


**KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU**  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Petri Vanninen

**SAHATAVARAKUIVAAMON LÄMPÖENERGIANKULUTUKSEN  
MITTAUKSEN KEHITTÄMINEN**

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015

	<p><b>OPINNÄYTETYÖ</b>  <b>Huhtikuu 2015</b>  <b>Ympäristötekniologia</b>  <b>Ylempi ammattikorkeakoulututkinto</b>  Sirkkalantie12A  80100 JOENSUU  p. 013 260 6900</p>						
<p>Tekijä  Petri Vanninen</p>							
<p>Nimeke Sahatavarakuivaamon lämpöenergiankulutuksen mittauksen kehittäminen</p> <p>Toimeksiantaja Stora Enso Uimaharjun saha</p>							
<p>Tiivistelmä</p> <p>Stora Enso on sitoutunut kansalliseen energiatehokkuus sopimukseen. Sopimuksen ehtojen täyttämiseksi on tehtävä toimenpiteitä tuotantolaitoksilla. Yksi tärkeimmistä sopimuksen osista on vuosittaisen energiankulutuksen raportointi tarkasti kohteittain.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää lämpöenergiankulutusta Uimaharjun sahalla. Selvitys aloitettiin suunnittelemalla mittauspaikkojen sijainti kiinteille mittauspisteille. Kiinteiden mittauspisteiden sijoituskohteissa tehtiin mittauksia kannettavalla ultraääni-mittarilla. Saatuja tuloksia vertailtiin teoreettisiin laskelmiin.</p> <p>Saadut mittaustulokset olivat hyvin odotetunlaisia ja vertailukelpoisia teoreettisiin laskelmiin. Suurimmat energiansäästöt olisivat saatavissa lämmön talteenottojärjestelmillä. Niillä saatavat säästöt olisivat normaaleilla energian hinnoilla huomattavat. Tutkittu kohteessa energian hinta on niin edullista, ettei ole kannattavaa investoida.</p> <p>Tulevaisuudessa energiankulutukseen tullaan kiinnittämään kohteessa entistä enemmän huomiota. Energiatehokkuuden parantamiseksi olisi paljonkin tehtävää. Jatkotutkittavia kohteita tuotantolaitoksilla on runsaasti.</p>							
<p>Kieli  suomi</p>	<table> <tr> <td>Sivuja</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Liitteet</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Liitesivumäärä</td> <td>9</td> </tr> </table>	Sivuja	53	Liitteet	7	Liitesivumäärä	9
Sivuja	53						
Liitteet	7						
Liitesivumäärä	9						
<p>Asiasanat  energiatehokkuus, lämpöenergia, puun kuivaus</p>							

 <b>Karelia</b> UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	<b>THESIS</b> <b>April 2015</b> <b>Degree Programme in Environmental Technology, UAS Master's Degree</b> Sirkkalantie 12A FI 80200 JOENSUU FINLAND Tel. +358(0)13 260 6900						
Author  Petri Vanninen							
Title Development of Measuring of Thermal Energy Consumption of Lumber Kiln.  Commissioned by Stora Enso Uimaharjun saha							
Abstract  <p>Stora Enso is committed to the national agreement on energy efficiency. To fulfill the terms of the agreement various measures must be carried out on production plants. One of the most important parts of the agreement is reporting of the annual energy consumption accurately by each plant.</p> <p>The aim of the thesis was to investigate the thermal energy consumption of the Uimaharju sawmill. The study began by designing the positions of measuring spots for fixed measurement points. At the fixed measurement points measuring was carried out using a portable ultrasonic measuring device. The results obtained were compared to theoretical calculations.</p> <p>The obtained measuring data were mainly as expected and comparable to the theoretical calculations. Major energy savings would be obtained from the heat recovery systems. The savings would be considerable at normal energy prices. The price of energy in Uimaharju is so low that the investment payback period is too long.</p> <p>In future, energy consumption will be paid more attention to at Uimaharju Sawmill. There would be a lot to do to improve energy efficiency. Production plants have a lot of points of interest for further studies.</p>							
Language Finnish	<table border="1"> <tr> <td>Pages</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Appendices</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Pages of Appendices</td> <td>9</td> </tr> </table>	Pages	53	Appendices	7	Pages of Appendices	9
Pages	53						
Appendices	7						
Pages of Appendices	9						
Keywords energy efficiency, heat energy, wood drying							

