

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Oliver Breiling

HÖYRYNKULUTUKSEN HALLINTA VIILUNKUIVAUKSESSA

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Puutekniikan koulutusohjelma

BREILING, OLIVER	Höyrynkulutuksen hallinta viilunkuivauksessa
Opinnäytetyö	33 sivua + 12 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori, Olavi Liukkonen Kehityspäällikkö, Marika Saarinen
Toimeksiantaja	Metsäliitto Osuuskunta, Finnforest, Kerto, Lohja
Huhtikuu 2011	
Avainsanat	kertopuu, viilun kuivaus, kuivauskone

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia viilun kuivauksessa käytettävän höyryn määrää ja parantaa sen hallintaa. Tavoitteena oli selvittää höyrynkulutuksen suurten kulutusvaihteluiden aiheuttajat ja mahdollisesti poistaa ne. Työ tehtiin mittaamalla tehtaan höyrynkulutusta tietyn ajanjakson aikana ja vertaamalla kulutusta kuivauskoneilta saatuihin tietoihin.

Työ tehtiin Metsäliitto Osuuskunta Finnforest Lohjan kertopuutehtaalla. Tehdas on ollut vuodesta 1965 Metsäliiton omistuksessa, ja siellä on valmistettu kertopuuta vuodesta 1980 lähtien. Sitä ennen tehtaalla on valmistettu mm. lastulevyä.

Työssä perehdyttiin lyhyesti kertopuun valmistukseen ja esitettiin kertopuun mahdolliset käyttökohteet. Tarkemmin perehdyttiin kahden viilunkuivaus- ja lajittelulinjan toimintaan. Koemittaukset tehtiin tehtaan normaalin käynnin aikana muuttamalla kuivauslinjojen käyntiominaisuuksia mahdollisuuksien mukaan. Osa mittauksista tehtiin toisen kuivauskoneen huoltoseisokin aikana, jolloin saatiin esiin yhden kuivauskoneen mahdolliset vikaisuudet ja erityispiirteet.

Lyhyessä ajassa esiintyvät hyvin suuret kulutuksen vaihtelut selittyvät pääosin useilla pienillä kuivauskoneiden toimintahäiriöillä. Kuivauslinjan pysähtyminen aiheuttaa usean minuutin häiriön, jolloin höyryntarve pienenee. Häiriön jälkeen linja käynnistetään uudelleen ja höyryntarve kasvaa. Tämän takia kulutuksessa esiintyy aaltomaista heilahtelua. Heilahtelu johtuu myös väärin säädetyistä venttiilinavaussäätimestä, joka ei löydä höyryventtiilin optimaalista asentoa. Lisäksi toisen kuivauskoneen lämpötilamittarit eivät ole kalibroituina, mikä aiheuttaa tietyissä kuivausolosuhteissa huomattavaa höyrynkulutusta.

Tehtaan energiansaanti muuttuu vuoteen 2013 mennessä oleellisesti, kun tehtaan tontille rakennetaan oma lämpövoimalaitos. Tämän jälkeen hukkaan menevä energiakapasiteetti menee tehtaan omasta pussista, joten viimeistään silloin on saatava kuivauslinjojen toiminta kuntoon, jotta energia ei menisi hukkaan.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

BREILING, OLIVER	Managing Steam Consumption in Veneer Drying Process
Bachelor's Thesis	33 pages + 12 pages of appendices
Supervisor	Olavi Liukkonen, Lecturer
Instructor	Marika Saarinen, R&D Manager
Commissioned by	Metsäliitto Osuuskunta, Finnforest, Kerto, Lohja
April 2011	
Keywords	LVL, Veneer drying, Drying machine

The purpose of this thesis was to research and measure the consumption of compressed steam, which is used in drying veneer. The main aim was to find out the cause for consumption alternations and repair it if possible. The research was done by measuring the consumption at a given time and then comparing the results with the data given from the drying machine.

The thesis was done for Metsäliitto Osuuskunta Finnforest Lohja LVL-mill. The mill has been in Metsäliitto ownership since 1965 and LVL has been produced there since 1980. Before that it has been e.g. a chipboard mill.

In this thesis is the manufacturing of LVL is shortly explained and some possible end use possibilities are given. The two drying and grading lines are explained in more detail. The test measurements were taken within the normal production period, but small adjustments to the settings were made when possible. One part of the measurements were taken, when one of the two drying lines were having a service shut down. If only one line was in use, it was possible to find the possible reasons for this specific drying line.

The large variation in steam consumption in a very short period is mainly explained by many small stoppages in the drying line. If the line stops for any reason, it causes a several minute's interruption in the drying line. When the line stops there is less demand for hot steam. After this short stoppage the line is turned on again and the demand rises rapidly. This causes the wavelike consumption which is not wanted. Another reason for the changes in consumption is poorly working steam valve opening regulator. Also an inaccurately calibrated thermometer is a reason for high steam consumption, which in certain drying settings may be significant.

By 2013 the mills access to energy is going to change substantially, as it will get an energy plant of its own. After this the lost capacity in energy will be from the mill's own pocket and hopefully from that on the drying lines are working properly and no energy is lost.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1.	JOHDANTO .....	5
2.	METSÄLIITTO OSUUSKUNTA, FINNFOREST, LOHJA.....	7
3.	KERTOPUU TUTUKSI.....	8
	3.1. Tuotteet .....	9
	3.2. Valmistus.....	10
4.	VIILUJEN KUIVAUS .....	11
	4.1. Kuivauslinjojen toiminta .....	12
	4.2. Kuivauskoneen toiminta.....	13
	4.3. Viilujen lajittelu ennen kuivausta .....	16
	4.4. Viilujen lajittelu kuivauksen jälkeen .....	17
5.	HÖYRYN SIIRTO TEHTAALLE JA SEN KUSTANNUKSET .....	18
6.	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	19
7.	TULOKSIA .....	20
	7.1. Tulosten havainnointi.....	20
	7.2. Havainnot mittausten ulkopuolelta .....	20
	7.3. Mittaustuloksia .....	21
	7.4. Huollon merkitys höyryn kulutukseen.....	26
	7.5. Kritiikki tuloksista .....	29
8.	YHTEENVETO .....	30
9.	LISÄTUTKIMUSEHDOTUKSET.....	31
	LÄHTEET .....	32

## LIITTEET

- Liite 1: Mittaustulokset 25.10.2010
- Liite 2: Mittaustulokset 26.10.2010
- Liite 3: Mittaustulokset 26.10.2010
- Liite 4: Mittaustulokset 27.10.2010
- Liite 5: Mittaustulokset 10.11.2010
- Liite 6: Mittaustulokset 23.11.2010
- Liite 7: Mittaustulokset 15.12.22010
- Liite 8: Mittaustulokset 13.1.2011
- Liite 9: Mittaustulokset 21.1.2011
- Liite 10: Mittaustulokset 24.2.2011
- Liite 11: Mittaustulokset 25.3.2011
- Liite 12: Mittausten yhteenveto

## 1. JOHDANTO

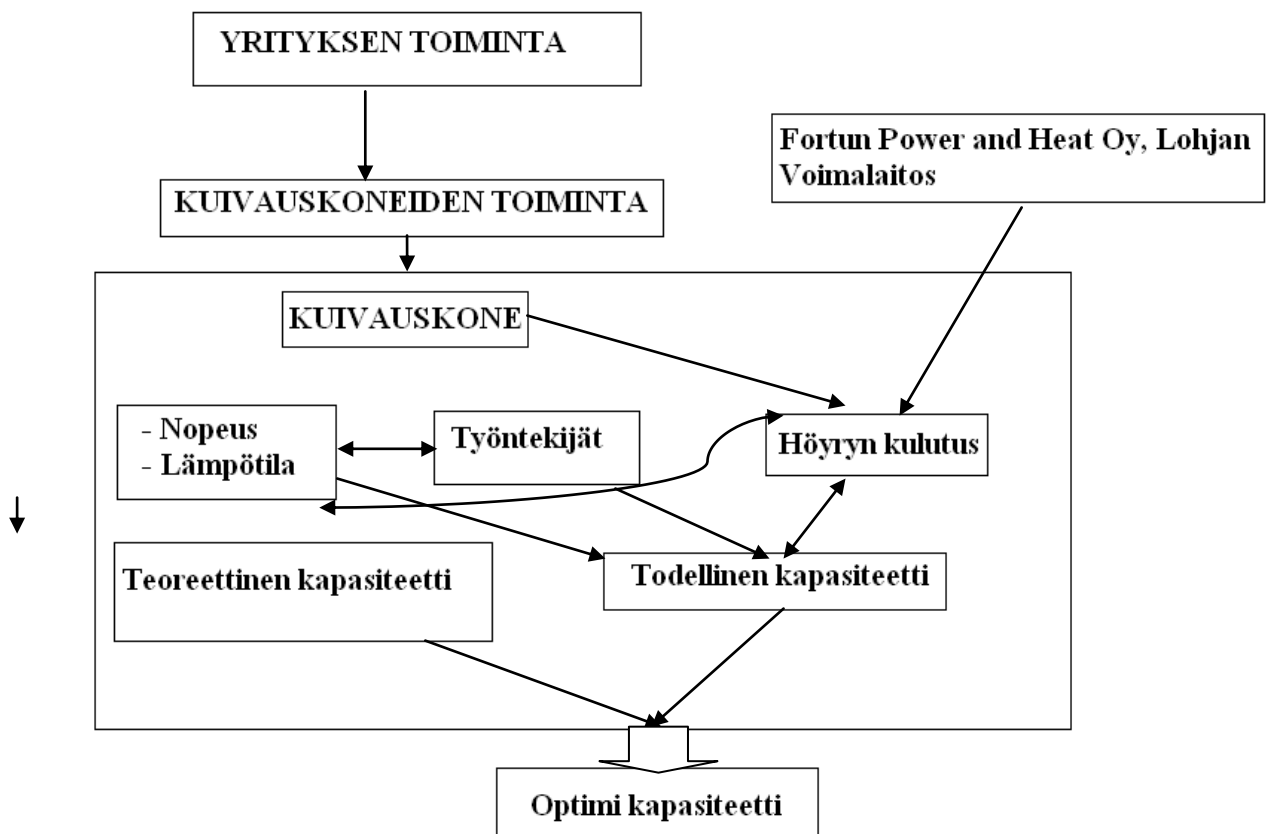
Työn tarkoituksena oli optimoida kuusiviilun kuivauksessa käytettävän höyryn määrä kuivauskoneissa. Optimoinnin tarkoituksena on höyryn kulutuksessa syntyvien piikkien minimointi ja saada sen kautta höyrykustannukset alhaisemmaksi. Tärkeintä oli selvittää, mistä epätasainen höyrynkulutus ylipäänsä johtuu. Työ tehtiin Metsäliitto Osuuskunta Finnforest Kerto -tehtaalle Lohjalle.

Finforest on puutuotteita rakennus- ja huonekaluteollisuudelle valmistava yritys. Finforestilla on laaja palveluverkosto 20 maassa ja se on näin ollen yksi johtavista puutuotetoimittajista maailmalla. Lohjan yksikkö valmistaa kertopuuta yhdessä Puhkarjun yksikön kanssa.

Höyryn kulutuksen alentaminen on nousseiden lämmityskustannusten takia ajankohtaista. Lisäksi höyryntuottajan (Fortum Power and Heat Oy, Lohjan Voimalaitos) tulevaisuus on epävarma, joten kustannukset saattavat nousta vieläkin korkeammiksi. Kerto-tehtaalle on suunnitteilla oma lämpövoimalaitos, josta tulevaisuudessa saataisiin höyry suoraan tehtaan käyttöön.

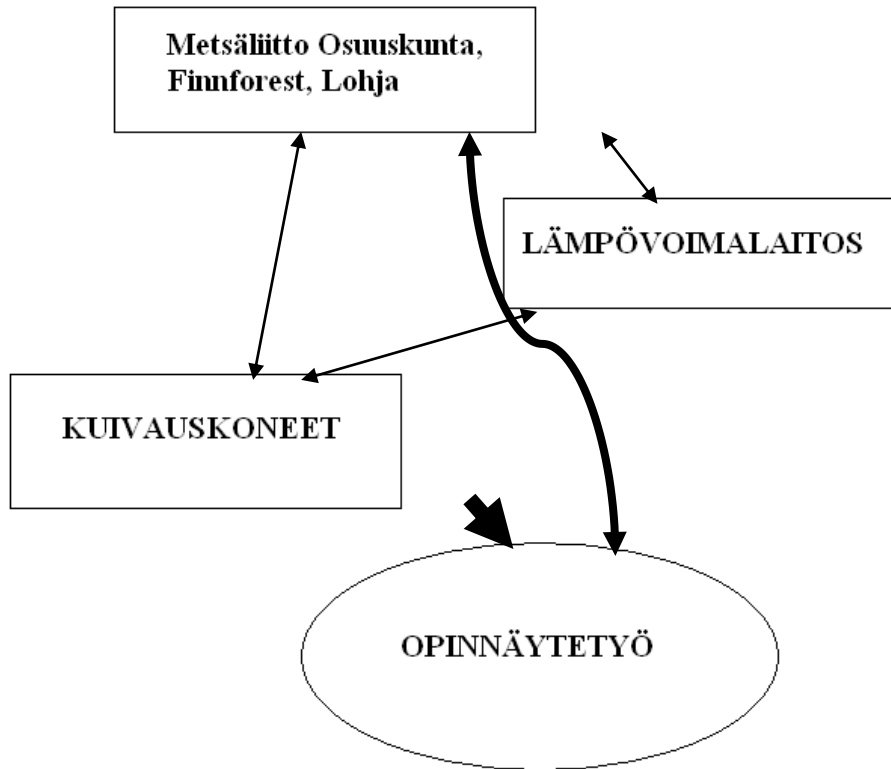
Tehtaalla on kaksi kuivauslajittelulinjaa, joissa viilut kuivataan ja lajitellaan laadun mukaan eri pinkkoihin. Kuivauskoneiden lisäksi höyryä kuluu mm. kolmeen kuuma-puristuslinjaan, tukkien haudontaan sekä tehtaan tilojen lämmitykseen. Yksittäisen kuivauskoneen höyrynkulutus määriteltiin huoltopäivien aikana, jolloin vain toinen koneista oli käytössä. Yksittäisellä laitteella ei ole olemassa höyrynkulutusmittaria, tai sen mittaustarkkuus ei ole luotettavalla tasolla. Työssä mitatut arvot perustuvat yhteen mittariin, joka mittaa tehtaan koko höyryn tulomäärän sekä palaavan lauhteen määrän. Työn lopussa pohdittiin, mitä konkreettisesti pitäisi tehdä höyrynkulutuksen alentamiseksi.

Kuvassa 1 on havainnollistettu työn alustava viitekehys. Työssä tarkastelemme yleisesti tehtaan toimintoja, sekä tarkasti kuivauskoneiden toimintaperiaate. Kuivauskoneen toimintaan vaikuttavat tekijät ovat niiden nopeus ja lämpötila, operoivat työntekijät sekä saatavilla oleva höyryn määrä. Näistä voimme laskea sekä teoreettisen kuivauskapasiteetin, sekä tämän hetkisen todellisen kapasiteetin. Yhdistelemällä näitä voidaan arvioida optimi kapasiteetti kuivauskoneille.



Kuva 1. Opinnäytetyön viitekehys

Kuvassa 2 on havainnollistettu työhön liittyvät sidosryhmät. Pääosassa työhön liittyy kuivauskoneiden toiminta, johon vaikuttavat myös toiminta tehtaan ja lämpövoimalaitoksen välillä.



