
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	93,505	74,365	-19,14
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 hetkellinen	1,393	1,599	0,206
Sek-ilma imukanava määrä nm3/s	15,317	15,733	0,416
Primäri-ilma määrä imukanava nm3/s	17,109	18,154	1,045
Savukaasun virtaus nm3/s	42,378	45,585	3,207
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0,21	0,64	0,43
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain 1h ennen siltoa	14	0	
Turvesiilon ruuvipurkain	5	1	
Kuorikasa ruuvipurkain 1	0	16	
Kuorikasa ruuvipurkain 2	24	16	

Liite 6. Testiajo 14.7

Päivämäärä 14.7.2016 klo 10.22	Kuiva-aine 18,51 %	Kosteus 81,49 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 10:22	Kuitusavi mukana klo 11:40	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,7	5,157	0,457
Savukaasun kosteus %	24,009	24,612	0,603
Savukaasun lt savupiippu °C	156,704	157,596	0,892
Päähöyrin paine bar	104,844	106,095	1,251
Päähöyrinvirtaus kg / s	19,877	20,054	0,177
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	534,845	536,094	1,249
Petilämpötilojen keskiarvo °C	842,812	836,372	-6,44
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	887,209	923,451	36,242
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	763,327	768,417	5,09
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	831,928	864,599	32,671
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	693,706	687,516	-6,19
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	5,246	5,172	-0,074
Kiertokaasun paine mbar	147,148	144,429	-2,719
Petipaine mbar	50,13	49,404	-0,726
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	131,304	130,694	-0,61
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	113,275	105,458	-7,817
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	46,498	46,767	0,269
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	88,212	83,232	-4,98
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,485	0,514	0,029
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	74,301	92,249	17,948
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	45,573	47,593	2,02
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	95,039	82,901	-12,138
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,265	0,339	0,074
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	15,615	11,976	-3,639
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,669	14,989	0,32
Savukaasun virtaus nm ³ /s	37,354	35,419	-1,935
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain	0	0	
Turvesiilon ruuvipurkain	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1	16	20	
Kuorikasa ruuvipurkain 2	21	18	

Liite 7. Testiajo 24.7

Päivämäärä 24.7.2016 klo 17.12	Kuiva-aine 36,81 %	Kosteus 63,19 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 17:12	Kuitusavi mukana klo 18:30	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,853	4,494	-0,359
Savukaasun kosteus %	24,223	25,067	0,844
Savukaasun lt savupiippu °C	156,733	157,264	0,531
Päähöyrin paine bar	104,907	105,174	0,267
Päähöyrinvirtaus kg / s	18,747	21,417	2,67
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	535,338	535,29	-0,048
Petilämpötilojen keskiarvo °C	841,977	832,217	-9,76
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	897,266	946,937	49,671
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	736,803	762,014	25,211
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	863,153	907,482	44,329
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	669,732	698,792	29,06
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	6,842	4,958	-1,884
Kiertokaasun paine mbar	153,005	146,097	-6,908
Petipaine mbar	50,024	50,098	0,074
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	136,572	132,514	-4,058
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	86,213	98,737	12,524
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	43,095	43,652	0,557
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	92,773	91,449	-1,324
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,383	0,463	0,08
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	61,499	Mittaus vika	
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	42,71	42,181	-0,529
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	93,665	89,51	-4,155
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h hetkellinen	0,257	0,281	0,024
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	14,615	14,956	0,341
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,171	15,076	0,905
Savukaasun virtaus nm ³ /s	35,463	36,477	1,014
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilon ruuvipurkain säätö %	1	4	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	16	24	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	0	21	

Liite 8. Testiajo 2.8

Päivämäärä 2.8.2016 klo 12:40	Kuiva-aine 34,08 %	Kosteus 65,92 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 12:40	Kuitusavi mukana klo 14:45	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,724	4,712	-0,012
Savukaasun kosteus %	24,109	26,032	1,923
Savukaasun lt savupiippu °C	157,699	158,024	0,325
Päähöyryn paine bar	104,75	105,143	0,393
Päähöyryvirtaus kg / s	21,435	20,752	-0,683
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	535,496	534,899	-0,597
Petilämpötilojen keskiarvo °C	844,546	832,169	-12,377
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	944,602	939,123	-5,479
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	764,258	755,201	-9,057
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	897,98	886,801	-11,179
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	699,087	692,008	-7,079
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	5,739	5,07	-0,669
Kiertokaasun paine mbar	143,952	137,301	-6,651
Petipaine mbar	49,647	47,145	-2,502
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	129,831	124,364	-5,467
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	95,952	91,347	-4,605
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	43,029	43,737	0,708
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	81,117	76,645	-4,472
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,472	0,77	0,298
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	63,892	88,975	25,083
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	42,189	42,527	0,338
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	97,644	63,182	-34,462
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h hetkellinen	0,392	0,478	0,086
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	15,932	14,126	-1,806
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,296	15,184	0,888
Savukaasun virtaus nm ³ /s	38,292	39,235	0,943
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilon ruuvipurkain säätö %	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	16	16	