## SISÄLTÖ

1 Johdanto .....	5
2 Kehittämistehtävän tavoitteet ja toteutus .....	6
3 Energiatehokkuussopimukset .....	6
3.1 Energiatehokkuussopimusten tavoitteet .....	7
3.2 Taustalla kansainväliset sopimukset ja velvoitteet .....	7
3.3 Toimijat .....	8
4 Stora Enso lyhyesti .....	10
4.1 Uimaharjun saha .....	10
5 Sahatavaran kuivaaminen.....	14
5.1 Veden haihtuminen puun pinnalta.....	17
5.2 Veden siirtyminen puun sisäosista puun pinnalle.....	17
5.3 Ilman lämpötila ja nopeus .....	18
5.4 Kuivausvoima.....	19
5.5 Puun tiheys .....	19
5.6 Sahatavaran dimensio .....	19
5.7 Kuivauskuormalle asetettavat vaatimukset .....	20
6 Puun kosteus .....	21
6.1 Kosteuden poistamiseen tarvittava lämpöenergia .....	22
7 Kuivauksen lämpöenergiankulutus .....	24
8 Sahatavaran kosteuden mittaaminen.....	24
8.1 Punnituskuivausmenetelmä .....	25
8.2 Vastusmittari .....	25
8.3 Kapasitiivinen mittaus .....	26
9 Kuivausmenetelmät .....	26
10 Kannettava ultraäänivirtausmittari .....	27
11 Lämpöenergiankulutus Uimaharjussa.....	31
11.1 Laskennallinen energiankulutus.....	32
11.2 Mitattu energiankulutus.....	33
12 Tulosten tarkastelu.....	38
13 Pohdintaa.....	40
14 Jatkokehitysehdotukset.....	41
Lähteet.....	42

### Liitteet

- Liite 1 Kuivaamon päälinjan mittaustiedot
- Liite 2 Kuivaamokamarin 8 mittaustiedot
- Liite 3 Kiinteiden mittauspisteiden tiedot
- Liite 4 Kanavakuivaamoiden poikkileikkauskuva sivulta
- Liite 5 Matalan kamarikuivaamon poikkileikkauskuva edestä
- Liite 6 Korkean kamarikuivaamon poikkileikkaus sivulta
- Liite 7 Puun tasapainokosteustaulukko

## 1 Johdanto

Sahatavarakuivaamoissa käytetään hyvin monesti ikääntynyttä tekniikkaa. Tekniikalla voi olla ikää jopa useita vuosikymmeniä. Varsinkin lämmitykseen liittyvien komponenttien ikääntyminen voi aiheuttaa mittavaa energiatehokkuuden menetystä.

Tämän työn lähtökohtana oli tarve selvittää Stora Enson Uimaharjun sahan kuivaamoiden lämpöenergiankulutus ja kehittää sen mittausta. Kulutusta ei ollut mitattu aikaisemmin.

Kuivaamon lämpöenergiankulutus mitattiin useammasta eri kohteesta. Mittaukset tehtiin Flexim ultraäänimittarilla kuivaamon putkistoista. Mittauspisteet suunniteltiin etukäteen siten että ne antaisivat mahdollisimman monipuolisen kuvan energiankulutuksen nykytilanteesta. Yksittäisiä mittaustuloksia saatiin analysoitavaksi tuhansia.

Työn tarkoituksena oli saada luotettavia mittaustuloksia sekä löytää kiinteille kuivaamon energiamittareille sopivat paikat putkistoissa. Lisäksi työn lopussa pohditaan mahdollisia energiansäästökohteita kuivaamolla

## 2 Kehittämistehtävän tavoitteet ja toteutus

Tämä opinnäytetyö on kehittämistehtävä. Opinnäytetyössä tavoitteena oli selvittää Stora Enson Uimaharjun sahan sahatavarakuivaamoiden lämpöenergian kuluusta. Teoreettinen tarkastelu tehtiin kirjallisuuslähteisiin ja tuotantotietoihin pohjautuen. Kuivaamalla tehdyistä mittauksista saatiin mittaustietoa jota verrattiin aikaisempaan yleisesti tiedossa olevaan tietoon. Paikallista mittaustietoa ei ollut aikaisemmin olemassa.

Stora Enso on sitoutunut kansalliseen energiatehokkuussopimukseen. Sen tavoitteiden saavuttamiseksi on suoritettava toimenpiteitä. Yksi tärkeimmistä sopimuksen osista on vuosittaisen energiankulutuksen raportointi. Raportoinnissa on pystyttävä erittelemään kulutuskohteet tehdasalueella. Tästä syystä Uimaharjun sahan lämmönkulutuskohteisiin on asennettava kiinteät mittauspisteet. Tulevien kiinteiden mittauspisteiden paikat olivat tiedossa tähän työhön tehtyjä mittauksia tehtäessä. Samalla saatiin testattua mittauspaiikkojen toimivuutta.

## 3 Energiatehokkuussopimukset

Energiatehokkuussopimukset ovat tärkeässä roolissa edistämässä energiatehokkuutta energiastrategiassa (2008). Strategialla vastataan Suomelle asetettuihin kansainvälisiin ilmastomuutoksen vastaisiin sitoumuksiin. (Motiva 2014.)

”Sopimustoiminta on myös keskeisessä asemassa toimeenpantaessa päästökaupan ulkopuolella olevaa energiankäyttöä koskevaa EU:n energiapalveludirektiiviä”

(Direktiivi energian loppukäytön tehokkuudesta ja energiapalveluista, 2006/32/EY).

Toiminta-alueiden vapaaehtoisuuteen perustuvat energiatehokkuussopimukset ovat voimassa vuoteen 2016 asti. Sopimukset kattavat seuraavat toiminta-alueet:

- kiinteistöalan
- kunta-alan
- tavara- ja joukkoliikenteen sekä
- elinkeinoelämän (teollisuus, energia-ala, palveluala)
- öljyalan
- maatalouden. (Motiva 2014).