Kuva 2. Opinnäytetyön sidosryhmät

## 2. METSÄLIITTO OSUUSKUNTA, FINNFOREST, LOHJA

Lohjan tehdasyksikkö on perustettu vuonna 1916 Ab Venesta Oy:n nimiin. Pian tämän jälkeen nimi muutettiin Ab Faner Oy:ksi. Tehtaalla tuotettiin aluksi pelkästään vaneeria, mutta vuonna 1969 siirryttiin osittain lastulevyn tuotantoon. Vuonna 1965 tehdas siirtyi Metsäliiton omistukseen, ja vuonna 1980 tehdas aloitti kertopuun valmistuksen. (1)

Tällä hetkellä Lohjan kertotehdas tuottaa n. 100 000 m<sup>3</sup> kertotuotteita vuosittain. Tehdas työllistää n. 200 henkilöä ja tehtaan johtajana toimii Arto Salo. Tehtaan tuotannossa työaikamuoto on jatkuvatoiminen, ja siellä työskennellään päivän aikana kolme kahdeksan tunnin vuoroa viikon jokaisena päivänä. Muissa tehtaan työpisteissä työajat ovat tarpeiden mukaan soviteltu.



### 3. KERTOPUU TUTUKSI

Kertopuu on pääosin kuusiviiluista säänkestävällä liimalla yhteen liimattu levy- ja palkkituote. Tuotteen valmistus on lähtöisin Pohjois-Amerikasta ja kansainvälisesti kertopuu tunnetaan nimellä LVL (Laminated Veneer Lumber), mutta esimerkiksi Suomessa tuote tunnetaan nimellä ”Das Kertopuu”. Tuote muistuttaa rakenteeltaan hyvin paljon paksuviiluista kuusivaneria, mutta toisin kuin normaalissa vanerirakenteessa, kertopuussa viilujen syysuunta on usein samansuuntainen koko kappaleessa.

Kuten vanerissa, myös kertopuussa viilurakenteen ansiosta yksittäisen oksan tai vinoxyiden vaikutus pienentyy merkittävästi. Jäykkyytensä ja mittatarkkuuden ansiosta kertopuu on erinomainen ratkaisu suurta lujuutta vaativiin kantaviin rakenteisiin, kuten kuvassa 3 esitetään. Myös materiaalin keveys sekä helppo työstettävyys ovat ihanteellisia ominaisuuksia rakennusteollisuudessa. Kertopuun työstöön soveltuvat samat työkalut kuin perinteiseen puurakentamiseen.



Kuva 3. Rivitalotyömaa, Espoo (1)

### 3.1. Tuotteet

#### Kerto-S

Kerto-S -palkki, on tuote, jossa viilujen syysuunta on sama läpi palkin. Tuote sopii parhaiten kantaviin rakenteisiin, joissa tuotteen jäykkyys- ja laatuominaisuudet pääsevät edukseen. Kerto-S -palkkeja toimitetaan 27...75 mm:n levyisinä palkkeina 6 mm:n välein. Palkkien vakiokorkeudet ovat 200, 220, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 ja 600 mm, ja maksimipituus on tuotannollisista syistä 25 m. Palkkien ihanteellinen jännevälialue on 4...12 m.

#### Kerto-Q

Kerto-Q -tuotetta käytetään yleisesti levyrakenteena. Se on kantava, jäykkä ja mittatarkka levyrakenne, joka sopii ihanteellisesti jäykistäväksi rakenneosaksi katto-, seinä- ja lattiaelementteihin. Tuotetta käytetään myös palkkirakenteisiin, joissa tarvitaan suurta poikittaista vetolujuutta. Kerto-Q:ta on saatavilla kaikilla leveyksillä sekä pituuksilla. Kuvassa 4 nähdään kertopuusta tehdyn kattoelementin ns. Ripaelementin asentamista.



Kuva 4. Kattoelementin asennus Rautia Klaukkalan rakennustyömaalla. (2)

## Kerto-T

Pientalorakentajalle tutuin tuote, Kerto-T, on suora, kieroutumaton ja erittäin mittatarkka tuote, jota käytetään sekä seinien runkotolpaksi että keveiden seinien rungoiksi. Tuotteen ominaisuuksien ansiosta on mahdollista rakentaa laadukkaita ja korkeita seinä. Varsinkin yli 4,5 m:n pituisissa tolpissa tuotteen ominaisuudet ovat optimaaliset. Kerto T -rakenteessa syysuunta on aina pitkittäinen.

### 3.2. Valmistus

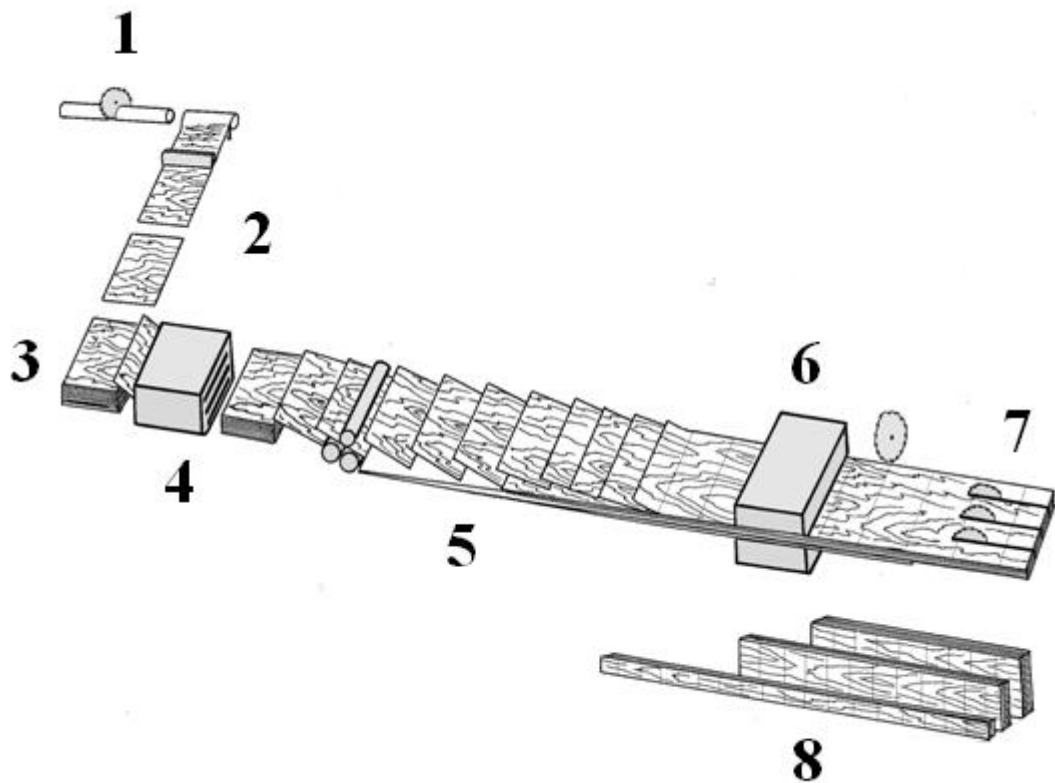
Kertopuuta valmistetaan pääosin kuusesta. Kuusitukit tulevat metsästä tukkirekoilla tehtaalle, jossa tukkeja säilytetään. Ennen kuin tukit ovat sorvattavissa, tukit täytyy kuoria ja hautoa vesialtaissa. Haudonnan tarkoituksena on puun lämpötilan nostaminen sorvattavuuden parantamiseksi. Altaassa olevan veden lämpötila on n. 65 °C, ja ennen sorvausta tukkeja tulee hautoa vähintään 15 tuntia. Tukin on oltava kauttaaltaan vähintään 30 °C sorville tullessaan. Seuraavalla sivulla kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu kertopuun valmistus. Ennen sorvausta tukit siirretään hautomosta kuljetinhihnalta, jolla tukit katkaistaan sopivan mittaisiksi (kohta 1). Pituudet vaihtelevat 2 040 – 2 100 mm:n välillä. Sorvilla tukeista sorvataan yhtenäinen viilumatto (kuva 5), joka leikataan tasamittaisiksi arkeiksi (kohta 2).



Kuva 5. Sorvaus (3)

Sorvauslinjalla viilut pinkataan erikseen sydän- ja pintaviilupinkkoihin (kohta 3). Tämän jälkeen viilut syötetään kuivauskoneeseen (kohta 4), jossa viilujen loppukosteuden on oltava alle 6 %, jotta liimauksesta tulisi mahdollisimman hyvä eikä lopputuotteen muodostu vikaisuuksia. Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan laadun mukaan eri pinkkoihin kosteuden, oksien määrän ja koon sekä laskennallisen kimmokertoimen mukaan. Lajittelun jälkeen viilut viedään ladontapaikalle, jossa ne liimataan ja ludo-

taan yhtenäiseksi aihioksi halutun paksuuden ja rakenteen mukaan (kohta 5). Ladonnan jälkeen ladottu aihio esipuristetaan ja syötetään kuumapuristimeen (kohta 6). Kuumapuristimessa lämpötila on noin 150 °C ja puristusaika vaihtelee välillä 15...58 minuuttia tuotteen paksuudesta riippuen. Puristuksen jälkeen laatta-aihio sahataan haluttuun pituuteen ja leveyteen. Siellä tuotteita voidaan hioa, höylätä, erikoissahata tai CNC-työstää. Kun tuotteet ovat valmiita, ne pakataan asiakkaan haluamalla tavalla ja siirretään lastattaviksi.



Kuva 6. Kertopuun valmistus yksinkertaistettuna (4, 28).

#### 4. VIILUJEN KUIVAUS

Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, on kuivauksen perustavoite saada viilut haluttuun loppukosteuteen niin, että kuivauksen jälkeen viiluarkkien loppukosteus on sama ja kaikissa viiluissa tasainen. Kuivauksen onnistuminen antaa myös viilun liimaukseen parhaat lähtökohdat. Yhtenä kuivauksen tarkoituksena on myös saada tuotteelle lopullinen kosteus, jonka tulisi olla mahdollisimman lähellä kertopuun lopullista käyttökohdetta.

Kuivauksessa käytetään ilmaa kuljettamaan puusta irtautuva vesi pois. Tämä toteutetaan lämmittämällä puumateriaali 170...200 °C:ssa kuivauskoneessa. Kuivaus voidaan jakaa neljään jaksoon. Ensimmäisessä jaksossa tapahtuu viulun lämpötilan nostaminen, jolloin varsinaista kuivumista ei juuri tapahdu. Tämä vaihe kestää hyvin lyhyen ajan. Toisessa vaiheessa viilu lämmitetään lähelle veden kiehumispistettä, jolloin vesi haihtuu viilusta voimakkaasti ja kuivuminen on nopeaa. Tässä vaiheessa viilusta haihtuu kaikki puussa oleva ns. vapaa vesi, eli puuaineen kosteus on yli ns. puunsyiden kyllästymispisteen. Seuraavassa vaiheessa kuivataan solujen seinämiin sidottu vesi. Tässä vaiheessa viulun kosteus laskee alle puunsyiden kyllästymispisteeseen, joka on kotimaisilla puulajeilla noin 30 %. Viimeisessä jaksossa viilu jäädytetään ulkoa otetusta ilmasta sellaiseen lämpötilaan, jossa viilujen jatkokäsittely onnistuu parhaiten. Tässä vaiheessa tasaantuvat myös viulun sisällä olevat mahdolliset kosteuserot sekä kuivausjännitykset.

Erityisen hankalaksi kuivauksen tekevät puun suuret kosteusvaihtelut. Viilujen kosteudet vaihtelevat huomattavasti pinta- ja sydänpuuviilujen välillä. Kuusella pintapuun kosteus on keskimäärin noin 120 % ja sydänpuun kosteus keskimäärin noin 45 %. (5, 53) Tämän takia yhdessä kuivauskoneessa voidaan kuivata samanaikaisesti joko sydän- tai pintaviiluja, mutta ei molempia samanaikaisesti. Jos ensimmäisen kuivauksen jälkeen ei päästä haluttuun loppukosteuteen, voidaan viilut syöttää uudelleen kuivauskoneeseen kuivattavaksi.

#### 4.1. Kuivauslinjojen toiminta

Tehtaassa on kaksi Raute Oyj:n valmistamaa kuivauslinjaa (kuva 7). Molemmilla linjoilla viiluja kuivataan neljässä kerroksessa, ja kuivaajaan mahtuu kaksi viilua rinnakkain. Molemmat ovat samantyyppisiä telakuivaajia, joissa viilut syötetään sorvauksen jälkeen kosteuslajiteltuina arkeittain viulun pituussuunnassa. Varsinaisen kuivauksen jälkeen viilut kulkevat kosteusmittarin, tiheysmittarin sekä VDA-kameran kautta lajitte-  
telupinkkoihin. Kun yhteen pinkkaan on lajiteltu haluttu määrä viiluja, pinkka siirretään pinkkakuljettimella varastoitavaksi. Tästä pinkat siirtyvät viilulajin mukaan suoraan ladonta-  
asemille tai jatkokäsittelyyn, esim. uudelleenkuivaukseen tai viilusahalle, jossa viilut sahataan ristirakenteeseen soveltuviksi arkeiksi.

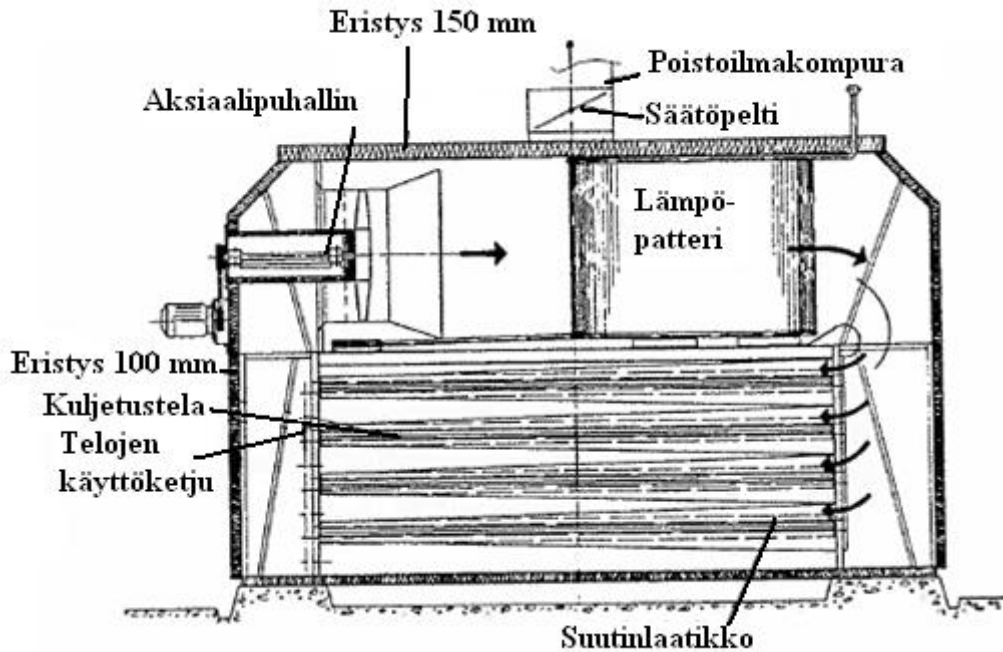


Kuva 7. Kuivauslinja (6)

Kuivauslinjoja operoi tällä hetkellä kolme työntekijää per vuoro. Yhtä kuivauskonetta kohden on yksi henkilö; kolmas henkilö on tauolla tai häiriötilanteissa auttamassa kuivauskoneella. Vuoron aikana tehtävät vaihtuvat tasaisin väliajoin, jolloin työhön saadaan haluttua vaihtelevuutta. Kuivauslinjojen käyntimuoto on tehtaan muiden toimintojen mukaan jatkuvatoiminen.

