Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka / Koneautomaatio

2019

Lauri Lavonen

BIOPOLTTOAINEEN LAADUN VAIKUTUS POLTTOPROSESSIIN

TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Koneautomaatiotekniikka

2019 | 38 sivua, 2 liitesivua

Lauri Lavonen

BIOPOLTTOAINEEN LAADUN VAIKUTUS POLTTOPROSESSIIN

Turun Seudun Energiantuotanto Oy rakennutti Naantaliin uuden monipolttoainevoimalaitoksen. Vanhojen kivihiilivoimalaitosten rinnalle rakennetulla laitoksella käytetään polttoaineena kivihiiltä ja biomassaa. Yhtenä tärkeänä osana uutta biopolttoainejärjestelmää on biomassan laaduntarkkailu. Biopolttoaineen vastaanottoasemalle on asennettu koneellinen näytteenottokaruselli. Karuselliin kertyneet näytteet käsitellään vastaanottoaseman laboratoriotilassa, jossa ne punnitaan, kuivataan uunissa ja punnitaan toistamiseen haihtuneen kosteuden määrittämiseksi.

Laadun analysoinnin tehostamiseksi laitokselle asennettiin röntgenlaitteita osana EU-rahoitteista kehitysprojektia (OPTIFUEL 733664). Röntgenlaitteilla biomassasta voidaan mitataan kosteus- ja vierasainepitoisuudet reaaliaikaisesti liikkuvalta polttoainekuljettimelta. Reaaliaikainen mittaus mahdollistaa myös kattilaan menevän biomassan analysoinnin, joten yksi röntgenlaite asennettiin varastoinnin jälkeiselle kuljettimelle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voiko reaaliaikaista kosteusanalyysiä käyttää ennakoivasti apuna kattilan polttoprosessin ohjauksessa. Valmetin (2016) tarjoamiin uuden voimalaitoksen koulutusmateriaaleihin perehdyttäessä todettiin, että kosteus vaikuttaa ennen kaikkea kiertoleijukattilan peti- ja tulipesälämpötiloihin. Kostea polttoaine aiheuttaa myös enemmän savukaasuja.

Opinnäytetyöhön sisältyi uuden röntgenlaitteen kalibrointi. Kalibrointivaiheessa polttoaineesta otettiin lukuisia käsinäytteitä useamman kuukauden ajalta. Näytteiden kosteudet määritettiin uunikuivausmenetelmällä, ja niitä verrattiin sen hetkisiin röntgentuloksiin. Tulosten perusteella laitteiden toimittaja, Inray Oy, teki tarvittavia säätöjä röntgenanalyysin korjaamiseksi.

Kun röntgenlaite saatiin kalibroitua riittävän tarkaksi, siirryttiin tutkimaan kosteusvaihteluista aiheutuvia muutoksia kattilan polttoprosessissa. Muutoksia ja niiden aiheuttajia etsittiin röntgenanalyysistä, pedin ja savukaasujen lämpötilamittauksista sekä savukaasujen vesihöyrypitoisuudesta savupiipussa. Historiatrendien avulla lämpötilan laskuja ja vesihöyrypitoisuuden nousuja havaittiin, joskin ne olivat todella harvinaisia ja vähäisiä. Verrattaessa löydettyjä muuttujia edeltävän ajan röntgenanalyyseihin, ei niissä nähty selvää syytä aiheutuneille kattilamuutoksille. Merkittäviä kosteusvaihteluita ei löydetty myöskään röntgenlaitteen analyysiä tarkasteltaessa.

Opinnäytetyön johtopäätöksenä todettiin, että reaaliaikaisesta kosteusmittauksesta ei tässä tapauksessa saada hyötyä kattilan polttoprosessin ohjauksen tueksi. Suurin tekijä biopolttoaineen kosteuden tasaisuudelle on onnistunut varastointijärjestelmä.

ASIASANAT:

Kiertoleijukattila, biopolttoaine, röntgenteknologia

BACHELOR´S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Machineautomation

2019 | 38 pages, 2 pages in appendices

Lauri Lavonen

IMPACT OF THE QUALITY OF BIOFUEL ON THE COMBUSTION PROCESS

Turun Seudun Energiantuotanto Oy built a new multi-fuel power plant in Naantali. It was constructed next to their old coal power plants. Renewable biofuel is used as the main fuel, but coal is needed as a back-up fuel. One crucial part of the new biofuel system is to be able to analyze the quality of the biomass effectively. For that reason, three X-Ray measurement systems were brought to the plant as a part of EU funded project (OPTIFUEL 733664) to increase the performance of analyzing biomasses. The water contained in the fuel lowers the calorific value of the fuel. It leads to a reduction in the boiler bed and fire box temperatures. Wet fuel also causes more flue gases. Two of those X-ray measurement systems were placed in the biofuel receiving station and one was placed on the conveyor, which is located after warehousing and leads to the boiler plant.

The main purpose of this thesis was to find out whether it is possible to predict the temperature changes in the boiler by the X-ray real-time analysis. The thesis was partly done with Inray Oy that supplied the X-rays. The first part of the thesis focused on calibrating the new X-ray. The calibration was performed by taking hand samples which then had to be dried in the oven. The samples were weighed before and after the drying so it was possible to calculate the moisture percentage of the sample. Then the data was recorded in the Inray database with the exact sampling time. The computer made a comparison for the X-ray analysis at the same time and then the Inray programmer was able to adjust the X-ray settings. The testing took several months while samples were taken one or two days a week.

When the X-ray unit was calibrated close enough compared to the sampling results, it was time to view the changes in the boiler. Changes caused by moisture fluctuations were searched for temperature measurements of bed and flue gases and water vapor content of flue gases. Only a few little changes were found from history trends. Comparing them to X-ray analyses from before, there were no marks of moisture variation. In general, no significant moisture variations were found in X-ray analyses.

The conclusion was that the fuel moisture had leveled out during warehousing and there was no need for an online measuring of the fuel.

KEYWORDS:

Circulating fluidized bed boiler, biofuels, X-ray technology

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO **7**

1 JOHDANTO **8**

2 NA4 CHP –LAITOKSEN ESITTELY **9**

2.1 Biopolttoaineen toimitus- ja kuljetinjärjestelmät 9

2.1.1 Biopolttoaineen vastaanottoasema 10

2.1.2 Seulomo 10

2.1.3 A-lato 10

2.2 CYMIC™-kattilalaitos 12

2.2.1 Kiertoleijutekniikka 12

2.2.2 Polttoaineensyöttöjärjestelmä 14

2.2.3 Savukaasut ja päästöjen hallinta 15

3 BIOPOLTTOAINEET JA KIVIHIILI **16**

3.1 Polttoaineiden lämpöarvo ja lajikkeet 17

3.1.1 Metsätähdehake 18

3.1.2 Rankahake 18

3.1.3 Kuori 19

3.1.4 Sahanpuru 19

3.1.5 Turve 19

3.1.6 Kivihiili 20

3.2 Biomassojen haitalliset ominaisuudet 20

3.3 Polttoainehiukkasen palotapahtuma 21

3.4 Seospoltto 22

4 BIOPOLTTOAINEEN KOSTEUS **23**

4.1 Kosteuden vaikutus polttoprosessiin 23

4.2 Biopolttoaineen kosteusmittaussovellukset NA4 CHP -laitoksella 23

4.2.1 Inray Oy 24

4.2.2 Röntgenteknologia biomassan kosteusmittauksessa 24

4.3 Röntgenlaitteen kalibrointi 25

4.3.1 Käsinäytteenotto 26

4.3.2 Uunikuivausmenetelmä 26

4.3.3 Röntgenlaitteen viritys 26

5 RÖNTGENANALYYSI POLTTOPROSESSIN OHJAUKSEN TUKENA **28**
5.1 Havaitut muutokset polttoprosessissa 28
5.2 Kosteusvaihtelut harvassa 31

6 JOHTOPÄÄTÖKSET **34**
6.1 A-lato 34
6.2 Röntgenlaitteen siirto sataman biokuljettimelle 35

7 YHTEENVETO **36**

LÄHTEET **37**

LIITTEET

Liite 1. Polttoprosessissa havaittu lämpötilan muutos

KUVAT

Kuva 1. A-ladon purku tapahtuu kahdella porkkanaruuvilla (Raumaster 2018). 11
Kuva 2. Valmetin toimittama kattilakokonaisuus (Valmet 2016). 12
Kuva 3. Kattilakierto (Valmet 2018). 13
Kuva 4. Polttoaineensyöttöjärjestelmä valvomon näyttökuvassa. 15
Kuva 5. Puun koostumus (Alakangas ym. 2016, 55). 16
Kuva 6. Kuvassa rankahake, turve ja metsätähdehake. 19
Kuva 7. Röntgenputki suojakoteloineen asennettuna Naantalin voimalaitoksen kuljetinjärjestelmiin. 25
Kuva 8. Muutoksia leijupedin lämpötiloissa. 29
Kuva 9. Muutoksia savukaasumittauksissa. Savukaasujen lämpötila ennen syklonia ja H_2O-pitoisuus piipussa. 29
Kuva 10. Röntgenin eräkohtaiset keskiarvo kosteudet lämpötilamuutoksia edeltävältä ajalta. 29
Kuva 11. Röntgenin antama kosteusprosentti edeltävältä ajalta, korkein arvo 56,23% ja matalin 53,5%, keskiarvo 55,1%. 30
Kuva 12. 51,66–55,87%, keskiarvo 54%. 30
Kuva 13. 53,11–56,63%, keskiarvo 55,4%. 30
Kuva 14. Käsinäytteenotolla ja uunikuivausmenetelmällä mitattuja kosteusprosentteja joulukuussa 2017. 32
Kuva 15. Käsinäytteenoton ja uunikuivausmenetelmän tuloksia tammikuulta 2018. 32
Kuva 16. Tuloksia helmikuulta 2018. 33
Kuva 17. Tuloksia huhtikuulta 2018. 33
Kuva 18. Käsinäytteiden ja röntgenanalyysin vertailu huhtikuussa 2018. Eroa noin 2–4 %. 34
Kuva 19. Jakokuljettimen ansiosta polttoaineen kosteusvaihtelut tasoittuvat varastoinnin aikana. 35

TAULUKOT

Taulukko 1. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Naantalin voimalaitoksella käytetyimpien biopolttoaineiden lämpöarvot kuiva-aineessa ja kunkin lajikkeen tavallisessa saapumistilassa. Taulukkoon on otettu vertailukohdaksi myös jyrsinturve ja kivihiili. (Alakangas ym. 2016, 205). 18
Taulukko 2. Biomassojen haitat kattilalaitoksella (Valmet 2018). 21

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

TSE	Turun Seudun Energiantuotanto Oy
NA4	Naantalin 4. voimalaitosyksikkö
CHP	Combined heat & power
CFB	Kiertoleijukattila (Circulating fluidized bed boiler)
CYMIC	Cylindrical Multi-Inlet Cyclone
Meribio	Meriteitse tuotava biopolttoaine
A-Lato	Aumakattoinen biopolttoainevarasto

1 JOHDANTO

Energiantuotanto maapallolla on ottanut vahvan suunnan kohti vähäpäästöisempää tulevaisuutta. Fossiilisista polttoaineista pyritään pääsemään kokonaan eroon, ja uusiutuvien energianlähteiden käyttö on lisääntynyt voimakkaasti. Tähän on reagoitu myös Naantalissa, minne Turun Seudun Energiantuotanto Oy (TSE) rakennutti NA4 CHP -monipolttoainevoimalaitoksen. Alueella on entuudestaan kolme kivihiilellä toimivaa voimalaitosta, joten sijoituspaikka ja lähtökohdat hankkeelle olivat otolliset. NA4:n polttoaineena käytetään biomassaa ja kivihiiltä. Uuden biopolttoainejärjestelmän yhtenä tärkeänä osana on biomassan kosteusmittaus. Polttoaineen vastaanottoon on asennettu koneellinen näytteenotin, mutta sen lisäksi laitokselle on asennettu kolme röntgenlaitteistoa osana EU-rahoitteista OPTIFUEL 733644-kehitysprojektia, jotka mittaavat biopolttoaineen kosteuden reaaliaikaisesti. Röntgeneistä kaksi on sijoitettu vastaanottoon ja yksi biomassan varastoinnin jälkeiselle, päiväsiiloihin vievälle hihnakuljettimelle. Biopolttoaineissa esiintyvät kosteusvaihtelut ovat tavallisia. Ne aiheuttavat kattilassa haitallisia lämpötilamuutoksia, jotka johtavat myös savukaasujen lisääntymiseen. (Valmet 2018.)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, voiko reaaliaikaista kosteusanalyysiä käyttää ennakoivasti polttoprosessin ohjauksen tukena. Opinnäytetyöhön sisältyy myös röntgenlaitteen kalibrointi, joka suoritetaan yhteistyössä laitteet toimittaneen Inray Oy:n kanssa. Kirjallisessa osuudessa esitellään röntgenlaitteen kalibrointiprosessi ja tutkimukset online-kosteusmittauksen käytettävyydestä kattilan ohjauksessa. Luvussa 2 esitellään uuden laitoksen toiminta ja sen osa-alueet. Seuraavaksi käsitellään laitoksella eniten käytettävien polttoainelajikkeiden ominaisuuksia, ennen kuin siirrytään biopolttoaineiden sisältämän kosteuden vaikutuksiin.