### **3.1 Energiatehokkuussopimusten tavoitteet**

Energiatehokkuussopimuksilla tavoitellaan päästökaupan ulkopuolella olevissa kohderyhmissä energiapalveludirektiivin mukaisesti 9 % suuruista energiansäästöä vuoteen 2016 mennessä. Tavoite lasketaan vuosien 2001–2005 keskimääräisestä energiankäytöstä. Sopimustoiminnalla halutaan vauhdittaa myös uuden energiatehokkaan teknologian käyttöönottoa sekä lisätä uusiutuvan energian käyttöä. (Motiva 2014.)

### **3.2 Taustalla kansainväliset sopimukset ja velvoitteet**



Kuva 1. Kansainväliset sopimukset ja velvoitteet (Kuva: Motiva 2014).

Energiatehokkuussopimusjärjestelmä on osa Suomen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian ja helmikuussa 2010 annetun valtioneuvoston energiatehokkuustoimenpiteitä koskevan periaatepäätöksen toimeenpanoa. (Motiva 2014.)

Suomessa sopimusjärjestelmä on ensisijainen työkalu toimeenpantaessa EU:n energiapalveludirektiiviä (Direktiivi energian loppukäytön tehokkuudesta ja energiapalveluista, 2006/32/EY). Direktiivi tähtää vuonna 2016 yhdeksän prosentin säästöön vuosien 2001–2005 päästökaupan ulkopuolella olevasta keskimääräisestä energian loppukäytöstä. Sopimustoiminta kattaa myös päästökaupan piirissä olevat toiminta-alueet energiavaltaisen teollisuuden ja energiantuotannon alueilla. (Motiva 2014.)

Lisäksi sopimukset ovat osa EU:n ilmasto- ja energiapaketin toteuttamista. Taustalla vaikuttavat vahvasti myös muut energia-, ilmasto- ja ympäristösopimukset kuten kansainvälinen ilmastopöytäkirja (UNFCCC) sekä Kioton pöytäkirja. (Motiva 2014.)

### 3.3 Toimijat



Energiatehokkuussopimustoiminnan osapuolia Suomessa ovat ministeriöt, toimialaliitot sekä yritykset ja yhteisöt. Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimukseen vuosina 2008-2016 kuuluvat seuraavat toimijat.

Elinkeinoelämän keskusliitto EK ja sen toimialoja edustavat

Metsäteollisuus ry

Energiateollisuus ry

Autoalan keskusliitto ry

Elintarviketeollisuusliitto ry

Kemiateollisuus ry

Muoviteollisuus ry

Teknolohiateollisuus ry

Matkailu- ja Ravintolapalvelut MaRa ry

Suomen Kaupan Liitto

Vastuuministeriönä toimii työ- ja elinkeinoministeriö. (Motiva 2014.)

Stora Enso liittyy sopimustoimintaan Metsäteollisuus ry:n kautta.

## 4 Stora Enso lyhyesti

Stora Enso on paperi-, biomateriaali-, puutuote- ja pakkausteollisuuden maailmanlaajuinen edelläkävijä. Konsernin palveluksessa on noin 28 000 henkilöä yli 35 maassa. Stora Enson osakkeet noteerataan Helsingin ja Tukholman arvopaperipörsseissä. Asiakkaita ovat kustantamot, painotalot ja paperitukkurit sekä pakkaus-, puusepän- ja rakennusteollisuus. (StoraEnso 2014.)

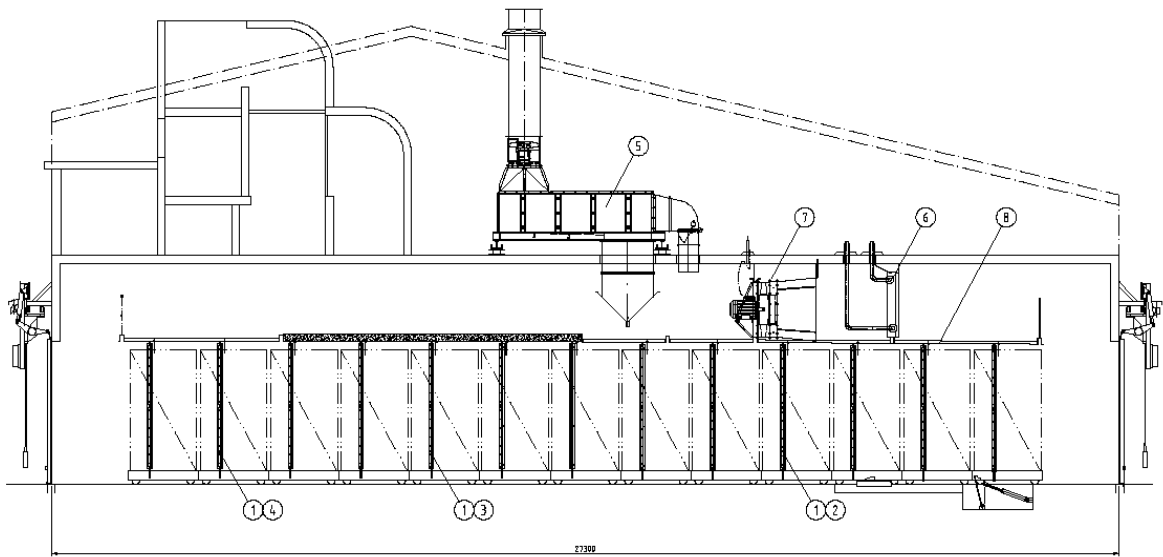
Stora Enson vuosittainen tuotantokapasiteetti on 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, josta 2,9 miljoonaa kuutiometriä on jatkojalosteita. Konsernin liikevaihto vuonna 2013 oli 10,5 miljardia euroa ja operatiivinen liikevoitto 578 miljoonaa euroa. (StoraEnso 2014.)