#### 4.2. Kuivauskoneen toiminta

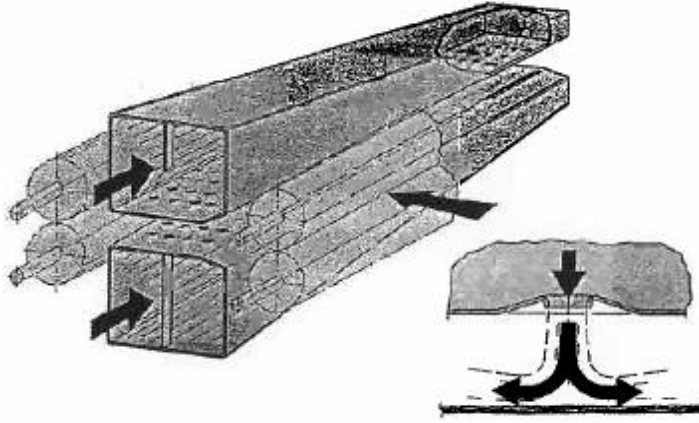
Tehtaan käytössä olevat kaksi telakuivauskonetta (KK1 ja KK2) ovat hyvin perinteisiä telakuivaajia (kuva 8), joissa ilma kiertää poikittain suutinlaatikoiden avulla. Ilma saadaan kiertämään kuivauskoneessa tehokkailla aksiaalipuhaltimilla. Viiluarkit syötetään koneeseen kaksi rinnakkain, ja ne kulkevat neljässä kerroksessa. Viilut kulkevat eteenpäin telaparien avulla – tästä tulee käsite ”telakuivaaja”. Kuivauskoneet rakennetaan yleisesti kuivaus- ja jäähdytysyksiköistä. Yksiköiden määrää voidaan suunnitteluvaiheessa lisätä tarpeen mukaan ja tämän avulla voidaan rakentaa tehtaan kapasiteettia palveleva kuivauslinja.



Kuva 8. Poikkileikkaus 4-kerroksisesta telakuivaajasta (5,54).

Kuivauskoneessa paineistettu kuuma höyry puhalletaan viilun pintaan suutinpuhalluslaatikoiden avulla (kuva 9). Tällöin suuri ilmannoisuus ja puhalluksen pyörteisyys edesauttavat viilun kuivausta. Tehokas kosteuden siirto viilun pintakerroksesta ilmaan nopeuttaa myös viilun lämpiämistä, jolloin kuivauskin nopeutuu. (5, 55) Viiluista haihtuva vesi ohjataan höyrynpöistiventtiileistä puhaltimien avulla tehtaan katon kautta ulkoilmaan. Kuivauskoneen loppupäässä sijaitsee aina jäähdytysosa, jossa viilun lämpötila lasketaan alas, jotta viilun liimanlevitys onnistuisi heti kuivauksen jälkeen. Jos viilu on liian lämmin, liima kovettuu liian aikaisin.

Viilujen kuivaukseen käytetään yksinomaan paineistettua kuumaa höyryä. Tämä auttaa pitämään puun pinnan lämpötilan alhaisempana kuivauksen aikana, mikä vähentää kuivausvirheiden syntymistä. (7)

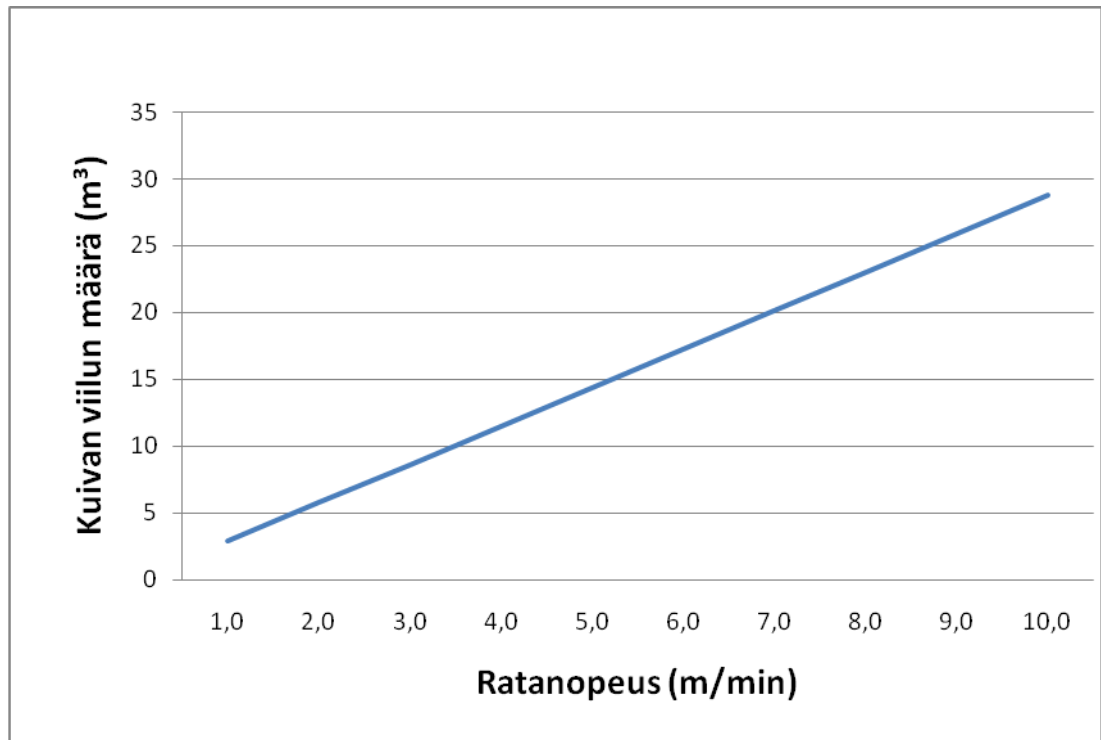


Kuva 9. Suutinpuhalluksen järjestely kuivauskoneessa (5, 55).

Kuuman höyryn määrää säädellään venttiileillä, jotka ovat yhteydessä kuivauskoneeseen. Näitä venttiileitä säädellään säätimellä, jonka avulla venttiilien avauma pitäisi olla hallittua säätämistä. Tämän säätötyön hoitaa Proportional-integral-derivative-säädin, lyhyemmin PID-säädin, joka on yksi säätötekniikan perussäätimistä. Säätimen nimi muodostuu kolmesta toimintoa kuvaavasta termistä: suhde, integroiva ja derivoiva. Yksinkertaistettuna P tarkoittaa nykyistä tilaa, I mennyttä tilaa ja D tulevaa tilaa. Säädin huomioi kaikki nämä tilat antaen käskyn venttiilille. PID-säätimen tarkoitus on, että haluttua arvoa, tässä tapauksessa lämpötilaa, lähestytään ja ennakoidaan. Säädin mukautuu sitä mukaa, kun säädettävä kohde muuttuu.

Alla kuvatussa kaaviossa (kuva 10) on laskettu yhden kuivauskoneen kapasiteetti, jonka ainoana muuttujana on kuivauskoneen nopeus. Laskukaavioon on huomioitu viilujen todellinen osuus kuivauskoneessa.





Kuva 10. Kuivauskoneen maksimi kapasiteetti m<sup>3</sup>/h.

$$= \text{leveys} * \text{paksuus} * \text{tasot} * 2 * 60 \text{ min} * \text{nopeus}(\text{m} / \text{min}) * 97,5\%$$

jossa:

leveys = 1,92 m

paksuus = 0,0032 m

tasot = 4 kpl

97,5 % = viilujen osuus ottaen huomioon 0,05 m väli

Kuvasta voidaan nähdä, kuinka paljon nopeuden nosto voi vaikuttaa kuivauskoneen kuivaamaan viilumäärään. Tämän takia kuivauskoneiden nopeutta on pyritty automatisoimaan, jotta se kävisi aina mahdollisimman suurella nopeudella. Nopeuteen vaikuttaa märkien viilujen osuus kuivatuista viiluista. Mikäli märkien viilujen osuus ylittää tavoitellun kuuden prosentin rajan, nopeutta on laskettava, jolloin kuivausaika kasvaa ja märkien viilujen osuus pienenee. Liian märät viilut joudutaan kuivaamaan uudestaan, mikä pienentää huomattavasti todellista kuivauskoneen kuivaamaa viilumäärää.

#### 4.3. Viilujen lajittelu ennen kuivausta

Sorvattu viilu lajitellaan heti pinta- ja sydänpuuviiluiksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että viilun kosteus mitataan ja eritellään P- ja S-viiluiksi. Tämä helpottaa kuivauskoneen operointia, sillä jos viilun alkukosteuserot vaihtelevat suuresti, tasaisen lop-

pukosteuden saamiseksi joudutaan käyttämään paljon energiaa. Jos alkukosteus on tasainen, on helpompi saada myös tasainen loppukosteus.

#### 4.4. Viilujen lajittelu kuivauksen jälkeen

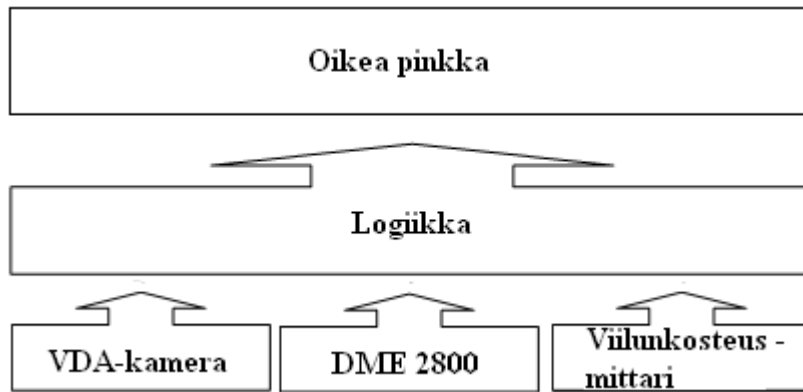
Kuivauksen jälkeen viilut lajitellaan viilun kosteuden, oksien määrän ja koon sekä laskennallisen kimmokerroimen mukaan. Viilujen kosteus mitataan Elliot Bayn viik-sianturimittarilla (kuva 11). Viilut kuvataan Mecanon toimittamalla viiluvika-analysointilaitteella (kuva 12). Tiheys ja kimmokerroin mitataan Metriguardin DME2800 mittalaitteella. Logiikka kerää tiedot kaikilta kolmelta mittarilta ja määrittää viilulle oikean pinkan annettujen lajittelusääntöjen perusteella (kuva 13).



Kuva 11. Viilunkosteusmittari (8)



Kuva 12. VDA-kamera (8)



Kuva 13. Kaavio, miten lajittelu toimii.

Käytössä on kymmenen lajittelupinkkaa: uudelleenkuivattava, leikattava, kevyt leikattava, raskas keskiviilu, raskas leikattava, keskiviilu, pintaviilu, lajiteltava viilu, tolppaviilu ja puskuviilu. Lajittelulinjan päässä on myös lokero, johon hylätyt viilut päätyvät. Kun laadun pinkka on täysi, siirretään se automaattisella pinkkakuljettimella trukkikuskien noudettavaksi linjastolle tai varastoon. Automaattinen ohjelma tulostaa kyseisen pinkan tarkat tiedot lapulle, josta selviää mitä tuotetta kyseinen pinkka on. Tästä trukkikuskit tietävät mihin pinkka tulee viedä. Lappu kiinnitetään pinkkaan joko trukkikuljettajan tai kuivauskoneen käyttäjän toimesta. (9)

## 5. HÖYRYN SIIRTO TEHTAALLE JA SEN KUSTANNUKSET

Tehtaalla tarvittava höyry toimitetaan läheiseltä lämpövoimalaitokselta. Kyseessä on Fortum Power and Heat Oy, Lohjan Voimalaitos, joka sijaitsee Pitkäniemessä. Laitoksella on kolme kattilaa, joista yhdessä poltetaan kivihiiltä, puu- ja paperijätettä sekä kierrätyspolttoainetta ja toisessa raskasta polttoöljyä. Kolmas kattila toimii varakattilana. (10) Höyry kulkee putkistoa pitkin suoraan tehtaan pannuhuoneeseen, josta se jakautuu eri koneille. Höyryn tulolämpötila on n. 220...230 °C ja sen paine on n. 20...25 bar:n paineella. Höyryn jäähtyessä syntyy lauhdetta, joka toimitetaan takaisin voimalaitokselle uudelleen käsiteltäväksi.

Tehtaan energialaskut ovat olleet hyvin tasaisia viime vuoden aikana. Vuoden 2010 energialaskua tarkasteltaessa höyryn keskihinnaksi saadaan noin 44 €/MWh. Kun yhdellä MWh :lla kuivataan n. 2 m<sup>3</sup> viilua, saadaan kuutiohinnaksi noin 22 €. Tehtaan pyynnöstä yllä olevat luvut eivät ole aivan tarkkoja, mutta antavat suuntaa antavan kuvan höyryn kustannuksista. Kuukauden aikana viiluja kuivattiin 12 000 m<sup>3</sup> ja val-

mista kertopuuta tehtiin 8 500 m<sup>3</sup>, eli yhtä valmista kertopuukuutiota varten tarvitaan 1,4 m<sup>3</sup> kuivaa viilua. Tästä saadaan laskettua, että höyrykustannus yhtä valmista kertopuukuutiota kohden on noin 30 €.

Tehtaan tontille ollaan rakentamassa tulevana kesänä biolämpölaitos. Laitoksen rakentaa tätä varten perustettava Lohjan Biolämpö Oy, jonka osakkaat ovat Lohjan Energiahuolto Oy Loher, Metsäliitto Osuuskunta ja Ääneseudun Energia Oy. Uuden laitoksen on tarkoitus tuottaa lämpöä ja energiaa Lohjan kaukolämpöverkkoon sekä Kerto-tehtaalle. Tämä mahdollistaa ekologisemman ja edullisemman energiahankinnan pienentämällä mm. hiilidioksidipäästöjä n. 40 000 tonnia vuodessa. Laitoksen polttoaineena on tarkoitus käyttää tehtaan sivutuotteita, kuten haketta ja purua. Lisäksi laitokseen tuodaan mm. metsähaketta ja muita puuperäisiä polttoaineita. Investoinnin on arvioitu maksavan n. 17 miljoonaa euroa, ja laitos on suunniteltu olevan tuotantokäytössä loppuvuonna 2012. (11)

## 6. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin tehtaalla muiden töiden ohessa. Valitettavasti monien sattumusten takia tutkimusaika venyi haluttua pidemmäksi. Esimerkiksi kuivauskoneen automatisointia ehdittiin muuttaa kesken tutkimuksen. Tämä vaikuttaa oleellisesti tutkimustuloksiin ja päättelyihin.