Liite 9. Testiajo 13.8

Päivämäärä 13.8.2016 klo 14:52	Kuiva-aine 34,08 %	Kosteus 65,92 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 14:52	Kuitusavi mukana klo 16:05	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,994	4,528	-0,466
Savukaasun kosteus %	21,941	23,136	1,195
Savukaasun lt savupiippu °C	155,627	154,579	-1,048
Päähöyrin paine bar	104,974	105,15	0,176
Päähöyrinvirtaus kg / s	20,328	20,05	-0,278
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	525,5	525,745	0,245
Petilämpötilojen keskiarvo °C	842,626	831,101	-11,525
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	977,656	968,068	-9,588
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	753,85	743,07	-10,78
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	929,82	914,467	-15,353
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	692,077	685,664	-6,413
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	6,886	6,525	-0,361
Kiertokaasun paine mbar	148,786	143,614	-5,172
Petipaine mbar	50,779	49,439	-1,34
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	133,133	128,187	-4,946
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	131,404	146,594	15,19
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	41,943	42,67	0,727
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	131,005	126,026	-4,979
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,233	0,231	-0,002
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	104,204	173,991	69,787
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	40,833	40,944	0,111
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	146,193	108,969	-37,224
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,168	0,167	-0,001
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	12,114	11,648	-0,466
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,111	14,407	0,296
Savukaasun virtaus nm ³ /s	33,307	33,486	0,179
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Pois päältä	Pois päältä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	1	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	30	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	16	0	

Liite 10. Testiajo 15.8

Päivämäärä 15.8.2016 klo 08:05	Kuiva-aine 24,3 %	Kosteus 75,7 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 08:05	Kuitusavi mukana klo 10:15	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,371	4,006	-0,365
Savukaasun kosteus %	22,669	25,082	2,413
Savukaasun lt savupiippu °C	158,901	157,531	-1,37
Päähöyrin paine bar	105,01	105,24	0,23
Päähöyrinvirtaus kg / s	21,755	22,971	1,216
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	523,032	525,505	2,473
Petilämpötilojen keskiarvo °C	842,051	830,268	-11,783
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	940,281	972,138	31,857
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	745,398	768,489	23,091
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	893,314	926,933	33,619
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	681,645	709,579	27,934
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	6,844	4,873	-1,971
Kiertokaasun paine mbar	149,831	142,278	-7,553
Petipaine mbar	49,343	50,582	1,239
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	135,637	127,625	-8,012
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	137,212	129,29	-7,922
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	45,312	46,336	1,024
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	133,181	127,913	-5,268
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,257	0,323	0,066
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	81,006	127,594	46,588
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	42,86	42,459	-0,401
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h hetkellinen	138,807	119,251	-19,556
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,173	0,248	0,075
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	13,477	16,989	3,512
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,046	15,33	1,284
Savukaasun virtaus nm ³ /s	37,93	39,306	1,376
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	1	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	16	38	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	0	0	

Liite 11. Testiajo 21.8

Päivämäärä 21.8.2016 klo 16:03	Kuiva-aine 24,19 %	Kosteus 75,81 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 16:03	Kuitusavi mukana klo 17:31	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,821	4,651	-0,17
Savukaasun kosteus %	22,603	23,611	1,008
Savukaasun lt savupiippu °C	158,144	158,144	0
Päähöyryn paine bar	104,983	104,906	-0,077
Päähöyryvirtaus kg / s	19,219	19,066	-0,153
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	535,102	535,094	-0,008
Petilämpötilojen keskiarvo °C	839,838	832,992	-6,846
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	973,105	973,485	0,38
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	752,251	753,181	0,93
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	921,499	921,056	-0,443
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	688,922	691,553	2,631
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	4,27	3,472	-0,798
Kiertokaasun paine mbar	141,958	138,675	-3,283
Petipaine mbar	49,656	49,844	0,188
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	128,609	126,1	-2,509
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	76,385	74,056	-2,329
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	43,541	44,05	0,509
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	158,089	152,321	-5,768
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,205	0,241	0,036
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	65,303	86,893	21,59
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	42,051	41,93	-0,121
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	159,699	139,186	-20,513
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,146	0,199	
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	11,502	11,893	0,391
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	15,299	15,573	0,274
Savukaasun virtaus nm ³ /s	33,037	33,547	0,51
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimäiset ryöstöruuvit päällä	Pois päältä	Pois päältä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	10	10	
Turvesiilon ruuvipurkain säätö %	0	1	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	16	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	16	16	