Stora Enso hyödyntää ja kehittää osaamistaan uusiutuvien raaka-aineiden käytössä vastatakseen asiakkaiden tarpeisiin sekä raaka-aineisiin liittyviin maailmanlaajuisiin haasteisiin. Yhtiön tuotteet tarjoavat ilmastolle ystävällisen vaihtoehdon ja pienemmän hiilijalanjäljen verrattuna moniin kilpaileviin tuotteisiin, jotka on valmistettu uusiutumattomista materiaaleista. Stora Enson puuraaka-aineeseen perustuvat tuotteet hyödyttävät niin liiketoimintaa, ihmisiä kuin ympäristöäkin. (StoraEnso2014.)

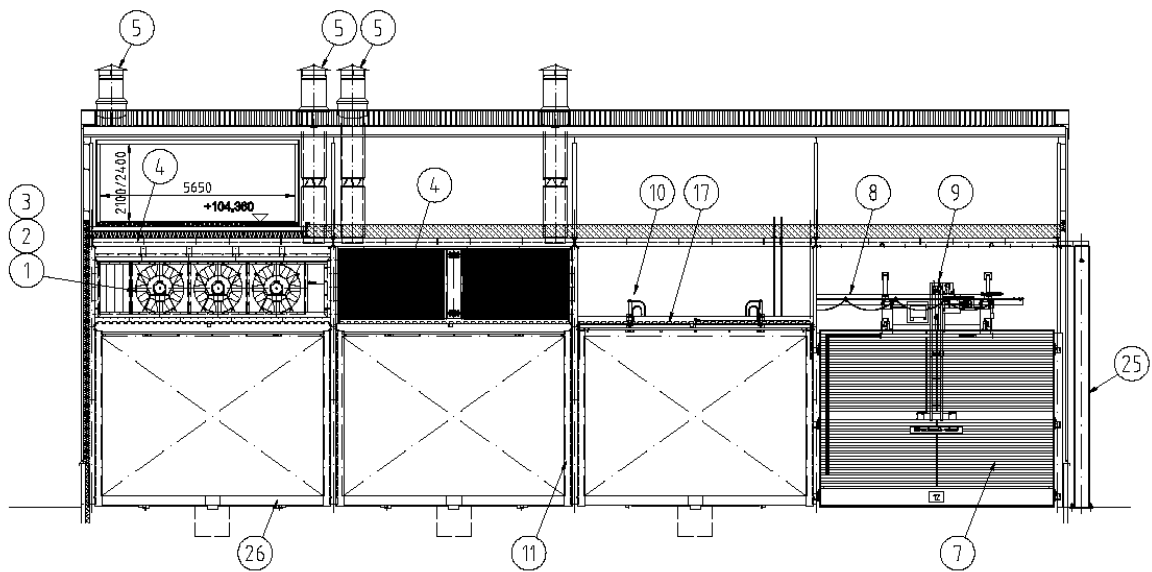
### 4.1 Uimaharjun saha

Uimaharjun saha sijaitsee Uimaharjun kylässä Joensuun kaupungin alueen pohjois-osassa. Samalla tehdasalueella toimii Stora Enson sellutehdas Enocell.

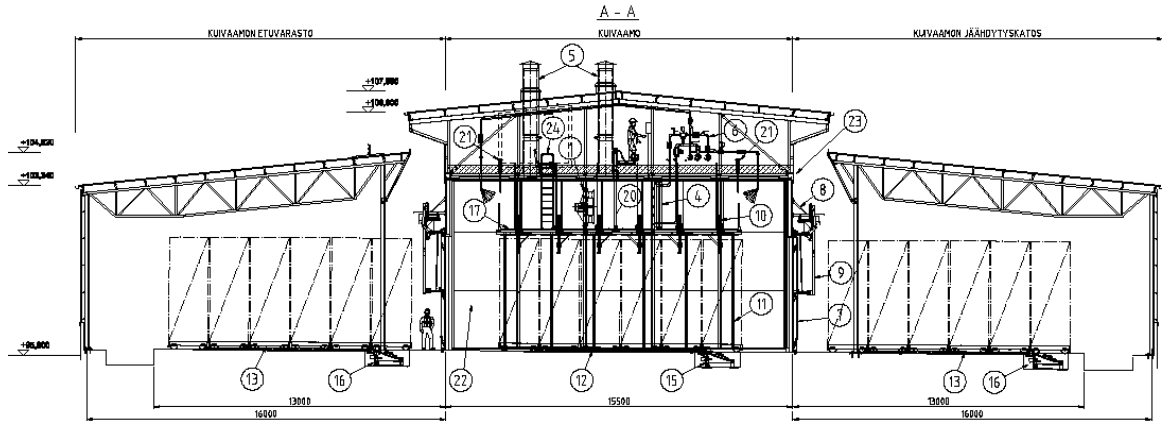
Sahan nykyinen vuosituotantokapasiteetti on noin 300 000 kiintokuutiometriä valmistua kuivattua mäntysahatavaraa. Nykyinen vuosituotanto on 220 000 kuutiometrin tasolla.



