

Petteri Järvelä

# PUUN LÄMPÖKÄSITTELYSSÄ VA- PAUTUVIEN YHDISTEIDEN PUH- DISTAMIEN POLTTAMALLA

Energian käytön optimointi prosessissa

Opinnäytetyö

Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Marraskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

**MIKKELI POLYTECHNIC**

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> MIKKELI POLYTECHNIC	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  18.11.2012		
<b>Tekijä(t)</b>  Petteri Järvelä	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniikan koulutusohjelma, ylempi AMK		
<b>Nimeke</b>  Puun lämpökäsittelyssä vapautuvien yhdisteiden puhdistus polttamalla			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Työn toimeksiantona oli selvittää puun lämpökäsittelyssä vapautuvien päästöjen puhdistamista polttamalla ja siitä aiheutuvia kustannuksia. Toimeksiannon tärkeimpänä tehtävänä oli selvittää mahdollisen, prosessikaasujen puhdistuksesta saatavan, ilmaisen lämpöenergian määrä sekä miettiä sille mahdollisia hyödyntämiskeinoja.</p> <p>Tutkimus suoritettiin keräämällä tietoa prosessista puhdistuksen aikana ja kerättyä tietoa analysoitiin Excel-ohjelmalla. Tutkimuksessa selvisi, ettei tavoitteen mukaista ilmaista lämpöenergiaa ole saatavilla, vaan prosessista on saatavilla ylimääräistä lämpöenergiaa, koska prosessista vapautuvien haisevien päästöjen puhdistaminen vaatii poltintehoa huomattavasti enemmän kuin itse lämpökäsittelyprosessissa sille olisi tarvetta. Tutkimuksessa mietitään siten mahdollisuuksia päästöjen puhdistuksen tehostamiselle, muita ylimääräisen lämpöenergian hyödyntämismahdollisuuksia sekä toimenpide-ehdotuksia sen käytön tehostamiseksi.</p> <p>Muita hyödyntämismahdollisuuksia voisivat olla mm. rakennusten lämmitys sekä energian syöttäminen läheiseen kaukolämpöverkkoon. Myös mahdollisuus pienimuotoiseen sähkötuotantoon mikro-turbiinin avulla olisi hyvä selvittää. Parhaimpana ja edullisimpana, vaihtoehtona olisi kuitenkin energian hyödyntäminen itse prosessissa sekä puhdistusprosessin kehittäminen kustannustehokkaammaksi.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Puun lämpökäsittely, päästöjen puhdistus, energian käyttö			
<b>Sivumäärä</b> 32 s. + liitt.25 s.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>Kieli</b>            Suomi         </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>URN</b> </td> </tr> </table>	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>		
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Pouru	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Oy SWM-Wood Ltd		

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> <b>MIKKELI POLYTECHNIC</b>	Date of the bachelor's thesis 18/11/2012	
<b>Author(s)</b> Petteri Järvelä	<b>Degree programme and option</b> Environmental technology	
Name of the bachelor's thesis Cleaning of compounds from thermowood process using burning technology		
<b>Abstract</b> <p>The assignment was to research the cleaning of compounds from thermowood process by using burning technology and find out the costs of it. The purpose of the assignment was to find out the possible extra, free energy from process and think possibilities to exploit it.</p> <p>This study was made by collecting data from process during the cleaning and data was analyzed with Excel program. The study showed that there is no free energy to be used. Furthermore energy is wasted because cleaning compounds needs much more power from burner than thermowood process needs it. So it is reasonable to think other possibilities to use this energy that compound cleaning produces.</p> <p>Other possibilities could be: heating buildings and feeding energy to the district heating network which is located very near the factory. Also one idea that needs to be solved is electricity production with micro turbine. The best and cheapest choice could be to utilize heating energy in process and develop the cleaning process better and more cost effective.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> Thermally modified timber, cleaning, efficiency of energy using		
<b>Pager</b> 32 p +app 25p	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
Martti Pouru	<b>Employer of the bachelor's thesis</b> Oy SWM-Wood Ltd	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY .....	2
3	PUUN OMINAISUUKSIEN TERMINEN MODIFIOINTI, ELI LÄMPÖKÄSITTELY .....	4
3.1	Prosessi ja sen tavoitteet .....	4
3.2	Prosessissa syntyvät päästöt.....	6
3.3	Lämpöpuu .....	6
3.3.1	Ominaisuudet.....	7
3.3.2	Tuottajat ja tuotantomäärät.....	8
3.3.3	Käyttökohteet .....	9
3.3.4	Alan tulevaisuuden näkymät .....	9
3.4	Prosessissa tarvittava energia ja sen kustannukset .....	9
3.5	Prosessissa vapautuvat päästöt ja niiden puhdistusmenetelmät .....	10
3.5.1	Erilaiset puhdistusmenetelmät.....	11
3.5.2	SWM-Woodin vanha, kondensioon perustuva savukaasujen puhdistuslaite .....	13
4	PROSESSISSA VAPAUTUVIEN HAJUPÄÄSTÖJEN PUHDISTAMINEN POLTTAMALLA .....	14
4.1	Polttotekniikka ja sen vaatimukset .....	14
4.2	Haasteet.....	15
4.3	Taloudelliset perusteet energian käytön tehostamiselle.....	15
4.4	Poltto/puhdistustekniikan energiataseen määrittäminen.....	16
4.4.1	Polttimen ohjaus puhdistuksen aikana .....	18
4.4.2	Päästöjen puhdistamisen aikainen tehotase.....	18
5	TULOKSET .....	20
5.1	Tulosten analysointi.....	21
5.2	Tulosten yhteenveto.....	22
6	EHDOTUKSIA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI ..	22
6.1	Puhdistukseen käytettävä aika.....	23
6.2	Kehittyneempi ohjaus puhdistuksessa tarvittavaan poltintehoon.....	23
6.3	Enemmän jatkuvaa kuormaa .....	25
6.4	Muita mahdollisia energian hyödyntämiskeinoja.....	25

6.4.1	Rakennusten lämmitys .....	25
6.4.2	Kaukolämpöverkon hyödyntäminen.....	26
6.5	Sähköntuotanto mikroturbiinilla.....	28
6.6	Lämmöntalteenotto savukaasuista.....	29
7	POHDINTA .....	29
8	LÄHTEET.....	32
9	LIITTEET .....	33

## 1 JOHDANTO

Puun lämpökäsittelyn teollinen tuotanto on varsin nuori teollinen ala ja siinä käytetty tekniikka kehittyy koko ajan, eikä ongelmiltakaan ole aina vältytty. Varsinkin toiminnan aiheuttamat hajupäästöt ovat olleet monelle toimijalle ongelmallisia. Toimeksiantajani Oy SWM-Wood Ltd: n(myöhemmin SWM-Wood) puunlämpökäsittelyn tuotantolaitos sijaitsee aivan Mikkelin keskustan tuntumassa, joten haisevat ilmapäästöt ovat osoittautuneet ongelmallisiksi, varsinkin lähiympäristön asukkaiden kannalta. Prosessista vapautuvat, voimakkaasti haisevat yhdisteet ovat häirinneet lähialueen asukkaita ja varsinkin viimevuosina ovat ongelmat usein kärjistyneet, koska yhtiön tuotantomäärät ovat kasvaneet kuten myös hajupäästöjen määrä.

Vuoteen 2008 asti yhtiöllä oli käytössä Stellac Oy:n valmistama, päästöjen lauhdutukseen perustuva, prosessikaasujen puhdistusjärjestelmä. Tämä järjestelmä osoittautui kuitenkin kalliiksi, paljon huoltoa vaativaksi ja ennen kaikkea tehottomaksi laitteistoksi. Laitteiston tehokkuudesta järjestettiin mittauksia ja laitteistoa yritettiin parantaa, mutta tulokset jäivät heikoiksi. Parhaimmillaankin, juuri puhdistettuna, laitteella päästiin vain 85 % reduktioasteeseen. Yhtiön ympäristöluvassa oli edellytyksenä 98 % reduktioaste, ei vanha laitteisto täyttänyt siten sille asetettuja vaatimuksia. Yhtiön toiminnan edellyttäessä ympäristölupaa, kielsi valvova viranomainen puunlämpökäsittelytoiminnan vanhalla prosessikaasujenpuhdistus järjestelmällä keväällä 2008. Yhtiö oli siis pakotettu investoimaan uuteen puhdistusjärjestelmään, tai lopettamaan toiminnan kokonaan.

Selvitystyö puhdistusjärjestelmän valinnasta aloitettiin käytännössä jo loppuvuodesta 2007 ja siihen osallistui yhtiön oman väen lisäksi suunnittelutoimisto Rejlers Oy sekä puunlämpökäsittelylaitetoimittajista Stellac Oy sekä Jartek Oy. Tutkimuksissa tultiin siihen tulokseen, että paras tapa puhdistaa päästöt on polttaminen, josta oli hyviä kokemuksia mm. Stora Enson Kotkan tehtailta. Päästöjen polttaminen tarvitsee kuitenkin energiaa, jota haluttiin hyödyntää prosessissa. Selvityksiin perustuen yhtiö teki päätöksen yhdistelmäkatilan, eli ns. kombikatilan hankinnasta. Polttoaineeksi valittiin nestekaasu, sen säädettävyyden ja polttoöljyä edullisemman hintatason takia. Myös biokatilaa mietittiin yhtenä vaihtoehtona, mutta se ei tullut kyseeseen tilan-

puutteen vuoksi, jota olisi erityisesti tarvittu polttoaineen varastointia varten. Yhtiö myös sanoi irti aikaisemman sopimuksen lämmityshöyryn ostamisesta Etelä-Savon Energian kanssa. Yhtiöstä tuli näin omavarainen energian- ja höyryntuotannossa ja ainoastaan sähköenergia piti ostaa ulkopuolelta. Uusi kattilalaitos saatiin toimintaan heinäkuussa 2008 ja jo saman vuoden syksyllä huomattiin energian käytössä tarvetta kehittämiseksi. Energiaa haluttiin, energiakustannusten noustessa, hyödyntää tehokkaammin, joten yhtiö investoi vuonna 2009, n. 1,5-miljoonaa euroa uuteen tuotantoyksikköön, tavoitteenaan isompi lämpökuorma kattilalle. Työssäni on tarkoitus selvittää mahdollisen prosessikaasuista saatavan ilmaisen lämpöenergian määrää ja mahdollisuuksia sen kierrättämiseen prosessissa tai mahdolliseen muuhun hyödyntämiseen.

## **2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY**

Oy SWM-Wood Ltd on perustettu vuonna 1998. Yhtiön kotipaikka on Mikkelissä ja se on aloittanut lämpöpuun teollisen tuotannon vuonna 1999(1). Liikevaihtoa kertyi vuonna 2010, 3 400 000 € ja työntekijöitä on 17(2). Yhtiö harjoittaa myös höyläys-toimintaa ja keskittyy myynnissään vientimarkkinoille. Kotimaan markkinoille yhtiö toimittaa pienissä määrin lähinnä sauna- ja muita sisustustuotteita. Yhtiö toimi vuoteen 2008 asti nimellä Stellac Wood Mikkelin Oy ja se on aikoinaan perustettu Mikkeliläisen puun lämpökäsittelylaitteistoja valmistaman Stellac Oy:n referenssilaitokseksi ja siinä on ollut alusta asti mukana ulkomaista pääomarahoitusta. Elokuussa 2008 yhtiö vaihtoi nimekseen Oy SWM-Wood LTD. Yhtiöllä on käytössä kolme tuotantoyksikköä, eli uunia, joissa voidaan lämpökäsittellä vuodessa maksimissaan lähes 15000 m<sup>3</sup> sahatavaraa.



**Kuva 1, SWM-Woodin tuotantolaitos, Mikkelissä(Järvelä 2009)**

Yhtiö on nykyisin täysin ulkomaisessa omistuksessa ja se hankkii tuotannossaan tarvitsemansa sahatavan pääosin kotimaisilta sahoilta. Käytetty sahatavara on siis lähes 100 %:sti PEFC-merkittyä. PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes) on kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä, joka edistää ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävää metsätaloutta kaikkialla maailmassa(8).

Tuotteissaan yhtiöllä on myös oikeus käyttää Hollantilaisen SKH:n KOMO-sertifikaattia sekä Suomen Lämpöpuuyhdistyksen TMT-sertifikaattia. Molempien sertifikaattien auditoinnista vastaa ulkopuolinen taho. Hollantilainen KOMO-sertifikaatti on arvostettu rakennustuotteiden ja materiaalien hyväksyntätaho, jonka



myöntämällä sertifikaatilla taataan tuotteiden kestävyys ja soveltuvuus valittuun kohteeseen (8). Suomen lämpöpuuyhdistyksen TMT-sertifikaatti on puolestaan keskittynyt pelkästään lämpökäsittelyjen puiden laadunvalvontaan(3).

### **3 PUUN OMINAISUUKSIEN TERMINEN MODIFIOINTI, ELI LÄMPÖKÄSITTELY**

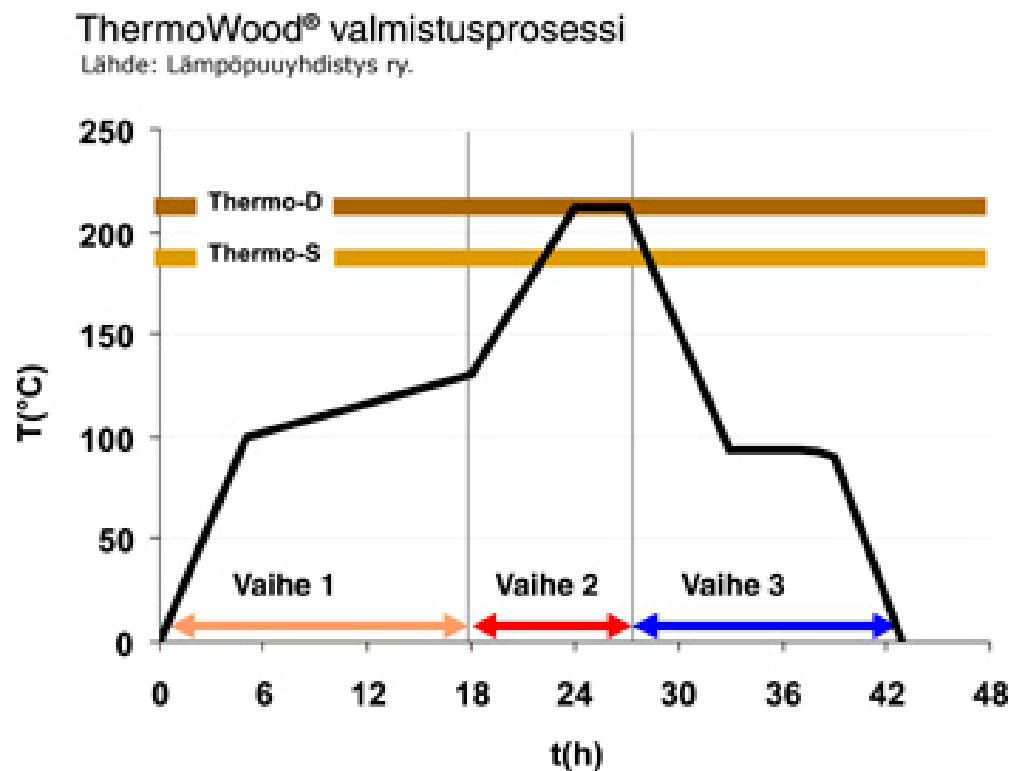
Suomi on johtava maa puun lämpökäsittelyssä ja sen kaupallisessa tuottamisessa. Toimintaa löytyy myös muulta maailmasta mutta lämpöpuun teollinen tuotanto on Suomessa ylivoimaisesti maailman laajinta. Suomalaiset lämpöpuuntuottajat ovat perustaneet vuonna 2000 Suomen lämpöpuuyhdistyksen valvomaan etujaan ja patentejaan sekä sopineet yhdistyksessä mm. yhteisistä laatu- ja käsittelyluokista. Näitä luokkia käytetään lämpöpuuta markkinoinnissa ja ne ohjaavat myös käytössä olevaa laaduntarkkailua. Vuonna 2011 thermowood sertifikaatin mukainen myyntituotanto oli yhteensä 109757 m<sup>3</sup>. Nykyisin jäseniä on 13, joista lämpöpuuntuottajia 11 ja 2 on lämpöpuun tuotantoon tarkoitettujen laitteistojen valmistajia(3).