Höyrynkulutusta sekä lauhteen määrää mitattiin tehtaan höyryputkeen kiinnitetystä mittarista (kuva 14). Mittarin on valmistanut ABB. Mittaukseen käytettiin aina yksi tunti kerrallaan, jolloin mitattiin höyryn tuloteho sekä lauhteen teho. Mittaus otettiin minuutin välein ja kirjattiin käsin ylös. Näitä kulutuksia yhdistettiin Rauten tiedonkeruuohjelmaan, jonka avulla saatiin selville mm. kuivattujen viilujen määrä.



Kuva 14. ABB:n höyryn- ja lauhteenkulutusmittari

Mittauksia pyrittiin tekemään mahdollisimman erilaisissa olosuhteissa. Yksittäisen kuivauskoneen höyrynkulutus saatiin selville mittaamalla höyrynkulutus toisen koneen ollessa huollossa.

## 7. TULOKSIA

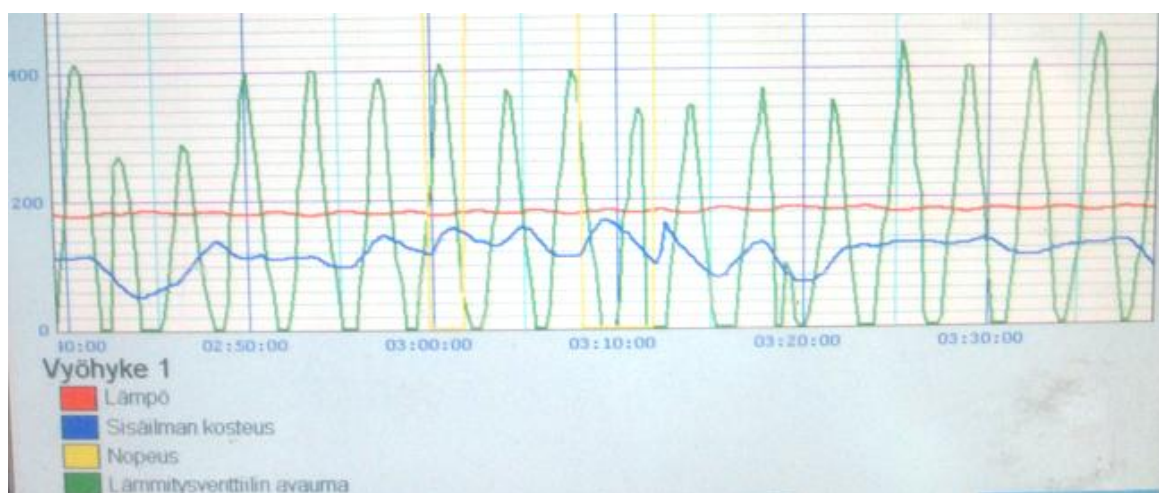
### 7.1. Tulosten havainnointi

Tehdyt mittaustulokset esitetään tässä työssä kuvaajina, joissa ovat esitettyinä höyrynkulutus, lauhteen kulutus ja näiden kahden erotus. Höyryn määrä on esitettyinä sinisellä viivalla, lämpölaitokselle palautettavan lauhteen määrä punaisella ja näiden erotus sinisellä viivalla. Kuvassa oikealla esitettävät luvut ovat kyseisten sarjojen keskiarvoja mittausjakson aikana. Taulukkoversiot mittauksista ovat liitteissä 1...11. Yhteenveto tuloksista on esitetty liitteessä 12.

### 7.2. Havainnot mittausten ulkopuolelta

Suurin löytö tehtiin jo ensimmäisten tutkimusten aikana kun tarkasteltiin kuivausilman lämpötilaa säätelevän venttiilin avaumaa. Säädin ei toiminut kunnolla ja venttiili käyttäytyi levottomasti (kuva 15). Tämä johti ylimääräiseen höyrynkulutukseen. Kun verrattiin lämmitysventtiilin avauman käyrää mitattuun höyrynkulutukseen, oli näissä selkeitä yhteneväisyyksiä. Höyrynkulutus oli erittäin vaihtelevaa, ja isojakin piikkejä

löytyi. Kuvassa 15 levottomasti käyttäytyvä lämmitysventtiilin avauma näkyy vihreänä käyränä. Punaisella on merkattu kuivaajan lämpötila ja sinisellä sisäilman kosteus. Jos PID-säädin toimisi toivotulla tavalla, olisi vihreä venttiilin avauman käyrä huomattavasti punaista lämpötilakäyrää lähempänä. Ajan myötä käyrän tulisi tasaantua koko ajan enemmän, kunnes venttiili olisi tasaisesti auki ja kuivauslämpötila pysyisi tasaisena.



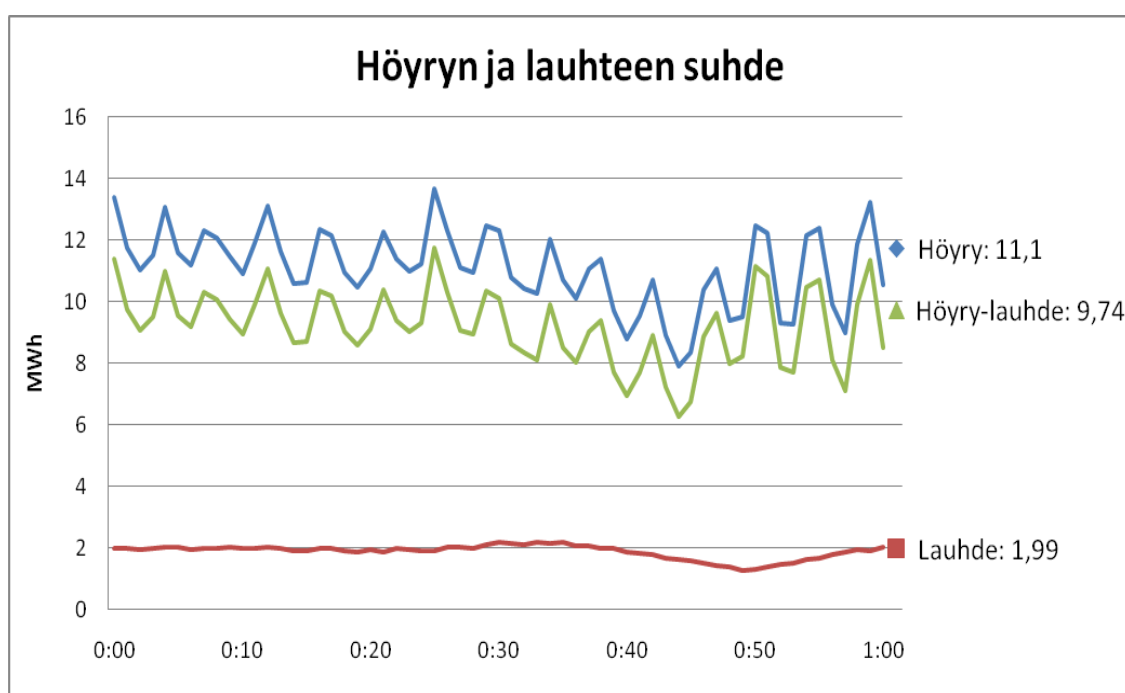
Kuva 15. Kuva lämmitysventtiilin avaumasta.

Tämän jälkeen etsittiin mahdollista vikaa säätimessä. Asialle vihkiytynyttä ammattilaista ei tehtaalta kuitenkaan löytynyt, joten päätettiin kokeilla erilaisia säätöjä ja seurata mitä vaikutuksia sillä olisi. Ongelma näytti helpottavan ja säädöt vaikuttivat olevan nyt kohdillaan. Muutamaa viikkoa myöhemmin säätimen säädöt näyttivät kuitenkin olevan jälleen väärin, joten asialle tulisi tehdä jotain. Lämmitysventtiilin toiminta oli kuitenkin huomattavasti parempaa kuin alkutilanteessa, joten tutkimuksissa ei keskitytty enää säätimen korjaukseen.

### 7.3. Mittaustuloksia

Kuvassa 16 nähdään koesarjan ensimmäinen otos. Kuvassa on selkeästi havaittavissa tehtaan höyrynkulutuksen pääongelma – epätasaisuus. Varsinkin heilahduksien jyrkkyys on merkillepantavaa. Höyryn kulutus vaihtelee rajusti ilman, että kummassakaan kuivauskoneessa esiintyy suuria häiriöitä. Ainoastaan jakson keskivaiheilla on muutama pysähdys KK1:llä, mikä on selkeästi nähtävissä höyrynkulutuksessa. Yhteensä häiriöaikaa kertyy KK1:ssä lähes 15 min, eli lähes neljännes tehollisesta käyntiajasta. Tässä tapauksessa viallinen PID-säädin oli vielä toiminnassa ja seuraavissa mittauksissa käyrän käyttäytyminen oli jo paljon tasaisempi. Mittauksen ajanjaksolla KK1:ssä

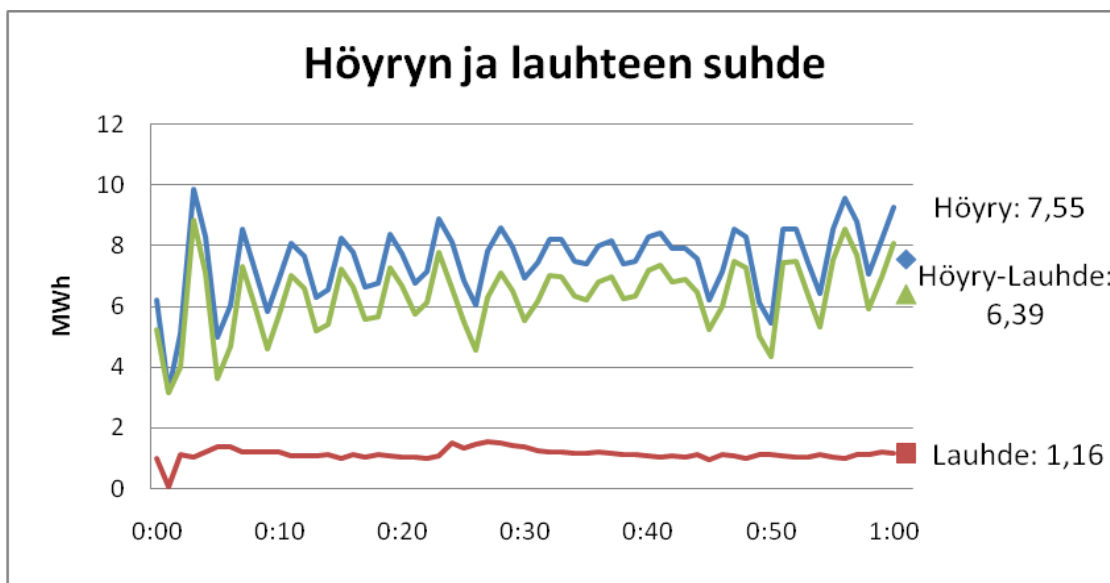
kuivausilman lämpötila oli 170 °C ja KK2:ssa 200 °C. Toisen kuivauskoneen alhaisesta lämpötilasta huolimatta höyryn ja lauhteen erotus on erittäin korkea. Tällä ajankaksolla kuivattujen viilujen määrä oli hyvä. KK1 tuotti 8,64 m<sup>3</sup> ja KK2 9,66 m<sup>3</sup>. Vaikka KK1:llä lämpötila on huomattavasti alempi kuin KK2:lla, niin kuivattujen viilujen määrä on kuitenkin lähellä toisiaan. Tämä johtuu siitä, että KK1:llä kuivattiin jo valmiiksi hieman kuivempaa sydänpuuviilua, ja tällöin kuivausnopeutta voidaan lisätä verrattuna KK2:een, jossa kuivattiin pintapuuviiilua, joka on reilusti märempää viilua. Vähäisistä käyntihäiriöistä huolimatta optimiviilusaannista jäätin yllättävän paljon.



Kuva 16. Höyryn ja lauhteen suhde 25.10.2010 klo 10.00–11.00, KK1 ja KK2.

Seuraava koe tehtiin KK2:n ollessa huoltopäivän takia alas ajettuna. Kuvassa 17 näkyy huolestuttava piirre: tunnin aikana ei kuivauskoneella kertynyt kuin 5 min häiriötä aivan jakson loppupuolella, mutta tästä huolimatta höyrynkulutus vaihtelee erittäin suuresti. Kuivaajassa lämpötila oli asetettuna 180 °C:seen ja kuivattavana oli pintapuuviiilua. Tämä asetti myös hieman haastetta kuivauskoneen hoitajille, jotka nostivat kuivauskoneen nopeutta useasti ajon aikana. Rohkeammalla nopeuden säätämällä ja alusta lähtien oikealla kuivausnopeudella kuivattujen viilujen määrä olisi ollut vieläkin suurempi kuin nyt. Vaikka kuivattiin pintapuuviiilua ja kuivausnopeus oli aluksi hyvin alhainen, kuivatun viilun määrä oli 7,5 m<sup>3</sup>, joka lähenee maksimia kuivausmäärää. Nykyään myös KK1:n kuivausnopeus on automatisoitu, joten tämän kaltaisia sel-

keitä nopeuden muutoksia ei pitäisi esiintyä. Kuivauskone määrittää nopeuden saatujen kosteusmittausten mukaan. Mikäli mitataan paljon kuivia viiluja, logiikka nopeuttaa automaattisesti kuivauslinjaa, kunnes kosteusarvot lähenevät jälleen optimia.

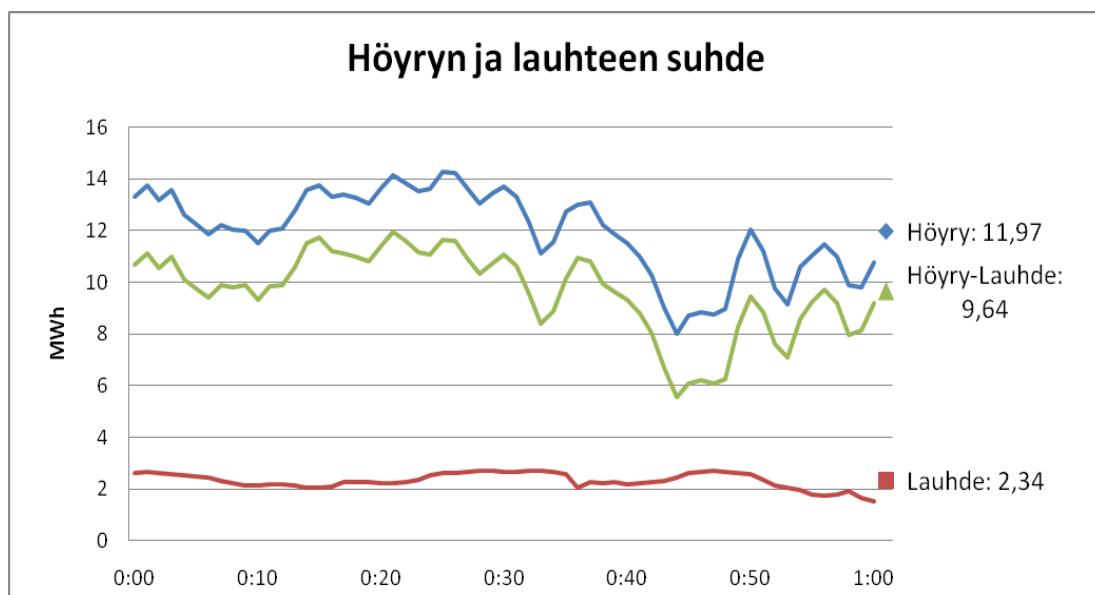


Kuva 17. Höyryn ja lauhteen suhde 26.10.2010 klo 12.30–13.30, KK1.