Kuva 2. Kanavakuivaamon poikkileikkaus (Kuva: Stora Enso 2015).



Kuva 3. Matalan kamarin poikkileikkauskuva edestä (Kuva: Stora Enso 2015).



Kuva 4. Korkean kamarin poikkileikkauskuva sivusta (Kuva: Stora Enso 2015).

Sahatavaran kuivaukseen on käytettävissä 15 yksivaiheista kanavakuivaamaa 8kuva ja liite 4) ja 12 kamarikuivaamaa. Kanavakuivaamot ovat pääosin rakennettu 1970 (kuva 2) ja kamarikuivaamoista kahdeksan on rakennettu 1990-luvulla (kuva 3 ja liite 5) ja neljä isompaa kamaria 2000-luvun alussa (kuva 4 ja liite 6). Varsinkin vanhempien kuivaamojen osalta seinä- ja kattorakenteet alkavat olla peruskorjauksen tarpeessa. Betoni alkaa rapistua niin pahoin että sen lujuusominaisuudet heikkenevät. Kuivaamon toiminnan kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat lämmönerityskyky ja tiiveys. Kamarikuivaamoiden seinä- ja kattorakenteet ovat teräksestä. Vanhemmat kuivaamot ovat normaalia terästä joka ruostuu epoksinnoitteen rikkoutuessa. Pinnoitetta on uusittu useita kertoja kamarien eliniän aikana. Uusimpien kamarien rakenteet ovat haponkestävää terästä joka on ainoa toimiva ja kestävä materiaali kuivaamon vaativissa olosuhteissa. Kuivaamoilma on erittäin kosteaa ja lämmintä. Tästä johtuen rakenteet joutuvat jatkuvasti kovaan rasitukseen.

Kuivaamon lämpöenergia tulee normaalesti läheiseltä sellutehtaalta höyrynä putkea pitkin. Höyrylinjan pituus on noin 1 km. Sahan kuivaamon yläkerrassa sijaitsee lämmönvaihdin jossa höyryn sisältämä lämpöenergia siirretään kuivaamon kiertoveteen. Kiertoveden lämpötila on noin 108 celsius-astetta heti vaihtimen jäl-

keen. Lämmönvaihtimen maksimiteho on 11 MW:a. Kuvassa 5 on lämmönvaihtimen sisäputkistoa. Höyry kulkee pienten putkien sisällä ja luovuttaa lämpöenergiaansa putkien ulkopuolella olevaan veteen.



Kuva 5. Kuivaamon lämmönvaihtimen putkistoa vaihtimen sisältä (Kuva: Petri Vanninen) .

Sellutehtaan tuotantokatkosten aikana sahalla oleva oma 6 MW:n kuumavesikattila otetaan käyttöön. Kattilassa poltetaan sahatukkien kuorinnassa syntyvää kuorijätettä. Sahatukista saatavan kuoren kosteus on riittävän alhainen ilman kuivusta polttoa ajatellen. Kuoren sekaan lisätään tarvittaessa kuivaa haketta ja puurua. Oman kattilan käydessä höyryä ei ole käytettävissä, koska kyseessä on kuumavesikattila. Tällöin lämpö siirretään suoraan kuumana vetenä kuivaamon putkistoon ilman lämmönvaihdinta. Kesäaikana kattilan teho on riittävä kuivaamon toiminnan kannalta. Polttoaineen kosteudella on ratkaiseva merkitys kattilan tuottaman lämpötehon riittävyydelle. Kovimpien pakkasjaksojen aikana kuivaamon kiertoveden lämpötila laskee joitakin asteita koska kattilan teho on mitoitettu kuivaamolle jossa ei ollut neljää uusinta kamarikuivaamoa.

Normaalin kuivaamon käyttöasteen aikana lämmönvaihtimen kapasiteetista on noin puolet käytössä. Tämä voidaan päätellä lämmönvaihtimelle höyryä syöttävän venttiilin aukiolo prosentista joka on täyden kapasiteetin aikana suurimmillaankin 70%:n luokkaa. Käytännössä venttiili on tämän verran auki vain kanavakuivauksessa tapahtuvien kuormien vaihdon jälkeen. Vaihdoissa jokaisesta kanavasta lasketaan yksi tai useampi kuiva kuorma pois ja tilalle lasketaan uusi, tuoretta sahatavaraa sisältävä kuorma. Tällöin uunien sisälämpötila laskee lämpimän ilman karatessa avoimista ovista. Lisäksi uuniin lasketun uuden kylmän sahatavara-kuorman lämmittäminen tarvitsee paljon lämpöenergiaa.