#### **3.1 Prosessi ja sen tavoitteet**

Puun lämpökäsittelyllä muutetaan puun fysiologisia ominaisuuksia. Käsittelyssä ei käytetä mitään kemikaaleja, ainoastaan lämpöä sekä vesihöyryä suojaakaasuna. Suojaakaasua tarvitaan suojaamaan puuta syttymiseltä, lisäksi vesihöyryllä säädetään ilman kosteutta halutuksi kuivaus- ja tasaannutusvaiheissa. Höyryllä uskotaan olevan myös joitain edullisia vaikutuksia puun ominaisuuksiin, mutta tätä ei kuitenkaan ole tarkemmin tutkittu. Lämpökäsittelyssä puu ensin kuivataan täysin ja sen jälkeen lämpötila nostetaan yli 180 °C, jopa 230 °C, jolloin puu tummuu läpikotaisin ja siitä poistuu sokereita, etikka- ja muurahaishappoja, terpeeneitä sekä furfuraalia(4). Eri-laisia aineita ja niiden yhdisteitä vapautuu prosessissa kymmeniä ja osa niistä on luokiteltu jopa vaarallisiksi. Lämpökäsittelyllä saadaan puussa aikaan luontaista lahonkestoaa, koska lahottajasienille ei ole enää ”ruokaa” sokerien poistuttua. Lisäksi puun tasapainokosteus alenee, kuten myös muotopysyvyys ja lämmönjohtavuus. Haittapuolena puun rakenne- ja murtolujuus heikkenevät, joka on otettava huomioon varsinkin kantavia rakenteita suunniteltaessa. Periaatteessa kaikkia puulajeja voidaan lämpökäsittää, mutta yleisemmin käytössä ovat skandinaavinen mänty ja kuusi(3). Kuten johdannossa mainittiin, on ala varsin nuori ja käytössä oleva laitteisto yhä osin

kokeellista. Tekniikka ja prosessi kehittyvät koko ajan tuottajien kehittäessä menetelmiään ja laitevalmistajien parantaessa laitteistoja sekä prosessinohjaustekniikkaa.

Prosessi sinänsä on aika yksinkertainen. Kuvassa 1 on koko prosessi kuvattuna ajan funktiona. Eli ensin puu lämmitetään ja kuivataan. Kuivauksen jälkeen puukuorma käsitellään halutussa, jopa yli 200°C lämpötilassa. Tämän jälkeen seuraa jäähtytys ja tasaannutusvaiheet, jossa puu jälleen kostutetaan, jatkotyöstämisen helpottamiseksi. Lopuksi kuorma jäähdytetään ja on vaihdettavissa uuteen. Yhden kuorman käsitelyyn menee aikaa 20–150 tuntia, riippuen käsiteltävästä puulajista, sen paksuudesta sekä lähtökosteudesta. Prosessin hallinta ja toistettavuus ovat tietokoneohjauksen ansiosta erinomaisia, eikä laatutappioita yleensä esiinny, jos käsiteltävä materiaali on lämpökäsittelyyn sopivaa ja prosessihäiriöiltä välttyään.



Kuva 2, puun lämpökäsittelyprosessi(Lämpöpuuyhdistys ry. 2006)

### 3.2 Prosessissa syntyvät päästöt

Suurimmat päästöt prosessista syntyvät ilmaan, eli prosessissa puusta vapautuu erilaisia yhdisteitä kaasumaisessa muodossa (savua), jotka sekoittuvat uunin syötettävään suoja-kaasuvesihöyryyn. Nämä höyrymäisessä muodossa olevat aineen haisevat voimakkaasti ja kuten savu yleensäkin, ärsyttävät hengitysteitä ja silmiä. Näitä voimakkaasti haisevia päästöjä, joita on tarvetta puhdistaa, syntyy ilman lämpötilan kohotessa yli 160 °C. Tämä raja-arvo perustuu SWM-Woodilla, sekä muilla tuotantolaitoksilla tehtyihin empiirisiin tutkimuksiin ja se on sovittu yhdessä paikallisten ympäristöviranomaisten kanssa. On myös todettu, että ilmapäästöt kantautuvat todella kauas ja haisevat voimakkaasti jo hyvinkin pienissä määrissä.

Muita päästöjä prosessissa ovat jätevesipäästöt, eli lauhdevedet, joita syntyy eniten prosessin jäähdytysvaiheessa, jäähdytysveden lauhtuessa uunin seinämille ja lattialle. Nämä päästöt eivät vaadi erikoisia käsittelymenetelmiä ja ne johdetaankin yleensä suoraan kunnalliseen jätevesiverkostoon. Ainoana ongelmana on jätevesien ajoittain alhainen pH, jota tulee tarkkailla ja jätevesiä siten neutraloida tarvittaessa. Mikkelin vesilaitoksen kanssa onkin sovittu, ettei erillistä erityisjätevesisopimusta tarvita ja pH-tasoa tarkkaillaan tehtaalla ja jätevesiä neutraloidaan tarvittaessa. Mahdollisten ongelmien esiintyessä on myös sovittu toimintamalleista yhdessä jätevesilaitoksen kanssa.

Prosessissa syntyviä päästöjä on tutkittu jo 1970-luvulla ja VTT on tehnyt puun lämpökäsittelystä kattavan tutkimuksen vuonna 1996. Tutkimuksessa todetaan esimerkiksi kuusen lämpökäsittelyn päästöjen koostumuksen olevan: 3 % metanolia, 8 % etikkahappoa ja 3 % furfuraalia. Kaasupäästöjä todetaan muodostuvan noin 300 cm<sup>3</sup> 100g kuivaa puuta kohden (7). Voimakkainta hajuhaittaa aiheuttaa furfuraali, joka suhteellisen pienestä osuudestaan huolimatta haisee todella voimakkaasti ja hyvin kaukana itse päästölähteestä. Puun lämpökäsittelyn aiheuttamista hajuhaitoista ja siihen liittyvistä kysymyksistä ei tietojen mukaan ole tehty tutkimuksia.

### 3.3 Lämpöpuu

Lämpöpuuksi kutsutaan sahatavaraa, jota on käsitelty yli 180 °C lämpötilassa sen ominaisuuksien muuttamiseksi. Suomen lämpöpuuyhdistys on sopinut havu- ja lehtipuulle tuoteluokitukset ja niiden käsittelylämpötilarajat. Eri käsittelyluokan tuotteet

soveltuvat eri käyttökohteisiin ja niillä pyritään selventämään lämpöpuun ominaisuuksia asiakkaille. Perussääntönä on, että kuumemmassa käsitelty puu tummuu enemmän ja sen lahonkesto paranee, mutta vastaavasti taivutuslujuus ja rakennekestävyys heikkenevät. Alla on esitettyä Suomen lämpöpuuyhdistyksen taulukko lämpökäsittelyn vaikutuksesta suomalaisten havupuiden ominaisuuksiin.

**Taulukko 1, männyn ja kuusen thermowood luokitus(Lämpöpuuyhdistys ry. 2000)**

	Thermo-S	Thermo- D
Käsittelylämpötila	190 °C	212 °C
Kestävyys	+	++
Dimensiostabiiisuus	+	++
Taivutuslujuus	ei muutosta	-
Väriin tummuus	+	++

### 3.3.1 Ominaisuudet

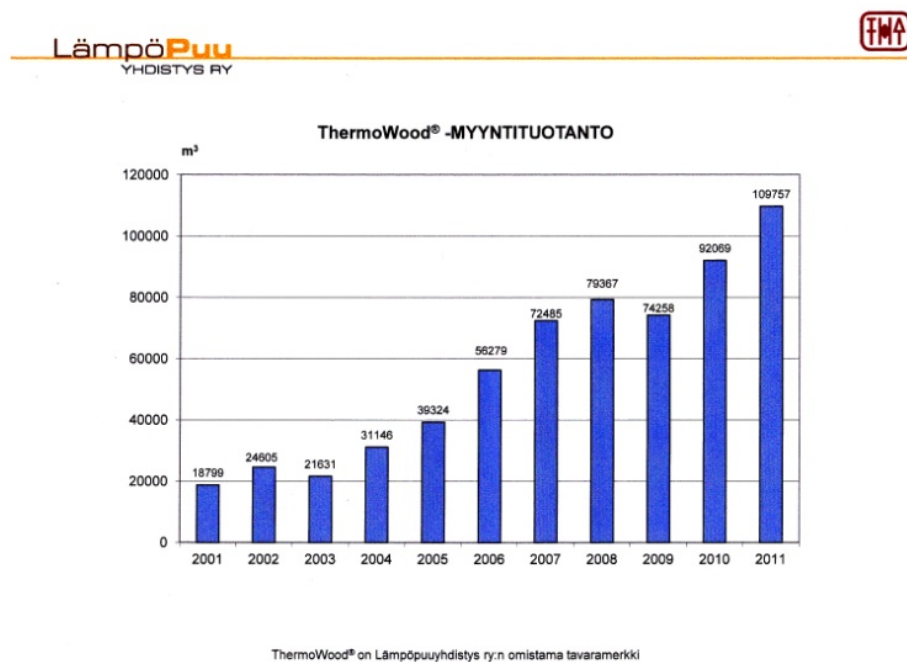
Lämpökäsittelyssä puulle saadaan luonnollisen kaunis ruskea väri, jota voidaan säätää tarpeen mukaan prosessiaikaa ja lämpötilaa vaihtelemalla. Huomioitavaa on kuitenkin, että lämpökäsittelyllä saatu väri ei ole UV-valo kestävä, vaan varsinkin ulkokäytössä tuotteet täytyy suojata UV-säteilyltä haalistumisen estämiseksi. Muita hyviä puulle saatavia ominaisuuksia ovat: muotopysyvyys, lahonkesto, alentunut lämmönjohtavuus sekä alentunut tasapainokosteus. Lisäksi puu värjäytyy prosessissa läpi asti, joten esim. kalusteissa naarmut ym. aiheuta kosmeettista haittaa.

Lämpöpuuta voidaan jatkotyöstää ja liimata lähes samoin kuin käsittelemätöntä puuta. Huomioitavia seikkoja jatkotyöstössä ovat kuitenkin lämpöpuun erittäin hienojakoinen pöly, mekaanisesti työstettäessä(höyläys ja hionta). Lisäksi lämpöpuun alentunut kosteuspitoisuus vaatii liimauksessa pidettyneen puristusajan, joten teolliset puun liimauslinjat eivät välttämättä sovellu sellaisenaan lämpöpuun liimaukseen. Hyötynä on taas tuotteiden pihkattomuus, joka on etuna esimerkiksi höyläyksessä, jolloin terien puhdistamisesta päästään eroon lähes kokonaan. Alentunutta lämmönjohtavuutta on erilaisten innovaatioiden avulla alettu viime vuosina hyödyntää raken-

nusteollisuudessa. Ikkuna- ja ovivalmistajat käyttävät lämpöpuuta karmeissa, saaden näin tuotteilleen alempia, uusien energianormien mukaisia, U-arvoja.

### 3.3.2 Tuottajat ja tuotantomäärät

Järjestäytyneitä lämpöpuun teollisia tuottajia on suomessa kahdeksan ja lisäksi on joitain tilastoimattomia pientuottajia, joiden tuotantomääristä ei ole tarkkaa tietoa. Järjestäytyneillä, eli Suomen lämpöpuuyhdistyksen jäsenillä, yhteenlaskettu tuotantomäärä oli vuonna 2011 109757 m<sup>3</sup>, joka olikin historian suurin. Kuvassa 2 on kuvattuna lämpöpuun tuotantomäärät vuodesta 2001 alkaen. Määrät ovat olleet voimakkaasti kasvavia, lukuun ottamatta vuoden 2009 pientä notkahdusta. Tämä notkahdus aiheutui maailman talouden taantumasta ja sitä seuranneesta rakentamisen hiljentymisestä. Heti seuraavana vuonna tuotantomäärät kääntyivät nousuun ja kasvu on sen jälkeen vain kiihtynyt.



Kuva 3, lämpöpuun myyntituotanto 2001-2011(Lämpöpuuyhdisty ry. 2012)

### 3.3.3 Käyttökohteet

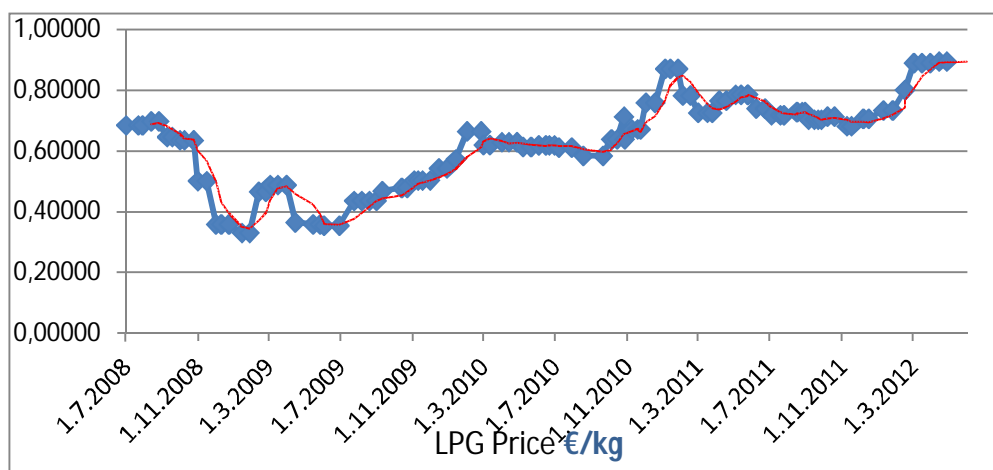
Lämpöpuuta käytetään yleensä kohteissa, joissa halutaan parempaa kosteuden kestoa, muotopysyvyyttä sekä lahonkestoa. Käyttökohteita voivat olla ulkotiloissa: laiturit, terassit, ikkunat, ovet, melu- ja muut aidat, rakennusten julkisivut sekä erilaiset puutarhakalusteet ja rakennelmat. Sisätiloissa lämpöpuusta voidaan tehdä: kalusteita, lattioita, työtasoja sekä saunan sisustuksia. Periaatteessa lämpöpuu soveltuu kaikkeen rakentamiseen, kunhan vain tuotteen ominaisuudet osataan ottaa huomioon, eli heikentynyt rakennelujuus sekä UV-säteilyn vaikutukset. Ainoastaan maanalaisiin rakennelmiin ei lämpöpuuta suositella käytettäväksi.

### 3.3.4 Alan tulevaisuuden näkymät

Lämpöpuun ja siitä valmistettujen tuotteiden tulevaisuus näyttää erittäin hyvältä. Tuotteiden kysyntää lisää ja markkinointia helpottaa ihmisten ympäristötietoisuus ja sademetsistä saatavien kovapuista valmistettujen tuotteiden epämuodikkuus. Lämpökäsitellyillä puutuotteilla on samoja kauniin ruskeita värisävyjä, kuin eksoottisilla puulajeilla. Ja lämpöpuun tuotannossa vastaavasti käytetään 90 % skandinaavisia, PEFC-sertifioitua sahatavaraa(3). Lämpöpuuta voidaan markkinoida erittäin ympäristöystävällisenä vaihtoehtona kaikkeen rakentamiseen.