Keskimääräisesti höyryn ja lauhteen erotus oli tämän jakson aikana siedettävä, mutta ottaen huomioon höyrynkulutuksen erittäin suuret vaihtelut, tulee tässä selkeästi esiin KK1:n ongelma – lämmönsäätöventtiili. Suurista vaihteluista huolimatta höyrynkulutus on keskiarvoltaan alhainen.

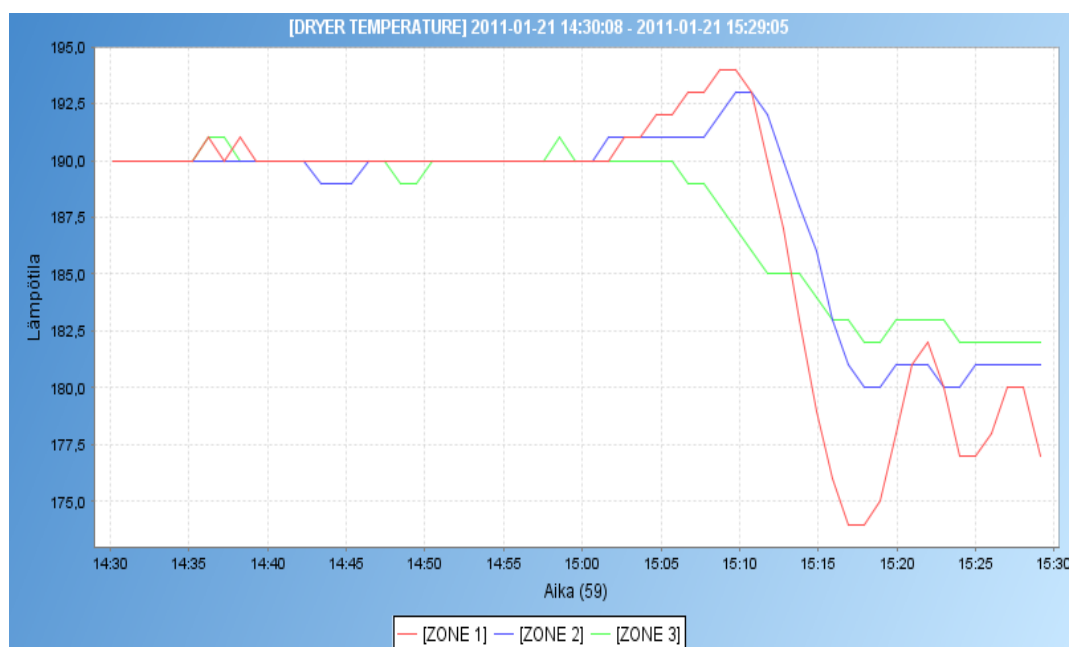
Seuraavassa kokeessa (kuva 18) nähdään uudelleen kuivatettavien viilujen vaikutus höyryn kulutukseen. Uudelleenkuivatettavat viilut ovat liian märkiä ja vaativat uuden kuivauksen ensimmäisen kuivauksen jälkeen. Näitä viiluja on kuivattu yhdessä sydänpuuviilujen kanssa, jotta kosteusero ei olisi liian suuri. Kun uudelleenkuivatettavia viiluja kuivataan, voidaan kuivauslämpötilaa laskea ehkäisemään liian nopeaa kuivausnopeutta. Kun tämä koe tehtiin, KK1:llä ei ollut vielä automaattinen nopeudensäädin käytössä. Tässä tapauksessa alennettiin kuivauslämpötila 180 °C asteeseen ja kuivausnopeutta nostettiin suuremmaksi. Jos automaattinen nopeudensäädin olisi ollut käytössä, kuivauslämpötilaa olisi jouduttu laskemaan enemmän risteysaseman ruuhkien välttämiseksi.





Kuva 18. Höyryn ja lauhteen suhde 21.1.2011 klo 14.30–15.30, KK1.

Kuvassa näkyy selvästi, että puolen tunnin kohdalla kuivausasetuksia on muutettu. Höyrynkulutus on laskenut selvästi, kun lämpötilaa laskettiin. Samanaikaisesti on lisätty kuivausnopeutta ja nähdään, miten lämpöventtiili on hakenut oikeita asetuksia. Tässä kohtaa höyrynkulutuksen vaihtelu on ollut erittäin suurta. Kuvassa 19 näemme miten lämpötila hakee oikeita säätöjä.

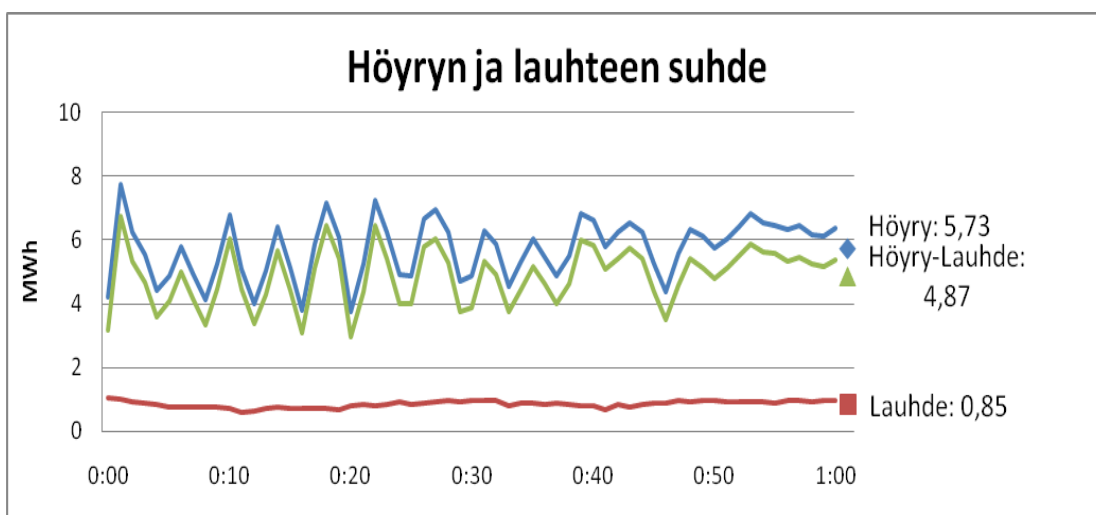


Kuva 19. Kuivauskoneen 1 lämpötilat eri lohkoissa 21.1.2011 klo 14.30–15.30.

Yleensä näitä uudelleenkuivatettavia kuivataan määrällisesti erittäin vähän, kunnes vaihdetaan takaisin pelkästään sydänpuuviiluihin tai pintapuuviiluihin. Tällöin tilanne

on täysin päinvastainen. Lämpöä täytyy nostaa, joten lämpöventtiili on täysin auki. Tämä antaa suuren piikin höyrynkulutuksessa.

Seuraavassa kuvassa (kuva 20) nähdään vuoronvaihdon vaikutus kuivauskoneen toimintaan. Toinen kuivauskone seiso huollon takia, joten tässä nähdään vain KK1:n höyrynkulutus. Tehtaassa vaihdetaan vuoroja klo 5.50, 13.50 sekä 21.50. Alla oleva mittausta on otettu välillä klo 14.00–15.00. Kuvassa nähdään selkeästi, miten rauhattomasti käyrä käyttäytyy ensimmäisen puolen tunnin aikana. Loppua kohden se rauhoittuu selkeästi, vaikkakin keskiarvoa korkeammilla arvoilla. Alkuvuorosta kone seiso yhteensä 10 min kahdessa jaksossa. Tämä vaikuttaa vielä pitkään koneen höyrynkulutukseen. 45 minuutin kohdalla on vielä yksi häiriö, mutta häiriö on lyhyt, joten se saadaan nopeasti tasapainoon.

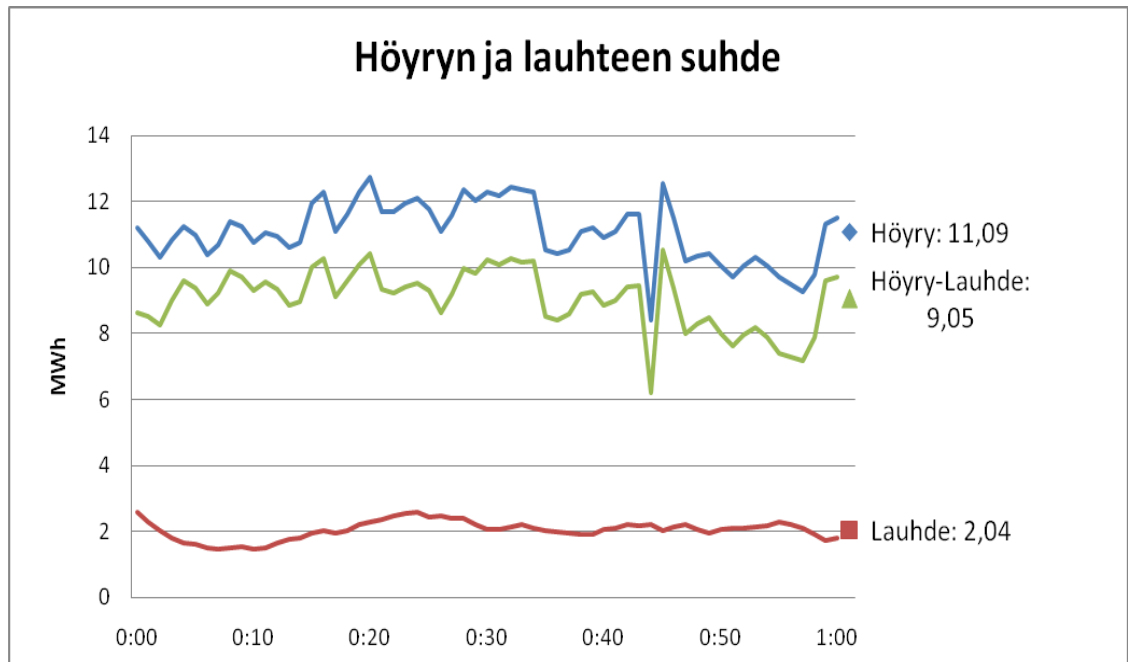


Kuva 20. Höyryn ja lauhteen suhde 23.11.2010 klo 14.00–15.00.

Kuivauskoneen kuivauslämpötilaksi oli asetettu 180 °C, ja ajonopeus oli läpi jakson 5,5 m/min. Tällä ajolla olisi pitänyt saada optimaalisesti n. 15 m<sup>3</sup> valmista viilua. Todellisuudessa viilua kuivattiin kuitenkin vain reilut 10 m<sup>3</sup>. Tässä näemme vuoron vaihtamisen merkityksen koneen kuivausmäärään. Oli syy mikä tahansa koneen seisomiseen vuoronvaihdon kohdalla, on noin 5 m<sup>3</sup>:n vaje maksimaaliseen kapasiteettiin erittäin huono saavutus. Vuoronvaihdon on tapahduttava saumattomasti ja ilman turhia pysähdyksiä, jottei kuivausmäärä kärsi. Kustannuksia ajatellen 5 m<sup>3</sup> vaje tarkoittaa 110 euron edestä kulutettua energiaa.

Alla oleva mittausta (kuva 21) on tehty 13.1.2011 klo 17.30–18.30. Mittauksen aikana kuivauskoneilla oli hyvin tavanomainen kuivaustilanne: KK1:lla kuivattiin sydänpuuviiluja ja lämpötila oli 190 °C, kun vastaavasti KK2:lla kuivattiin pintapuuviiiluja ja

lämpötila oli täydet 200 °C. Höyrynkulutus oli suhteellisen tasaista ja keskiarvoltaan siedettävissä rajoissa. Kuivia viiluja saatiin yhteensä tuon tunnin aikana n. 25 m<sup>3</sup>, mikä on loistava saavutus. Huomattavaa on, että KK1 ei pysähtynyt kertaakaan tuon tunnin aikana ja oletettavasti KK2 vain kerran. Tämä vaikuttaa oleellisesti kuivan viilun määrään.



Kuva 21. Höyryn ja lauhteen suhde 13.1.2011 klo 17.30–18.30.

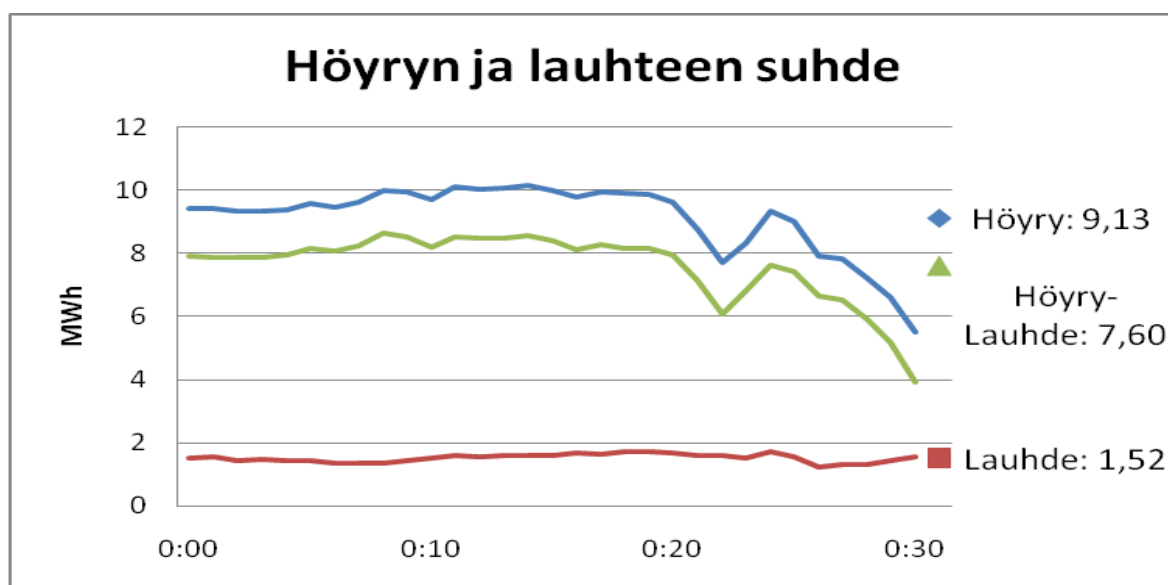
#### 7.4. Huollon merkitys höyryn kulutukseen

Kuivauskoneet huolletaan perusteellisesti yleensä kahden viikon välein. Tämän lisäksi suurimmat roskat, kuten viilusta irtoilevat suikaleet, siivotaan jokaisen vuoron aikana. Suurimmissa huolloissa koneet pysäytetään ja jäädytetään, jotta ne voidaan siivota myös kammioiden sisältä. Tämä tarkoittaa kaiken pölyn ja roskan puhaltamista paineilmailla pois suutinlaatikoista sekä teloista. Lisäksi kaikki suodattimet ja imukotelot puhdistetaan huolellisesti. Myös kaikki anturit, rajat ja valokennot tarkastetaan ja säädetään tarvittaessa.