## 5 Sahatavaran kuivaaminen

Sahatavaran kuivauksella tarkoitetaan puun kosteustilan laskemista haluttuun, käyttötarkoitukseen sopivaan kosteuteen. Kuivauksella parannetaan sahatavaran säilyvyyttä, käytettävyyttä ja parannetaan ominaisuuksia. (Paajanen & Siimes 1996, 120-146.)

### Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttinen kosteuden esimerkkinä on muun muassa vesihöyryn massan suhde joko kuivan tai kostean ilman kokonaistilavuuteen. Yksikkönä käytetään grammoja vettä kuutiometrissä ilmaa ( $\text{g/m}^3$ ). Absoluuttisella kosteuden yläraja on kyllästyskosteus. Se määrittelee, paljonko vesihöyryä voi olla ilmassa kussakin lämpötilassa. Lämpimään ilmaan voi sisältyä enemmän vesihöyryä kuin kylmään. Haihdutettaessa ilmaan väkisin vettä yli kyllästyskosteuden, vesihöyry alkaa tiivistyä pisaroiksi. Ilmaa jäähdytettäessä vastaavasti kyllästyskosteus laskee. (Ilmatieteen laitos 2014.)

## Suhteellinen ilmankosteus

Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välistä suhdetta tietyssä lämpötilassa. Suhde kertoo, kuinka monta prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta. Kastepistelämpötila on lämpötila, johon ilman pitäisi jäähtyä, jotta kyllästystila saavutettaisiin. Usein kastelämpötilaa kutsutaan lyhyemmin kastepisteeksi. (Ilmatieteen laitos 2014.)

## PSK

Puutieteen keskeisiä käsitteitä on puun syiden kyllästymispiste (PSK). Sillä tarkoitetaan sitä maksimaalista kosteussuhdetta, jonka puu voi saavuttaa vesihöyrystä jossakin lämpötilassa suhteellisen höyrynpaineen ollessa 1. Puun syiden kyllästymispisteessä puun soluontelot sekä soluonteloiden seinämät ovat täysin veden kyllästämiä. (Kärkkäinen 2007, 177.)

## Kuiva lämpötila

Kuivalämpötila mitataan suoraan ilmasta lämpömittarilla. Kuivalämpötilan arvo on se arvo mitä mittari näyttää.

## Märkälämpötila

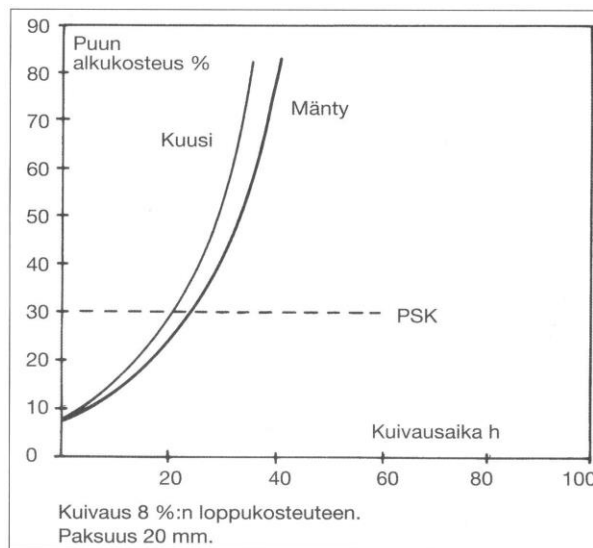
Märkälämpötila on tasapainolämpötila, joka muodostuu kostean ilman ja sen kanssa kosketukseen joutuvan nesterajapinnan välille. Käytännössä lämpömittarin anturin päälle on asetettu kangas jota kostutetaan kokoajan. Kankaan kuivuessa, eli veden haihtuessa, lämpötila laskee mittarissa. Ilman kuivuessa kan-

kaasta haihtuu enemmän kosteutta jolloin lämpömittarin lukema laskee. (Sipi 2002, 125.)

Tuotanto-olosuhteissa käytetään nykyisin antureita jotka mittaavat suoraan ilman märkälämpötilan. Tällöin päästään eroon kohtuullisen monimutkaisesta märkään-turi asetelmasta.

### Kuivausaika

Kuivausaika on pidempi, puusta poistettava vesimäärä ollessa suurempi. Alkukosteuden merkitys ei ole niin suuri, koska kuivauksen alkuvaiheessa vapaa vesi poistuu kohtuullisen helposti. Alempiin loppukosteuksiin kuivattaessa kuivausaika pitenee, koska veden poistuminen puun sisältä on oleellisesti hitaampaa kuivauksen loppuvaiheessa. (Sipi 2002, 121.)



Kuva 6. Kuivausajan riippuvuus puun alkukosteudesta (Kuva: Sipi 2002, 121).