## 3.4 Prosessissa tarvittava energia ja sen kustannukset

Lämpöpuun valmistusprosessi kuluttaa energiaa vain 25 % enemmän kuin normaalin sahatavaran valmistuksen yhteydessä suoritettava tuoreen sahatavaran keinokuivaus(3). Tämä 25 % on kuitenkin nykyisillä energian hinnoilla paljon ja lämpöpuuta pidetäänkin markkinoilla yleisesti kalliina tuotteena. Kuvassa 4 näkyy SWM-Woodin energiana käyttämän nestekaasun kilohinta vuodesta 2008 alkaen. Nestekaasun hinta on noussut vuodesta 2008 0,7 €/kg → 0,9 €/kg, eli 29 %. Nestekaasu, eli käytetty lämpöenergia on, sahatavaraa lukuun ottamatta, suurin yksittäinen kustannuserä määritettäessä lopputuotteen hintaa.



Kuva 4, nestekaasun hinnan kehitys €/kg(Järvelä 2011)

Prosessissa energiaa käytetään sahatavaran kuivaukseen, höyryntuotantoon, puussa olevien aineiden höyryttämiseen sekä itse puumassan lämmittämiseen. Prosessissa höyryä tarvitaan kuivausvaiheissa kosteuden säätämiseen sekä lämpökäsittelyvaiheessa suojaamaan puuta itsesyttymiseltä. Lisäksi tarvitaan sähköenergiaa puhallinmoottoreiden pyörittämiseen, joilla varmistetaan lämpöenergian siirtyminen koko kuormaan ja siten käsiteltävän erän tasalaatuisuus.

### 3.5 Prosessissa vapautuvat päästöt ja niiden puhdistusmenetelmät

Thermowood-prosessissa syntyy, vaiheesta riippuen, paljon erilaisia päästöjä. Sahatavaran kuivausvaiheessa vapautuu puusta muurahaishappoa sekä muita miedosti haisevia aineita(4). Kuivausprosessi vastaa sahoilla yleisesti käytössä olevaa sahatavaran kuumakuivausta, eikä siinä vapautuvia päästöjä ole todettu tarpeen puhdistaa. Jätevesipäästöjä syntyy sekä kuivausprosessissa, että lopun tasaannutus- ja jäähdytysvaiheissa, lauhdevesien muodossa. Nämä lauhdevedet sisältävät mm. etikka- ja muurahaishappoja sekä puun uuteaineita(4) ja ovat tyypillisesti erittäin happamia, pH:n ollessa 3-5. Happamuus onkin jätevesipäästöjen ainoa haittatekijä ja jätevesien neutralointiin on yleensä tarvetta.

Ongelmallisimmat päästöt syntyvät prosessin kuumimmassa vaiheessa, kun sahatavaraa kuumennetaan yli 160 °C lämpötilassa. Tällöin puusta vapautuu voimakkaasti haisevia aineita ja yhdisteitä. SWM-Woodin voimassa oleva ympäristölupa edellyttääkin näiden päästöjen puhdistamista ja puhdistustehokkuuden määrittämistä määräajoin. Ilmapäästöt eivät aiheuta välitöntä terveysvaaraa, vaan niiden aiheuttama haitta on ainoastaan epämiellyttävä haju. Haiseva päästö sisältää kyllä vaaralliseksikin luo-

kiteltuja aineita, mutta niiden määrä jää hyvin pieneksi, etenkin päästön laimentuessa etäämmällä tehtaasta.

### 3.5.1 Erilaiset puhdistusmenetelmät

Kokeiluja erilaisista puhdistuslaitteista on ollut monia ja maailmalla on yhä käytössä mitä erilaisimpia puhdistus menetelmiä. SWM-Woodilla oli vuoteen 2008 käytössä savukaasupesuri, jossa prosessista vapautuvat kaasupäästöt/savut ohjattiin kaksivaiheiseen pesulaitteistoon, jossa savukaasut lauhdutettiin ja näin yritettiin poistaa niistä haisevat ainesosat. Lauhduttimien lämpötilat perustuivat joihinkin päätössä tiedossa olevien aineiden höyrystymislämpötiloihin. Ongelmalliseksi osoittautui kuitenkin laitteiston jatkuva tukkeutuminen ja siitä aiheutunut jatkuva puhdistaminen sekä merkittävimpana laitteen tehottomuus.

Muita tiedossa olevia puhdistusmenetelmiä ovat: lipeäpesurit, suodattimet sekä erilaiset polttomenetelmät. Suodattimista tutkimuksia on tehty ainakin biosuotimesta, josta tehtiin esiselvitys vuosina 2005–2007, Mikkelin Ammattikorkeakoulun ja lämpöpuun tuottajien yhteistyönä. Selvityksessä todettiin, ettei lämpöpuun tuotannossa syntyviä päästöjä ole järkevää puhdistaa biosuotimella, eikä sillä siten päästä haluttuun lopputulokseen. Puhdistusmenetelmänä käytetäänkin yleisesti polttotekniikkaa, jossa kuumimman, eniten hajuja aiheuttavan, vaiheen päästöt ohjataan poltettaviksi. Polttamalla puhdistaminen voi tapahtua prosessista erillisessä esim. soihutupolttimesa tai kuten SWM-Woodin laitoksessa, yhdistelmäkattilassa, jossa päästöt poltetaan samassa kattilassa, jolla tehdään kaikki prosessin tarvitsema energia. Polttaminen onkin osoittautunut varmatoimisimmaksi ja tehokkaimmaksi tavaksi puhdistaa hajupäästöjä. Päästöjä voidaan polttaa erikseen siihen varatulla polttolaitoksella tai, kuten SWM-Woodin laitoksella, Samalla kattilalla jolla tehdään muukin prosessin tarvitsema lämpöenergia. Tällaista kattilaa kutsutaan kombikattilaksi ja sillä on, ainakin teoriassa, mahdollista kierrättää lämpöenergiaa prosessissa. Kattilassa on lämmönsiirtoaineena lämmönsiirtoöljy, eli thermoöljy, joka kiertää myös lämpökäsittelyyunitien pattereissa sekä höyrykehittimen lämmityspatterissa.





**Kuva 5, SWM-woodin 2MW:n kombikattila vm.2008(Järvelä 2010)**

Ongelmalliseksi ja paljon lämpöenergiaa vaativaksi puhdistuksessa tekee prosessissa käytetty vesihöyry, jota tulee puhdistukseen yhdessä haisevien yhdisteiden kanssa. Osa puhdistuksessa käytetystä lämpöenergiasta kuluu siis vesihöyryn lämmittämiseen eli tulistamiseen, joka haihtuu savukaasujen mukana taivaalle.

Toinen merkittävä ongelma päästöjen polttamisessa ovat puusta irronneiden, höyrymäisessä muodossa olevien ainesosien aiheuttama likaantuminen. Kattila ei yleensä pysty olemaan kovin lähellä päästön lähdettä, eli uunia. Tästä johtuen joudutaan puhdistettavia kaasuja kuljettamaan kanavisto pitkin pitkiäkin matkoja kattilalle. Tähän tarvitaan yleensä myös puhallinta, koska uunissa oleva paine ei yleensä riitä. Puusta irronneet uuteaineet ovat kylläistä höyryä, joka lämpötilan vähänkin pudotessa tiivistyy nesteeksi ja kiinteäksi, tervamaiseksi aineeksi, joka helposti tukkii kana-

vistoa ja haittaa puhaltimen toimintaa. Siirtokanavisto onkin eristettävä hyvin ja puhdistuksen tarve on kartoitettava määräajoin. Kanaviston puhdistus onnistuu mekaanisesti tai painevesilaitteiston avulla.



**Kuva 6, Puhdistettavan päästön aiheuttamaa tukkeumaa kattilan läppäventtiilissä (Järvelä 2009)**

### **3.5.2 SWM-Woodin vanha, kondensioon perustuva savukaasujen puhdistuslaite**

SWM-Wood teetti vuonna 2007 tutkimuksen silloisesta savukaasujen puhdistusjärjestelmästä (liite 4). Tutkimuksen suoritti ympäristötekniikan erityiskysymyksiin erikoistunut Watrec Oy. Tutkimuksella selvitettiin silloisen, savukaasujen kondensioon perustuvan puhdistuslaitteen reduktio, eli puhdistusteho ja siten laitteen ympäristöluvan mukaisuus. Mittauksia suoritettiin kolme kappaletta ja yhteenvedona todettiin reduktion olevan kaukana ympäristöluvan 99 % vaatimuksesta. Esimerkiksi männyllä reduktioksi saatiin 63 % (liite 4-7) ja kuusen reduktioksi puolestaan 87 % (liite 4-11). Tutkimuksessa selvitettiin tarkasti lämpökäsittelyn aikana vapautuvat orgaaniset yhdisteet ja määritettiin niiden koostumus laboratoriossa. Tutkimus vah-

visti yhtiön päätöstä vaihtaa savukaasujen käsittelylaitteisto uudempaa, paremmin toimivaan sekä määräykset täyttävään laitteistoon.

#### **4 PROSESSISSA VAPAUTUVIEN HAJUPÄÄSTÖJEN PUHDISTAMINEN POLTTAMALLA**

SWM-Wood valitsi kattilainvestoinnin yhteydessä päästöjen puhdistusmenetelmäksi polttamisen. Kattilatoimittajaksi valittiin Saksalainen AURA GmbH, koska yhtiöllä oli laaja ja vakuuttava referenssiluettelo sekä paljon aikaisempaa kokemusta erilais-  
ten prosessikaasujen puhdistamisesta polttamalla.

Polttamisessa päästö ja siinä olevat orgaaniset hiilivedyt kuumennetaan yli 600 °C lämpötilaan, jolloin ne hajoavat ja hajuhaitta poistuu. Polttamista on myös kokeiltu itse prosessista erillisissä soihutupolttimissa(Stora Enso, Kotka) mutta eniten käytössä on yhdistelmäkattiloita. Yhdistelmäkattilalla, eli kombikattilalla tarkoitetaan kattilaa, jossa tuotetaan päästöjen polton lisäksi myös kaikki prosessissa tarvittu lämpö mukaan lukien vesihöyryn tekoon tarvittava lämpöenergia. Tämä antaa, ainakin teorias-  
sa, mahdollisuuden hyödyntää poltettavassa päästössä olevaa energiaa lisäksi yhdis-  
telmäkattila alentaa perustamisvaiheen investointikustannuksia.

##### **4.1 Polttotekniikka ja sen vaatimukset**

Poltettaessa päästöä ohjataan se erillisellä puhaltimella kattilan polttimen juuressa sijaitsevan syöttöosaan ja sitä kautta sisään kattilaan. Tavoitteena on mahdollisimman turbulентtinen virtaus, jolloin päästö sekoittuu hyvin nestekaasuliekkiin ja syttyy palamaan ja palaminen jatkuu läpi kattilan kammioiden. Päästöjen puhdistuksen tuloksen varmistamiseksi asetettiin suunnitteluvaiheessa viipymäminimiksi 2-sekuntia. Viipymällä tarkoitetaan aikaa, jonka poltettava päästö viettää kattilan sisällä, ennen joutumistaan piippuun. Riittävä lämpötila puhdistustuloksen varmistamiseksi tuotti eniten haastetta. Tässä asiassa yhtiö turvautui kattilavalmistajan kokemukseen. Kattilatoimittajan omien kokemusten perusteella päädyttiin vähintään 550 °C lämpötilaan. Lämpötila nostettiin myöhemmin, ensimmäisten koe-erien jälkeen 600 °C:een, että puhdistustuloksesta saatiin riittävän hyvä. Heti aluksi huomattiin, että käytössä olevan nestekaasupolttimen säätönopeus ei riittänyt päästöjä puhdistessa, vaan hapen riittävytydessä polttotapahtumaan oli ajoittain ongelmia. Tämä aiheutti turvalli-

suussyistä polttimen pysähtymisen, koska palamistapahtuma ei ollut täydellinen ja hiilimonoksidin, eli hään määrä kasvoi liian suureksi, jolloin oli olemassa jopa räjähdysvaara. Polttimen ohjauksen ja häikävaaran vuoksi, jouduttiin polttimen ilmamääriä kasvattamaan ja siten jäännöshapen osuutta kasvattamaan suuresti. Polttotapahtuma saatiin varmatoimiseksi yli 6 % jäännöshapen määrällä, jolloin poltettavan päästön määrän äkillisesti vaihdellessa ei säätö ole enää ongelmallinen. Poltinta siis ohjataan piipusta mitattavalla jäännöshapen määrällä ja sisälämpötila-anturilla. Kattilan sisälämpötila määrää tarvittavan tehon ja savukaasuista määritettävä jäännöshappi vastaavasti polttoprosessi tarvitseman hapen määrän. Näin päästään luotettavasti haluttuun lopputulokseen, eikä hajuhaittaa esiinny.

## **4.2 Haasteet**

Suurimmaksi haasteeksi poltettaessa päästöjä on osoittautunut poltettavan päästön korkea höyryomaisessa muodossa olevat puun uuteaineet. Poltettava päästö on siis pääosin kylläistä höyryä, joka sisältää erilaisia kaasumaisessa muodossa olevia hiilivetyjä. Ongelmia aiheuttaa pienikin lämpötilan lasku ja sitä seuraava erilaisten uuteaineiden tiivistyminen nestemäisiksi ja kiinteiksi aineiksi. Tämä taas aiheuttaa tukkeutumista kanavistossa sekä kattilassa ja siten jatkuvaa puhdistamisen tarvetta. Myös päästöjen siirrossa käytettäville puhaltimille korkea kosteus ja höyryomaisessa muodossa olevat puusta irtoavat ainesosat aiheuttavat monia ongelmia. Puhaltimien siipiin kertyy tervamaisia aineita ja lämpötilan pudotessa myös nesteet kertyvät puhaltimiin ja aiheuttavat jatkuvaa tarkkailua sekä puhdistamisen tarvetta. Toinen merkittävä ongelma on kattilan palamisarvojen säätö, etenkin riittävä happi pitoisuus, riittävän hyvän palamistapahtuman varmistamiseksi, on ajoittain hankalaa ja aiheuttaa ongelmia sekä katkoksia puhdistukseen. Tämä oli suurin ongelma kattilan käyttöönotossa ja päästöjen puhdistusta aloiteltaessa vuonna 2008. Nykyisin polttoprosessi on hyvin hallinnassa ja katkoksia esiintyy todella harvoin.

## **4.3 Taloudelliset perusteet energian käytön tehostamiselle**

Polttopäiväkirjaan merkityistä nestekaasumittarin lukemista laskettuna on yhden lämpökäsittelyn päästöjen puhdistuksen keskimääräinen hinta 569 € SWM-woodin 10000 m<sup>3</sup> vuosituotannolla on käsiteltäviä uunikuormia n.220 kpl, eli yhteensä päästöjen puhdistukseen käytetään euroja 125180 €/vuodessa. Lisäksi yhtiön energiana käyttämä nestekaasu on öljytuote, joten hintatason ei voi olettaa laskevan tulevaisuu-

nessa. Prosessissa käytetty energia on yksi suurimmista yksikkökustannuksista lopputuotteen hinnassa, joten kilpailukyvyyn sekä markkina-aseman säilyttämiseksi olisi kustannuksia pyrittävä alentamaan tälläkin sektorilla.

#### 4.4 Poltto/puhdistustekniikan energiataseen määrittäminen

Laskemilla on tarkoitus selvittää puhdistuksen aikainen tehotase, eli se kuinka paljon poltin kuluttaa nestekaasua, mikä on prosessin energian tarve sekä paljonko päästöjen puhdistus vaatii energiaa. SWM-Woodilla käytössä oleva nestekaasupolttimen tehoalue on portaattomasti säädettävissä halutuksi tehon tarpeen mukaan. Poltinta voidaan ajaa 15 % -100 % tehoalueiden välillä. Käytössä on lisäksi nestekaasun tilavuusmittari polttimelle menevässä putkilinjassa. Kattilan tilausteho valmistajalta on 2000 kW. Kattilan tehoksi(P1) saadaan 2075,22 kW laskemalla kaavasta 1, jossa Q= tilavuusvirta, c= lämmönsiirtoöljyn ominaislämpökapasiteetti kJ/K\*kg, ρ= lämmönsiirtoöljyn tiheys kg/m<sup>3</sup> ja ΔT= lämpötilaero.