Tehtyjen havaintojen perusteella huolto vaikuttaa selkeästi kuivauskoneiden olosuhteisiin. Pelkästään ylimääräisten roskien poistaminen ja valokennojen tarkastus poistaa koneesta ylimääräisiä käyntihäiriöitä ja edesauttaa tasaisempaan höyrynkulutukseen. Tehdyt havainnot perustuvat kuivauskoneen 2 käyttäytymiseen lämpötilan ollessa säädettyinä 200 °C:een. Normaalisti KK2 ei tätä lämpötilaa saavuta koskaan, vaan lämpötila jää muutaman asteen alle, vaikka lämpöventtiili on täysin auki. Huollon jäl-

keisinä päivinä kuivauskone saavuttaa helpommin halutun lämpötilan, jolloin venttiilin avauma pienenee ja tämän ansiosta höyrynkulutus vähenee. Muutama päivä huollon jälkeen venttiili pysyy taas melkein koko ajan täysin auki. Mielestäni kuivauskoneiden toimintavarmuus perustuu huolella tehtyihin huoltoihin sekä ennakoiviin kunnossapitotöihin. Kunnolla tehdyt huollot edesauttavat tasaista toimintavarmuutta ja mahdollisimman häiriötöntä käyntiä. Tämä antaa mahdollisuuden mahdollisimman energiatehokkaaseen käyttöön ja kapasiteetin maksimointiin. Yhdessä koeajossa mitasin höyrynkulutuksen KK1:n ollessa alas ajettuna. KK2:n lämpötila asetettiin mahdollisimman korkeaksi, koska viilupulan takia kuivaa viilua piti saada mahdollisimman paljon. Alla olevasta kuvasta 22 näkee mielestäni selkeästi, kuinka suuri höyrynkulutus on ajettaessa 200 °C:lla, kun huoltopäivästä on kulunut yli viikko.

Kuvassa 22 näkyy kuinka tasainen höyrynkulutus on ensimmäisen 20 minuutin aikana. Tämän jälkeen sattui yksi käyntihäiriö, jonka aikana lämpöä ei tarvinnut lisätä ja höyrynkulutus laski. Hetken kuluttua tästä kone oli pysähtynyt isomman häiriön takia ja lämpimän höyryn tarve väheni. Häiriön takia höyryä ei kulu niin paljon, mutta myöskään ei saada kuivaa viilua. Pidemmän häiriön jälkeen höyrynkulutus kasvaa hieman normaalia korkeammaksi, jolloin lämpötila kuivauskoneessa saadaan tasapainoon. Kuten liitteessä 10 nähdään, kuivattujen viilujen määrä mittauksen ajanjaksolla on 4,97 m<sup>3</sup>, mikä kertoo häiriön vaikuttavan selkeästi kuivaajaan todelliseen kapasiteettiin. Optimitilanteessa olisi mahdollista saada syöttömääräksi käytetyllä nopeudella yli 6 m<sup>3</sup>.



Kuva 22. Höyry ja lauhteen suhde 24.2.2011 klo 6.30–7.00.

Huomattavaa on myös yllättävän suuri höyrynkulutus, vaikka KK1 on alas ajettuna ja vain KK2 käytössä. Ilman käyntihäiriötä keskikulutukseksi oli tullut noin 10 MWh pelkästään yhdellä kuivauskoneella. Tämä johtuu siitä, että koneella ei saavuteta haluttua 200 °C:n rajaa, vaikka lämmönsyöttö on täysin auki.

Tehtyjen havaintojen perusteella kuivauskoneen käyttäjän näytöllä olevat kuivaajan oloarvot eivät ole samat kuin kuivaajan ulkoseinissä olevat lämpömittarien lämpötilat näyttävät. Kun kuivaajan lämpötila on asetettu 200 °C:seen, lämpömittareissa lämpötila on n. 205 °C, vaikka kuivauslämmön oloarvo on n. 195 °C ja lämpöluukut ovat 100 % auki. Tämä korostuu entisestään kun huoltopäivä lähenee. Kun asetuslämpötilaksi lasketaan 190 °C, ulkopuolella olevat mittarit näyttävät kaikki 200 °C ja kuivauslämmön oloarvoksi saadaan myös 190 °C. Kun kuivauslämpötila saavuttaa asetetun rajan, lämpöluukun avauma pienenee, jolloin myös höyrynkulutus pienenee. Kuivaajan kapasiteettia tuo lämpötilan laskeminen ei oleellisesti pienennä, mutta se pienentää oleellisesti höyrylaskua.

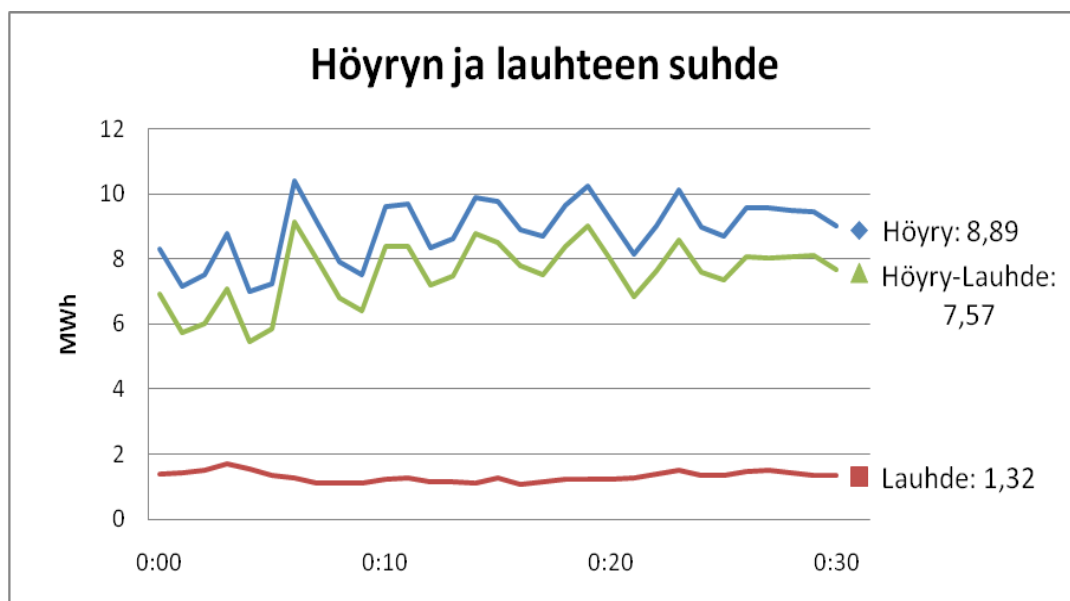
Kuvassa 23 nähdään juuri edellä mainittu tapaus. Höyryventtiili on 100 % auki ja kuivauskonetta lämmitetään täydellä n. 220 °C:n höyryllä. Haluttua lämpötilaa ei kuitenkaan saavuteta, minkä takia tulohöyry on aina täydellä teholla.



Kuva 23. Operaattorikuva KK2:lta.

Vertailun vuoksi tehtiin mittaus, jossa KK1 on alasajettuna ja KK2:n kuivauslämpötilaksi asetettiin 190 °C. Kuivauskoneen oloämpötilaksi saatiin haluttu 190 °C, mutta lämpömittarit näyttivät lämmön olevan lähes 200 °C.

Kuten kuvasta 22 nähdään, on höyrynkulutus paljon epätasaisempi. Koko puolen tunnin aikana ei sattunut ensimmäistäkään käyntihäiriötä. Valitettavasti juuri ennen mittausajankohtaa kone on hetken pysäytettyä, mikä näkyy alun suurissa vaihteluissa ja nostaa hieman keskiarvokulutusta. Aiemmassa kokeessa, jossa kuivattiin korkeammalla lämpötilalla, höyrynkulutuksen keskiarvoa taas alentaa loppupuolella ollut suuri häiriö. Mittauksen perusteella keskiarvot olivat lähes samat molemmilla lämpötiloilla. Myös nopeus pysyi suurin piirtein samana. Kun kuumemmalla kuivausilmalla saatiin yhteensä vajaat 5 m<sup>3</sup>, niin samassa ajassa matalammalla lämmöllä saatiin syöttömääräksi lähes 6,5 m<sup>3</sup>. Näiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että lämmön laskeminen ei höyrynkulutusta laske, mutta syöttömäärät kasvavat reilusti. Ilman häiriöitä höyrynkulutuksessa erot suurenevat noin 1 MWh:n suuruisiksi. Nykyisissä kuivausolosuhteissa voi olettaa, että samassa ajassa pystytään kuivaamaan yhtä paljon viiluja kuin edellisessä kokeessa, joka olisi 4 m/min nopeudella noin 11,5 m<sup>3</sup>/h. Tässä tapauksessa yhden MWh:n erotus tuo 4 euron säästön yhtä kuivattua viilukuutiota kohden. Kun todellisuudessa yhden tunnin aikana saadaan kuivattua n. 85 % maksimikapasiteetista, säästö on hieman suurempi.



Kuva 22. Höyry ja lauhteen suhde 25.3.2011 klo 16.30–17.00.

## 7.5. Kritiikki tuloksista

Jälkikäteen ajatellen käytetty mittausmenetelmä ei ole paras mahdollinen. Mittauksissa käytetty höyrymittari sijaitsee sellaisessa paikassa, josta ei itse kuivaustapahtumaa

pystynyt seuraamaan. Tutkimusta ajatellen olisi ollut hyvä seurata samalla milloin kuivauskoneella on jokin häiriö ja mistä se mahdollisesti johtuu. Tunnin mittausajanjakso on mielestäni sopivan mittainen, mutta myös todella viriheherkkä. Hieman pidempi häiriö mittauksen alussa sekoittaa helposti pidemmäksi aikaa höyrynkulutuksen. Myös tästä syystä toinen tai useampi henkilö olisi ollut suureksi avuksi. Tällöin olisi ollut paremmin mahdollista reagoida heti mitattavaan ajanjaksoon, vaihtamalla kuivausolosuhteita tai keskeyttämällä mittaaminen.

## 8. YHTEENVETO

Työn viitekehyksessä tavoitteeksi asetettua kuivauksen optimimäärän määrittystä ei saavutettu. Tämä johtuu mielestäni siitä, että kuivauksen olosuhteet eivät ole milloinkaan identtiset. Viilun laatu ei ole koskaan sama ja häiriöitä tulee joskus enemmän ja joskus vähemmän, vaikka lähtökohtaisesti näin ei olisikaan. Suurin syy tähän on, että käytettävä materiaali on puu, joka ei ole homogeenista eli tasalaatuista. Jokainen viilu käyttäytyy omalla tavallaan. Myös puun hydroskooppisuudesta johtuen puuaines käyttäytyy eri olosuhteissa eri tavalla. Myös tehtaan olosuhteet vaikuttavat osaltaan kuivausprosessiin.

Kun näitä kaikkia tuloksia tarkastellaan, saadaan mielestäni hyvä käsitys kuivauskoneen ongelmista höyrynkulutuksessa. Molemmissa koneissa on pieniä korjattavia vikoja, jotka vaikuttavat oleellisesti höyrynkulutukseen. KK1:n lämpöventtiilin avauma on saatava hallintaan tavalla tai toisella. Tämä onnistuu PID-säätimen oikeaoppisella säädöllä, jolloin venttiilin avaumasta saadaan huomattavasti nykyistä rauhallisempi. KK2:lla on saatava kuivauskoneen logiikka toimimaan yhtenäisesti kuivaajan todellisiin olosuhteisiin verraten.

Tehtyjen havaintojen perusteella kuivauskoneiden paras kuivauslämpötila on 190 °C. Tällöin myös KK2:n höyrynkulutus pysyy hallittuna ja koneiden tuotantomäärä pysyy korkeana. Kun KK1:llä ajetaan sydänpuuviiluja ja uudelleen kuivatettavia viiluja yhdessä, lämpötilaksi asetetaan korkeintaan 180 °C. Kun kuivausnopeus nousee yli 8 m/min, varsinkin KK1:n risteysasema ei vie viiluja tarpeeksi nopeaan tahtiin pois, jolloin syntyy ruuhkia.

Höyrynkulutuksen epätasaisuuteen voidaan vaikuttaa vain saamalla kuivauskoneiden häiriöiden määrä mahdollisimman alas. Myös kuivauskoneiden suuret häiriöajat ovat

suuren kulutuksen syynä. Suurimmat höyrynkulutuksen vaihtelut syntyvät useiden minuuttien pysähdyksien aikana, ja nämä pysähdykset on tulevaisuudessa saatava mahdollisimman lyhyiksi. Vaikka isoja häiriöitä ei tulisikaan, useat lyhytkestoiset häiriöt kasvattavat kokonaishäiriöajan usein liian suureksi. Tällöin menetetään useita kuutioita kuivaa viilua optimitilanteeseen nähden.

Alkuvuoden aikana tehtaalla on ollut ongelmia viilun sorvauksessa ja tämä on johtanut usein viilupulaan. Tämä on johtanut usein linjojen alasajoon ja tuotannollisiin tappioihin. Tämän takia kuivauskoneet ovat olleet käytännössä koko alkuvuoden joko alas ajettuina tai maksimilämmöillä. Lisäksi tehtaan pannuhuoneessa on havaittu useita höyryverkoston vuotokohtia. Kaikki nämä ovat vaikuttaneet höyryn kulutukseen ja se näkyy myös kustannuksissa. Tammikuun energiankulutus on hieman pienempi kuin edellisvuoden joulukuun kulutus. Höyryvuodot on nyt saatu suurelta osin kuriin ja sen toivotaan näkyvän ensi kuukausien energialaskussa. Myös vuoden alusta voimaan asetettu hiilivero kasvattaa reilusti tehtaan energialaskua. Tämä liittyy valtion toteuttamaan vihreään verouudistukseen (12). Alkuvuoden energialaskut ovatkin selkeästi korkeampia kuin ennen, mikä selittyy suurelta osin energian hinnannousulla. Tätä tilannetta peilaten uuden lämpövoimalaitoksen saaminen tehtaan käyttöön ei tule hetkeäkään liian aikaisin. Toivottavasti myös yksittäisten kuivauskoneiden säädöt tulevat kuntoon, mikä pienentää energiankulutuksia tulevaisuudessa.

## 9. LISÄTUTKIMUSEHDOTUKSET

Ehdottaisin tehtaan oman lämpövoimalaitoksen käynnistyttyä tehtäväksi samantyyppinen tutkielma höyryn kulutuskäyristä. Tätä ennen ehdottaisin tehtaalle hankittavaksi luotettavan höyrynkulutusmittarin, jolla pystyttäisiin tarkasti yksilöimään yhden tietyn kuivauskoneen höyrynkulutus ja samalla seuraamaan kuivausprosessia tarkemmin.



## LÄHTEET

- (1) RT-kortti. 2007. RT H-37309. Metsäliitto Osuuskunta Puutuoteteollisuus.
- (2) Metsäliiton sisäinen Internet-sivusto. 2010. Saatavissa:  
<http://internet.intra.metsaliitto.com>. (vain henkilökunnan käyttöön) [viitattu 5.11.2010].
- (3) Puuproffa. 2011. Saatavissa:  
[http://www.puuproffa.fi/arkisto/viilut\\_ja\\_viilutus.php](http://www.puuproffa.fi/arkisto/viilut_ja_viilutus.php) [viitattu 3.4.2011].
- (4) Suomen Metsäyhdistys ry. 1998. Puusta Jalosteeksi
- (5) Koponen, H. 2002. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. 3. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- (6) Raute Oyj. 2009. Tuotteet ja palvelut. Saatavissa:  
<http://www.raute.fi/index2.php?m=3&id=86&sm=43> [viitattu 3.4.2011]
- (7) Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, Puutekniikan laboratorio, 2000, Tiedonanto 84. Viilun kuivaus, s. 12 – 14. Espoo.
- (8) Mecano, products and services  
<http://www.mecanogroup.com/index.php?m=3&id=33&sm=30> luettu 3.4.2011
- (9) Finnforest Oyj toimintajärjestelmä 2006; Tunnus 75320; Marika Saarinen
- (10) Lohjan Internet-sivusto  
[www.lohja.fi](http://www.lohja.fi) luettu 12.1.2011
- (11) Metsäliiton sisäinen Internet-sivusto. 2011. Saatavissa:  
[intra.metsaliitto.com](http://intra.metsaliitto.com). (vain henkilökunnan käyttöön) [viitattu 17.3.2011]
- (12) Katainen, J. 2011. Valtiovarainministerin budjettiesitys 2011: Hyvinvointi, vihreä verotus ja kestävä kasvu. Valtiovarainministeriö.