Lähdeaineistoja tutkittaessa huomattiin, että kosteudella on merkittävä vaikutus polttoaineen lämpöarvoon. Vaikka kiertoleijukattilan ominaisuuksiin kuuluu erinomainen polttoainevaihtelevuuden kesto, on tärkeää tuntea käytettävän polttoaineen yksityiskohdat. Lähteinä tässä työssä käytettiin pääasiassa Valmetin toimittamaa uuden laitoksen koulutusmateriaalia ja VTT:n julkaisua ”Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia”.

Opinnäytetyön on tilannut Naantalin voimalaitoksen käytöstä ja kunnossapidosta vastaava Fortum Power & Heat Oy.

2 NA4 CHP –LAITOKSEN ESITTELY

Huhtikuussa 2014 TSE:n yhtiökokous päätti uuden voimalaitosyksikön investoinnista Naantaliin. Hankkeen suunnittelu ja rakennustyöt suoritettiin allianssimallilla, jota varten muodostettiin organisaatio alan toimijoista. Laitoksella käytettävien polttoaineiden kirjo on laaja, sillä polttoaineena käy useat erilaiset biomassat, kivihiili ja jalostamokaasu. Hankkeen suunnitteluvaiheessa biopolttoaineosuuden tavoitteeksi asetettiin 60 %. Toistaiseksi biopolttoaine tarvitsee rinnalleen kivihiilen, jota poltetaan yhdessä biomassan kanssa. Valmetin toimittaman uuden kattilatekniikan ja pienten lisäinvestointien ansiosta voidaan laitosta ajaa tulevaisuudessa täysin uusiutuvin energiavaroin. Markkinoiden uusimpia sovelluksia ja tekniikkaa sisältävä laitos yltää jopa 92 %:n hyötysuhteeseen 430 MW:n polttoainetehosta. 250 MW:n lämmönjakelusta hyötyvät Turun seudun kaukolämpöasiakkaat ja lähiteollisuuden prosessihöyryasiakkaat. Sähköä laitos tuottaa 146 MW. (Turun Seudun Energiantuotanto Oy 2018.)

2.1 Biopolttoaineen toimitus- ja kuljetinjärjestelmät

Naantalin voimalaitoksella käytettävä biopolttoaine hankitaan toistaiseksi pääasiassa lähialueelta, ja se tuodaan polttoaineen vastaanottoon rekkatoimituksin. Loppuvuodesta 2017 TSE investoi kuljetinjärjestelmään, joka mahdollistaa biomassan tuonnin myös laivoilla. Laivatoimitusten on määrä alkaa vuoden 2018 loppuun mennessä. Seulomo- ja kuljetinjärjestelmät maa- ja meriteitse tuotaville kuormille ovat erillään, mutta ne ovat samankaltaisia ja yhdistyvät biopolttoaineen varastoinnin yhteydessä. Opinnäytetyön aikana käytössä on ollut ainoastaan rekkatoimituksiin luotu järjestelmä, joka koostuu polttoaineen vastaanotosta, seulomosta ja auma-ladosta kuljettimineen sekä biopolttoaineen päiväsiiloista. Laitoksella kuluu biopolttoainetta päivän aikana teho-osuudesta ja tuotantokuormasta riippuen noin 3000–5500 m^3. Tämä tarkoittaa sitä, että autokuormia tulee vuorokauden aikana noin 50–70, joten biopolttoaineen vastaanoton ja kuljetinjärjestelmien on toimittava jouhevasti.

2.1.1 Biopolttoaineen vastaanottoasema

Biopolttoaineen vastaanottoasemalla on kolme linjaa, jossa rekat purkavat kuormansa. Purku tapahtuu pudottamalla biomassa monttuun, josta kuljetinjärjestelmä siirtää sen eteenpäin kohti seulomoa. Vastaanottoasemalla on koneellinen näytteenottojärjestelmä sekä laboratoriotila, jossa suoritetaan näytteiden kosteusmittaukset. Vastaanottoasema on miehitettynä ympäri vuorokauden, ja henkilökunnan toimenkuvaan kuuluu aseman valvonta sekä näytteiden kosteusmittaus.

2.1.2 Seulomo

Seulomorakennus on oma kokonaisuutensa vastaanottoaseman läheisyydessä. Kolakuljettimilla seulomoon tuleva biopolttoaine ajetaan rakennuksen yläosaan, jossa se jakautuu kahdelle seulontalinjalle. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa biomassa kohtaa karkean seulan. Hammaspyöriä muistuttavat seulakiekot erottelevat ylisuuret kappaleet ylitelavalle ja hyväksytty polttoainejae siirtyy raudanerotushihnakuljettimelle. Kuljettimen yläpuolelle on asennettu magneetti, joka poistaa rautaesineet polttoaineen joukosta. Lisäksi kuljettimella on rajakytkin, joka vahtii ylisuurien kappaleiden esiintymistä. Rajan aktivoituessa hihna vaihtaa suuntaa ja pudottaa hihnalla olevan polttoaineen murskaimeen. Kun ylisuuri kappale on ajettu murskaimeen, hihnan suunta palautuu normaaliksi. Raudanerotushihnakuljettimen pyöriessä normaaliin suuntaan, ajaa se polttoaineen manuaalisen jakoläpän kautta seuraavaksi kiekkoseulalle. Kiekkoseulan toimintaperiaate on lähes samanlainen kuin karkealla seulalla. Ainoa eroavaisuus on se, että hyväksytty polttoainejae on paljon hienojakoisempaa. Ylisuuret kappaleet pomppivat seulakiekkojen päällä kulkeutuen murskaimeen. Seulan läpäisevä materiaali putoaa suoraan varastoon vievälle kuljettimelle, johon myös murskaimen jälkituote liittyy. Jakoläpän avulla kiekkoseula ja murskain voidaan tarvittaessa ohittaa. (Raumaster Oy 2017.)

2.1.3 A-lato

Seulomon jälkeen biopolttoaine ajetaan hihnakuljettimilla A-latoon. 120 metriä pitkä biopolttoainevarasto on saanut nimensä A-kirjainta muistuttavasta muodostaan. Aumakattoisen ladon varastointikapasiteetti on 15 000 m³ (Turun Seudun Energiantuotanto Oy 2018). Seulomosta nouseva kuljetin tuo polttoaineen A-ladon yläosaan, josta se yhden

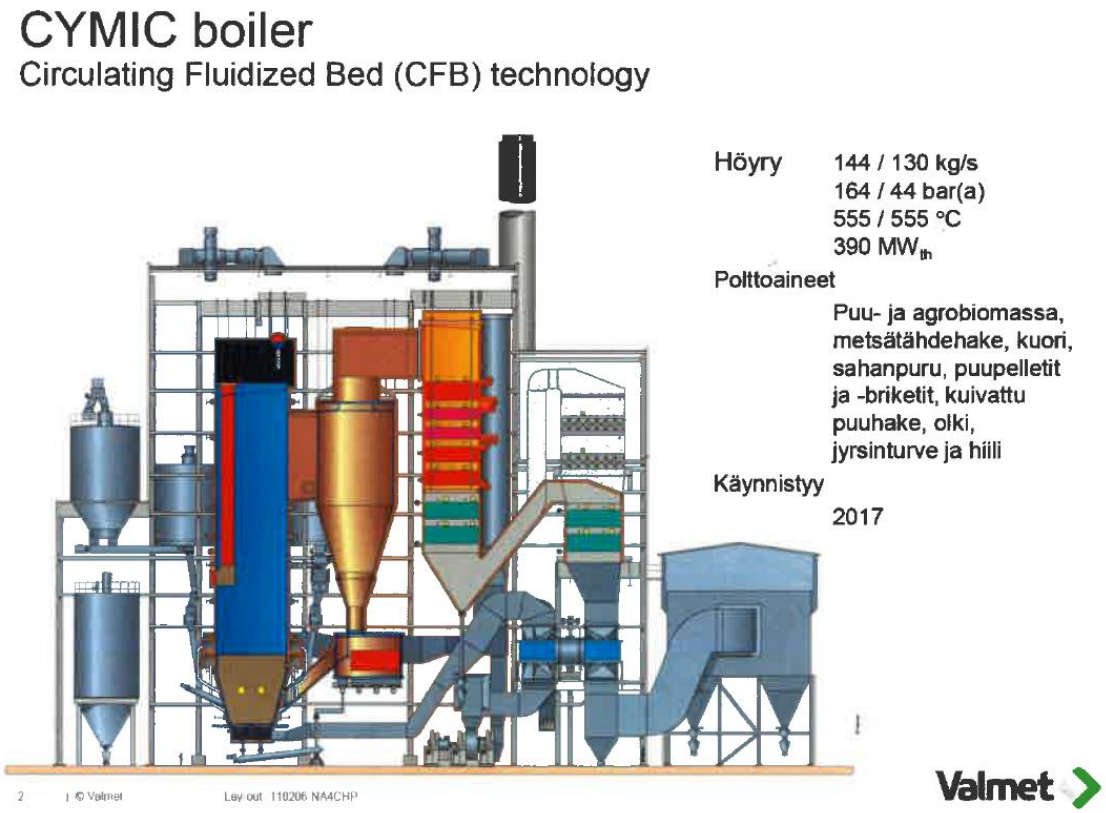
välikuljettimen avulla siirretään ladon pitkittäissuunnassa olevalle jakokuljettimelle. Jakohihnan tärkein tehtävä on jakaa biopolttoaine tasaisesti varaston pohjapinta-alalle. Tasaisen jaon aikaansaamiseksi jakohihna on asennettu moottorilla varustettuun kelkkaan, jota voidaan liikuttaa ladon päädystä päätyyn. Noin 60 metriä pitkä jakokuljetin on taajuusmuuttajaohjattu ja sitä voidaan ajaa molempiin suuntiin, jotta polttoaine saadaan pudotettua koko varaston mitalle.

A-ladon tyhjennys kattilalaitokseen vievälle kuljettimelle tapahtuu ladon ja polttoainekerroksen alaosasta. Kiskoille asennetut kaksi porkkana- eli purkuruuvia vetävät polttoainetta puoleensa ja biomassa putoaa ruuvien sekä niitä pyörittävien moottoreiden välissä olevalle hihnakuljettimelle. (Kuva 1.) Purkuruuvit liikkuvat niin ikään koko varaston pituudella. A-ladosta lähtevä biopolttoainesekoitus ajetaan seuraavaksi päiväsiiloihin.

Kuva 1. A-ladon purku tapahtuu kahdella porkkanaruuvilla (Raumaster 2018).

2.2 CYMIC™-kattilalaitos

Valmetin toimittama CFB-kattila (kuva 2) hyödyntää kiertoleijuteknologiaa, joka mahdollistaa usean eri polttoaineen käyttämisen samanaikaisesti ja vaihtuvilla seossuhteilla (Valmet 2016). Tulipesässä on primääri-ilmalla leijutettava hiekkapeti. Suuren lämpökapasiteetin omaava peti tasoittaa polttoaineen kosteusvaihteluista aiheutuvia lämpötilamuutoksia ja pitää palotapahtuman stabiilina. Kiertoleijutekniikan vahvuuksiin lukeutuu myös erinomainen hyötysuhde ja vähäiset ympäristöpäästöt. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 1997, 143–149).