<p>Kattilateho P1</p> $P1 = (Q * c * \rho * \Delta T)$ $P1 = 183 * 2,7 * 720 * 21 = 2075,22 \text{ kW}$
---

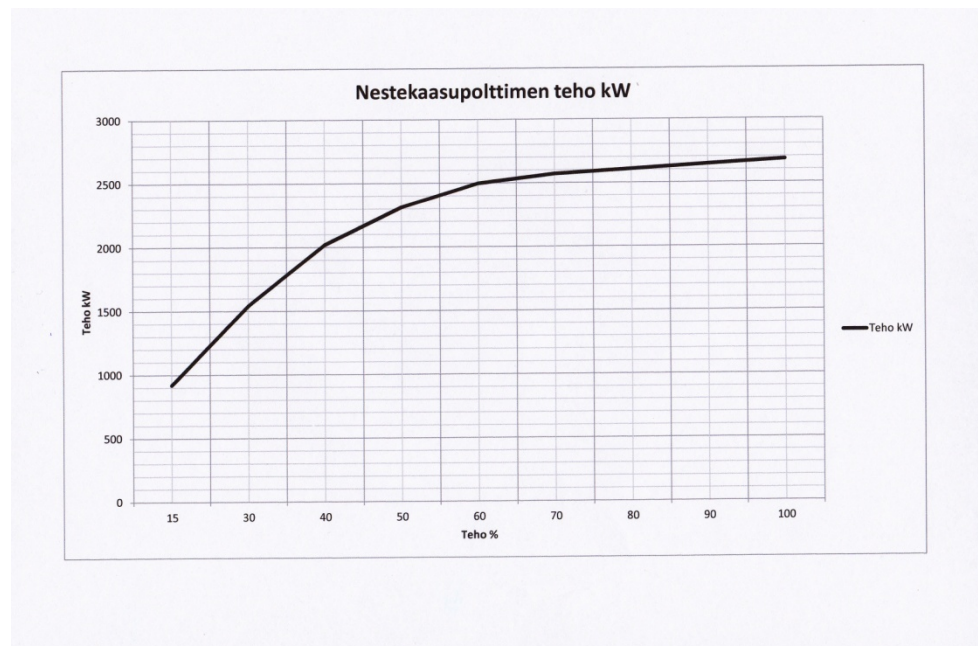
**Kaava 1, kattilateho P1**

Nestekaasulinjassa olevan tilavuusvirtamittarin avulla määritetty poltinteho saadaan vastaavasti Kaavalla 2, jossa mitattiin 60 sekunnin jaksoissa kaasun kulutus tilavuusmittarista eri tehoalueilla. Kaavassa 2, ΔV = nestekaasuntilavuusvirta 60 sekunnin aikana, 60 = kerroin jolla mittarin lukema saadaan muutettua m<sup>3</sup>/h, 4,75 = kaasun tiheys virtausolosuhteessa kg/m<sup>3</sup> sekä 12,88 = nestekaasun sisältämä energia kJ/m<sup>3</sup>

<p>Nestekaasupolttimen teho P</p> $P2 = \Delta V * 60 * 4,75 * 12,88$ $P2 = 0,73 * 60 * 4,75 * 12,88 = 2680 \text{ kW}$
---

**Kaava 2, nestekaasupolttimen teho P**

Näillä laskelmilla määritettiin kuvan 3 kaavio, jossa nähdään polttimen teho eritehoalueilla 15 % - 100 %. Y-akselilla poltinteho kW ja X-akselilla poltinteho %. Mittauslomake liite1.



**Kuva 7. polttimen teho kW ja %**

Kattilan hyötysuhteeksi saadaan 77,2 % kaavalla 3, jossa P1 = poltinteho, P2 = kattilateho ja 100 = prosentti kerroin.

Kattilan hyötysuhde  $P2/P1 \cdot 100$

$$2075,22/2680 \cdot 100 = 77,2$$

**Kaava 3, kattilan hyötysuhde**

#### 4.4.1 Polttimen ohjaus puhdistuksen aikana

Päästöjä poltettaessa päästöjä on polttimen oltava päällä koko ajan, koska päästöjä tulee prosessista tauotta, eikä puhdistus saa keskeytyä, koska mahdollinen keskeytys aiheuttaa välittömän hajuhaitan. Puhdistuksen aikana polttimen tehoa ohjaa kattilan sisälämpötilaa mittaava 1,5-metrin mittainen PT100 keraaminen anturi. Lämpökäsittelykamariin syötetty suojaakaasuveihöyry sekä puusta irtoavat ainesosat jäädyttävät kattilan sisälämpötilaa, jolloin poltin nostaa tarvittaessa tehoa. Ohjausanturin mittaama lämpötila riittävän puhdistusteho saamiseksi on 600 °C, tämä on käytännössä todettu ja myös mittauksin varmistettu. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun mittauksissa(liite 2) 2010 reduktio asteeksi saatiin 99,92 %, kun SWM-Woodin ympäristöluvan vaatimuksena on 98 %. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu suoritti mittaukset määrittämällä savukaasuista hiilivedyt, hiilimonoksidin, typenoksidit, hiilidioksidin sekä jäännöshapen. Edellä mainittu reduktioaste saatiin vertaamalla puhdistamattoman päästön hiilivetypitoisuutta puhdistuksen jälkeiseen päästöön. Reduktion määritys tehtiin päästön ollessa suurimmillaan, eli puun lämpötilan ollessa yli 200 °C.

#### 4.4.2 Päästöjen puhdistamisen aikainen tehotase

Tehtävänä oli selvittää päästöjen puhdistamisen, eli polton aikana käytetty poltinteho sekä mahdollisuuksien mukaan prosessin tarvitsema teho. Tehoja vertaamalla saadaan tietää prosessin tehotase, eli tuotetun ja tarvitun tehon suhde.

Tehotaseen määrittäminen tapahtui seuraamalla päästöjen puhdistusta/polttua erillisellä mittauspäiväkirjalla(liite3), jolla kerättiin tietoa koko puhdistuksen ajan. Lukemia kerättiin 15-minuutin välein.



**Kuva 8, päästöjen puhdistus käynnissä(Järvelä 2008)**

Seurannat suoritettiin syksyllä 2010. Mittauspäiväkirjoja täytettiin yhteensä 10 kappaletta. Päiväkirjoja tehtiin kuusikuormista viisi kappaletta, mäntykuormista kaksi sekä radiatamännystä yksi. Päiväkirjoista kaksi piti hylätä prosessissa ilmenneiden häiriöiden takia. Lomakkeen tiedoilla saadaan määritettyä kulloisenkin päästöjen polton vaiheen poltinteho, kattilateho, ulkojäähdyttimelle ajettu teho ja siten selvitettyä ylimääräinen prosessikaasujen poltosta mahdollisesti saatava ylimääräinen energia. Lisäksi tietoa kerättiin lämpökäsittelyprosessista, kuten puun- ja ilman lämpötiloista. Laskelmissa vähennettiin poltintehosta kattilateho, ulkojäähdyttimenteho sekä huomioitiin kohdassa 4.2 laskettu kattilan hyötysuhde. Laskelmienperusteella määritettiin jokaisesta käsittelyerästä graafinen kuvaaja josta tehotase oli helposti havainnoitavissa.



## 5 TULOKSET

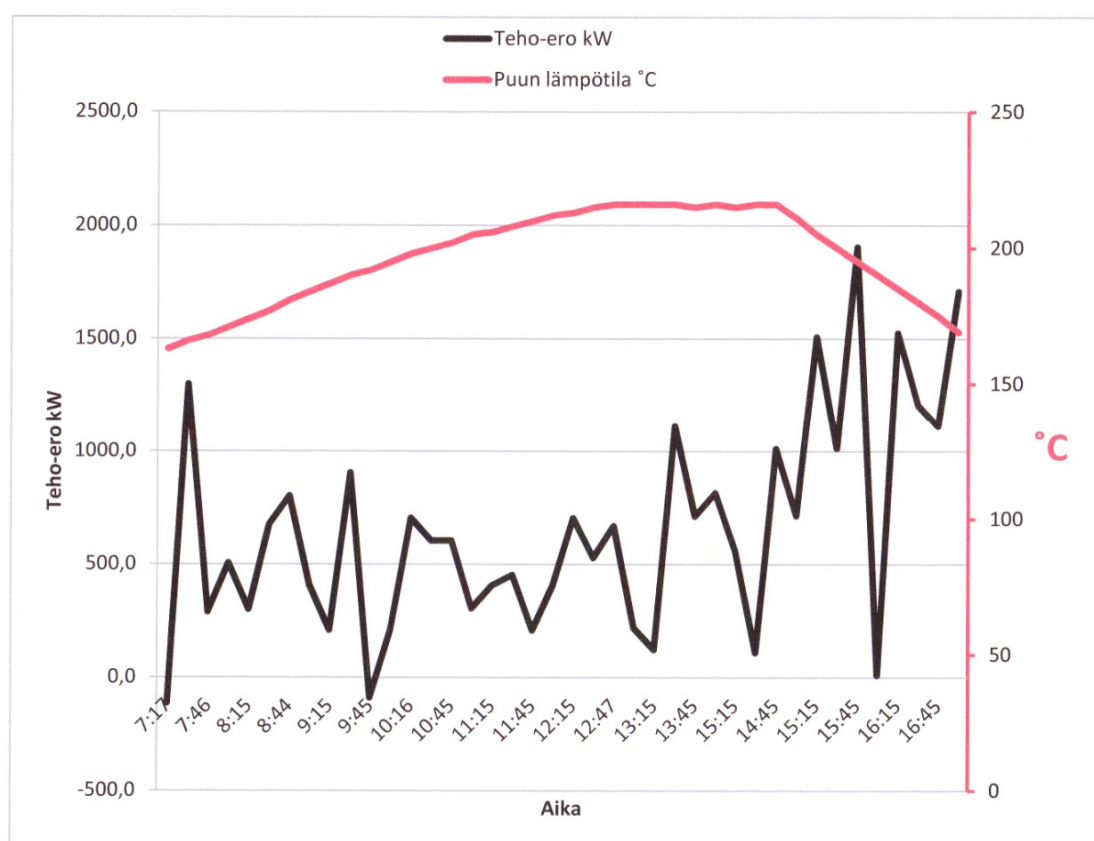
Mittauspöytäkirjoista tehtyjen laskelmien tulokset ovat esitettynä kootusti taulukossa 2. Puhdistukseen käytetty aika oli keskimäärin noin 8-tuntia. Kuusella puhdistus kesti hieman pidempään, keskimäärin 9-tuntia. Euromääräinen kustannus yhdelle puhdistukselle oli keskimäärin 569 €, kuusella taas hieman enemmän 639,8 €. Keskimääräinen puhdistuksen aikana käytetty poltinteho oli 1643,1 kW. Prosessissa tarvittu teho, vähennettynä ulkojäähdyttimen teholla oli keskimäärin 819,6 kW.

Taulukko 2, kootut tulokset

<b>Tulokset kootusti</b>		
<b>Päästöjen poltto/puhdistus</b>		
<b>Aika keskimäärin h</b>		<b>8:04:37</b>
	kuusi	9:10:24
	mänty	6:07:30
	radiata	6:30:00
<b>Kustannus keskimäärin €</b>		<b>569,1</b>
	kuusi	639,8
	mänty	431,2
	radiata	491,3
<b>Poltinteho keskimäärin kW</b>		<b>1643,1</b>
	kuusi	1649,8
	mänty	1581,3
	radiata	1760,1
<b>Tehoero keskimäärin kW</b>		<b>819,6</b>
	kuusi	914,6
	mänty	597,5
	radiata	788,5

## 5.1 Tulosten analysointi

Kattilateho, eli prosessissa tarvittu energia on lähes jatkuvasti alhaisempi kuin polttimen tuottama energia. Kun kattilatehosta vielä vähennetään ulkojäähdyttimen (1 MW) teho, on päästöjen puhdistukseen tarvittava energiamäärä huomattavan suuri. Työn lähtökohtana olleen päästöstä, mahdollisesti saatavan, ilmaisen energian määrä jää polttimen tuottamaan, nestekaasusta saatavaan, energian määrään nähden pieneksi. Poltin nostaa tehoa, koska poltettavat päästöt jäädyttävät kattilaa sisältä. Tehoero, prosessin tarvitseman, ja polttimen tuottaman välillä on keskimäärin 819,6 kW. Päiväkirjoista tehdyssä graafista (kuva 5) on havaittavissa, että tehoero on positiivinen lähes koko puhdistuksen ajan. Graafin nollalinja kuvaa tilannetta, jossa kaikki polttimen tuottama lämpö hyödynnettäisiin prosessissa. Laskelmissa on huomioitu kattilan hyötysuhde, joka on laskettu aiemmin kohdassa 4.4, sivulla 18.



Kuva 9, Polton aikainen tehoero kW & puun lämpötila °C (Järvelä 2012)

## 5.2 Tulosten yhteenveto

Tuloksista on havaittavissa, että päästöjen polttoon käytetään energiaa runsaasti ja poltinto on koko puhdistuksen ajan huomattavan korkea. Ulkojäähdyttimen venttiili on myös auki lähes koko ajan ja kaikissa käsittelyerissä. Ulkojäähdyttimen teho on 1 MW, joten siitä hyödynnettävän energian määrä olisi huomattava. Puulajien kesken tehoissa on vaihtelua ja rahaksi muutettuna on ero eri puulajien välillä jo satoja euroja.



Kuva 10, SWM-Woodin kattilalaitoksen 1MW ulkojäähdytin(Järvelä 2009)

## 6 EHDOTUKSIA KUSTANNUSTEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI

Kuten edellä todettiin, on päästöjen puhdistus yksi lisäkustannus laskettaessa lopputuotteen hintaa, eikä ilmaista lämpöenergiaa ole saatavilla, kuten tehtävänannossa oli odotettu. Päästöjen puhdistus vaatii huomattavan paljon energiaa, joten on siis erityin perusteltua yrittää säästää kustannuksia kehittämällä päästöjen puhdistusta. Olisi

selvitettävä myös mahdollisuudet hyödyntää lämpöenergiaa jossain muualla, prosessin ulkopuolisessa kohteessa.

### **6.1 Puhdistukseen käytettävä aika**

Kuten laskelmissa ja niiden analysoinnissa voi todeta, käytetään puhdistukseen koko ajan enemmän energiaa, kuin lämpökäsittelyprosessissa sille olisi tarvetta. Puhdistukseen käytettyä aikaa lyhentämällä voitaisiin alentaa kustannuksia helpoiten. Tämä tietenkin edellyttää tarkkoja tutkimuksia itse lämpökäsittelyprosessissa laatutappioiden välttämiseksi. Puhdistukseen käytettyä aikaa voisi lyhentää myös ajoittamalla puhdistuksen aloitus- ja lopetusajankohdat tarkemmin. Nyt puhdistuksen aloitus ja lopetus tapahtuvat kun puun keskilämpötila uunissa saavuttaa 160 °C. Tämä 160 °C perustuu empiriseen, käytännön kokemukseen prosessin aiheuttamista hajuhaitoista. Prosessin loppupäästä olisi ainakin mahdollista lyhentää puhdistusaikaa, kun puusta ei enää jäähdyttäessä irtoa haisevia aineita yhtä paljon, kuin lämpöä nostaessa. Tämä on myös havaittavissa tarkkailtaessa prosessia. Prosessia nopeuttamalla saataisiin myös muita taloudellisia hyötyjä kuten kasvatettua vuosittaista puun lämpökäsittelykapasiteettia. Myös puulajivalinnalla voidaan vaikuttaa kustannuksiin, koska kuten tuloksista käy ilmi on kuusen lämpökäsittely enemmän aikaa vievää ja sen aiheuttamien päästöjen puhdistaminen selvästi kalliimpaa kuin muiden puulajien. Kustannuseron aiheuttaa lähinnä kuusen käsittelyn vaatima pidempi aika sekä kuusen pienempi energiasisältö.