Mittaustulokset 25.10.2010

Liite 1

Päivämäärä 25.10.2010

Koe alkoi: 10.00

Koe päättyi: 11.00

		KK1	KK2			
Lämpötila		170	200			
	Viilulaji	S	P			
Nopeus	alussa	4,6	4,1			
	lopussa	4,5	4,1			
				Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Mätkää viilua (m <sup>3</sup> )	
				KK1	8,64	0,14
				KK2	9,66	0,33
				Yht.	18,3	0,47

3Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-lauhde
0:00	13,39	1,99	11,40	0:31	10,80	2,16	8,64
0:01	11,73	2,00	9,73	0:32	10,44	2,11	8,33
0:02	11,01	1,94	9,07	0:33	10,28	2,18	8,10
0:03	11,52	2,01	9,51	0:34	12,03	2,14	9,89
0:04	13,05	2,05	11,00	0:35	10,71	2,19	8,52
0:05	11,60	2,05	9,55	0:36	10,12	2,09	8,03
0:06	11,17	1,97	9,20	0:37	11,08	2,06	9,02
0:07	12,30	1,98	10,32	0:38	11,40	2,00	9,40
0:08	12,08	2,01	10,07	0:39	9,70	1,99	7,71
90:09	11,45	2,02	9,43	0:40	8,80	1,87	6,93
0:10	10,91	1,98	8,93	0:41	9,56	1,84	7,72
0:11	11,92	2,00	9,92	0:42	10,71	1,81	8,90
0:12	13,09	2,03	11,06	0:43	8,90	1,69	7,21
0:13	11,63	2,01	9,62	0:44	7,90	1,62	6,28
0:14	10,60	1,92	8,68	0:45	8,33	1,59	6,74
0:15	10,63	1,93	8,70	0:46	10,37	1,52	8,85
0:16	12,35	2,01	10,34	0:47	11,08	1,45	9,63
0:17	12,15	1,98	10,17	0:48	9,38	1,41	7,97
0:18	10,95	1,91	9,04	0:49	9,52	1,28	8,24
0:19	10,47	1,87	8,60	0:50	12,45	1,31	11,14
0:20	11,06	1,95	9,11	0:51	12,21	1,40	10,81
0:21	12,27	1,87	10,40	0:52	9,32	1,47	7,85
0:22	11,38	1,99	9,39	0:53	9,25	1,53	7,72
0:23	10,97	1,95	9,02	0:54	12,13	1,65	10,48
0:24	11,21	1,92	9,29	0:55	12,40	1,69	10,71
0:25	13,67	1,92	11,75	0:56	9,90	1,81	8,09
0:26	12,31	2,02	10,29	0:57	8,98	1,86	7,12
0:27	11,10	2,04	9,06	0:58	11,85	1,96	9,89
0:28	10,95	1,99	8,96	0:59	13,23	1,90	11,33
0:29	12,46	2,12	10,34	1:00	10,54	2,02	8,52
0:30	12,32	2,21	10,11	keskiarvo	11,73	1,99	9,74

Päivämäärä 26.10.2010

Koe alkoi  
Koe päättyi

9:30

10:30

	KK1	KK2
Lämpötila	200	Huolto
Viilulaji	P	
Nopeus alussa	3,2	
lopussa	3,5	

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Märkää viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	7,84	0,05
KK2		
<b>Yht.</b>	<b>7,84</b>	<b>0,05</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-lauhde
0:00	8,88	1,2	7,68	0:31	7,75	1,13	6,62
0:01	8,95	1,21	7,74	0:32	7,35	1,13	6,22
0:02	8,68	1,23	7,45	0:33	6,6	1,14	5,46
*0:03	8,86	1,23	7,63	0:34	3,35	1,12	2,23
0:04	8,88	1,25	7,63	0:35	7,6	1	6,6
0:05	8,93	1,26	7,67	0:36	7,05	1,04	6,01
0:06	8,86	1,36	7,5	0:37	6,85	1,12	5,73
0:07	8,83	1,29	7,54	0:38	6,91	0,92	5,99
0:08	8,71	1,31	7,4	0:39	6,78	1,02	5,76
0:09	8,72	1,4	7,32	0:40	6,55	1	5,55
0:10	8,88	1,33	7,55	0:41	6,55	1,01	5,54
0:11	8,74	1,39	7,35	0:42	6,7	0,9	5,8
0:12	8,81	1,32	7,49	0:43	6,98	1,04	5,94
0:13	8,65	1,44	7,21	0:44	7,1	0,99	6,11
0:14	8,7	1,31	7,39	0:45	7,34	1,1	6,24
0:15	8,84	1,3	7,54	0:46	7,77	0,98	6,79
0:16	8,48	1,4	7,08	0:47	8,11	1	7,11
0:17	8,33	1,32	7,01	0:48	8,15	1,01	7,14
0:18	8,45	1,32	7,13	0:49	8,13	1,04	7,09
0:19	8,17	1,3	6,87	0:50	8,25	1,1	7,15
0:20	8,14	1,29	6,85	0:51	8,26	1,03	7,23
0:21	8,21	1,25	6,96	0:52	8,41	1,19	7,22
0:22	8,32	1,22	7,1	0:53	8,55	1,16	7,39
0:23	8,26	1,26	7	0:54	8,71	1,12	7,59
0:24	8,15	1,23	6,92	0:55	8,85	1,23	7,62
0:25	8,31	1,21	7,1	0:56	8,73	1,17	7,56
0:26	8,3	1,21	7,09	0:57	9,02	1,22	7,8
0:27	8,05	1,16	6,89	0:58	8,7	1,3	7,4
0:28	8,05	1,17	6,88	0:59	8,88	1,41	7,47
0:29	7,92	1,16	6,76	1:00	8,95	1,38	7,57
0:30	7,9	1,14	6,76	Keskiarvo	8,08	1,19	6,89

Päivämäärä 26.10.2010 Koe alkoi: 12:30

Koe päättyi: 13:30

		KK1	KK2		
Lämpötila		180	Huolto		
	Viilulaji	P		KK1	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
Nopeus	alussa	2,4		KK2	Märkää viilua (m <sup>3</sup> )
	lopussa	3,2		Yht.	
					7,51

	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde		Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	6,22	0,99	5,23	0:31	7,45	1,27	6,18
0:01	3,22	0,06	3,16	0:32	8,23	1,21	7,02
0:02	5,13	1,11	4,02	0:33	8,22	1,22	7
0:03	9,87	1,03	8,84	0:34	7,5	1,15	6,35
0:04	8,3	1,2	7,1	0:35	7,4	1,17	6,23
0:05	5	1,37	3,63	0:36	8,01	1,21	6,8
0:06	6,06	1,37	4,69	0:37	8,16	1,18	6,98
0:07	8,55	1,22	7,33	0:38	7,39	1,14	6,25
0:08	7,29	1,2	6,09	0:39	7,48	1,13	6,35
0:09	5,82	1,21	4,61	0:40	8,3	1,1	7,2
0:10	6,94	1,2	5,74	0:41	8,42	1,05	7,37
0:11	8,1	1,09	7,01	0:42	7,93	1,1	6,83
0:12	7,67	1,09	6,58	0:43	7,91	1,02	6,89
0:13	6,28	1,07	5,21	0:44	7,57	1,12	6,45
0:14	6,54	1,12	5,42	0:45	6,22	0,96	5,26
0:15	8,25	1	7,25	0:46	7,14	1,12	6,02
0:16	7,77	1,12	6,65	0:47	8,57	1,07	7,5
0:17	6,62	1,05	5,57	0:48	8,3	1,01	7,29
0:18	6,77	1,11	5,66	0:49	6,12	1,11	5,01
0:19	8,37	1,09	7,28	0:50	5,47	1,12	4,35
0:20	7,73	1,05	6,68	0:51	8,53	1,08	7,45
0:21	6,77	1,02	5,75	0:52	8,53	1,06	7,47
0:22	7,13	1	6,13	0:53	7,43	1,03	6,4
0:23	8,87	1,08	7,79	0:54	6,44	1,13	5,31
0:24	8,11	1,5	6,61	0:55	8,53	1,02	7,51
0:25	6,85	1,35	5,5	0:56	9,56	1	8,56
0:26	6,03	1,48	4,55	0:57	8,82	1,11	7,71
0:27	7,84	1,56	6,28	0:58	7,06	1,14	5,92
0:28	8,58	1,49	7,09	0:59	8,2	1,22	6,98
0:29	7,94	1,41	6,53	1:00	9,25	1,18	8,07
0:30	6,92	1,39	5,53	keskiarvo	7,55	1,16	6,39

Päivämäärä 27.10.2010

Koe alkoi 11:00

Koe päättyi 12:00

		KK1	KK2
Lämpötila		180	180
	Viilulaji	P	P
Nopeus	alussa	3,1	3,2
	lopussa	3,8	3,8

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Märkää viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	6,62	0,21
KK2	9,31	0,1
<b>Yht.</b>	<b>15,93</b>	<b>0,31</b>

	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde		Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	13,35	2,3	11,05	0:31	12,9	2,32	10,58
0:01	13,96	2,49	11,47	0:32	13,04	2,35	10,69
0:02	13,76	2,51	11,25	0:33	13,48	2,31	11,17
0:03	13,2	2,49	10,71	0:34	13,41	2,29	11,12
0:04	12,4	2,45	9,95	0:35	12,86	2,33	10,53
0:05	8,92	2,59	6,33	0:36	12,84	2,52	10,32
0:06	13,27	2,63	10,64	0:37	13,41	2,56	10,85
0:07	13,01	2,74	10,27	0:38	13,17	2,62	10,55
0:08	11,82	2,7	9,12	0:39	12,9	2,62	10,28
0:09	11,47	2,44	9,03	0:40	11,44	2,47	8,97
0:10	11,49	2,18	9,31	0:41	10,95	2,4	8,55
0:11	11,84	2,25	9,59	0:42	10,99	2,4	8,59
0:12	10,96	2,38	8,58	0:43	11,82	2,33	9,49
0:13	10,5	2,31	8,19	0:44	12,45	2,39	10,06
0:14	11,35	2,12	9,23	0:45	12,32	2,37	9,95
0:15	11,98	1,84	10,14	0:46	11,69	2,36	9,33
0:16	12,46	1,92	10,54	0:47	11,18	2,45	8,73
0:17	11,82	2,07	9,75	0:48	11,54	2,41	9,13
0:18	10	2,29	7,71	0:49	12,88	2,33	10,55
0:19	9,09	2,31	6,78	0:50	13,65	2,1	11,55
0:20	9,35	2,17	7,18	0:51	14,63	2,11	12,52
0:21	10,59	1,87	8,72	0:52	13,72	2,2	11,52
0:22	10,9	1,86	9,04	0:53	13,22	2,3	10,92
0:23	11,68	1,77	9,91	0:54	13,64	2,26	11,38
0:24	12,32	1,61	10,71	0:55	13,51	2,15	11,36
0:25	13,56	1,63	11,93	0:56	13,12	2,23	10,89
0:26	13,47	1,88	11,59	0:57	12,75	2,22	10,53
0:27	12,53	1,99	10,54	0:58	12,27	2,25	10,02
0:28	12,21	2,09	10,12	0:59	11,26	2,36	8,9
0:29	12,39	2,07	10,32	1:00	11,49	2,37	9,12
0:30	12,98	2,07	10,91	keskiarvo	12,25	2,27	9,98

## Mittaustulokset 10.11.2010

## Liite 5

Päivämäärä 10.11.2010

Koe alkoi 10.00

Koe päättyi 11.00

		KK1	KK2
Lämpötila		180	180
	Viilulaji	S/P	P
Nopeus	alussa	5,3	3,5
	lopussa	3,7	4

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Märkää viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	8,03	0,8
KK2	7,67	0,18
<b>Yht.</b>	<b>15,7</b>	<b>0,98</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	11,58	1,61	9,97	0:31	9,61	2,29	7,32
0:01	12,12	1,51	10,61	0:32	9,86	2,12	7,74
0:02	11,63	1,58	10,05	0:33	9,75	2	7,75
0:03	11,35	1,64	9,71	0:34	10,25	1,84	8,41
0:04	11,72	1,8	9,92	0:35	10,78	1,75	9,03
0:05	11,77	1,86	9,91	0:36	9,7	1,7	8
0:06	11,93	1,94	9,99	0:37	8,89	1,78	7,11
0:07	12,72	1,9	10,82	0:38	9,17	1,79	7,38
0:08	12,65	1,96	10,69	0:39	7,41	1,64	5,77
0:09	12,43	2,05	10,38	0:40	7,5	1,79	5,71
0:10	12,38	2,11	10,27	0:41	8,31	1,7	6,61
0:11	12,26	2,1	10,16	0:42	9,22	1,56	7,66
0:12	12,46	2,04	10,42	0:43	8,64	1,65	6,99
0:13	12,23	1,91	10,32	0:44	7,8	1,7	6,1
0:14	11,55	1,86	9,69	0:45	6,81	1,81	5
0:15	13,17	1,84	11,33	0:46	7,4	1,77	5,63
0:16	11,32	1,8	9,52	0:47	8,43	1,87	6,56
0:17	11,55	1,69	9,86	0:48	8,67	1,84	6,83
0:18	11,34	1,75	9,59	0:49	8,17	1,64	6,53
0:19	10,07	1,62	8,45	0:50	7,9	1,51	6,39
0:20	10,14	1,73	8,41	0:51	8,08	1,47	6,61
0:21	10,09	1,88	8,21	0:52	8,91	1,6	7,31
0:22	11,11	1,97	9,14	0:53	9,35	1,63	7,72
0:23	11,32	2,05	9,27	0:54	9,59	1,59	8
0:24	11,2	2,2	9	0:55	10,98	1,39	9,59
0:25	11,2	2,34	8,86	0:56	11,73	1,33	10,4
0:26	11,26	2,48	8,78	0:57	10,88	1,35	9,53
0:27	11,55	2,53	9,02	0:58	9,77	1,44	8,33
0:28	11,17	2,59	8,58	0:59	10,07	1,52	8,55
0:29	10,47	2,55	7,92	1:00	12,66	1,56	11,1
0:30	9,8	2,39	7,41	keskiarvo	10,39	1,83	8,56