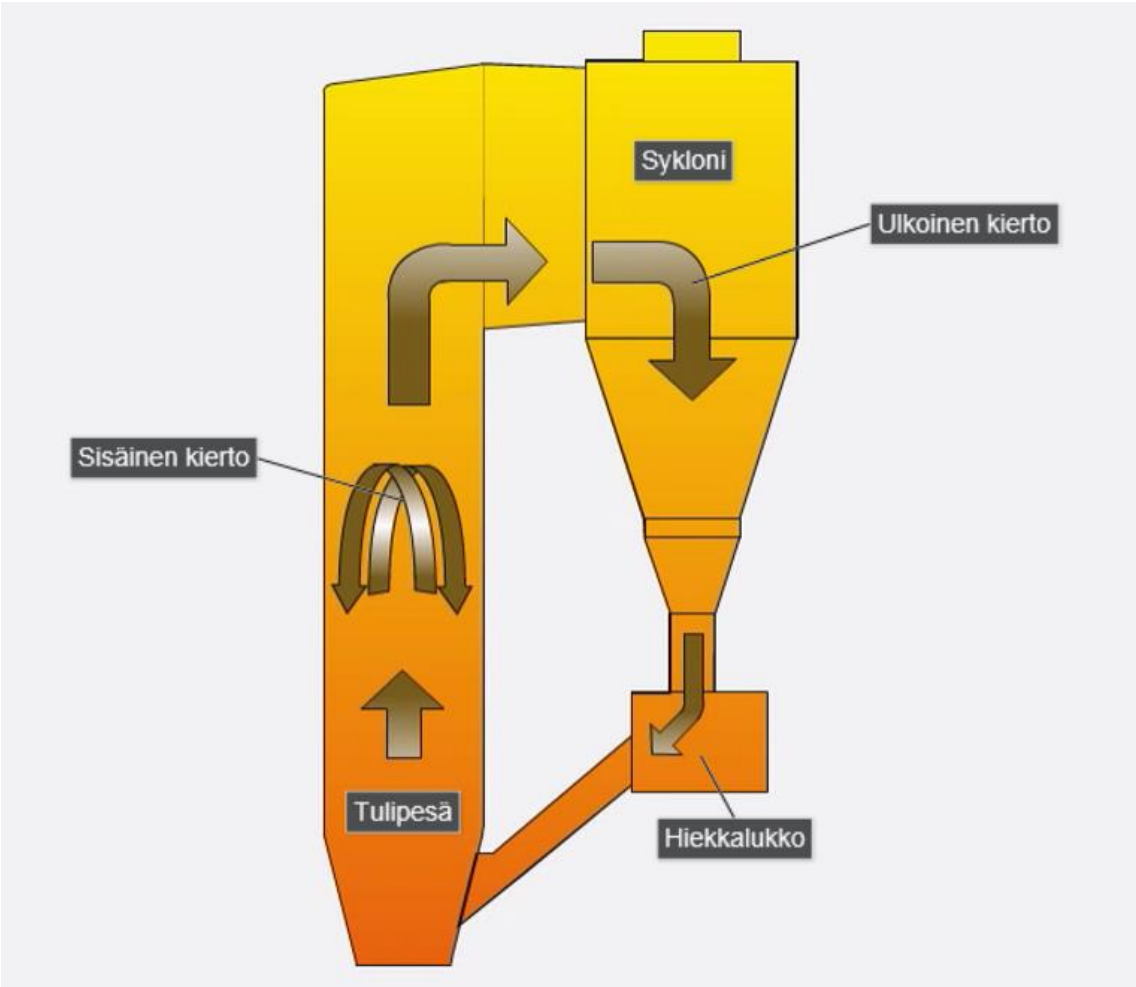


Kuva 2. Valmetin toimittama kattilakokonaisuus (Valmet 2016).

2.2.1 Kiertoleijutekniikka

Kiertoleijukattila koostuu tulipesästä, syklonista ja hiekkalukosta, jotka yhdessä muodostavat kuuman silmukan ns. hot loop (Valmet 2016). Kattilan toiminta perustuu palamat-

tomien partikkeleiden kierrätykseen takaisin tulipesään (Huhtinen ym. 1997, 148). Kiertomateriaali on sekoitus polttoainetuhkaa, palamattomia partikkeleita, rikkiä sitovia aineita ja petimateriaalia eli hiekkaa. Kiintoainekierto on tärkeä osa kattilan toimintaa ja se takaa tehokkaan lämmönsiirron, tasaa kattilan lämpötilaprofiilia ja luo hyvän sekoitussuhteen. Leijutusta ja kiintoainekiertoa ylläpidetään ja ohjataan primääri-ilmansyötöllä kattilan alaosasta. Turbulenttisestä leijukerroksesta johtuen polttoaine ja palamisilma sekoittuvat hyvin ja kiintoainekiertoa tapahtuu tulipesässä (sisäinen kierto) ja hot loopissa (ulkoinen kierto). Tulipesästä karkaavat partikkelit erotetaan savukaasuista syklonissa vallitsevan pyörrevirtauksen avulla. Keskipakoisvoiman avulla kiinteät kappaleet törmäävät syklonin seinämiin ja valuvat alas hiekkalukkoihin, josta ne syötetään takaisin tulipesän alaosaan (kuva 3.) Kiertoleijupoltto mahdollistaa alhaisen polttolämpötilan noin 700–900 °C. Alhainen lämpötila estää tuhkan sulamista, mikä edesauttaa päästöjen minimoinnissa. (Valmet 2018.)



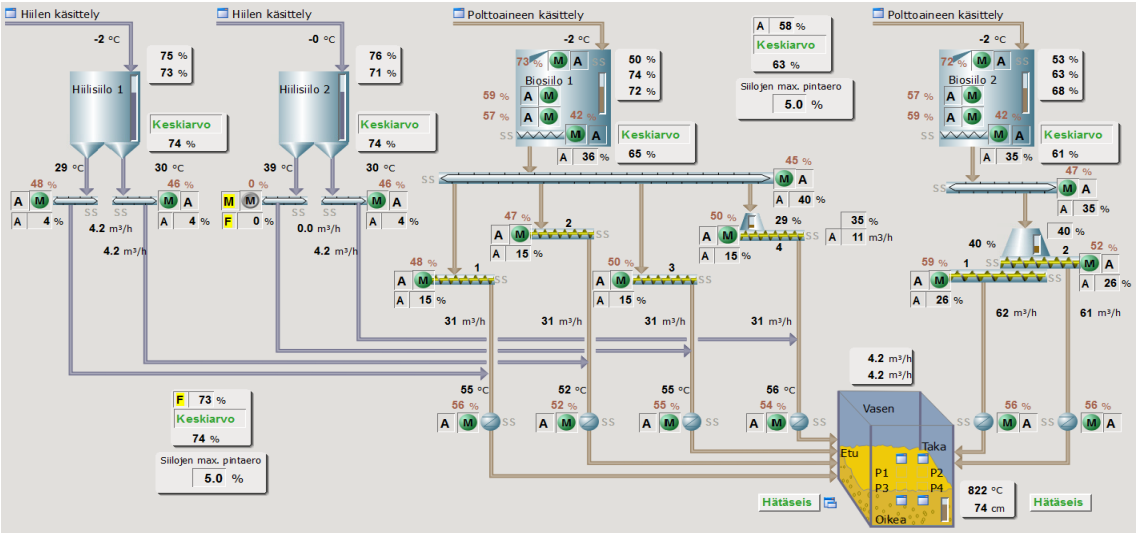
Kuva 3. Kattilakierto (Valmet 2018).

2.2.2 Polttoaineensyöttöjärjestelmä

Polttoaineensyöttöjärjestelmä kattilaan alkaa aumaladon jälkeisistä kahdesta biopolttoaineenpäiväsiilosta, joiden tilavuus on yhteensä 500 m³. Hiilisiiloja on niin ikään kaksi, yhteistilavuudeltaan 600 m³. Syöttöjärjestelmän keskeisin tehtävä on taata luotettava ja tasainen polttoaineensyöttö kattilan eri seinille. Järjestelmä on suunniteltu siten, että sillä pystytään ajamaan erilaisia polttoaineseoksia hiilen ja biomassan välillä. (Valmet 2016.)

Päiväsiilo toimii välivarastona jo esikäsitellyn biomassan ja kattilan välissä. A-ladosta tuleva biomassa sekoittuu koko päiväsiilon pohjapinta-alalle siilojen yläosissa olevien levittimien avulla. Purku päiväsiiloista eteenpäin vievälle biokuljettimelle tapahtuu kääntökoneistolla varustetuilla ruuveilla. Kuljettimelta biomassa ajetaan yhdellä tasaustaskulla ja neljällä ryöstöruuvilla polttoaineen pudotustorviin ja sitä kautta sulkusyöttimiin. Pinnanmittauksella varustetun tasaustaskun tehtävä on säätää edeltävien polttoainekuljettimien kapasiteettia. Ennen sulkusyöttimiä olevissa pudotustorvissa on yhde, josta hiili tulee samaan syöttölinjaan biomassan kanssa. Hiilijärjestelmä on hyvin samankaltainen kuin biopolttoaineella. Hiilen määrää säädetään hiilikuljettimien taajuusmuuttajilla. Sulkusyöttimen pyörivät lavat ohjaavat polttoaineseoksen tiiviistä pesästä eteenpäin tunkijaruuveille ja samalla estävät savukaasujen ja vastasytytyksen pääsyn syöttöjärjestelmään. Tunkijaruuvit työntävät polttoaineen kattilaan. Polttoainetorvien alaosa ja tunkijaruuvit ovat ilmajäähdytteisiä. Jäähdyttämiseen käytetty ilma syötetään kattilaan, mikä tehostaa samalla polttoaineen kulkeutumista ja levittäytymistä tulipesään. (Valmet 2016.)

Kuten alla olevasta kuvasta näkyy, on polttoaineensyöttö kattilaan toteutettu kuudella syöttölinjalla. Etuseinästä löytyy neljä tunkijaruuvia, jotka voivat syöttää erilaisia sekoituksia hiiltä ja biomassaa. Takaseinän kaksi syöttökohtaa tulevat biosiilosta 2, eivätkä ole yhteydessä hiilensyötön kanssa. Polttoaineensyöttökaavio päiväsiiloista kattilaan on esitetty seuraavalla sivulla kuvassa 4.



Kuva 4. Polttoaineensyöttöjärjestelmä valvomon näyttökuvassa.

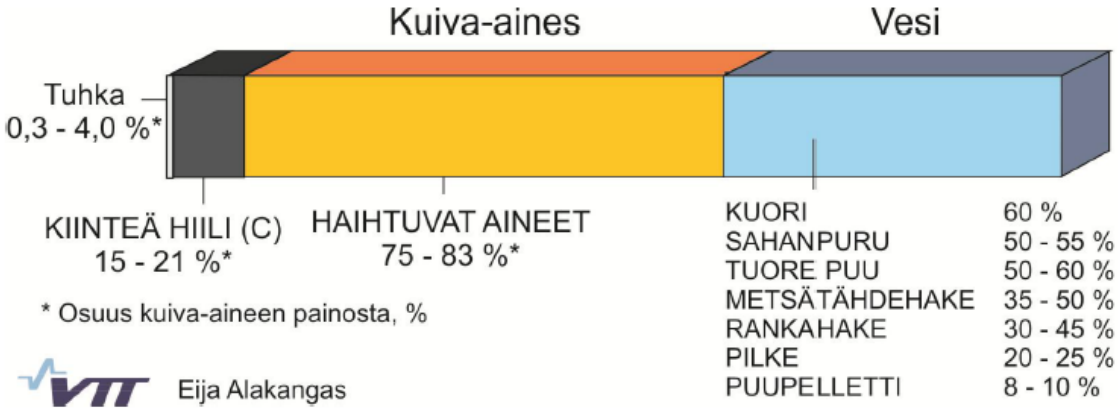
2.2.3 Savukaasut ja päästöjen hallinta

Savukaasujärjestelmän tehtävänä on saattaa palamisessa muodostuva savukaasu savupiippuun. Matkan varrella savukaasut luovuttavat lämpöenergiaa tarvittaville lämmityspinnoille. Keitto- ja höyrytulistuspintojen lisäksi savukaasuilla lämmitetään syöttö- ja kattilavettä sekä luvoja, joissa palamisilma esilämmitetään. Tärkeä osa savukaasujärjestelmää on päästöjenhallintajärjestelmä, jonka avulla savukaasuista poistetaan ympäristölle haitallisia saasteita kuten hiilimonoksidia, rikkidioksidia, suolahappoa, hiilivetyä ja typen oksideja. Tavallisesti savukaasut sisältävät myös typpeä, hiilidioksidia, happea, pölyhiukkasia ja vesihöyryä. Savukaasujen koostumukseen voidaan vaikuttaa polttoprosessin optimoinnilla ja kehittyneillä puhdistusjärjestelmillä. Jotta optimointi olisi mahdollinen, täytyy tuntea kattilassa poltettavan polttoaineen yksityiskohdat. Savukaasujen muodostumiseen ja niiden ominaisuuksiin vaikuttaa olennaisesti mm. polttoaineen kosteusprosentti, lämpöarvo, tiheys ja hiukkaskoko. Ympäristöluvassa määritettyjen päästöarvojen saavuttamiseksi savukaasuja puhdistetaan tehokkaasti savukaasujärjestelmän eri osissa. Osa puhdistusprosesseista perustuu kemiallisiin reaktioihin, osa taas mekaanisiin metodeihin. Typen ja rikin oksidi- ja dioksidipäästöjä varten tulipesään tai sykloniin ruiskutetaan ammoniakkia ja kalkkikiveä. Pölypartikkelit erotetaan savukaasuista kangassuodattimilla. (Valmet 2018.)

3 BIOPOLTTOAINEET JA KIVIHIILI

NA4-voimalaitos käyttää polttoaineena pääasiassa biomassaa ja kivihiiltä. Biomassa on uusiutuva luonnonvara, joka syntyy fotosynteesissä. Puut ja kasvit sitovat ilmasta hiilidioksidia, joka maaperästä tulevan veden ja auringon voimalla sitoutuu kemialliseksi energiaksi. Yhteyttämisessä syntyy samalla monimutkaisia kemiallisia yhdistelmiä, jotka sisältävät mm. hiiltä (C), happea (O), vetyä (H), typpeä (N) ja erilaisia mineraaleja. Auringon energia sitoutuu puun hiili- ja vety-yhdistelmiin, joten mitä suurempi niiden osuus on puun koostumuksesta, sen suurempi on polttoaineen sisältämä energiamäärä. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 54–56.)