### **6.2 Kehittyneempi ohjaus puhdistuksessa tarvittavaan poltintehoon**

Tuloksista nähdään, että kattilan polttimen teho on koko puhdistuksen ajan yli 30 % maksimista ja puhdistuksessa tarvittavaa poltintehoa ohjaava sisälämpötila-anturi mittauservo pysyy hyvin tavoitteessaan. Olisikin syytä selvittää, onko puhdistukseen käytettävä poltinteho liian suuri ja mikä on oikeasti todellinen puhdistuksen tarvitsema poltinteho? Puhdistettavan päästön/puukaasun sekoittuvuutta nestekaasuliekkiin sekä kattilan sisälämpötilaa olisi voitava tutkia tarkemmin, jotta voitaisiin arvioida paremmin tarvittavaa poltintehoa puhdistuksen kussakin vaiheessa. Myös puhdistusta ohjaavan lämpötila-anturin pituus ja sijoitus olisi tutkittava. Olisi jotenkin pystyttävä kokeilemaan erilaisia antureita ja niiden sijoituksia kattilassa. Haasteena tässä kuitenkin on anturin erikoinen käyttökohde ja siitä johtuva korkea hinta, eli uusi anturi maksaa n. 1300 € Tehoa alentaessa puhdistuksen aikana, voi ongelmaksi

tulla myös kattilan puhtaus, koska alhaisimmissa lämpötiloissa on aina vaarana päästön kondensoituminen kattilan sisäosiin.



**Kuva 11, uuden, haponkestävän päästöjenpolton syöttöosan asennus (Järvelä 2009)**

Tästä voi seurata voimakastakin likaantumista. Tähän asti vuosihuolloissa on kattila ollut aina erittäin puhdas. Mutta puhdistustehoa laskettaessa on vaarana likaantuminen ja siten korroosio ongelmat kattilan sisäpinnoilla. Tästä saatiin esimakua vuonna 2009, kun puhdistettavan päästön syöttöosa kattilassa syöpyi alla vuoden käyttöiän jälkeen. Syynä tähän oli kattilatoimittajan valitsema väärä materiaali kyseiseen kohteeseen. Kyseinen osa oli valmistettu tavallisesta teräksestä, haponkestävän teräksen sijaan. Tilatessa kattilaa oli päästöjen koostumuksesta sekä aggressiivisuudesta kyllä useitakin mainintoja, mutta virhe pääsi silti sattumaan. Olisikin hyvä kehittää puhdistuksen ohjausta yhdessä kattilavalmistajan kanssa, jotta pahemmilta ongelmilta vältyttäisiin.

### 6.3 Enemmän jatkuvaa kuormaa

Kuten tuloksista edellä todettiin, on prosessin tarvitsema lämpöenergia huomattavasti pienempi kuin polttimen nestekaasulla tuottama energia. Tämä on havaittavissa jokaisessa graafisessa kuvaajassa, joka tehtiin polttopäiväkirjoista. Myös kattilapiirissä oleva 1 MW jäähdytin on käytössä lähes koko puhdistuksen ajan. Tämä tarkoittaa siis, että käytettävissä olevaa energiaa olisi tarjolla koko puhdistuksen ajan. Tällä energialle olisi oltava käyttöä prosessissa, eli olisi oltava kuormaa, johon ajaa ylimääräinen lämpö. Tämä kuorma voisi olla, mahdollisuuksien mukaan, lisää puun lämpökäsittelykapasiteettia, puun esikuivauskapasiteettia tai jotain muuta kuin itse prosessin tarvitsemaa lämpöä. Jatkovaa kuormaa olisi myös järjestettävissä tuotannon suunnittelulla, eli ajoittamalla muiden uunien suuret energian tarpeet jonkun muun uunin puhdistuksen ajalle. Esimerkiksi uunin käynnistys tarvitsee paljon energiaa, koska käynnistysvaiheessa lämpötila nostetaan nopeasti yli 100 °C, kuivauslämpötilaan ja samalla käytetään runsaasti höyryä, ettei puu ala kuivumaan kuin vasta kuivausvaiheissa.

### 6.4 Muita mahdollisia energian hyödyntämiskeinoja

Päästöjen poltossa käytetään runsaasti energiaa, jota voitaisiin hyödyntää myös muualla kuin itse prosessissa. Tulosten perusteella tehdyissä laskelmissa todettiin vuosikustannusten olevan satoja tuhansia euroja, joten jonkinlaisiin laiteinvestointeihinkin energian hyödyntämiseksi voisi siis olla vahvoja perusteita. Huomioitavia seikkoja on kuitenkin, että ylijäämäenergian saatavuus prosessista ei ole jatkuvaa, vaan se ajoittuu ainoastaan päästöjen puhdistuksen yhteyteen. Lisäksi tässä mainitun ylijäämäenergian käyttökohde ei saisi olla siitä riippuvainen, koska laiterikkojen ym. satuessa ei tehtaalla ole tuotantoa, eikä lämpöenergiaa siten ole tarjolla. Myös savukaasujen lämmöntalteenotto laitteisto voisi olla yksi vaihtoehto.

#### 6.4.1 Rakennusten lämmitys

Lähellä olevia muita tuotantorakennuksia olisi mahdollista lämmittää ylijäämäenergialla. Tällöin vaadittaisiin investointeja laitteisiin, koska suoraan lämpöä ei, esim. jäähdytyspatterin kautta voi puhaltaa, koska se on yli 200 °C ja aiheuttaa siten vaaraa. Lämpö pitäisi siirtää ensi veteen, josta se kierrätettäisiin rakennusten vesikeskuslämmityksiin, puhallinkonvektoreihin tai muihin vastaaviin. Huomioitavaa on kuitenkin, ettei tehtaan muita kiinteistöjä lämmitetä tälläkään hetkellä, kuin huippupak-

kasilla, joten saatava hyöty olisi investointiin nähden aika lailla olematon. Lisäksi lämpökuorma prosessin näkökulmasta katsottuna jäisi aika pieneksi, koska rakennusten lämmityksessä liikutaan kW tasolla ja prosessin ylijäämlämpö on MW luokkaa. Esimerkkinä, jos teollisuuskiinteistön lämmityksen tehontarve on n.  $200 \text{ W/m}^2(5)$  ja SWM-Woodin pakkaamon koko on  $900 \text{ m}^2$ , saadaan täten lämmityksen tehontarpeeksi 180 kW, joka on vain 22 % laskemissa saadusta keskimääräisestä käytettävissä olevasta 819,6 kW tehosta. Tämäkin on siis mitoittava huipputeho, jota pakkaamoraakennuksen lämmitykseen voisi hyödyntää. Huipputehoja on vain muutamana vuorokautena vuodessa, joten todellinen hyöty jäisi siten erittäin pieneksi.

#### **6.4.2 Kaukolämpöverkon hyödyntäminen**

SWM-Woodin tuotantolaitos sijaitsee Mikkelissä Pursialan teollisuusalueella. Alueella sijaitsee myös ESE:n vastapainevoimalaitos, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä. Kaukolämpöverkko kulkee aivan tehtaan vierestä, Pursialankatua pitkin (liite 4). Kaukolämpöverkon läheistä sijaintia voisi siten käyttää hyväksi ja ylimääräistä lämpöä olisi mahdollista ajaa sinne.

##### **6.4.2.1 Laitevaatimukset**

Lämmön ajamiseksi kaukolämpöverkkoon on kaksi mahdollisuutta. Joko osa kaukolämpövedestä kierrätettäisiin SWM-woodin tehtaan kautta, jossa sitä lämmitettäisiin lämmönsiirtimen kautta tai vaihtoehtoisesti siten, että tehtaan ylimääräistä lämpöä ajettaisiin putkistoa pitkin kaukolämpöverkon viereen, jossa lämpö siirrettäisiin lämmönsiirtimen välityksellä kaukolämpöveteen. Molemmissa tapauksissa tarvitaan lämmönsiirrin, koska kaukolämpövesi ja prosessin lämmittämä vesi eivät voi suoraan olla yhteydessä toisiinsa. Myös automatiikkaa tarvittaisiin, jotta laitteisto toimii turvallisesti ja halutusti ilman jatkuvaa miehistöohjausta. Lämpöenergian mittausta varten tarvitaan myös laitteisto.

##### **6.4.2.2 Voimalaitoksen näkökulma**

Keskustelin asiasta Etelä-Savon Energian energialiiketoimintajohtaja Timo Leppäsen kanssa ja hänen kantansa asiaan oli, että voimalaitoksella on jo nyt suurimman osan vuodesta lämpöenergian ylijäämää ja he ajavat sitä läheiseen Saimaan vesistöön. Heidän näkökulmastaan tämän kaltainen investointi ei ole järkevä, koska tarvetta lisäenergialle ei olisi kuin muutamana päivänä vuodessa. Tämä on yleistä vasta-

painevoimalaitoksissa, jotka tuottavat sähköä, jolle on kysyntää myös lämmityskauden ulkopuolella.

### 6.4.2.3 Muuta huomioitavaa

Kaukolämpöverkon menovedenlämpötila vaihtelee ulkoilmanlämpötilan mukaan 65-115 °C välillä, eli kun asunnoissa tarvitaan lämmitystä on kaukolämpöverkonkin lämpötilataso korkeampi. Paluuveden lämpötila taas vaihtelee 25-55 °C välillä. Puhutaankin yleisesti kaukolämpöveden jäähtymisestä ja siihen liittyvistä siirtokustannuksista. Voimalaitoksen kannalta kaukolämpöveden tulisi jäähtyä mahdollisimman hyvin, pumppauskustannusten takia. Eli mitä suurempaa on veden jäähtymisen verkostossa, sitä suurempi on siirretty teho voimalaitokselta. Tällöin taas verkoston virtausnopeus voidaan pitää pienempänä ja pumppauskustannuksen alenevat(6). Tämä seikka olisi huomioitava ja selvitettävä yhdessä voimalaitoksen asiantuntijoiden kanssa. Muita huomioitavia seikkoja ylijäämälämmön toimittamiseksi kaukolämpöverkkoon ovat: lämmön tuotannon ajoittaisuus ja epävarmuus, tuotantohäiriöt talvisai-kaan/laitteistojen jäätymisongelmat sekä tehtaan yleinen sijainti kaukolämpöverkoston ja sen tuotannon kannalta. SWM-Woodin tehdas sijaitsee aivan kaupungin laidalla, joten lämmönkuluttajia ei tehtaan lähellä juurikaan ole. Kuvassa 7 on kuvattuna kaupungin kaukolämpökartta, josta tehtaan sijainti voidaan todeta.



Kuva 12, Mikkelin kaupungin kaukolämpöverkko



Näin ollen ainoaksi, järkeväksi keinoksi jäisi lämmön syöttäminen kaukolämmön paluulinjaan, jolloin vastaavasti kaukolämpöveden jäähtyvyys verkostossa pienenee ja pumppauskustannukset kasvavat edellä mainitulla tavalla.

### 6.5 Sähköntuotanto mikroturbiinilla

Lämpöpuun tuotanto sekä siihen yleisesti liittyvät laitteet, kuten puhallinmoottorit ja niiden taajuusmuuntajat sekä kuumaöljypumput ovat tehoiltaan useita kymmeniä kilowatteja ja kuluttavat siten paljon sähköenergiaa. Taulukossa 1 on yhteenlaskettuna tehoiltaan suurimmat SWM-Woodin tuotannosta löytyvät laitteet.

Taulukko 3, laitetehoja SWM-Woodin laitokselta

Laite	Teho Kw
Kattilan öljypumppu	55
Höyrykehittimen öljypumppu	10
1-uunin öljypumput(2x15kW)	30
2-uunin öljypumput(2x15kW)	30
3-uunin öljypumppu	15
1-uunin puhallinmoottorit(8x35kW)	280
2-uuni puhallinmoottorit(8x35kW)	280
3-uunin puhallinmoottorit(4x35kW)	140
Paineilmakompressori	7,5
Nestekaasuhöyrystin	15
Savukaasupuhallin	5
	<b>yht. kW 867,5</b>

Mahdollisuudet sähköntuotantoon mikroturbiinilla olisivat siten otolliset, koska lämpöpuun tuotannossa tarvitaan höyryä kosteuden säätämiseen ja puiden syttymisen estämiseen. Tätä höyryä käytetään nykyisinkin lämpökuormana tasaamaan puhdistuksen ajoittain aiheuttamaa kattilan lämpötilan nousua. Mikroturbiinilla voitaisiin tehdä sähköä prosessin tarpeisiin ja alentaa siten alati nousevia energiakustannuksia. Selvitettävä olisi ainakin erilaisten mikroturbiinien vaatimat höyrynpainetasot sekä tarvittava höyryyn tilavuusvirta. Lisäksi tulisi selvittää mikroturbiinin mahdolliset vaatimukset höyryn laadulle(puhtaus, tarvittavat kemikaalit) sekä laitteiston hinta,

hyötysuhde sekä laitteesta saatava sähköteho. Näin voitaisiin tehdä laskelmat laitteiston takaisinmaksuajoista siten päättää investoinnin järkevyydestä.

## 6.6 Lämmöntalteenotto savukaasuista

Kattilalaitoksilla yleisesti käytössä olevaa savukaasujen lämmöntalteenotto laitteisto olisi myös yksi mahdollinen vaihtoehto energiakustannusten alentamiseksi. Aiemmissa kappaleissa mainittu runsas vesihöyryn määrä voisi antaa mahdollisuuden hyödyntää vesihöyryssä olevaa latenttia lämpöä, jolloin hyötysuhde kasvaisi huomattavasti. Ongelmaksi muodostuu käyttökohteiden puute matalalämpötilaiselle energialle. Yhtenä käyttökohteena voisi kuitenkin olla höyryn tuotantoon tarvittavan syötöveden esilämmitys. Ongelmaksi, kuten aina savukaasuja lauhduttaessa, aiheutuu veden kondensoitumista ja sitä ajan myötä seuraavat korroosio ongelmat. Jos savukaasuja ryhdytään suuremmassa määrin lauhduttamaan, tulee eteen myös mahdolliset jäteveden kasvun myötä vaadittavat neutralointi laitteiden hankinnat ja mahdollinen teollisuusjätevesisopimuksen vaatimus. Nykyisillä jätevesimäärillä ei erillistä sopimusta jätevesien toimittamisesta vaadita, mutta tilanne voi hyvinkin muuttua jätevesimäärien kasvaessa.

## 7 POHDINTA

Tehtävä oli selvittää puun lämpökäsittelyssä syntyvien haisevien yhdisteiden puhdistuksen aikainen tehotase ja siten energian tarve. Myös mahdollinen prosessikaasuista saatava, ilmainen lämpöenergia kiinnosti toimeksiantajaa. Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja perehdyin syvällisesti puhdistusprosessin energiataseeseen.

Tutkimuksen perusteella on ylimääräistä lämpöenergiaa tarjolla huomattavasti. Tämä ylimääräinen lämpöenergia ei toivomuksien mukaan tule lämpökäsiteltävästä puusta vaan nestekaasupoltin joutuu pitämään tehon prosessiin nähden liian korkealla. Poltettava päästö jäähdyttää kattilaa, joten poltin nostaa tehoa halutun puhdistustehon saamiseksi. Tosin päästöjen puhdistus toimii myös halutusti, eikä haisevia yhdisteitä kattilan jälkeen pääse ilmakehään, eikä hajuhaittoja silloin esiinny. Päästöjen poltossa olisi kuitenkin huomattavan paljon kehitettävää ja selvitettävää. Olisi selvitettävä, mikä on todellinen tilanne kattilan sisällä ja mikä olisi kussakin prosessin tilanteessa oikeasti tarvittava poltinteho halutun puhdistustehon saavuttamiseksi. Poltinteho

alentaessa on kuitenkin oltava varovainen, ettei kattilalle aiheudu korroosio- eikä muita likaantumisongelmia.