## Puun tasapainokosteus

Puu on hygroskooppinen aine, joka pyrkii asettumaan tiettyyn tasapainokosteuteen ympäröivän ilman lämpötilan ja kosteuden mukaan. Tasaantumiseen tarvittava aika riippuu puun alkukosteudesta, ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Liitteessä 7 on kuva puuntasapainokosteustaulukosta. Taulukosta voidaan lukea puun tasapainokosteus kun tiedetään ilman suhteellinen kosteus ja ilman lämpötila. (Sipi 2002, 117.)

### 5.1 Veden haihtuminen puun pinnalta

Puun kuivuminen alkaa veden haihtumisella pinnalta. Veden haihduttaminen puun pinnalta on yksinkertaista. Sen oikein tekeminen on hankalampaa. Vesi haihdutetaan lämpimään ja kuivaan, kuivauskuorman sisällä kiertävään ilmavirtaan. Veden haihtumisen nopeuden tulisi olla yhtä nopeaa kuin veden siirtymisnopeus puun sisäosista puun pinnalle. Jos näin ei tapahdu syntyy sahatavaraan pintakovuutta, joka voi estää kuivumisen jopa kokonaan. Tällainen ongelma esiintyy yleensä vasta puun solun kyllästymispisteen alapuolella jolloin solujen välissä oleva vapaa vesi poistuu nopeasti ja solujen sisällä oleva vesi ei haihdu ollenkaan. (Sipi 2006, 118–119.)

### 5.2 Veden siirtyminen puun sisäosista puun pinnalle

Sahatavarakappaleen pintaosan kuivuminen tapahtuu nopeasti. Eri osien kosteuserot voivat kuivauksen alkuvaiheessa olla melko suuria. Pinta voi olla kuiva, sisäosien ollessa vielä kosteita. Kuivumisen edetessä ero kuitenkin tasoittuu, puu pyrkiessä tasaamaan sisäisiä kosteusvaihteluitaan. Tätä kosteus eroa kutsutaan kosteusgradientiksi. Kuivausolosuhteita on tarpeellista säätää siten kuivauksen edetessä, että ilman suhteellinen kosteus ja puun lämpötila pidetään korkeana.

Näin estetään pintakovuutta ja nopeutetaan veden siirtymistä puun sisäosista pintaan. Vapaan veden siirtyminen tapahtuu melko helposti, mutta soluseinämiin sitoutuneen veden siirtyminen on hitaampaa. Siirto kestää sitä kauemmin mitä kuivempi on loppukosteus. Veden siirtymisen nopeuteen vaikuttavat muun muassa puulaji, veden siirtymissuunta, lämpötila ja puun tiheys. (Sipi 2006, 119.)

### 5.3 Ilman lämpötila ja nopeus

Kuivausilmaa lämmitetään lämpöpattereilla. Kuivaamoiden lämmitykseen käytetään yleisimmin vesipattereita. Patterille tulevan veden lämpötila 80-130 celsiusastetta. Patterit ovat lamelli- ja ripaputkipattereita. Nykyiset patterit ovat lamellipattereita. Lamellipatterit voivat tukkeutua helposti irtonaisista roskista. Tällöin patterien lämmönluovutus kyky alenee, läpivirtaava ilmamäärä pienenee ja puun kuivuminen hidastuu. (Juvonen & Johansson, 138.)

Korkeampi lämpötila nopeuttaa kuivumista, koska lämpimämpi ilma sitoo enemmän vettä kuin kylmä ilma. *”Esimerkiksi ilman suhteellisen kosteuden ollessa 80 % ja lämpötilan 20 °C on ilman vesipitoisuus 14 g/m<sup>3</sup>, kun se 80 °C:n lämpötilassa on noin 225 g/m<sup>3</sup>.”* (Sipi 2002, 119–120.)

Ilman nopeudella tarkoitetaan puhaltimien synnyttämää kuivausilman nopeutta kuivaamon sisällä. Ilman nopeuden on oltava riittävän voimakas, jotta kosteus siirtyy sahatavarasta eikä pääse aiheuttamaan kosteita kohtia kuivauskuormaan. Kuivausilman liikkeen avulla saadaan siirrettyä lämpöä patterista kuivattavaan sahatavaraan. Ilman nopeus vaikuttaa kuivumisnopeuden ja kuivausajan lisäksi kuivaustuloksen tasaisuuteen ja kuivaamon energian kulutukseen. (Sipi 2002, 120.)

## 5.4 Kuivausvoima

Kuivausvoimalla tarkoitetaan puun sen hetkistä kosteuden suhdetta puun tasapaino-kosteuteen. Kuivausvoimalla kuvataan kuivauksen rajuutta. Mitä alhaisempi suhteellinen kosteus kuivausilmassa on, sitä nopeammin puu kuivaa. (Sipi 2002, 120.)

Suhteellinen kosteus ilmassa on kuitenkin pidettävä kuivaustapahtumaan nähden optimaalisena. Liian kuivassa ilmassa puu kuivaa liian nopeasti, jolloin puusta kuivuvat vain pintaosat. Ilman ollessa liian kostea kuivauskustannukset nousevat tarpeettoman suuriksi. Kuivausvoimalla on erityisen suuri merkitys puun syiden kyllästymispisteen alapuolella jolloin kutistumista alkaa tapahtua. Sopiva kuivausvoiman suuruus riippuu sahatavaran paksuudesta, puulajista ja alku- ja loppukosteuksista. (Sipi 2002, 120.)