## Mittaustulokset 23.11.2010

## Liite6

Päivämäärä 23.11.2010

Koe alkoi 14:00

Koe päättyi 15:00

	KK1	KK2
Lämpötila	190	Huolto
Viilulaji	S	
Nopeus alussa	5,6	
lopussa	5,5	

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Märkää viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	10,48	0,24
KK2		
<b>Yht.</b>	<b>10,48</b>	<b>0,24</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	4,22	1,05	3,17	0:31	6,3	0,95	5,35
0:01	7,76	1,01	6,75	0:32	5,88	0,97	4,91
0:02	6,25	0,92	5,33	0:33	4,55	0,8	3,75
0:03	5,55	0,89	4,66	0:34	5,29	0,88	4,41
0:04	4,4	0,83	3,57	0:35	6,02	0,87	5,15
0:05	4,87	0,77	4,1	0:36	5,44	0,83	4,61
0:06	5,8	0,78	5,02	0:37	4,88	0,88	4
0:07	4,94	0,78	4,16	0:38	5,48	0,84	4,64
0:08	4,12	0,78	3,34	0:39	6,83	0,82	6,01
0:09	5,23	0,77	4,46	0:40	6,64	0,79	5,85
0:10	6,77	0,74	6,03	0:41	5,79	0,7	5,09
0:11	5,08	0,6	4,48	0:42	6,25	0,85	5,4
0:12	4,02	0,63	3,39	0:43	6,54	0,78	5,76
0:13	5,04	0,74	4,3	0:44	6,24	0,84	5,4
0:14	6,42	0,77	5,65	0:45	5,23	0,87	4,36
0:15	5,12	0,72	4,4	0:46	4,38	0,88	3,5
0:16	3,78	0,71	3,07	0:47	5,57	0,97	4,6
0:17	5,86	0,74	5,12	0:48	6,33	0,92	5,41
0:18	7,18	0,73	6,45	0:49	6,11	0,98	5,13
0:19	6,06	0,66	5,4	0:50	5,76	0,96	4,8
0:20	3,75	0,79	2,96	0:51	6,03	0,91	5,12
0:21	5,25	0,86	4,39	0:52	6,41	0,91	5,5
0:22	7,25	0,8	6,45	0:53	6,82	0,94	5,88
0:23	6,25	0,83	5,42	0:54	6,54	0,92	5,62
0:24	4,93	0,91	4,02	0:55	6,47	0,9	5,57
0:25	4,87	0,85	4,02	0:56	6,31	0,99	5,32
0:26	6,68	0,88	5,8	0:57	6,44	0,98	5,46
0:27	6,95	0,91	6,04	0:58	6,18	0,92	5,26
0:28	6,25	0,95	5,3	0:59	6,14	0,96	5,18
0:29	4,7	0,94	3,76	1:00	6,38	0,99	5,39
0:30	4,86	0,99	3,87	Keskiarvo	5,73	0,85	4,87

Päivämäärä 15.12.2011

Koe alkoi 15:00

Koe päättyi 16:00

		KK1	KK2
Lämpötila		190/170	200
	Viilulaji	P/S	P
Nopeus	alussa	4,1	4
	lopussa	5,9	4

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	9,7	1,37
KK2	3,9	0,25
<b>Yht.</b>	<b>13,6</b>	<b>1,62</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	14,25	2,11	12,14	0:31	5,37	1,41	3,96
0:01	14,05	2,13	11,92	0:32	6,05	1,24	4,81
0:02	13,75	2,11	11,64	0:33	4,95	1,11	3,84
0:03	12,9	2,12	10,78	0:34	4,7	0,91	3,79
0:04	12,63	2,17	10,46	0:35	12,5	0,92	11,58
0:05	13,05	2,27	10,78	0:36	15,77	0,99	14,78
0:06	12,27	2,38	9,89	0:37	15,77	0,92	14,85
0:07	11	2,4	8,6	0:38	12,7	1,02	11,68
0:08	11,4	2,26	9,14	0:39	11,38	1,04	10,34
0:09	11,24	2,26	8,98	0:40	10,9	0,99	9,91
0:10	11,35	2,22	9,13	0:41	10,95	0,97	9,98
0:11	11,55	2,27	9,28	0:42	11,41	0,98	10,43
0:12	11,55	1,17	10,38	0:43	12,03	0,97	11,06
0:13	10,93	2,06	8,87	0:44	11,78	0,88	10,9
0:14	10,33	2,04	8,29	0:45	10,97	0,98	9,99
0:15	10,58	2,01	8,57	0:46	10,35	1,01	9,34
0:16	10,43	2,05	8,38	0:47	10,81	1,05	9,76
0:17	11,71	2,16	9,55	0:48	12,76	1,21	11,55
0:18	9,05	2,35	6,7	0:49	11,96	1,44	10,52
0:19	11,97	2,41	9,56	0:50	9,8	1,68	8,12
0:20	11,47	2,36	9,11	0:51	9,78	1,89	7,89
0:21	2,28	2,51	-0,23	0:52	10,8	1,94	8,86
0:22	1,85	2,26	-0,41	0:53	12,64	1,98	10,66
0:23	2,72	2,16	0,56	0:54	12,05	1,93	10,12
0:24	2,9	1,89	1,01	0:55	9,02	1,92	7,1
0:25	3,76	1,87	1,89	0:56	10,89	1,95	8,94
0:26	2,99	2,14	0,85	0:57	9,89	2,04	7,85
0:27	3,33	2,22	1,11	0:58	9,47	2,12	7,35
0:28	2,56	2,05	0,51	0:59	9,14	2,16	6,98
0:29	2,85	1,8	1,05	1:00	9,22	2,04	7,18
0:30	3,8	1,57	2,23	keskiarvo	9,71	1,76	7,95



Päivämäärä 13.1.2011

Koe alkoi 17:30

Koe päättyi 18:30

	KK1	KK2
Lämpötila	190	200
Viilulaji	S	P
Nopeus alussa	7,6	4,1
lopussa	7,6	3,9

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	15,1	0,8
KK2	9,64	0,81
<b>Yht.</b>	<b>24,75</b>	<b>1,61</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	11,2	2,58	8,62	0:31	12,16	2,06	10,1
0:01	10,81	2,3	8,51	0:32	12,42	2,15	10,27
0:02	10,31	2,04	8,27	0:33	12,37	2,21	10,16
0:03	10,82	1,8	9,02	0:34	12,28	2,09	10,19
0:04	11,25	1,64	9,61	0:35	10,55	2,03	8,52
0:05	10,98	1,62	9,36	0:36	10,41	2	8,41
0:06	10,38	1,5	8,88	0:37	10,54	1,95	8,59
0:07	10,7	1,48	9,22	0:38	11,1	1,91	9,19
0:08	11,4	1,51	9,89	0:39	11,2	1,92	9,28
0:09	11,26	1,54	9,72	0:40	10,9	2,06	8,84
0:10	10,76	1,45	9,31	0:41	11,11	2,11	9
0:11	11,05	1,5	9,55	0:42	11,61	2,19	9,42
0:12	10,95	1,63	9,32	0:43	11,62	2,18	9,44
0:13	10,61	1,76	8,85	0:44	8,4	2,2	6,2
0:14	10,76	1,8	8,96	0:45	12,54	2,01	10,53
0:15	11,95	1,95	10	0:46	11,5	2,12	9,38
0:16	12,3	2,04	10,26	0:47	10,18	2,19	7,99
0:17	11,08	1,95	9,13	0:48	10,36	2,07	8,29
0:18	11,62	2,02	9,6	0:49	10,41	1,94	8,47
0:19	12,29	2,2	10,09	0:50	10,05	2,07	7,98
0:20	12,72	2,3	10,42	0:51	9,7	2,09	7,61
0:21	11,7	2,37	9,33	0:52	10,03	2,08	7,95
0:22	11,7	2,47	9,23	0:53	10,3	2,12	8,18
0:23	11,95	2,53	9,42	0:54	10,05	2,16	7,89
0:24	12,1	2,57	9,53	0:55	9,7	2,3	7,4
0:25	11,75	2,45	9,3	0:56	9,5	2,22	7,28
0:26	11,1	2,47	8,63	0:57	9,26	2,08	7,18
0:27	11,57	2,39	9,18	0:58	9,8	1,9	7,9
0:28	12,38	2,4	9,98	0:59	11,31	1,72	9,59
0:29	12,02	2,19	9,83	1:00	11,5	1,78	9,72
0:30	12,28	2,06	10,22	keskiarvo	11,09	2,04	9,05

## Mittaustulokset 21.1.2010

## Liite 9

Päivämäärä 21.1.2011

Koe alkoi

14:30

Koe päättyi

15:30

		KK1	KK2
Lämpötila		190/180	190
	Viilulaji	P/UK	P
Nopeus	alussa	2,8	3,4
	lopussa	5,6	3,4

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
KK1	10,21	0,74
KK2	9,64	0,13
<b>Yht.</b>	<b>19,85</b>	<b>0,87</b>

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde	Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	13,32	2,64	10,68	0:31	13,3	2,66	10,64
0:01	13,75	2,65	11,1	0:32	12,28	2,72	9,56
0:02	13,17	2,61	10,56	0:33	11,11	2,72	8,39
0:03	13,55	2,58	10,97	0:34	11,55	2,66	8,89
0:04	12,62	2,53	10,09	0:35	12,75	2,59	10,16
0:05	12,26	2,51	9,75	0:36	13,02	2,07	10,95
0:06	11,86	2,46	9,4	0:37	13,09	2,27	10,82
0:07	12,22	2,32	9,9	0:38	12,19	2,24	9,95
0:08	12,04	2,22	9,82	0:39	11,88	2,25	9,63
0:09	12,01	2,13	9,88	0:40	11,5	2,2	9,3
0:10	11,5	2,16	9,34	0:41	11	2,22	8,78
0:11	12,01	2,18	9,83	0:42	10,3	2,26	8,04
0:12	12,06	2,19	9,87	0:43	9,02	2,33	6,69
0:13	12,77	2,16	10,61	0:44	8	2,46	5,54
0:14	13,58	2,06	11,52	0:45	8,7	2,63	6,07
0:15	13,76	2,05	11,71	0:46	8,86	2,67	6,19
0:16	13,3	2,09	11,21	0:47	8,77	2,71	6,06
0:17	13,39	2,29	11,1	0:48	8,95	2,68	6,27
0:18	13,27	2,29	10,98	0:49	10,9	2,63	8,27
0:19	13,06	2,26	10,8	0:50	12,02	2,57	9,45
0:20	13,65	2,23	11,42	0:51	11,22	2,36	8,86
0:21	14,15	2,22	11,93	0:52	9,77	2,14	7,63
0:22	13,85	2,26	11,59	0:53	9,15	2,06	7,09
0:23	13,52	2,37	11,15	0:54	10,57	1,98	8,59
0:24	13,62	2,53	11,09	0:55	11,03	1,8	9,23
0:25	14,25	2,6	11,65	0:56	11,45	1,75	9,7
0:26	14,23	2,63	11,6	0:57	10,98	1,77	9,21
0:27	13,64	2,68	10,96	0:58	9,9	1,93	7,97
0:28	13,03	2,7	10,33	0:59	9,82	1,67	8,15
0:29	13,43	2,7	10,73	1:00	10,75	1,54	9,21
0:30	13,72	2,67	11,05	keksiarvo	11,97	2,34	9,64

Päivämäärä 24.2.2011

Koe alkoi 6:30

Koe päättyi 7:00

	KK1	KK2
Lämpötila	Huolto	200
Viilulaji		P

Nopeus	alussa	4,3
	lopussa	4,3

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
KK1		
KK2	4,97	0,25
Yht.	4,97	0,25

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	9,44	1,54	7,9
0:01	9,43	1,55	7,88
0:02	9,33	1,44	7,89
0:03	9,35	1,46	7,89
0:04	9,4	1,44	7,96
0:05	9,58	1,43	8,15
0:06	9,45	1,36	8,09
0:07	9,61	1,37	8,24
0:08	9,98	1,34	8,64
0:09	9,96	1,43	8,53
0:10	9,7	1,5	8,2
0:11	10,11	1,59	8,52
0:12	10,05	1,56	8,49
0:13	10,08	1,59	8,49
0:14	10,16	1,61	8,55
0:15	10,01	1,61	8,4
0:16	9,78	1,67	8,11
0:17	9,95	1,66	8,29
0:18	9,9	1,73	8,17
0:19	9,85	1,71	8,14
0:20	9,63	1,68	7,95
0:21	8,77	1,62	7,15
0:22	7,7	1,62	6,08
0:23	8,33	1,53	6,8
0:24	9,34	1,72	7,62
0:25	9	1,58	7,42
0:26	7,9	1,25	6,65
0:27	7,83	1,32	6,51
0:28	7,23	1,33	5,9
0:29	6,63	1,45	5,18
0:30	5,5	1,58	3,92
keskiarvo	9,13	1,52	7,60

Päivämäärä 25.3.2011

Koe alkoi 16:30

Koe päättyi 17:00

		KK1	KK2
Lämpötila			
	Viilulaji	Huolto	190
			P
Nopeus	alussa		3,8
	lopussa		4,1

	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )	Kuivattua viilua (m <sup>3</sup> )
KK1		
KK2	5,0	0,25
Yht.	5,0	0,25

Aika	Höyry	Lauhde	Höyry-Lauhde
0:00	8,3	1,38	6,92
0:01	7,17	1,42	5,75
0:02	7,51	1,51	6
0:03	8,77	1,69	7,08
0:04	7,01	1,54	5,47
0:05	7,24	1,37	5,87
0:06	10,4	1,28	9,12
0:07	9,12	1,13	7,99
0:08	7,92	1,12	6,8
0:09	7,53	1,12	6,41
0:10	9,62	1,25	8,37
0:11	9,68	1,29	8,39
0:12	8,33	1,14	7,19
0:13	8,62	1,14	7,48
0:14	9,9	1,12	8,78
0:15	9,78	1,26	8,52
0:16	8,88	1,08	7,8
0:17	8,68	1,15	7,53
0:18	9,63	1,23	8,4
0:19	10,24	1,23	9,01
0:20	9,22	1,25	7,97
30:21	8,13	1,29	6,84
0:22	9,03	1,39	7,64
0:23	10,11	1,52	8,59
0:24	8,97	1,37	7,6
0:25	8,7	1,35	7,35
0:26	9,55	1,47	8,08
0:27	9,57	1,53	8,04
80:28	9,5	1,43	8,07
0:29	9,45	1,36	8,09
0:30	9,02	1,36	7,66
keskiarvo	8,89	1,32	7,57

	Lämpötila (C°)		Viilulaji		Kuivat viilut (m³)		Märät viilut (m³)		Yhteensä (m³)		Höyry-Lauhde (MWh)
	KK1	KK2	KK1	KK2	KK1	KK2	KK1	KK2	Kuivaa	Märkää	
25.10.2010	170	200	S	P	8,64	9,66	0,14	0,33	18,3	0,47	9,74
26.10.2010	2	Huolto	P		7,84		0,05		7,84	0,05	6,89
26.10.2010	180	Huolto	P		7,51		0,13		7,51	0,13	6,39
27.10.2010	180	180	P	P	6,62	9,31	0,21	0,1	15,93	0,31	9,98
10.11.2010	180	180	S/P	P	8,03	7,67	0,8	0,18	15,7	0,98	8,56
23.11.2010	190	Huolto	S		10,48		0,24		10,48	0,24	4,87
15.12.2010	190/170	200	P/S	P	9,7	3,9	1,37	0,25	13,6	1,62	7,95
13.1.2011	190	200	S	P	15,1	9,64	0,08	0,81	24,75	1,61	9,05
21.1.2011	190/180	190	P/UK	P	10,21	9,64	0,74	0,13	19,85	0,87	9,64
24.2.2011	Huolto	200	Huolto	P		4,97*		0,25*	4,97	0,25	7,6
25.3.2011	Huolto	190	Huolto	P		5*		0,25*	5	0,25	7,57

\*= 30 min mittaus