Alla olevassa kuvassa on esitetty puun koostumus. Puun palavat aineet ovat kuiva-aines ja hiili, jotka muodostavat puun orgaanisen osan. Tämä osa sisältää hiilen lisäksi vetyä, jotka ovat polttoprosessille tärkeimmät komponentit. Orgaanisessa osassa on myös typpeä ja rikkiä, jotka palaessaan aiheuttavat haitallisia typpioksidi- ja rikkidioksidipäästöjä. Tuhka alentaa polttoaineen laatua, koska se voi aiheuttaa kattilassa sintraantumista ja likaantumista. Biopolttoaineen laatu käsittää useita eri tekijöitä, jotka vaikuttavat kattilan polttoprosessiin. Laatu koostuu polttoaineen kosteusprosentista, lämpöarvosta, koostumuksesta, tiheydestä ja hiukkaskoosta. Ratkaisevin tekijä polttoaineen laadussa on kuitenkin sen kosteus. (Valmet 2018.)



Kuva 5. Puun koostumus (Alakangas ym. 2016, 55).

3.1 Polttoaineiden lämpöarvo ja lajikkeet

Lämpöarvo kertoo, kuinka paljon täydellisessä palamisessa muodostuu lämpöenergiaa polttoaineen massayksikköä kohden (Alakangas ym. 2016, 13). Tavallisesti lämpöarvot ilmoitetaan muodossa MJ/kg (megajoulea/kilogramma). Polttoaineiden lämpöarvoja vertailtaessa tärkeässä roolissa on tietenkin polttoaineen sisältämä kosteus eli vesi. Luonnollisen kosteuden lisäksi polttoprosessissa muodostuu vettä, kun polttoaineiden sisältämä vety reagoi hapen kanssa (Valmet 2018). Muodostuvia lämpöenergioita ei aina pystytä taltioimaan 100-prosenttisesti, joten lämpöarvotkin voidaan ilmoittaa kolmella eri variaatiolla.

Alakangas ym. (2016, 28–30) ovat esitelleet lämpöarvot niin, että kalorimetrinen lämpöarvo saadaan, kun kuiva-aineen palamisesta syntyvään lämpöenergiaan lisätään sekä polttoaineen sisältämän veden, että palamisessa syntyvän veden höyrystymisestä saatava energia. Tässä tapauksessa palamistuotteet jäähtyvät normaaliin lämpötilaan (25 °C) ja vesihöyryn oletetaan palautuvan nestemäiseksi vedeksi. Esimerkkinä mainittakoon savukaasujen lauhdutinjärjestelmä, jolla savukaasujen sisältämä vesihöyryn lämpöenergia saadaan hyödynnettyä.

Tehollisen lämpöarvon määritelmänä on kuiva-aineesta vapautuva lämpöenergia polttoaineen massayksikköä kohden. Kalorimetriseen lämpöarvoon verrattaessa tehollinen lämpöarvo on pienempi, koska muodostuvan vesihöyryn lämpöä ei saada talteen. Tavallisesti lämpöarvot ilmoitetaan juuri tehollisena lämpöarvona. (Mts. 28–30.)

Kolmas vaihtoehto on ilmoittaa polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, joka on lämpöarvoista pienin. Määritettäessä tehollista lämpöarvoa saapumistilassa, on polttoaineelle yleensä annettu tietty kosteus. Laskennassa otetaan huomioon kuiva-aineksesta vapautuva lämpöenergia, mutta siitä vähennetään energiamäärä, joka kuluu kosteuden ja syntyvän veden haihduttamiseen. (Mts. 28–30.)

Taulukko 1. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Naantalin voimalaitoksella käytetyimpien biopolttoaineiden lämpöarvot kuiva-aineessa ja kunkin lajikkeen tavallisessa saapumistilassa. Taulukkoon on otettu vertailukohdaksi myös jyrsinturve ja kivihiili. (Alakangas ym. 2016, 205).

Polttoainelajike	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)
Metsätähdehake	18,5–20	6–9
Rankahake	18,5–20	7–11
Sahanpuru	19-–9,2	2,2–10
Havupuun kuori	18,5–20	5–9
Koivun kuori	21–23	8–11
Kantomurske	17,2–20,9	6,8–15,5
Jyrsinturve	20,6	9,8
Kivihiili	27–28,8	24,3–25,1

3.1.1 Metsätähdehake

Metsätähdehake on metsän harvennuksen ja hakkuun jätemateriaalia. Kasvupaikasta riippuen metsätähteet koostuvat puiden latvuksista, oksista ja hylkypölkyistä. (Alakangas ym. 2012, 68.) Varastoinnista riippuen metsätähteet voivat sisältävää myös ravinteikkaita neulasia, jotka polttoprosessia ajatellen eivät ole toivottuja. Neulasten suuret alkali- ja klooripitoisuudet laskevat polttoaineen laatua, sillä ne aiheuttavat korroosiovaaran ja laskevat tuhkan sulamislämpötilaa (Alakangas ym. 2016, 75, 200). Seuraavalla sivulla kuvassa 6 on esitettynä rankahake, turve ja metsätähdehake. Kuva on otettu voimalaitoksen näytteenkäsittelytilassa.

3.1.2 Rankahake

Rankahake on tehty karsituista puun rangoista, jotka eivät ole kelvanneet puun jalostuskäyttöön (Alakangas ym. 2016, 75).

3.1.3 Kuori

Puun kuoressa on merkittävä määrä ligniiniä, joka sisältää paljon hiiltä ja vetyä. Koska hiili ja vety ovat lämpöä tuottavia aineita, on puun kuoren lämpöarvo korkea. Lehtipuiden kuoren lämpöarvo on korkeampi kuin havupuiden. Kuori on yleensä melko kosteaa, minkä vuoksi sitä monessa paikassa kuivataan savukaasujen tai kuoripuristimien avulla. (Alakangas ym. 2016, 81–82.)

3.1.4 Sahanpuru

Sahanpurun tyypillinen kosteus on 50–55 %, mutta se voi vaihdella myös täysin kuivasta aina 70 %:n kosteuteen. Kuiva sahanpuru on hyvä sekoittaa kosteampien polttoaineiden joukkoon, sillä muuten niiden polttaminen voi olla hankalaa pienen massan johdosta. (Alakangas ym. 2016, 85.)

Kuva 6. Kuvassa rankahake, turve ja metsätähdehake.

3.1.5 Turve

Turve luokitellaan omaan kategoriaansa fossiilisten ja uusiutuvien energianlähteiden väliin (Energiamaailma 2018). Turvetta muodostuu, kun eloperäiset kasvit maatuvat erittäin kosteassa ja hapettomassa ympäristössä. Hapen puute estää kasvien hajoamisen ja

näin syntyy jatkuvasti uusia turvekerroksia. Energiantuotannossa käytettävä turve on pitkälle maatunutta. Pidempi maatumisaika kasvattaa hiilen osuutta turpeessa, joka taas nostaa turpeen lämpöarvoa. Suomessa vallitsevat sääolosuhteet ovat otollisia soiden muodostumiselle ja turvetuotannolle. Turve on erinomainen tukipolttoaine metsätähdehakkeelle, jota Naantalin voimalaitoksellakin käytetään runsaasti. Puupolttoaineissa oleva kloori aiheuttaa kattilaan korroosiovaaran, mutta turpeessa ja kivihiilessä runsaasti esiintyvä rikki sitoo klooria ja näin ollen vähentää korroosiota. (Alakangas ym. 2016, 119, 200–202.)

3.1.6 Kivihiili

Kivihiili on erittäin vanha fossiilinen polttoaine. Se on muodostunut maankuoren puristuksiin jääneestä turpeesta ja sitä louhitaan avolouhoksista sekä kaivoksista. Suomeen kivihiiltä tuodaan paljon Venäjältä ja Puolasta. Lämmönlähteenä kivihiili on erinomainen, sillä se omaa valtavan lämpöarvon verrattuna biopolttoaineisiin. Ympäristövaikutukset ovat kuitenkin varsin negatiiviset ja viime vuosina kivihiilivoimalaitokset ovatkin joutuneet investoimaan savukaasujen puhdistusmenetelmiin. Kivihiili sisältää 0,5–2 % rikkiä lajikkeesta riippuen, mikä tekee siitä hyvän tukipolttoaineen biomassalle. (Alakangas ym. 2016, 169–172, 200.)

3.2 Biomassojen haitalliset ominaisuudet

Biopolttoaineilla on useita eri ominaisuuksia, jotka vaikuttavat kattilan toimintaan ja polttoprosessiin. Kattilaan ajettava biomassasekoitus koostuu useasta eri lajikkeesta, joita jo edellisillä sivuilla käsiteltiin. Lajikkeet sisältävät useita erilaisia alkuaineita, jotka ovat erityisen reaktiivisia polttoprosessissa. Aineet saattavat reagoida keskenään tai petimateriaalin kanssa ja aiheuttavat huomioonotettavia haittoja kattilassa. (Valmet 2018.) Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon on koottu yleisimpiä biopolttoaineiden haittavaikutteita polttoprosessissa.

Taulukko 2. Biomassojen haitat kattilalaitoksella (Valmet 2018).

Syy	**Seuraus**	**Torjunta**
Polttoaineen korkea kosteusprosentti	Madaltaa petin ja tulipesän lämpötiloja, tuottaa enemmän savukaasuja	Tehonsäätäjä lisää polttoaineen syöttöä, hiilen osuuden kasvattaminen, kuivaus
Suurikokoiset polttoainehiukkaset	Kuumat kohdat petissä, kasautumat	Polttoaineen hyvä seulonta ja murskaus
Pienikokoiset polttoainehiukkaset	Karkaavat savukaasujen mukana, ongelmat petilämpötiloissa ja vedon säätelyssä, saostumat kattilan yläosassa	Polttoaineen hyvä seulonta
Kloori ja alkalimetallit	Kuonanmuodostus, korroosio	Seospoltto, petilämpötilojen säätö, kattilan materiaalivalinnat
Raskasmetallit (lyijy, sinkki, tina)	Edistää korroosiota	Kattilan materiaalivalinnat, pa. valinnat
Kalium ja natrium (reagoivat petimateriaalin piin kanssa)	Sintrautuminen (partikkelit kasaantuvat yhteen, aiheuttavat kuumia kohtia petiin ja leijutus häiriintyy)	Petilämpötilojen seuranta ja säätö, sintterei-den poisto kattilasta
Tuhkapitoisuus polttoaineessa	Lämmityspintojen likaantuminen	Savukaasun ja metalliosien lämpötilojen säätely, nuohous

3.3 Polttoainehiukkasen palotapahtuma

Polttoainehiukkasen palaminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Kun hiukkanen ajautuu kattilaan, alkaa välittömästi ensimmäinen vaihe, jossa hiukkasen sisältämä vesi alkaa haihtua. Kuivumisaika ja siihen tarvittava lämpö riippuu luonnollisesti polttoaineessa olevasta veden määrästä. Kuivumisaikaan vaikuttaa myös partikkelin koko, huo-

koisuus ja tiheys. Kun suurin osa vedestä on höyrystynyt, alkaa pyrolyysi. Tässä vaiheessa polttoaineessa oleva haihtuva aines vapautuu. Polttoaineen sisältämä vety ja hiili poistuvat kaasuina ja palavat kattilan hapekkaassa ympäristössä. Pyrolyysivaiheen jälkeen hiukkasesta on jäljellä enää sen puuhiiliosuus. Hiilen palaminen on huomattavasti hitaampaa kuin pyrolyysikaasujen. Osa loppuun palamattomista hiilihiukkasista ajautuu savukaasujen mukana eteenpäin kattilakierrossa ja palamista tapahtuu vielä kattilakierron eri vaiheissa. Saavuttaessaan syklonin, hiilihiukkaset jotka eivät ole ehtineet palaa kokonaan, palautuvat takaisin leijupedin alaosaan hiekkalukon kautta. Hiukkasten ominaisuuksista riippuen, kaikkien polttovaiheiden läpimenoon voi mennä muutamista sekunneista minuutteihin. (Huhtinen ym. 1997, 73–74; Valmet 2018)

3.4 Seospoltto

Seospoltolla tarkoitetaan kivihiilen ja biopolttoaineiden yhteispolttoa. Pelkällä biopolttoaineella ei laitosta vielä voida ajaa, koska biomassa sisältää haitallisen määrän klooria, natriumia, kaliumia ja muita alkalimetalleja. Klooria ja alkalimetalleja esiintyy erityisesti paljon viherainetta sisältävissä polttoaineissa, kuten metsähakkeen joukossa olevissa neulasissa. Hakkeen kuivumisaika vaikuttaa olennaisesti kloorin ja alkalimetallien pitoisuuksiin, kun kuivuessaan neulaset tippuvat pois ja ravinneaineet katoavat. Suuritehoisissa kattiloissa, joissa höyryn lämpötila ylittää 480 °C, kloori aiheuttaa vakavan korroosiovaaran erityisesti tulistinpinnoille. Kloori reagoi poltossa syntyvän vedyn kanssa ja muodostaa korrosoivia vetykloridiyhdistelmiä. Alkalit toimivat vetykloridien kuljettajina ja saattavat aiheuttaa myös pedin sintrautumista ja lämmityspintojen likaantumista, mikä taas lisää korroosiota. Vetykloridien pääsy lämmityspinnoille voidaan estää käyttämällä biomassan rinnalla kivihiiltä tai turvetta. Nämä polttoaineet sisältävät runsaasti rikkiä, joka johtaa alkalien sulfatoitumiseen ja sitä kautta kloorin vapautumiseen kloorivedyksi. Savukaasut kuljettavat kloorivedyt mukanaan, eikä korroosiota pääse tapahtumaan. (Alakangas ym. 2016, 200–202; Valmet 2018)

4 BIOPOLTTOAINEEN KOSTEUS

Biopolttoaineiden sisältämä vesi ja kosteus ovat monessakin suhteessa merkittäviä tekijöitä energiantuotantolaitokselle. Tuotaessa biomassaa laitokselle voi sen kosteusprosentti olla jopa 70. Energiantuotantolaitoksen ei tarvitse maksaa vedestä, joten on erityisen tärkeää suorittaa kosteuden mittaus mahdollisimman tarkasti heti polttoaineen vastaanotossa. Kosteus vaikuttaa negatiivisesti myös polttoaineen lämpöarvoon ja sitä kautta palamisprosessiin.