Liite 12. Testiajo 25.8

Päivämäärä 25.8.2016 klo 10:00	Kuiva-aine 33,94 %	Kosteus 66,06 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 10:00	Kuitusavi mukana klo 12:13	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,886	4,566	-0,32
Savukaasun kosteus %	23,236	23,84	0,604
Savukaasun lt savupiippu °C	157,436	159,609	2,173
Päähöyryn paine bar	104,892	105,129	0,237
Päähöyryvirtaus kg / s	18,347	18,092	-0,255
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	534,228	525,087	-9,141
Petilämpötilojen keskiarvo °C	839,438	833,273	-6,165
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	920,416	888,619	-31,797
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	743,719	736,59	-7,129
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	866,493	848,841	-17,652
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	671,229	659,456	-11,773
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	6,541	7,562	1,021
Kiertokaasun paine mbar	151,216	155,086	3,87
Petipaine mbar	49,601	50,122	0,521
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	134,908	138,816	3,908
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	85,245	86,029	0,784
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	44,303	44,666	0,363
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	107,263	83,643	-23,62
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,299	0,363	0,064
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	71,574	91,819	20,245
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	42,681	42,405	-0,276
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h hetkellinen	121,344	88,211	-33,133
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,174	0,307	0,133
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	11,937	12,877	0,94
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,043	13,829	-0,214
Savukaasun virtaus nm ³ /s	33,215	35,343	2,128
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Kyllä	Petilämpöjen notkahdus
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Ei	Kyllä	Petilämpöjen Nousu
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	16	16	

Liite 13. Testiajo 30.8

Päivämäärä 30.8.2016 klo 13:40	Kuiva-aine 29,5 %	Kosteus 70,5 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 13:40	Kuitusavi mukana klo 14:29	Muutos
Savukaasun O2-pitoisuus %	5,156	4,888	-0,268
Savukaasun kosteus %	22,29	22,135	-0,155
Savukaasun lt savupiippu °C	157,265	157,265	0
Päähöyryn paine bar	105,066	105,088	0,022
Päähöyryvirtaus kg / s	18,354	18,45	0,096
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	533,397	535,836	2,439
Petilämpötilojen keskiarvo °C	847,507	824,742	-22,765
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	896,1	886,696	-9,404
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	733,499	730,495	-3,004
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	846,641	846,897	0,256
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	657,699	664,967	7,268
Kiertokaasu virtaus nm3/s	8,107	7,343	-0,764
Kiertokaasun paine mbar	156,578	153,352	-3,226
Petipaine mbar	50,47	49,419	-1,051
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	140,092	136,776	-3,316
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	83,966	85,787	1,821
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	43,821	43,159	-0,662
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	95,827	94,468	-1,359
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 1h KA	0,448	0,385	-0,063
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	73,489	93,736	20,247
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	42,254	40,652	-1,602
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h hetkellinen	95,816	64,111	-31,705
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 hetkellinen	0,229	0,22	-0,009
Sek-ilma imukanava määrä nm3/s	12,469	11,91	-0,559
Primäri-ilma määrä imukanava nm3/s	13,655	13,606	-0,049
Savukaasun virtaus nm3/s	32,895	33,608	0,713
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	20	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	0	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	19	16	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	0	0	

Liite 14. Kuormitustesti 19.7

Päivämäärä 19.7.2016 klo 16:06	Kuiva-aine 31,92 %	Kosteus 68,08 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 16:06	Kuitusavi mukana klo 18:07	Muutos
Savukaasun O2-pitoisuus %	4,672	4,362	-0,31
Savukaasun kosteus %	22,943	24,838	1,895
Savukaasun lt savupiippu °C	158,369	159,159	0,79
Päähöyrin paine bar	104,632	105,27	0,638
Päähöyrinvirtaus kg / s	19,703	18,838	-0,865
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	532,641	535,619	2,978
Petilämpötilojen keskiarvo °C	840,526	811,392	-29,134
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	894,268	917,559	23,291
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	749,118	736,596	-12,522
Tulipesä lt ylasek.tas vas °C	849,401	875,311	25,91
Tulipesä lt ylasek.tas oik °C	679,021	669,426	-9,595
Kiertokaasu virtaus nm3/s	6,496	4,552	-1,944
Kiertokaasun paine mbar	151,716	142,638	-9,078
Petipaine mbar	50,341	50,45	0,109
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	135,5	126,609	-8,891
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	101,994	78,369	-23,625
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	43,666	44,591	0,925
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	87,039	97,918	10,879
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 1h KA	0,409	0,722	0,313
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	115,479	167,02	51,541
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	41,574	42,058	0,484
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h hetkellinen	81,314	68,146	-13,168
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 hetkellinen	0,278	0,449	0,171
Sek-ilma imukanava määrä nm3/s	14,742	11,109	-3,633
Primäri-ilma määrä imukanava nm3/s	14,396	15,75	1,354
Savukaasun virtaus nm3/s	35,798	35,505	-0,293
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	Ei	Ei	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	5	5	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	33	33	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	Ei	Ei	