Järkevintä olisi kuitenkin keksiä riittävästi jatkuvaa kuormaa puhdistuksen aiheuttamalle ylimääräiselle lämpöenergialle. Optimaalinen laitos energian käytön suhteen olisi sellainen, jossa puhdistusta vaativat prosessikaasut poltettaisiin puukäyttöisessä biokattilassa, jossa niiden takia ei tarvitsisi tehdä lämpöä vaan ne palaisivat muun polttoaineen seassa kattilassa. Tällaisen laitoksen koko olisi n. 5-10 MW:n luokkaa ja vaatisi siten runsaasti jatkuvaa lämpökuormaa tuotannosta. Biolaitosta tukisi myös kaikki muu saatavilla oleva puuperäinen aines, jota puuta käsittelevällä tehtaalla tulee runsaasti. Myös mahdollisen höyläystoiminnan sivutuotteena tulevat sahanpurut ja lastut voitaisiin hyödyntää biolaitoksessa. Tämän kokoluokan biolaitos vaatisi kuitenkin jatkuvaa kuormaa ainakin noin viiden puunlämpökäsittely-yksikön verran, joten SWM-Woodin tehtaalla se tuskin koskaan toteutuu tilanpuutteen vuoksi. SWM-Woodin olisi kuitenkin hyvä selvittää mahdollisuudet lisäkapasiteetin rakentamiseen, tämä edellyttäisi kuitenkin myös totta kai myynnin kasvua, eli tarvetta lisäkapasiteetille. Myös mahdollinen, pienimuotoinen sähköntuotanto mikroturbiinilla olisi ehdottomasti selvitettävä asia. Kattilan teho olisi oltava tarkemmin mitoitettu prosessin tarpeisiin ja päästöjen polttoon olisi syytä paneutua yhdessä kattilatoimittajan kanssa. Myös jonkinlainen lämmöntalteenotto kattilan jälkeen voisi tulla kyseeseen, mutta tämä vaatisi tarkkoja selvityksiä sekä laskelmia. Kuitenkin on todettava, että kaikki edellä mainitut ratkaisut monimutkaistavat, jo nyt erittäin monimutkaista laitteistoa, joka vaatii jatkuvaa ylläpitoa ja varsinkin osaavia käyttäjiä.

Tuotannon suunnitteluun ja sen vaatimaan materiaalivirtojen hallintaan yhtiön kannattaisi panostaa, koska jo nyt, jonkin verran, käytössä olevaa uunien porrastusta olisi syytä kehittää pidemmälle. Kehittäminen vaatisi toimivaa yhteispeliä saapuvan sahatavaran sekä rimoittamon kanssa. Jatkovaa kuormaa puhdistuksen ajaksi olisi helposti järjestettävissä ajoittamalla jonkun muun uunin käynnistäminen toisen uuni päästöjen puhdistuksen aikana. Käytännössä tämä kuitenkin usein osoittautuu mahdolltomaksi tai vähintäänkin huonoksi ratkaisuksi, koska tällöin uunin käynnistystä joudutaan odottamaan ja tuotantomäärät putoavat. Tuotannon- ja materiaalivirtojen suunnittelulla voitaisiin ohjata toimintoja, kuten sahatavaran rimoitusta ja paketointia, järkevämmiin siten, että päästöjen polton aikaan olisi aina jonkun muun uunin kuorma odottamassa käynnistystä ja olisi kuormana kokonaisprosessissa. Uunin

käynnistys kuluttaa paljon lämpöenergiaa, koska ennen lämpökäsittelyä tapahtuvassa sahatavarankuumakuivauksessa puun lämpötila nostetaan nopeasti yli 100 ° C ja lämmityksessä käytetään myös paljon höyryä, jottei puu ala kuivumaan liian aikaisin, vaan vasta kuivausvaiheissa.

Yhteenvetona voidaan todeta koko puunlämpökäsittelyn teollisen tuotannon olevan nuori ala, jossa riittää tutkimista ja kehittämistä ja jossa on tilausta uusille innovaatioille. Alaa on vaivannut liika keskittyminen itse prosessiin ja puun ominaisuuksiin. Ympäristöasioihin ei ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota, tämä on aiheuttanut ongelmia, kun myyntiä on saatu lisättyä ja tuotantomäärät kasvaneet. Nykyisin haju- ja muihin päästöihin osataan varautua jo ennakolta. Päästöjen puhdistus vaatii kuitenkin kehittämistä, varsinkin kustannusten osalta. Päästöt voidaankin varmasti puhdistaa tehokkaasti ja taloudellisesti, jos tahtoa siihen vain löytyy. Sillä jos on tahtoa, löytyvät aina myös keinot asioiden toteuttamiseksi.

## 8 LÄHTEET

1. Oy SWM-Wood Ltd 2012, WWW-dokumentti  
<http://www.swm-wood.com/fi/index.shtml>.  
Luettu 21.5.2012. Päivitetty, ei tietoa
2. Kauppalehti, WWW-dokumentti  
<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/oy+swmwood+ltd/10930690>  
Luettu 21.5.2012. Päivitetty, ei tietoa
3. Suomen lämpöpuuyhdistys, WWW-dokumentti  
<http://www.thermowood.fi/index.php?anonymous=thermofin>  
Luettu 21.5.2012. Päivitetty 8.5.2012
4. Joanneum Research GmbH Institute of sustainable techniques and systems,  
Julkaisu: Gaseous emissioins from thermal wood modification as a source for  
fine chemicals recovery, Graf N., Wagner S., Begander U., Trinkaus P.,  
Boechzelt H. Julkaistu: 11.12.2007
5. Motiva, WWW-dokumentti  
[http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas\\_teollisuuskiinteisto.pdf](http://www.motiva.fi/files/5847/Energiatehokas_teollisuuskiinteisto.pdf)  
Luettu 12.9.2012. Päivitetty 24.5.2012
6. WebDia tukipalvelu, WWW-dokumentti  
<http://www.rte.vtt.fi/webdia/kaukolampo/opastus/faq.asp?Viite1=KF29>  
Luettu 22.9.2012. Päivitetty ei tietoa
7. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT. Julkaisu. Puun modifiointi lämpö-  
käsittelyllä. Pertti Viitaniemi ja Saila Jämsä. Julkaistu 1996
8. PEFC-Suomi, WWW-dokumentti  
<http://www.pefc.fi/pages/fi/pefcn-esittely/pefc-lyhyesti.php>  
Luettu 10.11.2012. Päivitetty ei tietoa
9. KOMO- Nedherlands, WWW-dokumentti  
<http://en.komo.nl>  
Luettu 10.11.2012. Päivitetty ei tietoa

## 9 LIITTEET

Liite 1, tehonlaskentataulukko

Polttimen tehon laskenta		Lukema alkua				Lukema loppua				Tilheys virtausolosuhteissa					
Teho %	Aika s									4,75					
15	60	307470,30			307470,55	0,25			15			71,25			
30	60	307471,40			307471,82	0,42			25,2			119,7			
40	60	307473,30			307473,85	0,55			33			156,75			
50	60	307474,85			307475,48	0,63			37,8			179,55			
60	60	307476,50			307477,18	0,68			40,8			193,8			
70	60	307478,88			307479,58	0,70			42			199,5			
80	60	307480,75			307481,46	0,71			42,6			202,35			
90	60	307482,30			307483,02	0,72			43,2			205,2			
100	60	307484,00			307484,73	0,73			43,8			208,05			

918
1542
2019
2313
2496
2570
2606
2643
2680

P. Järvelä 2010

© v. SWM-Wood Ltd

## Polttopäiväkirja

Pvm. **09.11.16**

Kirjaaja **ALJK**

Uuni & erä n:o **11/1608**

Puulaji & dimensio **ky 78x138 tuc**

Poltto keskeytyi yht. **7e** kertaa

Poltto alk. klo **16.50**

Poltto lopp. klo **13.45**

Lisälämpöpuhallin (on)/ off

Kaasumittarin lukemat alk./loppi **289320 / 289320**

Uunin näytöltä ilman lämpötila °C **173**

Kärypuhalltimen nopeus Hz **530**

Kattilahuoneesta Oilyn jäähdytys venttiili % **0,02**

Kattilan sisälämpötila °C **583**

Savukaasujen lämpötila °C **328**

Uunin näytöltä Puun lämpötila °C **167**

Kilo	Polttoteho Power %	Happi / O <sub>2</sub> %	Kuumavirtaus Oil feed line °C	Kuumavirtaus Oil return line °C	Oilyn jäähdytys venttiili %	Kattilan sisälämpötila °C	Savukaasujen lämpötila °C	Kärypuhalltimen nopeus Hz	Kaasumittarin lukema	Uunin näytöltä ilman lämpötila °C	Puun lämpötila °C
15.50	700	6,0	275	257	0,02	583	328	527	289290	173	167
16.05	700	5,7	273	253	72	574	327	518	289307	177	165
16.30	700	5,9	274	267	44	578	328	523	289312	183	172
16.55	700	6,0	277	257	45	580	325	374	289322	189	178
17.10	476	8,8	277	258	58	605	320	349	289332	190	180
17.15	495	8,6	269	256	0	599	320	360	289347	194	184
17.20	462	8,8	275	267	43	607	320	35,5	289350	198	189
17.25	43	9,0	275	256	100	600	320	35,3	289357	199	192
17.30	42,2	8,9	274	265	45	601	320	41,7	289367	198	194
17.35	44	8,8	271	258	12	599	319	33,7	289376	205	198
17.40	43	8,6	272	265	27	599	321	35,2	289384	209	202
17.50	39,6	8,9	273	255	55	599	318	37,7	289392	207	203
18.00	41,8	8,1	274	264	29	600	321		289401	210	206



PÄÄSTÖMITTAUKSET  
**LÄMPÖKÄSITTELYYUNIT**

SWM-WOOD LTD  
MIKKELI

1.6.2011

Kotka 8.6.2011

Raportin laatija tekn. Marko Piispa



## SISÄLLYSLUETTELO

SISÄLLYSLUETTELO .....	2
1. MITTAUSKOHDE .....	3
2. MITTAUSTEN TARKOITUS .....	3
3. MITTAUSAIKA JA OHJELMA .....	3
4. MITTAUSTEN SUORITTAJAT .....	3
5. TIEDONKERÄYS .....	3
6. MITTAUSTULOKSET .....	4
6.1 LAITOKSEN REDUKTIOASTE .....	6
7. MITTAUSTULOSTEN LASKENTA .....	6
8. TULOSTEN TARKASTELU .....	6
8.1 MITTAUSEPÄVARMUUS .....	7
9. MITTAUSMENETELMÄT .....	7
10. MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET .....	7
LIITELUETTELO .....	8

## 1. MITTAUSKOHDE

Mittausten kohteena oli SWM-Wood Ltd:n Mikkelin tuotantolaitoksen lämpökäsittelyuunit. Mittauksen aikana uunissa numero 3 oli lämpökäsittelyssä 43 m<sup>3</sup> 38x75mm kuusta.

## 2. MITTAUSTEN TARKOITUS

Mittausten tarkoituksena oli selvittää hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt SWM-Wood Ltd:n lämpökäsittelyuuneista. Lisäksi mitattiin reduktioaste. Mittausten aikana lämpökäsittelyuunien savukaasut johdettiin nestekaasukattilaan poltettavaksi.

Tämän vuoksi mitattiin nestekaasukattilasta ulostulevien savukaasujen:

- Hiilimonoksidipitoisuus (CO)
- Hiilivetypitoisuus (HC)
- Typpioksidipitoisuus (NO<sub>x</sub>)

Näiden lisäksi mitattiin:

- Happipitoisuus (O<sub>2</sub>)
- Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)

## 3. MITTAUSAIKA JA OHJELMA

Laitteiden kalibrointi	kello 8:00 – 9:00
Mittausten aloitus	kello 9:00
Mittausten lopetus	kello 18:20

Mittaukset suoritettiin jatkuvatoimisilla laitteilla. Mittaus aloitettiin puun lämpökäsittelyvaiheen alkaessa ja päätettiin sen loppuessa.

## 4. MITTAUSTEN SUORITTAJAT

Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta mittauksiin osallistui tekn. Marko Piispa. SWM-Wood Ltd:n puolelta yhteyshenkilönä toimi Petteri Järvelä.

## 5. TIEDONKERÄYS

Mittauksen aikana tulokset tallennettiin dataloggerille 60 sekunnin välein

## 6. MITTAUSTULOKSET

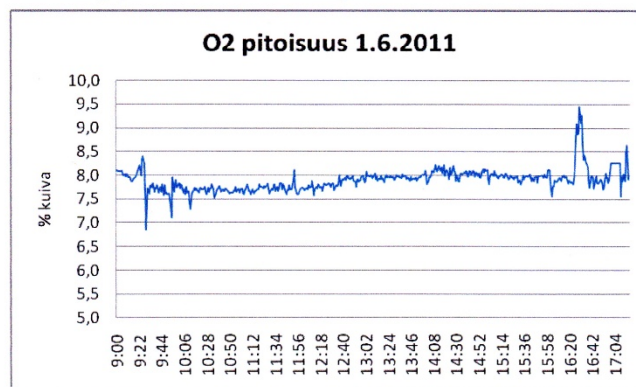
Taulukko 1. Keskimääräiset O<sub>2</sub>, CO, C ja NO<sub>x</sub> päästöt kuivausuunien kattilasta 1.6.2011

TUNTI-KESKIARVO	O <sub>2</sub> %	TOC** mg/m <sup>3</sup> (n)	TOC** mg/m <sup>3</sup> (n) red O <sub>2</sub> =3 %	CO mg/m <sup>3</sup> (n)	CO mg/m <sup>3</sup> (n) red O <sub>2</sub> =3 %	NO <sub>x</sub> mg/m <sup>3</sup> (n)	NO <sub>x</sub> mg/m <sup>3</sup> (n) red O <sub>2</sub> =3 %
9.00 – 10.00	7,8	1,8	2,5	26	35	40	55
10.00 – 11.00	7,7	1,7	2,3	22	30	37	50
11.00 – 12.00	7,7	2,3	3,1	29	39	36	49
12.00 – 13.00	7,8	4,3	5,9	42	58	35	48
13.00 – 14.00	8,0	6,5	9,0	55	75	34	48
14.00 – 15.00	8,0	5,2	7,2	52	72	34	48
15.00 – 16.00	8,0	3,1	4,2	30	41	34	47
16.00 – 17.00	8,1	8,9	12,3	18	26	34	47
<b>Koko mittausjakso</b>	<b>7,9</b>	<b>5,3</b>	<b>7,4</b>	<b>33</b>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>49</b>

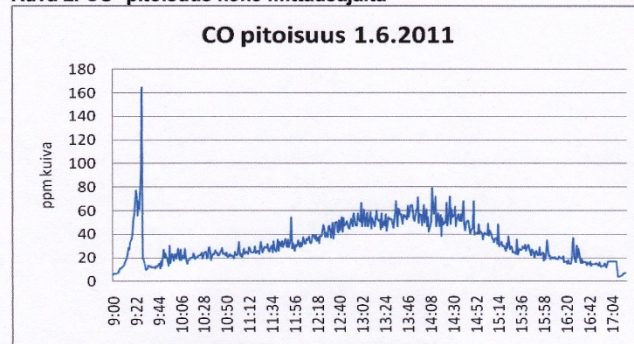
\*Tuntikeskiarvoista on poistettu kattilahäiriöistä ja polttimen käynnistyksestä johtuvat piikit.

\*\* Pitoisuus hiilenä.

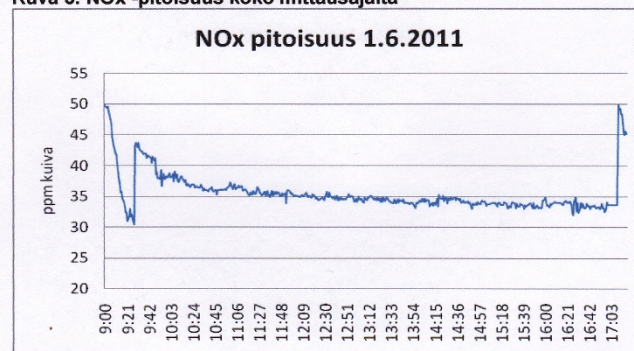
Seuraavissa kuvissa on esitetty graafisesti eri päästökomponenttien arvot koko mittausajalta.