4.1 Kosteuden vaikutus polttoprosessiin

Voimalaitoksilla käytettävä biopolttoaineseos sisältää useimmiten runsaan määrän vettä, mikä heikentää polttoaineen lämpöarvoa. Mitä matalampi lämpöarvo on, sitä enemmän kattilaan on syötettävä polttoainetta, jotta saadaan tuotettua tarvittava määrä lämpöä. Kostea polttoaine laskee leijupedin ja tulipesän lämpötiloja, koska polttoaineen kuivumiseen tarvitaan lämpöä ja aikaa. Kostea biomassa aiheuttaa myös enemmän savukaasuja, kun palaminen on osittain epätäydellistä ja polttoaineesta vapautuu vesihöyryä. (Huhtinen ym. 1997, 32–34.)

4.2 Biopolttoaineen kosteusmittaussovellukset NA4 CHP -laitoksella

Biopolttoaineen vastaanottoaseman purkumonttuun on asennettu koneellinen näytteenottoruuvi, joka ryöstää purettavasta kuormasta tarvittavan määrän biomassaa kosteuden määrittämiseksi. Automatisoitu järjestelmä ajaa näytteen karuselliin, joka kuormatietojen perusteella lajittelee sen omaan astiaan. Vastaanottoaseman henkilökunta suorittaa näytteiden kosteusmittaukset uunikuivausmenetelmällä, joka on kuitenkin melko työlästä ja aikaa vievää. Kosteusmittauksen tehostamiseksi laitoksen biovastaanotossa demonstroitiin kahta röntgenlaitteistoa, jotka määrittävät biomassan kosteuden liikkuvalta kuljettimelta. Polttoainekuormien laskutus ja kosteusvähennykset voidaan jatkossa perustaa röntgenanalyysin varaan, kunhan se ensin kalibroidaan ja todetaan osapuolien kesken riittävän tarkaksi. Röntgenteknologiaa hyödyntävä mittaus on jopa totuudenmukai-

sempi kuin näytteenottotapa, sillä röntgen mittaa koko kuorman kosteuden, eikä se perustu yksittäisiin satunnaisnäytteisiin. Röntgenlaitteet mittaavat kosteusprosentin lisäksi vierasainepitoisuuksia.

Biopolttoainevaraston jälkeiselle hihnakuljettimelle asennettiin vastaavanlainen röntgenlaite, jonka on tarkoitus mahdollistaa kosteusvaihteluista aiheutuvien kattilatapahtumien ennakointi. Röntgenit on toimittanut mikkeliläinen Inray Oy. Laitteistot olivat demonstroitavana vuoden 2018 loppuun, jonka jälkeen voimalaitos tekee mahdollisen ostopäätöksen.

4.2.1 Inray Oy

Mikkelissä vuonna 2009 perustettu Inray Oy on erikoistunut hyödyntämään röntgenteknologiaa teollisuuden mittausjärjestelmissä. FuelControl-järjestelmä ohjelmistoineen tarjoaa käyttäjälleen reaaliaikaista tietoa biomateriaalin laadusta pintaa syvemmältä. Röntgenlaite mittaa polttoainehihnalla kulkevan biomassan kosteutta ja vierasainepitoisuutta kokonaisvaltaisesti. Reaaliaikainen kosteusanalyysi automatisoi laadun mittauksen ja mahdollistaa energiantuotannon tehostamisen. (Inray Oy 2018.)

4.2.2 Röntgenteknologia biomassan kosteusmittauksessa

Röntgenteknologialla toteutettu kosteudenmittaus perustuu polttoainepatjan läpi kulkevan säteilyn mittaamiseen. Röntgensäteily aikaansaadaan röntgenputkessa, jossa putken päihin asennettujen katodin ja anodin välille kytketään jännite. Sähkökentän vaikutuksesta elektronit siirtyvät katodilta anodille suurella nopeudella ja muodostavat röntgensäteilyä törmätessään anodiin. Tyhjiöputkessa syntyvästä säteilystä vain murto-osa saadaan suunnattua sen käyttötarkoitukseen. (Säteilyturvakeskus 2004, 21,33.)

Kuten seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 7 voidaan nähdä, on Naantalin voimalaitoksella säteilylähteet asennettu polttoainekuljettimien yläpuolelle ja säteilyä mittaavat detektorit hihnakuljettimen alapuolelle. Röntgensäteily läpäisee koko polttoainepatjan, mutta polttoaineessa oleva vesi ja vierasaineet vaimentavat säteilyä. Röntgenlaitteen yhteyteen on lisäksi liitetty laserskanneri, joka mittaa polttoainepatjan korkeutta sekä

pulssianturi, joka mittaa kuljettimen nopeutta. Läpäisevän säteilyn määrä kompensoidaan polttoainepatjan korkeudella sekä kuljettimen nopeudella, ja näin ollen voidaan laskea polttoaineen kosteus ja tunnistaa vierasaineet.

Kuva 7. Röntgenputki suojakoteloineen asennettuna Naantalin voimalaitoksen kuljetinjärjestelmiin.

4.3 Röntgenlaitteen kalibrointi

Opinnäytetyön ensimmäinen osa koostui Inray Oy:n ohjeistuksella ja yhteistyöllä suoritetusta röntgenlaitteen kalibroinnista. Kalibroinnin tarkoituksena oli saada uusi röntgenlaite näyttämään mahdollisimman tarkkoja polttoaineen kosteusprosentteja. Laitteen tuloksia verrattiin käsinäytteisiin. Ennen näytteenottoon ryhtymistä oli tutustuttava tarkasti kirjallisuuteen. Biopolttoaineen näytteenotosta säädetään standardissa SFS-EN ISO 18135 ja uunikuivausmenetelmästä SFS-EN ISO 18134-2:2015. VTT:n julkaisussa ”Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia” (2016, 23–26) kuvaillaan tarkasti myös näytteenottoa ja sen pohjalta laadittiin oma näytteenottosuunnitelma tätä projektia varten. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä röntgenlaite sijaitsi A-ladon jälkeisellä, laitokselle vievällä polttoainekuljettimella. Inray Oy vastasi polttoaineenvastaanotossa olevien röntgenlaitteiden käyttöönotoista.

4.3.1 Käsinäytteenotto

Kalibroinnin lähtökohtana oli verrata röntgenlaitteen analyysiä käsin otettujen näytteiden kosteuspitoisuuksiin. Käsinäytteenotto tapahtui liikkuvalta polttoainehihnalta varrellista kauhaa käyttäen. Rannekello synkronoitiin Inrayn röntgenjärjestelmän kanssa samaan aikaan ja röntgenin ohjauspäätteeltä asetettiin ohjelma tallentamaan kuvia. Näytteitä otettiin minuutin välein 3–5 kappaletta ja tämä toistettiin lukuisia kertoja päivän aikana. Polttoainekauhalliset pakattiin ilmatiiviisiin Minigrip-pusseihin, joihin merkattiin myös tarkka näytteenottoaika. Kellonajoissa oli otettava huomioon kuljettimen sen hetkinen nopeus ja viive näytteenottopaikalta röntgenlaitteelle. Päivän päätteeksi näytteet vietiin voimalaitoksen näytteenottohuoneeseen uunikuivausta varten.

4.3.2 Uunikuivausmenetelmä

Voimalaitoksen laboratoriotila sijaitsee polttoaineenvastaanottorakennuksessa. Näytteiden kuivatusastiana toimi numeroitu foliovuoka, joka oli punnittava ensin tyhjänä. Tämän jälkeen biomassa asetettiin vuokaan, punnittiin, ja laitettiin kuivausuuniin. Standardien ja VTT:n ohjeistuksen mukaisesti uunin lämpötila oli 105 °C. Kuivatusaika oli noin 20 tuntia, jonka jälkeen näytteet otettiin uunista ja punnittiin välittömästi. Polttoainenäytteet käsiteltiin molemmin suuntaisesti yksi kerrallaan, jotta vältyttiin kosteuden haihtumiselta laboratorioilmaan tai vastaavasti kosteuden imeytymiseltä jo kuivattuun näytteeseen. Tulokset kirjattiin taulukkoon ja syötettiin lopulta Inrayn järjestelmään kaikkine punnitus- ja kellonaikatietoineen.

4.3.3 Röntgenlaitteen viritys

Inrayn järjestelmä yhdisti näytteiden punnitustiedot kellonaikojen perusteella sen hetkisiin röntgentuloksiin ja ilmoitti kosteusprosenttien erotukset käsinäytteiden ja röntgenanalyysin välillä. Analyysin perusteella Inrayn henkilöstö teki korjauksia röntgenin asetuksiin, jotta röntgentulosta saatiin korjattua kosteuden osalta oikeaan suuntaan. Näytteenotto jatkui muutamana päivänä viikossa useamman kuukauden ajan ja korjauksia tehtiin sitä mukaan.

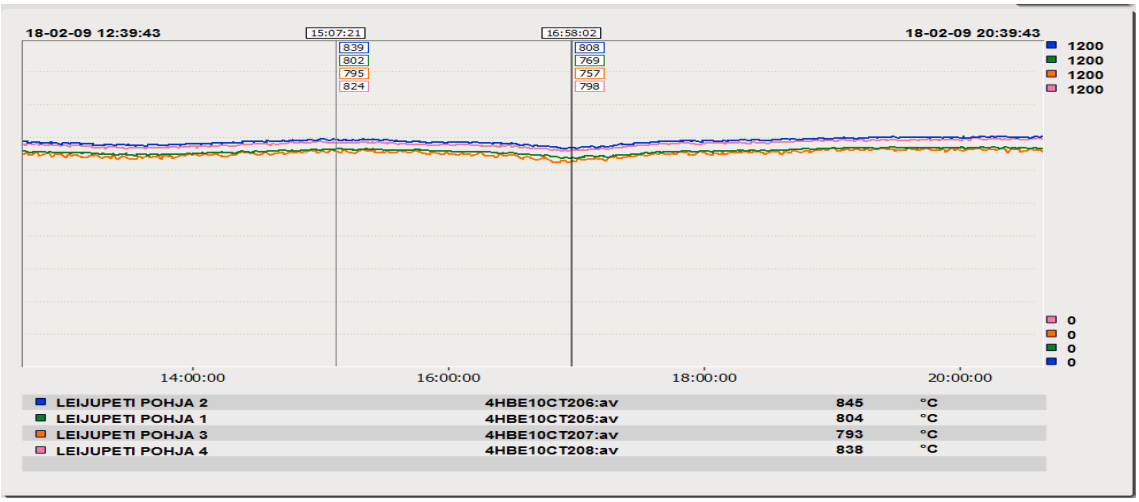
Näytteenottovaiheessa huomattiin, että kosteusvaihtelut biopolttoaineessa olivat todella vähäisiä. Tämä seikka vaikeutti myös kalibrointia, sillä oikeiden asetusten löytämiseksi olisi toivottu myös kosteampia sekä kuivempia polttoainejaksoja. Vaikka näytteitä otettiin useamman kuukauden ajan aina kesäkuukausilta talveen asti, ei tunti-, päivä- tai kuukausikohtaiset kosteusvaihtelut olleet merkittäviä. Röntgenin kalibroinnin helpottamiseksi järjestettiin myös kaksi ns. märkätestiä. Ensimmäisessä testissä polttoainehihna pysäytettiin ja biomassaa kasteltiin noin 30 metrin matkalta. Lisäksi polttoainepatja möyhennettiin lapioin kosteuden tasaamiseksi. Testistä saatiin kosteampaa vertailukohtaa röntgenille, mutta tulos ei ollut täydellinen. Kun kuljettimet kastelun jälkeen käynnistettiin, lähtivät ne hitaasti liikkeelle ja röntgenkuvat olivat tämän johdosta epäselviä. Toisella kertaa A-ladosta nousevan polttoainehihnan biomassaa kasteltiin ennen kuljetinketjussa olevaa pudotussuppiloa, jossa polttoaine putoaa kuljettimelta seuraavalle. Kastelu tapahtui kuljettimen liikkuessa ja sekoittumisen oletettiin tapahtuvan muutaman metrin mittaisessa pudotussuppilossa. Kastelua jatkettiin viiden minuutin ajan ja käsinäytteitä otettiin minuutin välein. Vettä kului noin 250 litraa. Testistä saatiin hyvät kosteusvaihtelut röntgenin kalibroimisen tueksi. Kasteluissa käytettiin kuution vesisäiliötä, uppopumppua ja paloletkuja sekä lapiota.