Liite 15. Kuormitustesti 9.8

Päivämäärä 9.8.2016 klo 17:13	Kuiva-aine 36,94 %	Kosteus 63,06 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 17:13	Kuitusavi mukana klo 18:53	Muutos
Savukaasun O ₂ -pitoisuus %	4,983	4,181	-0,802
Savukaasun kosteus %	21,926	23,809	1,883
Savukaasun lt savupiippu °C	156,288	156,288	0
Päähöyryn paine bar	104,837	105,024	0,187
Päähöyryvirtaus kg / s	20,902	21,327	0,425
Höyryn lt 3-tulistimen jälk °C	535,682	536,733	1,051
Petilämpötilojen keskiarvo °C	839,013	822,434	-16,579
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	982,984	988,248	5,264
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	774,894	775,071	0,177
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	944,916	945,804	0,888
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	715,106	716,49	1,384
Kiertokaasu virtaus nm ³ /s	4,702	3,083	-1,619
Kiertokaasun paine mbar	144,173	137,438	-6,735
Petipaine mbar	49,426	49,626	0,2
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	130,236	124,17	-6,066
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	167,639	140,543	-27,096
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	41,762	42,911	1,149
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h KA	114,039	120,288	6,249
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ 1h KA	0,356	0,428	0,072
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	120,126	171,675	51,549
SO ₂ -pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ hetkellinen	40,703	40,835	0,132
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m ³ 1h hetkellinen	120,722	107,259	-13,463
Hiukkaset-pit kuiva mg/m ³ hetkellinen	0,187	0,301	0,114
Sek-ilma imukanava määrä nm ³ /s	13,398	14,512	1,114
Primäri-ilma määrä imukanava nm ³ /s	14,948	16,565	1,617
Savukaasun virtaus nm ³ /s	36,121	38,098	1,977
Nuohoushöyryn virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimmäiset ryöstöruuvit päällä	Pois päältä	Pois päältä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	minimi	minimi	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	19	19	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	0	0	

Liite 16. Kuormitustesti 6.11

Päivämäärä 6.11.2016 klo 13:03	Kuiva-aine 35,88 %	Kosteus 64,12 %	
Seurattavat:	Lähtötilanne klo 13:03	Kuitusavi mukana klo 13:37	Muutos
Savukaasun O2-pitoisuus %	3,456	3,731	0,275
Savukaasun kosteus %	25,628	25,612	-0,016
Savukaasun lt savupiippu °C	154,788	154,628	-0,16
Päähöyrin paine bar	106,26	104,54	-1,72
Päähöyrinvirtaus kg / s	28,909	30,016	1,107
Höyrin lt 3-tulistimen jälk °C	530,772	537,351	6,579
Petilämpötilojen keskiarvo °C	834,664	823,436	-11,228
Tulipesä lt alasek.tas vas °C	970,896	985,512	14,616
Tulipesä lt alasek.tas oik °C	827,446	828,33	0,884
Tulipesä lt yläsek.tas vas °C	896,969	898,001	1,032
Tulipesä lt yläsek.tas oik °C	740,521	739,749	-0,772
Kiertokaasu virtaus nm3/s	3,446	2,85	-0,596
Kiertokaasun paine mbar	152,251	159,536	7,285
Petipaine mbar	48,933	49,359	0,426
Primäri-ilma arinan alla takas mbar	139,083	146,328	7,245
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	Mittaus ei toiminnassa		
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	Mittaus ei toiminnassa		
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h KA	Mittaus ei toiminnassa		
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 1h KA	Mittaus ei toiminnassa		
CO-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	Mittaus ei toiminnassa		
SO2-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 hetkellinen	57,678	46,841	-10,837
Nox-pit kuiva redusoitu 6% mg/m3 1h hetkellinen	94,179	95,175	0,996
Hiukkaset-pit kuiva mg/m3 hetkellinen	0,256	0,827	0,571
Sek-ilma imukanava määrä nm3/s	15,507	19,33	3,823
Primäri-ilma määrä imukanava nm3/s	17,342	18,764	1,422
Savukaasun virtaus nm3/s	43,596	48,394	4,798
Nuohoushöyrin virtaus kg/s	0	0	0
Hiekkaa tulipesään	Ei	Ei	Ei muutosta
Keskimäiset ryöstöruuvit päällä	Päällä	Päällä	Ei muutosta
Metsähake ruuvipurkain säätö %	0	0	
Turvesiilo ruuvipurkain säätö %	4	0	
Kuorikasa ruuvipurkain 1 säätö %	16	16	
Kuorikasa ruuvipurkain 2 säätö %	0	0	