Kuva 1. O<sub>2</sub> -pitoisuus koko mittausajalta

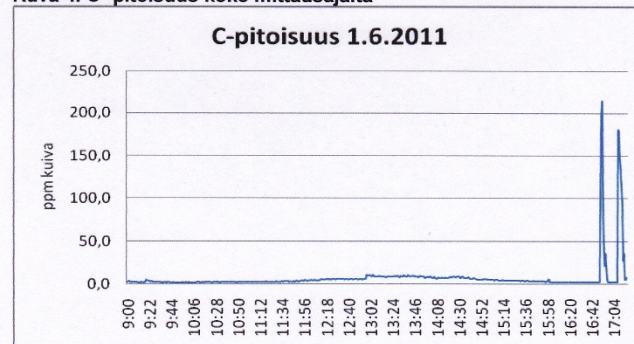
Kuva 2. CO -pitoisuus koko mittausajalta

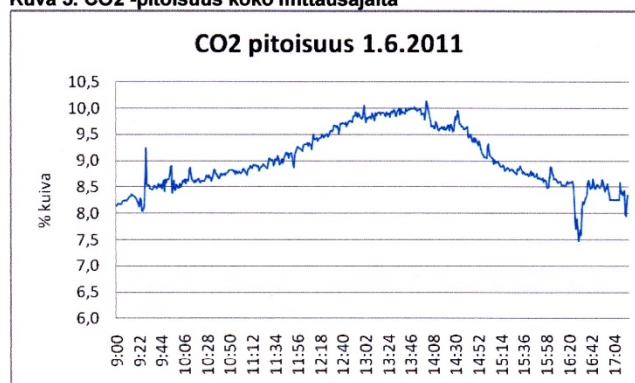


Kuva 3. NOx -pitoisuus koko mittausajalta



Kuva 4. C -pitoisuus koko mittausajalta



Kuva 5. CO<sub>2</sub>-pitoisuus koko mittausajalta

## 6.1 LAITOKSEN REDUKTIOASTE

Reduktioaste määritettiin mittaamalla kuivausuuneilta tuleva kaasu ennen polttimelle menoa sekä savukaasut kattilan perästä polton jälkeen. Mittaus tehtiin klo 12.45.

Mittaus	Puun lt °C	Ennen kattilaa mg(C)/m <sup>3</sup> (n)	Kattilan jälkeen mg(C)/m <sup>3</sup> (n)	Reduktioaste %
12:45	215	4092	3	<b>99,92</b>

## 7. MITTAUSTULOSTEN LASKENTA

Kaikki mittauksien pohjalta tehdyt laskut on suoritettu excel-ohjelmalla.

Mittauksien tulokset pätevät ainoastaan mitatuille näytteille.

Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava kirjallinen lupa testauslaboratoriolta.

## 8. TULOSTEN TARKASTELU

Happi-, häikä- ja hiilivetytuloksia voidaan pitää onnistuneina hyvien mittausolosuhteiden ansiosta.

Mittausten aikana ei tapahtunut mittauksien vaikuttaneita ongelmia.

**8.1 MITTAUSEPÄVARMUUS**

Mittauksen kokonaisepävarmuus lasketaan tarkoitukseen laadituilla ja validoituilla Excel-työkirjoilla. Virhetarkastelu suoritetaan todennäköisyyslaskentaan perustuen. Päästöjen laskennassa käytettävät kaavat on linearisoitu, jotta virheet, jotka oletetaan riippumattomiksi satunnaisuuttajiksi, voidaan yhdistää. Kaikki käytettävät virheet edustavat 95 %:n luottamusväliä.

Mittausepävarmuuden laskennassa on huomioitu

- näytteenoton virhe (näytteen edustavuus)
- kalibrointikaasujen epätarkkuus
- analysaattorien epätarkkuus
- savukaasun kosteuden määrittämisen epävarmuus
- kuivan polttoaineen tehollisen lämpöarvon määrittämisen epävarmuus
- polttoaineen kosteudesta johtuvan kertoimen k määrittämisen epävarmuus

**9. MITTAUSMENETELMÄT**

Jatkuvatoimisissa mittauksissa käytettiin seuraavia menetelmiä ja standardeja:

Komponentti	Menetelmä	Standardi
NO <sub>x</sub>	Kemiluminesenssi	laimentamaton SFS 5624
CO	IR-absorptio	laimentamaton SFS 5624
CO <sub>2</sub>	IR-absorptio	laimentamaton SFS 5624
O <sub>2</sub>	Paramagneettinen	laimentamaton SFS 5624
TOC	FID	laimentamaton SFS 5624*

\*ei akkreditoinnin piirissä

**10. MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET**

Komponentti	Mittalaite	Mittausalue	Kalibrointikaasu
NO <sub>x</sub>	HORIBA PG 250	0 – 2500 ppm	0 / 200 ppm
CO	HORIBA PG 250	0 – 5000 ppm	0 / 200 ppm
CO <sub>2</sub>	HORIBA PG 250	0 – 20 %	0 / 12 %
O <sub>2</sub>	HORIBA PG 250	0 – 25 %	0 / 20.9 %
TOC	THC MODEL 51	0 – 500 ppm	0 / 225 ppm
Virtaus	MIKOR TT570SV		
Lämpötila	FLUKE thermo		

Mittalaitteet ovat akkreditoitujen toiminnan piirissä sekä kalibroitu ja lineaarisuustestattu.

SWM-Wood Ltd  
Pursialankatu 32  
50100 MIKKELI

Päästömittausraportti  
1.6.2011  
1511A

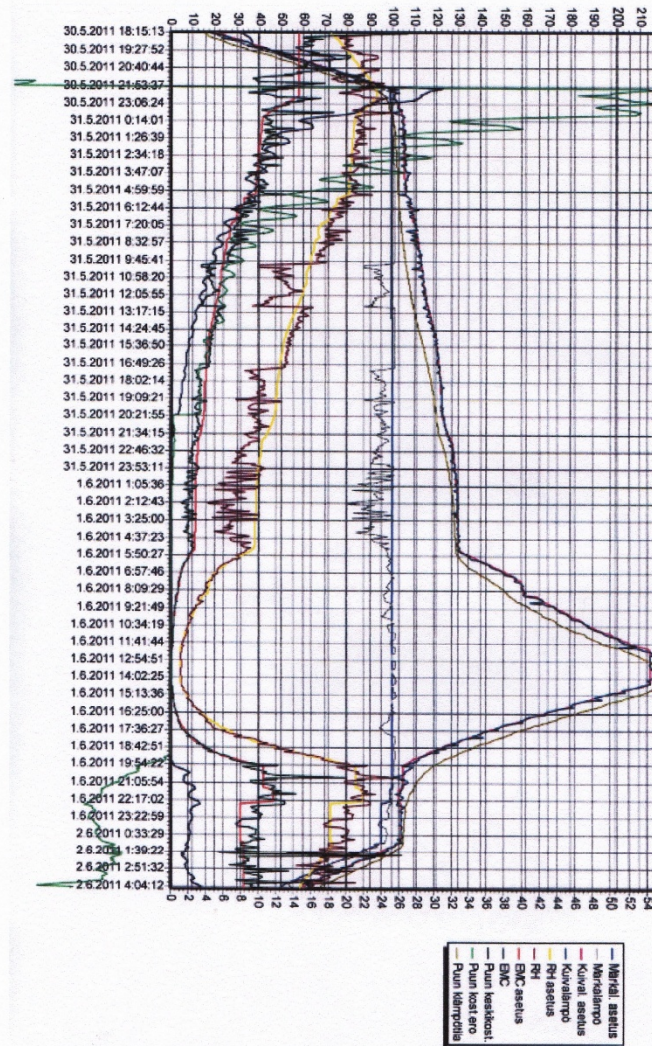
page 8/8

---

**LITELUETTELO**

Liite 1

Laitoksen data



Ei julkinen - vain luottajien ja Stellac Oyn käyttöön  
Eran numero 916 Eran nimi ERÄ 1731 38X75 KUUSI

43 m<sup>3</sup>

Graafinen kuvaaja

Oy SWM-Wood Ltd /1

8.6.2011 9:47:35





## PUUN LÄMPÖKÄSITTELYLAITOKSEN SAVUKAASUJEN PUHDISTUSLAITTEISTON TOIMINTA

### •Tutkittiin puhdistusjärjestelmän toimintaa

- Mänty 25.9.2007
- Kuusi 9.10.2007
- Saarni 18.10.2007

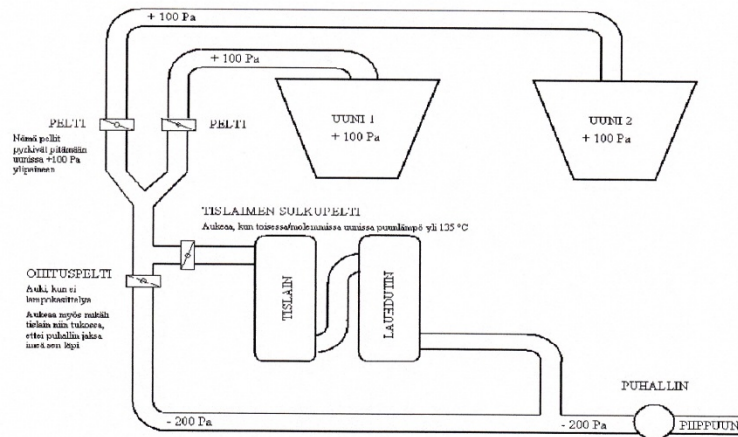


### •Mittausten tarkoituksena oli tutkia täyttääkö laitteisto ympäristöluvassa esitetyt vaatimukset kuten esim.

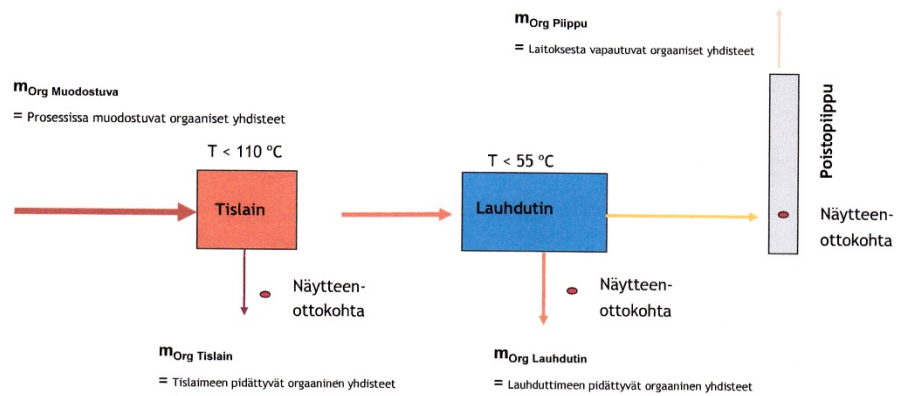
- Suurin tuntipäästö 0,15 kg/h org. yhdisteitä
- Suurin tuntipitoisuus 0,2 g/m<sup>3</sup> NTP org. yhdisteitä



### PERIAATEKUVA KAASUNPUHDISTUSJÄRJESTELMÄSTÄ



### PERIAATEKUVA MITTAUSTEN SUORITTAMISESTA



## SAVUKAASUMITTAUSTEN SUORITTAMINEN



- Mittaaja Ramboll Analytics Oy
  - Asko Hannola 25.9.2007
  - Kimmo Räsänen 9.10. ja 18.10.2007
- Hiilivetymittaukset (TOC) jatkuvatoimisella FID - analysaattorilla
  - Kaasun virtausnopeus ja kosteus mitattiin



## TISLAIMEN JA LAUHDUTTIMEN ANALYYSIT



- Tislain
  - Mitattiin kokeen aikana tislaimen kertynyt massa
  - Analysoitiin org. hiilen määrä

Analyytit: Ramboll Analytics Oy, Lahti ja Helsinki

- Lauhdutin
  - Mitattiin lämmitys- ylläpito- ja jäähdytys- vaiheessa lauhduttimeen kondensoituneen nesteen määrä
  - Kaksi (2) vesinäytettä jokaisesta vaiheesta
  - Analysoitiin org. hiilen määrä



## KIRJANPITO JA VESINÄYTTEIDEN OTTAMINEN

- Kirjanpidosta ja vesinäytteiden ottamisesta vastasi SWM Wood Oy:n Anssi Miettinen
- Mittausten aikana kirjattiin ylös mm. seuraavat seikat
  - Uunierä, käsiteltävän puun määrä ja laatu
  - Lämpökäsittelyn graafinen kuvaaja
  - Lämmitys- ylläpito- ja jäähdytysvaiheen alkamis- ja loppumisaika
  - Puun – ja uunin lämpötilat erivaiheissa
  - Näytteenottojen aika
  - Tislaimen ja lauhduttimeen kertyneen materiaalin määrä



## MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET

### Lämpökäsittelyprosessin eri vaiheiden kesto

Prosessin vaihe	Aika	Kesto
Lämmönnostovaihe	Klo 08.50 - 12.15	3 h 25 min
Ylläpitovaihe	Klo 12.15 - 14.25	2 h 10 min
Jäähdytysvaihe	Klo 14.25 - 16.50	2 h 25 min
<b>Yhteensä</b>		<b>8 h 00 min</b>

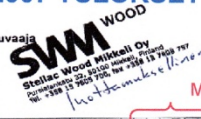


### MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET



Ei julkinen - vain tuottajan ja Stellac Oy:n käyttöön  
Erän numero 587 Erän nimi ERÄ 1010 -19\*150 MÄNTY

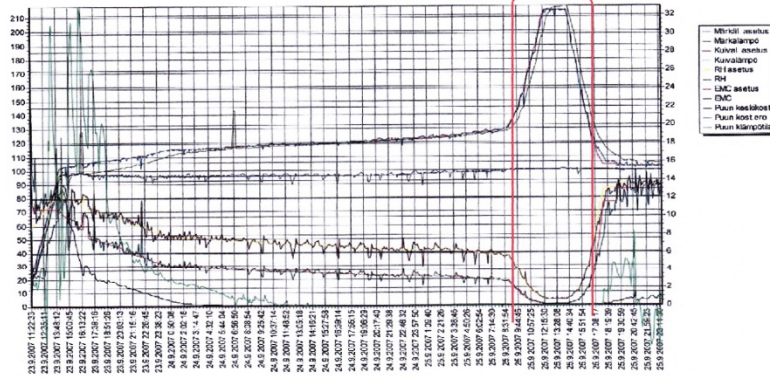
Graafinen kuvaaja



Stellac Wood Mikkelin Oy /1

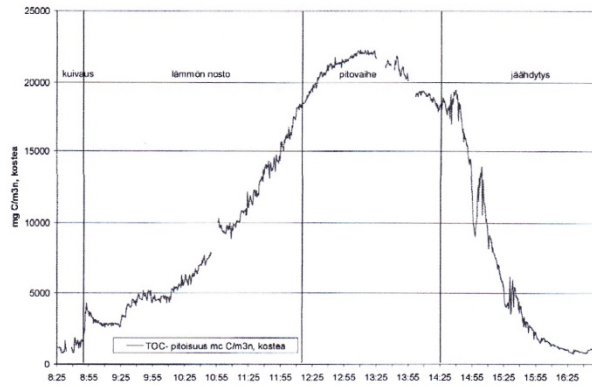
26.9.2007 9:02:49

Mittausten suoritus



### MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET

Stellac Wood Mikkelin, TOC- pitoisuus 25.9.2007



Savukaasun TOC pitoisuus mittaukset (Hannu Askola, Ramboll Analytics Oy)