5 RÖNTGENANALYYSI POLTTOPROSESSIN OHJAUKSEN TUKENA

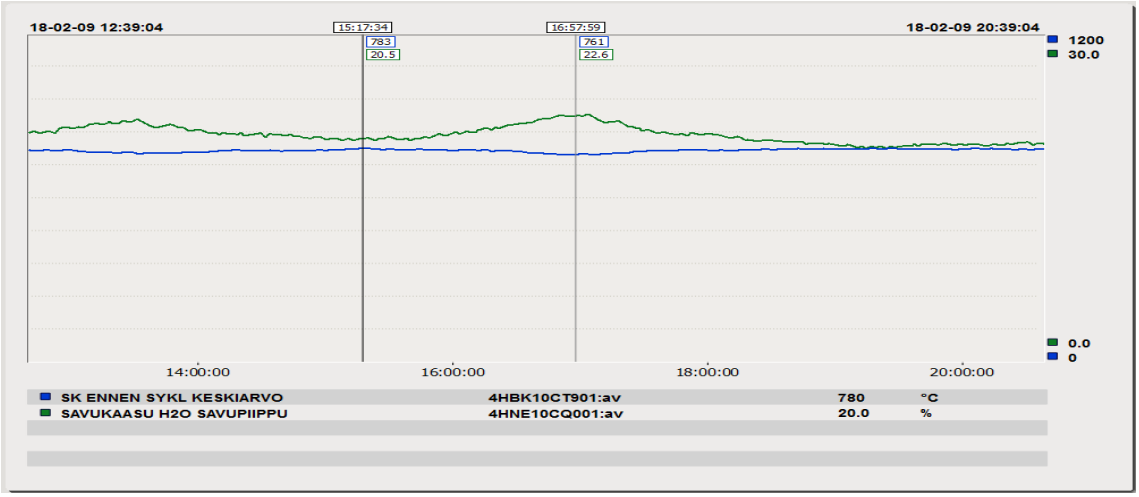
Kostea biopolttoaine aiheuttaa kattilassa peti- ja tulipesälämpötilojen laskun. Suuret kosteusprosentit polttoaineessa saavat aikaan myös enemmän savukaasuja. (Valmet 2018.) Kattilanohjaus ja sitä myöden lämpötilojen säätely on hyvin pitkälle automatisoitu. Röntgenanalyysiä ei kuitenkaan ole liitetty ohjaustoimintoihin ja opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voisiko polttoaineen kosteusprosentista saatavaa tietoa käyttää ennakoivasti kattilan ajoparametrien säätöön. Mahdollisten säätöjen avulla polttoprosessi saataisiin entistä stabiilimmaksi.

5.1 Havaitut muutokset polttoprosessissa

Edellä mainittujen tietojen pohjalta lähdettiin etsimään yhtäläisyyksiä petilämpötiloista, savukaasumittauksista ja röntgentuloksista. Seuraavilla sivuilla on esitetty kuvaajia prosessimittauksista, joista on löydetty muuttujia (kuvat 8 ja 9). Esimerkit on valikoitu kattilassa tapahtuvien muutosten, sekä röntgenlaitteen analyysistä löytyvien kosteusvaihtelujen perusteella. Polttoaineen kulkeutumiseen röntgenlaitteelta kattilaan kulunut aika on otettu huomioon ja laskettu silloisten biopäiväsiilojen täyttöasteiden sekä syöttönopeuksien mukaisesti. Viive on noin 1,5 h, mutta laskelma on teoreettinen, sillä biopolttoaineen päiväsiiloissa polttoaine sekoittuu vielä kertaalleen. Tämän vuoksi esimerkeissä on otettu reilu otanta röntgentuloksia edeltävältä ajalta (kuvat 10–13).



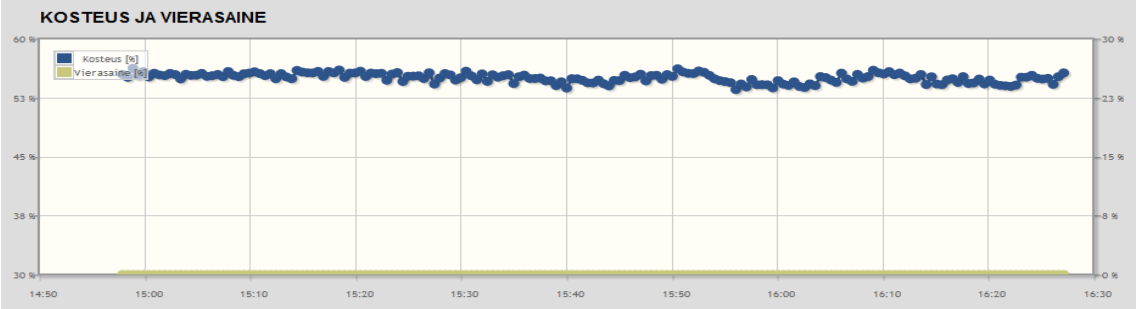
Kuva 8. Muutoksia leijupedin lämpötiloissa.



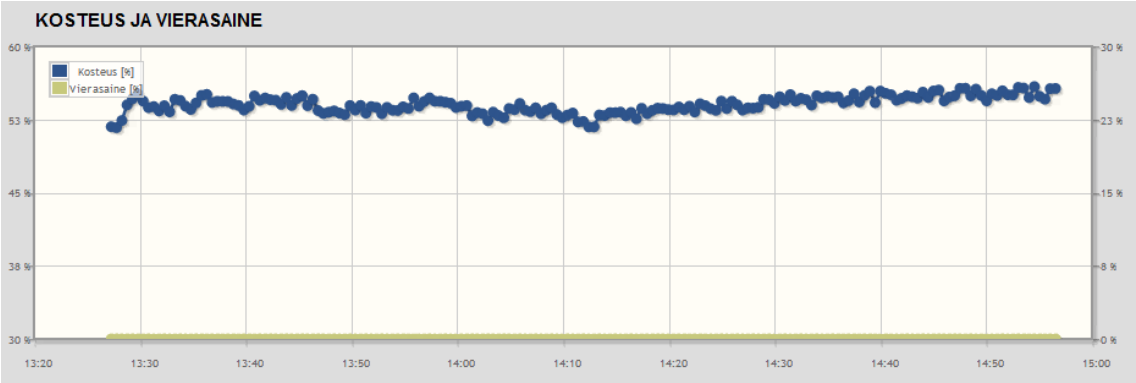
Kuva 9. Muutoksia savukaasumittauksissa. Savukaasujen lämpötila ennen syklonia ja H_2O-pitoisuus piipussa.

Pvm	Sisään	Ulos	Polttoaine	Kosteus [%]	Energia [MWh]	Vierasaine [Kg]	Paino [Kg]	Tilavuus [m3]
09/02	16:28:34	17:57:49	mix_tse_belt500	53.4	0	9	0	199.8
09/02	14:57:56	16:27:11	mix_tse_belt500	55.1	0	13	0	154.8
09/02	13:27:18	14:56:33	mix_tse_belt500	54	0	3	0	215.8
09/02	11:56:40	13:25:55	mix_tse_belt500	55.4	0	8	0	225.8
09/02	10:26:02	11:55:17	mix_tse_belt500	55.1	0	11	0	133.5

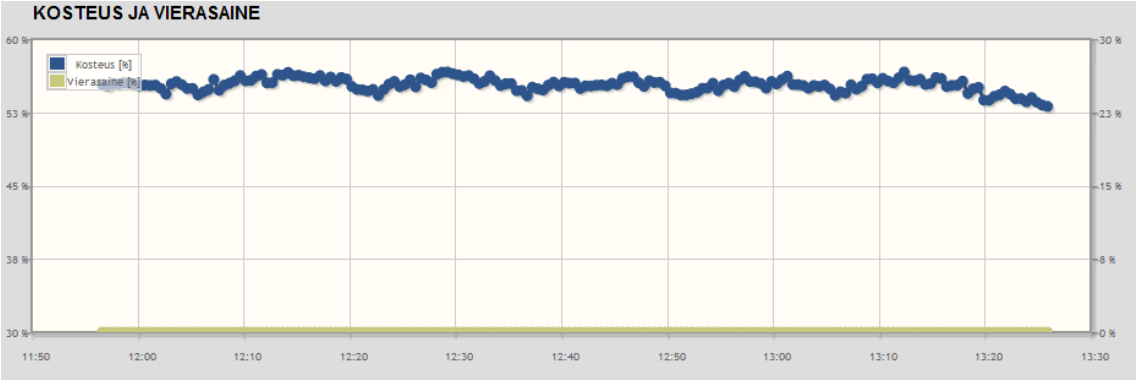
Kuva 10. Röntgenin eräkohtaiset keskiarvo kosteudet lämpötilamuutoksia edeltävältä ajalta.



Kuva 11. Röntgenin antama kosteusprosentti edeltävältä ajalta, korkein arvo 56,23% ja matalin 53,5%, keskiarvo 55,1%.



Kuva 12. 51,66–55,87%, keskiarvo 54%.



Kuva 13. 53,11–56,63%, keskiarvo 55,4%.

Kuvassa 8 on piirrettynä neljä trendiä, jotka kuvaavat leijupedin lämpötiloja. Hienoiseen laskuun 9.2.2018 noin klo 16 lähtenyt lämpötila on mahdollisesti seurausta kosteamman polttoaineen joutumisesta kattilaan. Kuvan 9 trendit savukaasun lämpötilasta ennen syklonia ja savukaasun H_2O-pitoisuudesta tukevat väitettä, sillä savukaasun lämpötila kattilakierrossa on ollut samalla hetkellä alhaisempi ja vesihöyrypitoisuus savupiipussa korkeampi.

Röntgenlaite toimii 1,5 tunnin mittaisissa sykleissä ja muodostaa ”erät” sen mukaan. Kuvasta 10 voidaan lukea erien keskiarvokosteudet, joissa ei näy merkittävää vaihtelua. Kuvissa 11,12 ja 13 on esitettynä erien yksityiskohtaisempi röntgenanalyysi. Kosteusprosentti piirtyy kuvaajalle 30 sekunnin välein. Tarkemmassakaan kosteusprosentin analyysissä ei näy merkittäviä kosteusvaihteluita, sillä kolmen erän korkein kosteusprosentti on 56,63 ja matalin 51,66 erien keskiarvon ollessa 54,0 ja 55,4 %:n välillä. Kuten trendeistä näkyy, oli muutokset kattilassa erittäin pieniä ja lyhytaikaisia. Leijupedin lämpötila laski noin 30 °C ja savukaasun lämpötila 22 °C. Vesihöyrypitoisuus savukaasuissa lisääntyi 20,5 %:sta 22,6 %:in

Toinen vastaavanlainen esimerkki polttoprosessissa havaitusta muutoksesta löytyy liitteestä 1.

5.2 Kosteusvaihtelut harvassa

Edellä ja liitteessä 1 esitettyjen prosessimuutosten kaltaisia vaihteluja kattilan lämpötiloissa tai savukaasun vesihöyrypitoisuuksissa löytyi erittäin harvakseltaan pidemmänkään aikavälin tarkastelussa. Merkittäviä kosteusvaihteluita ei löytynyt lainkaan.

Jo röntgenlaitteen kalibrointivaiheessa saatiin merkkejä siitä, että kosteusvaihtelut biopolttoaineessa ovat harvinaisia. Seuraavilla sivuilla kuvissa 14–17 on nähtävissä käsinäytteenoton ja uunikuivausmenetelmän tuloksia kalibrointiajoilta. Niistä näkyy selvästi, että kosteusprosentti (Moisture %) pysyy tiiviisti noin 48 ja 51 %:n välillä.

Time	Container mass [g]	Wet Sample + Container [g]	Wet Sample [g]	Dry Sample + Container [g]	Dry Sample [g]	Dry Matter [%]	Moisture [%]
2017-12-20 14:07:00	15.1	304.5	289.4	162.6	147.5	50.97	49.03
2017-12-20 14:06:00	15.1	285	269.9	154.9	139.8	51.8	48.2
2017-12-20 14:05:00	15.4	280	264.6	151.5	136.1	51.44	48.56
2017-12-20 13:39:00	15.2	314.5	299.3	162.9	147.7	49.35	50.65
2017-12-20 13:38:00	15.1	322	306.9	173.2	158.1	51.52	48.48
2017-12-20 13:37:00	15.3	278	262.7	141.6	126.3	48.08	51.92
2017-12-20 12:52:00	15.3	297.5	282.2	165	149.7	53.05	46.95
2017-12-20 12:51:00	15.4	334.5	319.1	181.9	166.5	52.18	47.82
2017-12-20 12:50:00	15.4	338	322.6	184.6	169.2	52.45	47.55
2017-12-20 09:34:00	15.3	298	282.7	159	143.7	50.83	49.17
2017-12-20 09:33:00	15.3	321	305.7	171.2	155.9	51	49

Kuva 14. Käsinäytteenotolla ja uunikuivausmenetelmällä mitattuja kosteusprosentteja joulukuussa 2017.

Time	Container mass [g]	Wet Sample + Container [g]	Wet Sample [g]	Dry Sample + Container [g]	Dry Sample [g]	Dry Matter [%]	Moisture [%]
2018-01-11 14:26:00	15.4	296	280.6	159.6	144.2	51.39	48.61
2018-01-11 13:55:00	18.7	315	296.3	171.6	152.9	51.6	48.4
2018-01-11 13:54:00	19.4	321	301.6	167	147.6	48.94	51.06
2018-01-11 13:53:00	20.3	318	297.7	164.8	144.5	48.54	51.46
2018-01-11 13:31:00	19.3	319	299.7	166.4	147.1	49.08	50.92
2018-01-11 13:30:00	19.2	319	299.8	166.5	147.3	49.13	50.87
2018-01-11 13:29:00	19.1	319	299.9	164.4	145.3	48.45	51.55
2018-01-11 12:50:00	19.3	318	298.7	162.7	143.4	48.01	51.99
2018-01-11 12:49:00	18.8	319	300.2	152.4	133.6	44.5	55.5
2018-01-11 12:48:00	19.7	317.5	297.8	155.4	135.7	45.57	54.43
2018-01-11 12:25:00	19.3	317	297.7	161.4	142.1	47.73	52.27

Kuva 15. Käsinäytteenoton ja uunikuivausmenetelmän tuloksia tammikuulta 2018.

Time	Container mass [g]	Wet Sample + Container [g]	Wet Sample [g]	Dry Sample + Container [g]	Dry Sample [g]	Dry Matter [%]	Moisture [%]
2018-02-07 15:41:00	20	559	539	284	264	48.98	51.02
2018-02-07 13:25:00	15	451	436	233	218	50	50
2018-02-07 13:24:00	19	480	461	237	218	47.29	52.71
2018-02-07 13:23:00	19	548	529	280	261	49.34	50.66
2018-02-07 12:40:00	15	443	428	237	222	51.87	48.13
2018-02-07 12:39:00	19	467	448	239	220	49.11	50.89
2018-02-07 12:38:00	15	474	459	252	237	51.63	48.37
2018-02-07 12:26:00	15	463	448	250	235	52.46	47.54
2018-02-07 12:25:00	15	496	481	270	255	53.01	46.99
2018-02-07 12:24:00	15	442	427	225	210	49.18	50.82
2018-02-07 [illegible]	15	473	458	250	235	51.31	48.69

Kuva 16. Tuloksia helmikuulta 2018.

Time	Container mass [g]	Wet Sample + Container [g]	Wet Sample [g]	Dry Sample + Container [g]	Dry Sample [g]	Dry Matter [%]	Moisture [%]
2018-04-24 14:34:00	15	358	343	189	174	50.73	49.27
2018-04-24 14:32:00	15	371	356	197	182	51.12	48.88
2018-04-24 14:30:00	15	384	369	198	183	49.59	50.41
2018-04-24 14:28:00	15	404	389	206	191	49.1	50.9
2018-04-24 14:26:00	15	435	420	231	216	51.43	48.57
2018-04-24 14:24:00	15	288	273	155	140	51.28	48.72

Kuva 17. Tuloksia huhtikuulta 2018.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kattilaan syötettävän biopolttoaineen kosteusvaihtelut ovat vähäisempiä ja harvinaisempia kuin odotettiin, vaikka tiedetään, että laitokselle tuotujen biokuormien kosteudet voivat vaihdella jopa 30–70 kosteusprosentin välillä. A-ladon jälkeiselle kuljettimelle asennetun röntgenin kosteusanalyysi pysyy hyvinkin tasaisena, eikä merkittäviä muutoksia löydy kattilan petilämpötila- tai savukaasumittauksistakaan. Pienet polttoaineen kosteusvaihtelut eivät vaikuta polttoprosessiin tai päästöihin.

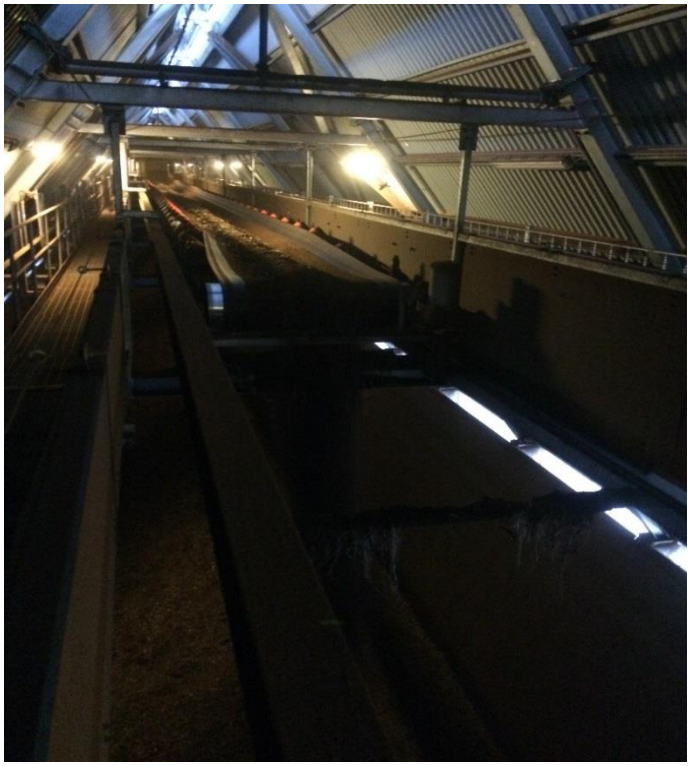
Röntgenlaite toimii kuten pitää, sillä vastaanoton yhteydessä olevat samaiset laitteet antavat erittäin tarkkoja tuloksia käsinäytteisiin verrattaessa. Tutkimuskohteena ollut röntgen saatiin viritettyä näyttämään melko lähelle todellisia kosteusprosentteja (kuva 18). Tutkittaessa kosteusmuutoksista aiheutuvia vaikutuksia kattilassa, huomattiin, että röntgenanalyysistä ei saada riittävästi hyötyä, millä kattilan polttoprosessin muuttujia voitaisiin ennakoida.

Time	Container mass [g]	Wet Sample + Container [g]	Wet Sample [g]	Dry Sample + Container [g]	Dry Sample [g]	Dry Matter [%]	Moisture [%]	Density [kg/m3]	Inray Id	Fuel Type	Supplier	Xray Moisture [%]	Diff
2018-04-24 14:34:00	15	358	343	189	174	50.73	49.27	-1	106269		-	52.59	3.32
2018-04-24 14:32:00	15	371	356	197	182	51.12	48.88	-1	106269		-	53.65	4.78
2018-04-24 14:30:00	15	384	369	198	183	49.59	50.41	-1	106269		-	53.45	3.05
2018-04-24 14:28:00	15	404	389	206	191	49.1	50.9	-1	106269		-	53.59	2.69
2018-04-24 14:26:00	15	435	420	231	216	51.43	48.57	-1	106269		-	52.33	3.76
2018-04-24 14:24:00	15	288	273	155	140	51.28	48.72	-1	106269		-	51.7	2.98
2018-02-07 15:53:00	19	506	487	257	238	48.87	51.13	-1	104559		-	55.66	4.53

Kuva 18. Käsinäytteiden ja röntgenanalyysin vertailu huhtikuussa 2018. Eroa noin 2–4 %.

6.1 A-lato

Keskeisin tekijä polttoaineen hyvälle sekoittumiselle ja kosteuden tasaantumiselle on onnistunut varastointijärjestelmä. Raumaster Oy:n toimittama A-lato levittää polttoainekuorman niin laajalle alalle, että kuormien väliset kosteudet tasoittuvat erinomaisesti. Jakokuljettimen kelkka liikkuu riittävän nopeasti ja jakohihna riittävän hitaasti, jotta voidaan olettaa yhden rekkakuormallisen leviävän laajalle alueelle A-ladossa (kuva 19). Sekoittumista tapahtuu osittain vielä päiväsiilossa, jossa biomassa ohjataan levittimen avulla koko siilon alalle.



Kuva 19. Jakokuljettimen ansiosta polttoaineen kosteusvaihtelut tasoittuvat varastoinnin aikana.

6.2 Röntgenlaitteen siirto sataman biokuljettimelle

Onnistuneen varastointijärjestelmän johdosta röntgenlaite vaikuttaa tarpeettomalta A-ladon jälkeisellä kuljettimella. Vastaanottoaseman yhteydessä olevat röntgenlaitteet ovat antaneet kuitenkin erinomaisia tuloksia ja niihin ollaan oltu tyytyväisiä laitoksen työntekijöiden puolesta. Tulevaisuudessa tullaan saavuttamaan mittavia säästöjä työtuntisarakkeessa, kunhan röntgenanalyysi otetaan kaupalliseen käyttöön ja aikaa vievästä uunikuivausmenetelmästä päästään eroon. Tämä avaakin ylimääräiseksi jääneelle röntgenlaitteelle uuden sijoituspaikan meribiojärjestelmässä, jonka on määrä valmistua vuoden 2018 loppuun mennessä. Meriteitse tuotava biomassa voidaan ajaa seulonnan jälkeen joko A-latoon, pihalle tai suoraan päiväsiiloihin vievälle kuljettimelle. A-latoon tai pihalle ajettaessa, biojärjestelmät yhdistyvät ladon yläosan välikuljettimella ennen yhteistä jakokuljetinta. Jos meribio halutaan viedä suoraan laitoksen päiväsiiloihin, tapahtuu yhdistyminen ryöstöruuvin avulla A-latoon vievältä kuljettimelta. Röntgenlaitetta on siirrettävä, jotta se palvelee kaikissa edellä mainituissa vaihtoehdoissa. Luonnollinen paikka sille on pitkällä, satamasta tulevalla kuljettimella ennen meribiojärjestelmän seulomoa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia biopolttoaineen laadun vaikutusta polttoprosessiin. Polttoaineen laatutekijöistä tärkein on sen kosteusprosentti. Työ suoritettiin Naantalissa TSE:n uudella NA4 -voimalaitoksella, jossa polttoaineena käytetään biomassaa ja kivihiiltä. Laitokselle asennettiin kolme keskenään samanlaista röntgenlaitteistoa, joiden tehtävänä on mitata biopolttoaineesta sen kosteusprosentti ja vierasainepitoisuus reaaliaikaisesti. Kaksi röntgenlaitetta sijaitsevat polttoaineen vastaanotossa ja yksi polttoaineen varastoinnin jälkeisellä kuljettimella. Tutkimuksessa keskityttiin kosteuden aiheuttamiin vaikutuksiin kattilassa, koska keskeisin tavoite työlle oli selvittää, voidaanko röntgenlaitteiston kosteusanalyysiä käyttää apuna polttoprosessin ohjauksessa. Kostea biopolttoaine aiheuttaa kattilassa petilämpötilojen laskun, joka johtaa savukaasujen lämpötilan laskuun ja lisääntymiseen.

Pedin- ja savukaasujen lämpötilamittauksista sekä savukaasujen H_2O -pitoisuuksista löydettiin harvakseltaan erittäin pienimuotoisia muutoksia, mutta tutkittaessa röntgenanalyysiä ajalta ennen muuttujia, ei siinä näkynyt selittävää tekijää prosessimuutoksille. Jo työn alkuvaiheessa suoritettu röntgenlaitteen kalibrointi antoi viitteitä siitä, että kosteusvaihtelut biomassassa varastoinnin jälkeen ovat minimaalisia. Kalibrointi suoritettiin vertaamalla röntgenanalyysiä käsinäytteisiin. Vaikka laitokselle tuotujen polttoainekuormien kosteudet voivat vaihdella jopa 30–70 kosteusprosentin välillä, on kosteus tasaantunut erittäin hyvin biopolttoaineenvarastoinnin yhteydessä. Röntgenlaite toimii kuten pitää, mutta onnistuneen polttoainevarastoinnin johdosta ei sen kosteusanalyysistä saada riittävää hyötyä ja vastetta polttoprosessin ohjauksen tueksi.