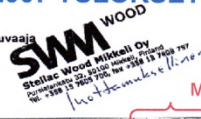


## MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET



Ei julkinen - vain tuottajan ja Stellac Oy:n käyttöön  
Erän numero 587 Erän nimi ERÄ 1010 -19\*150 MÄNTY

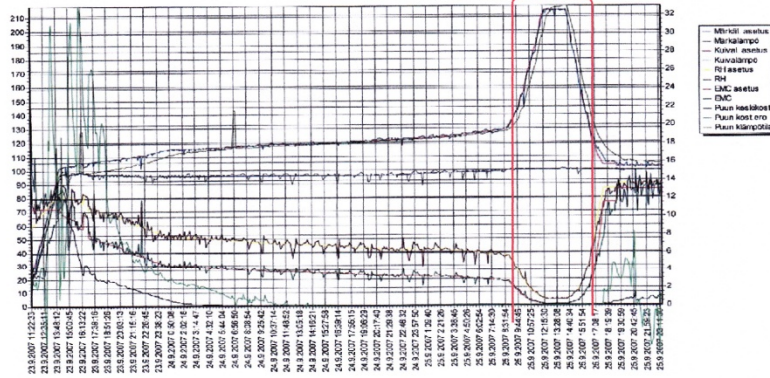
Graafinen kuvaaja



Stellac Wood Mikkelin Oy /1

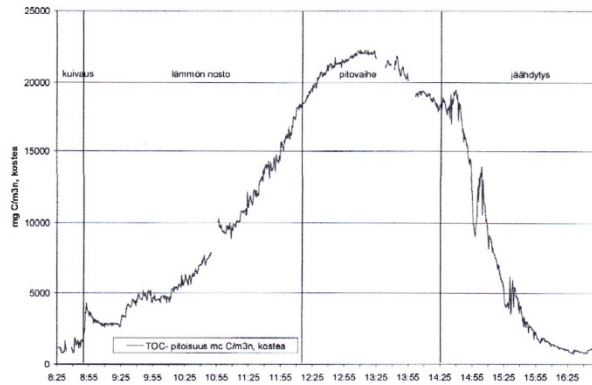
26.9.2007 9:02:49

Mittausten suoritus



## MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET

Stellac Wood Mikkelin, TOC- pitoisuus 25.9.2007



Savukaasun TOC pitoisuus mittaukset (Hannu Askola, Ramboll Analytics Oy)



## MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET

Poistokaasut (Päästö)	Kesto	Pitoisuus mg C/ m <sup>3</sup> n	Määrä m <sup>3</sup> n / h	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	3:25	9 843	464	15,60
Ylläpito	2:10	25 565	468	25,92
Jäähdytys	2:25	8 320	477	9,59
		<b>Yhteensä</b>		<b>51,12</b>
Lauhdutin	Kesto	Pitoisuus mg C/ dm <sup>3</sup>	Määrä (nestettä) dm <sup>3</sup>	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	3:25	3 400	1 602	5,45
Ylläpito	2:10	32 000	1 056	33,79
Jäähdytys	2:25	15 500	1 947	30,18
		<b>Yhteensä</b>	<b>4 605</b>	<b>69,42</b>
Tislain	Kesto	Pitoisuus mg C/kg	Määrä kg/	Hiilen määrä, kg
Kaikki vaiheet	8:00	580 000	26,8	16,59
		<b>Yhteensä</b>		<b>16,59</b>
		<b>Yhteensä</b>		<b>137,12 kg</b>



## MÄNTY 25.9.2007 TULOKSET

$$m_{\text{OrgKäsittely}} = 51,12 + 69,42 + 16,59 = 137,12 \text{ kg}(C)$$



$$\text{Reduktio} = 100\% - \left( \frac{51,12 \text{ kg } C}{137,12 \text{ kg } C} * 100\% \right) = 62,72 \approx 63\%$$



## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET

### Lämpökäsittelyprosessin eri vaiheiden kesto

Prosessin vaihe	Aika	Kesto
Lämmönostovaihe	Klo 12.58 - 18.56	5 h 58 min
Ylläpitovaihe	Klo 18.56 - 21.07	2 h 11 min
Jäähdytysvaihe	Klo 21.07 - 00.40	3 h 33 min
Yhteensä		11 h 42 min



## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET

**STELLAC OY**  
LÄMPÖKÄSITTELY - HEAT TREATMENT

Graafinen kuvaaja

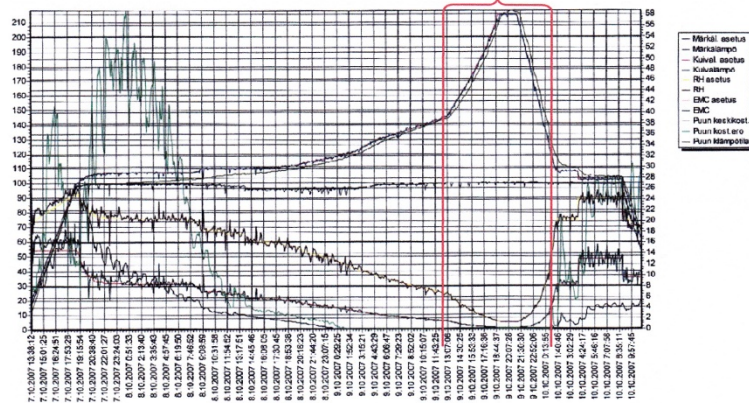
Stellac Wood Mikkelii Oy /1

Ei julkinen - vain tuottajan ja Stellac Oy:n käyttöön

Mittausten suoritus

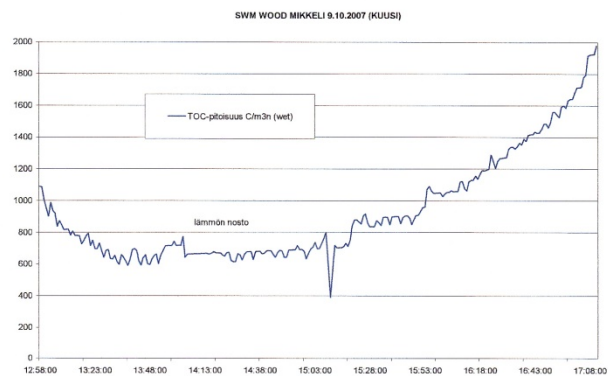
10.10.2007 13:43:01

Erän numero 592 Erän nimi ERÄ1019 25X150KUUSITUORE





## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET



Savukaasun TOC pitoisuusmittaukset (Kimmo Räsänen, Ramboll Analytics Oy)

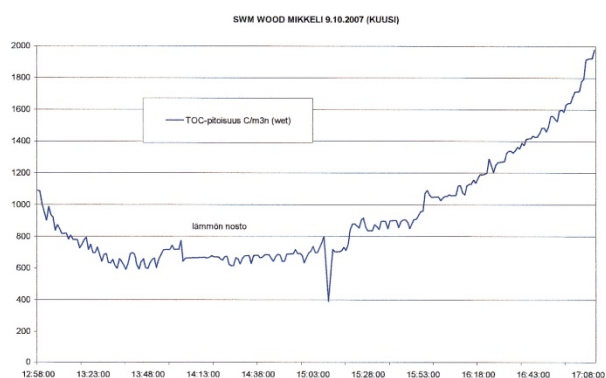
**Watrec**  
clean technology - efficient environment

## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET

Poistokaasut (Päästö)	Kesto	Pitoisuus mg C / m <sup>3</sup> n	Määrä m <sup>3</sup> n / h	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	5:58	957	660	3,77
Ylläpito	2:11	nd	nd	nd
Jäähdytys	3:33	nd	nd	nd
			<b>Yhteensä</b>	<b>3,77</b>
Lauhdutin	Kesto	Pitoisuus mg C / dm <sup>3</sup>	Määrä (nestettä) dm <sup>3</sup>	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	5:58	2 550	3 622	9,24
Ylläpito	2:11	18 500	1 420	26,26
Jäähdytys	3:33	6 500	2 239	14,55
			<b>Yhteensä</b>	<b>50,05</b>
Tislain	Kesto	Pitoisuus mg C/kg	Määrä kg/	Hiilen määrä, kg
Kaikki vaiheet	11:42	520 000	24,1	12,53
			<b>Yhteensä</b>	<b>- kg</b>

**Watrec**  
clean technology - efficient environment

## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET



Savukaasun TOC pitoisuusmittaukset (Kimmo Räsänen, Ramboll Analytics Oy)

**Watrec**  
clean technology - efficient environment

## KUUSI 9.10.2007 TULOKSET

Poistokaasut (Päästö)	Kesto	Pitoisuus mg C/ m <sup>3</sup> n	Määrä m <sup>3</sup> n / h	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	5:58	957	660	3,77
Ylläpito	2:11	nd	nd	nd
Jäähdytys	3:33	nd	nd	nd
			<b>Yhteensä</b>	<b>3,77</b>
Lauhdutin	Kesto	Pitoisuus mg C/ dm <sup>3</sup>	Määrä (nestettä) dm <sup>3</sup>	Hiilen määrä, kg
Lämmitys	5:58	2 550	3 622	9,24
Ylläpito	2:11	18 500	1 420	26,26
Jäähdytys	3:33	6 500	2 239	14,55
			<b>Yhteensä</b>	<b>50,05</b>
Tislain	Kesto	Pitoisuus mg C/kg	Määrä kg/	Hiilen määrä, kg
Kaikki vaiheet	11:42	520 000	24,1	12,53
			<b>Yhteensä</b>	<b>- kg</b>

**Watrec**  
clean technology - efficient environment

### KUUSI 9.10.2007 TULOKSET

$$m_{OrgKäsittely} = 9,71 + 50,05 + 12,53 = 72,30 \text{ kg}(C)$$



$$\text{Reduktio} = 100\% - \left( \frac{9,71 \text{ kg } C}{72,30 \text{ kg } C} * 100\% \right) = 86,6 \approx 87\% *$$

\*Arvioitu lukuarvo



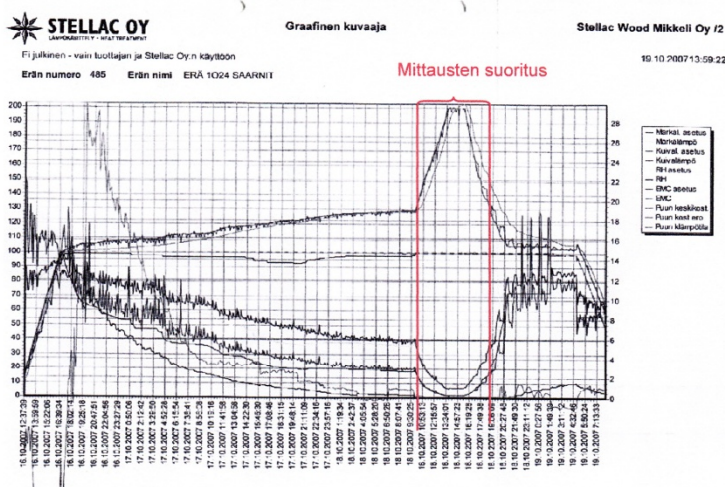
### SAARNI 18.10.2007 TULOKSET

#### Lämpökäsittelyprosessin eri vaiheiden kesto

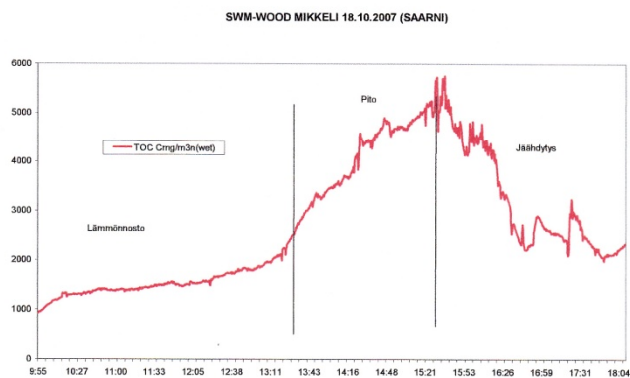
Prosessin vaihe	Aika	Kesto
Lämmönostovaihe	Klo 10:00 - 13:37	3 h 37 min
Ylläpitovaihe	Klo 13:37 - 15:37	2 h 00 min
Jäähdytysvaihe	Klo 15:37 - 18:40	3 h 03 min
Yhteensä		8 h 40 min



### SAARNI 18.10.2007 TULOKSET



### SAARNI 18.10.2007 TULOKSET



Savukaasun TOC pitoisuusmittaukset (Kimmo Räsänen, Ramboll Analytics Oy)



## YHTEENVETO MITTAUKSISTA

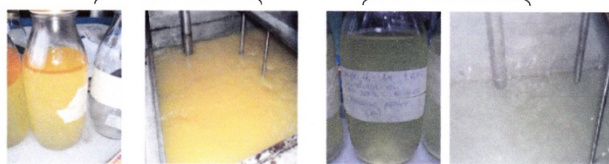
	Mänty 25.9.2007	Kuusi 9.10.2007	Saarni 18.10.2007
Piippu, kg C	51,12	9,71	20,09
Lauhdutin, kg C	69,41	50,05	0,00
Tislain, kg C	16,59	12,53	0,00
<b>Yhteensä, kg C</b>	<b>137,12</b>	<b>72,30</b>	<b>20,09</b>
<b>Reduktio</b>	<b>62,7 %</b>	<b>86,6 %</b>	<b>0,0 %</b>
Lämpökäsittelyn kesto, h	8:00	11:42	8:40
Päästö kg/h	6,39	0,83	2,32
Päästö mg/m <sup>3</sup>	13 624	1 258	2 879
Kaasuvirta, m <sup>3</sup> /h	469	660	805
Keskim. kosteus t -%	19,4 %	3,1 %	3,1 %
Kaasuvirta kok m <sup>3</sup>	3 752	7 722	6 979



## YHTEENVETO MITTAUKSISTA

Lauhduttimeen kondensoituneen nesteen määrä prosessin eri vaiheissa

Nestevirrat	Mänty		Kuusi		Saarni	
	Nestettä dm <sup>3</sup>	TOC pitois. m -%	Nestettä dm <sup>3</sup>	TOC pitois. m -%	Nestettä dm <sup>3</sup>	TOC pitois. m -%
Lauhdutin						
Lämmitys	1 602	0,34 %	3 622	0,26 %	1 947	0,00 %
Ylläpito	1 056	3,20 %	1 420	1,85 %	1 165	0,00 %
Jäähdytys	1 947	1,55 %	2 239	0,65 %	1 401	0,00 %
<b>Yhteensä</b>	<b>4 605</b>	<b>1,51 %</b>	<b>7 280</b>	<b>0,69 %</b>	<b>4 514</b>	<b>0,00 %</b>



## TEHDYT TOIMENPITEET TOIMINNAN TEHOSTAMISEKSI

- Lauhduttimen käyttölämpötilaa on laskettu
  - Mänty mittauksissa asetearvo oli 40 °C
  - Kuusi ja saarni mittauksissa asetearvo oli 35 °C → vaikutus merkittävä verrattuna mäntyyn
  - Savukaasun TOC päästön alenema kuusella n.80 % ja saarnilla 60 %
- Puhdistusjärjestelmän tiiveyttä on parannettu
  - Uusittu ohivuotopelti → kaikki prosessikaasu virtaa puhdistusjärjestelmä läpi
- Puhdistuslaitteiston ajotapaa on muutettu
  - Ennen kaasu ohjattiin puhdistusjärjestelmään kun uunin lämpötila nousi yli 140 °C
  - Lämpötilaa on alennettu → kaasut puhdistetaan heti lämpökäsittelyprosessin alkamisesta.



## TEHDYT TOIMENPITEET TOIMINNAN TEHOSTAMISEKSI

- Selvitely myös muita Mikkelin laitokseen soveltuvia tekniikoita poistokaasujen puhdistamiseksi
  - Selvitely mahdollisuutta käyttää otsonointia tislaimen ja lauhduttimen kanssa yhtä aikaa