LÄHTEET

Alakangas E.; Hurskainen M.; Laatikainen-Luntama J. & Korhonen J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Verkkojulkaisu. Espoo. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 10.10.2018. https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf.

Energiamaailma. Mistä Virtaa?. Turve. Viitattu 10.10.2018. https://energiamaailma.fi/mista-virtaa/turve/.

Huhtinen, M.; Kettunen A.; Nurminen P. & Pakkanen. 1997. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus (Oy Edita Ab).

Inray Oy Ltd. Fuel Control – Polttoaineen laadunmittaus. Viitattu 10.10.2018. http://www.inray.fi/index-s.php?page=22&lang=fi.

Raumaster Oy. 2017. NA4 CHP-koulutusmateriaali. Confidential.

Raumaster Oy. 2018. Solid fuel and biomass handling. Storages and reclaiming. Viitattu 10.10.2018. http://www.raumaster.fi/en/products/solid-fuel-and-biomass-handling/storages-and-reclaiming/

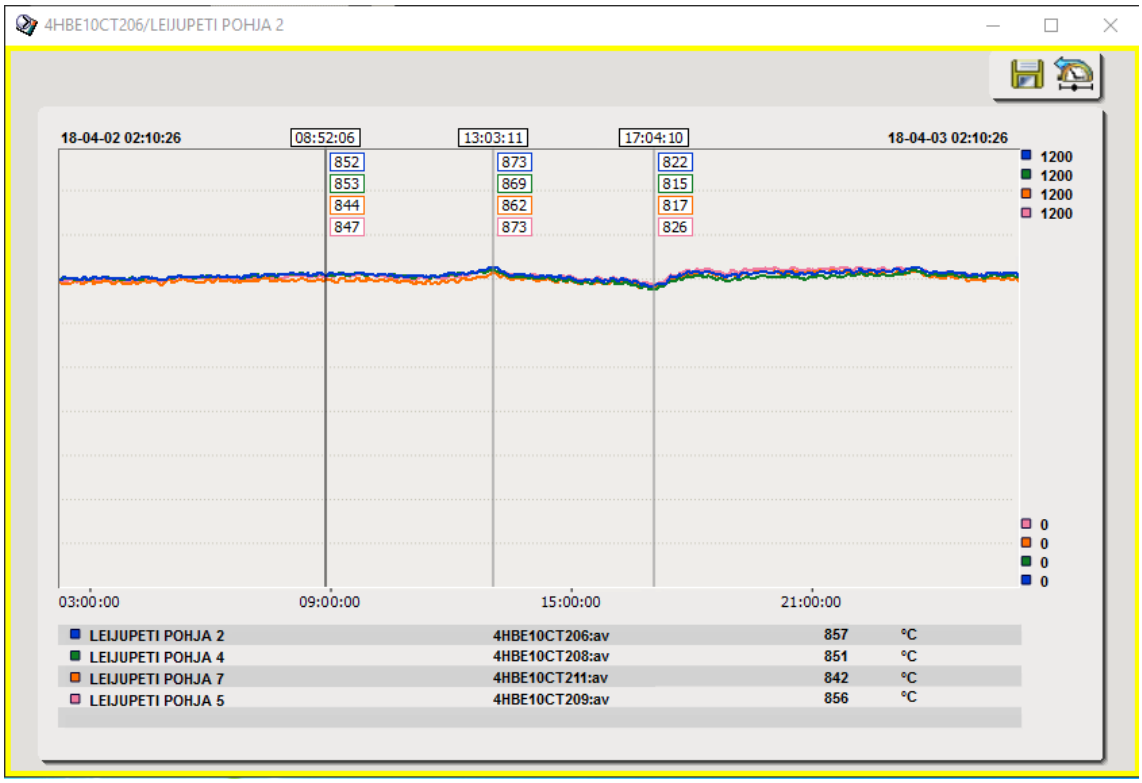
Tapiovaara M.; Pukkila O. & Miettinen A. 2004. Säteilyn käyttö. Säteily- ja ydinturvallisuus-kirjasarja. Helsinki: Säteilyturvakeskus. https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja3_1.pdf/a825da96-784a-4868-80a7-3a3d33549257.

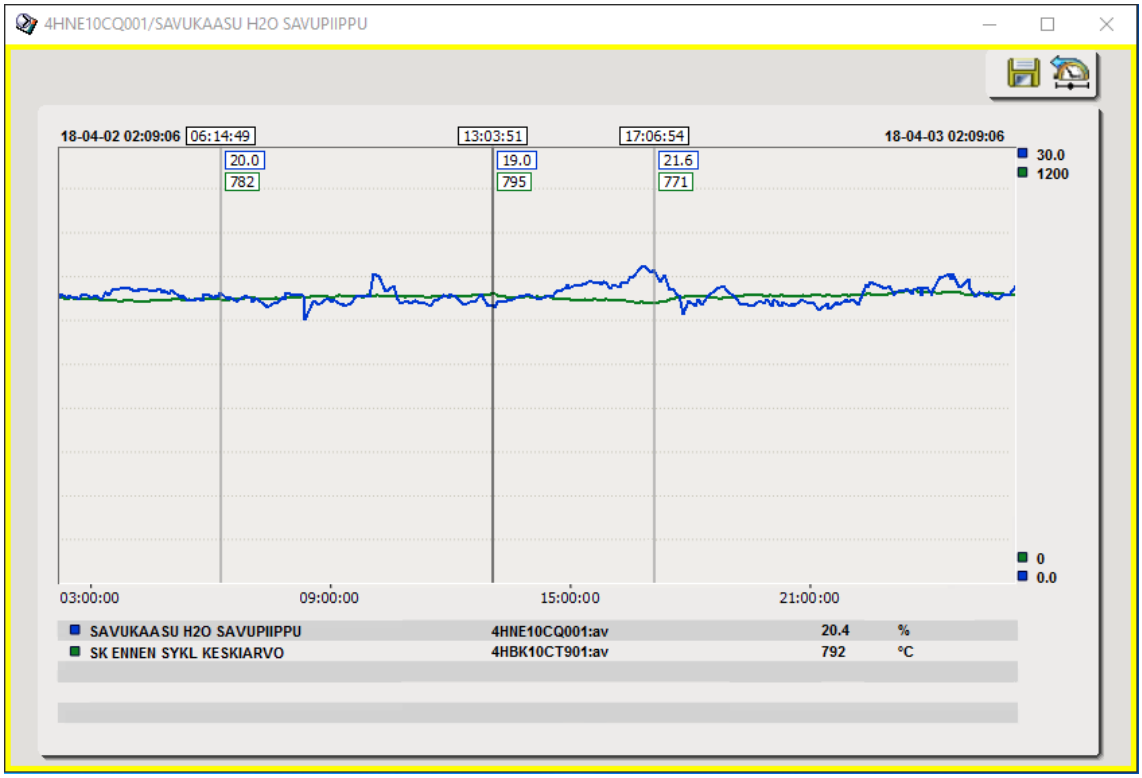
Turun Seudun Energiantuotanto Oy. 2018 NA4 CHP-projekti. Viitattu 10.10.2018. http://www.esitteemme.fi/tse/MailView/.

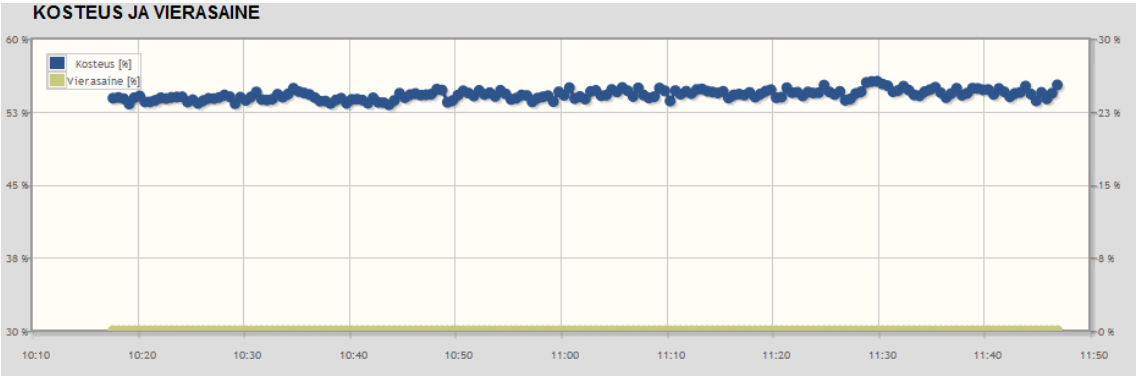
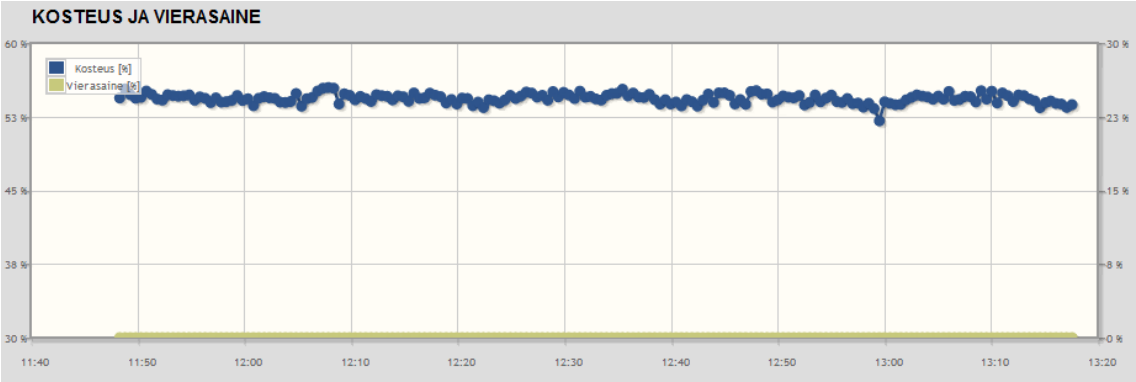
Valmet Oyj. 2018 Onlinelearning. Viitattu 10.4.2018. https://onlinelearning.valmet.com/.

Valmet Oyj. 2016. NA4 CHP Plant. Koulutusmateriaali. Confidential.

Liitteet


4HBE10CT206/LEIJUPETI POHJA 2
18-04-02 02:10:26
08:52:06
13:03:11
17:04:10
18-04-03 02:10:26
852
853
844
847
873
869
862
873
822
815
817
826
1200
1200
1200
1200
0
0
0
0
03:00:00
09:00:00
15:00:00
21:00:00
LEIJUPETI POHJA 2 4HBE10CT206:av 857 °C
LEIJUPETI POHJA 4 4HBE10CT208:av 851 °C
LEIJUPETI POHJA 7 4HBE10CT211:av 842 °C
LEIJUPETI POHJA 5 4HBE10CT209:av 856 °C


4HNE10CQ001/SAVUKAASU H2O SAVUPIIPPU
18-04-02 02:09:06
06:14:49
13:03:51
17:06:54
18-04-03 02:09:06
20.0
782
19.0
795
21.6
771
30.0
1200
0
0.0
03:00:00
09:00:00
15:00:00
21:00:00
SAVUKAASU H2O SAVUPIIPPU 4HNE10CQ001:av 20.4 %
SK ENNEN SYKL KESKIARVO 4HBK10CT901:av 792 °C

Pvm	Sisään	Ulos	Polttoaine	Kosteus [%]	Energia [MWh]	Vierasaine [Kg]	Paino [Kg]	Tilavuus [m3]	Rek. Num.	Kuorma Id
02/04	19:21:30	20:50:45	mix_tse_belt500	54.1	0	21	0	163.8	-	-1
02/04	17:50:52	19:20:07	mix_tse_belt500	53.6	0	12	0	199.7	-	-1
02/04	16:20:14	17:49:29	mix_tse_belt500	53.4	0	5	0	206.2	-	-1
02/04	14:49:37	16:18:51	mix_tse_belt500	54.4	0	12	0	167	-	-1
02/04	13:18:58	14:48:13	mix_tse_belt500	54.7	0	10	0	191	-	-1

Pvm	Sisään	Ulos	Polttoaine	Kosteus [%]	Energia [MWh]	Vierasaine [Kg]	Paino [Kg]	Tilavuus [m3]	Rek. Num.	Kuorma Id
02/04	13:18:58	14:48:13	mix_tse_belt500	54.7	0	10	0	191	-	-1
02/04	11:48:21	13:17:35	mix_tse_belt500	54.4	0	22	0	162.1	-	-1
02/04	10:17:42	11:46:57	mix_tse_belt500	54.2	0	18	0	163.9	-	-1
02/04	08:47:04	10:16:19	mix_tse_belt500	53.4	0	17	0	195.9	-	-1
02/04	07:16:26	08:45:41	mix_tse_belt500	53.5	0	20	0	177.7	-	-1