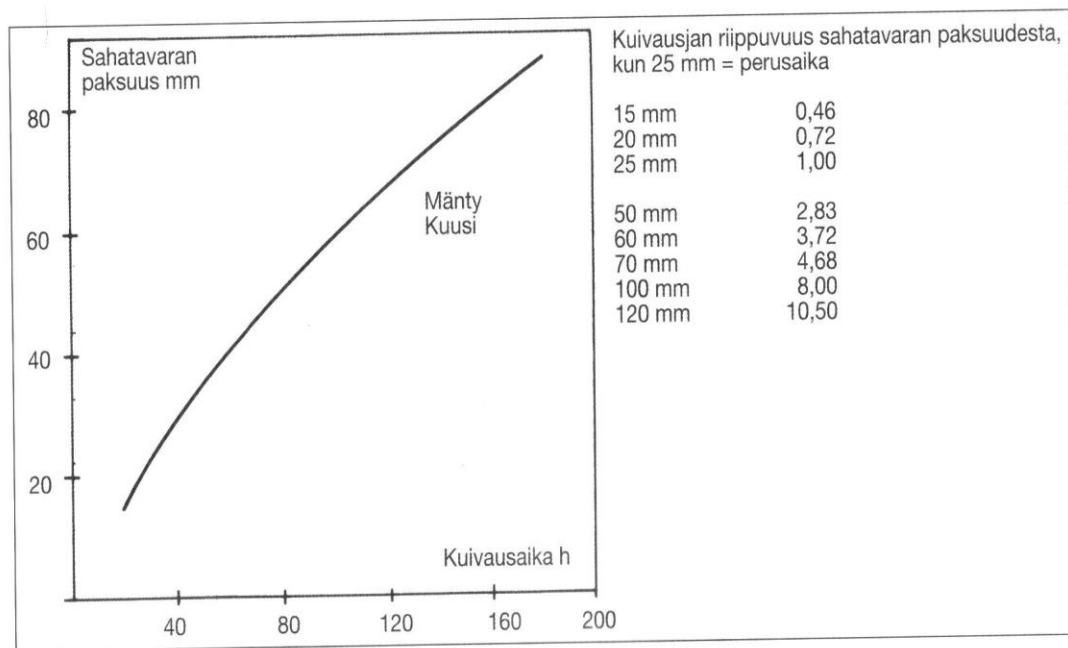
## 5.5 Puun tiheys

Kevyt, harvemman tiheyden omaava puuaines kuivuu tiheää ja painavampaa puuta nopeammin. Puun sisäosista pintaosiin siirtyvällä vedellä on pienempi vastus siirtymiseen ohuemman soluseinämärakenteen vuoksi. Sahatavarakappaleen sisällä eroja voi olla esimerkiksi harvemman kevätpuun ja tiheämmän kesäpuun välillä. Harvempi kesä puu kuivuu nopeammin. Tiheys vaihtelee myös puun rungon eri osissa. Tyvi-, väli- ja latvatukkien välillä on tiheys eroja. Latvatukissa tiheys on pienempi kuin tyvitukissa. (Sipi 2002, 121.)

## 5.6 Sahatavaran dimensio

Sahatavaran kuivauksen kannalta oleellisin mitta on sen paksuus. Paksuudesta nähdään suoraan kuinka pitkä matka vedellä on puun sisäosista pinnalle.

Ohuemmissa kappaleissa matka on lyhyempi ja tästä syystä vesi siirtyy huomattavasti nopeammin kuin paksuissa kappaleissa. Sahatavarakappaleen muilla mittoilla kuten pituudella ja leveydellä ei ole olennaisesti vaikutusta kuivauksen lopputulokseen. Puun keskeltä sahatussa sydäntavarassa kosteus on pienempi kuin on puun pintaosista sahatuissa kappaleissa. Sydänpuussa alkukosteus saattaa olla 50 % ja pintapuussa 100 %. Kuten kuvasta 3 voidaan havaita, on esimerkiksi 50mm sahatavaralla lähes kolminkertainen kuivausaika 25 mm:n sahatavaraan verrattuna. (Sipi 2002, 122).



Kuva 7. Kuivausajan riippuvuus sahatavaran paksuudesta (Kuva: Sipi 2002, 122).

### 5.7 Kuivauskuormalle asetettavat vaatimukset

Kuivauskuormien koko vaihtelee yritysten tarpeiden ja kuivaamojen koon mukaan. Tarkoituksena on, että kuivauskuorma täyttää kuivaamossa sille varatun tilan

mahdollisimman hyvin. Sen takia rimanipussa sahatavarakappaleet tasataan vuorotellen eri päätyihin. (Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus 1990, 29–30.)

Uimaharjun sahalla on käytössä kahta kuivauskuorma kokoa. Kanavakuivaamoissa ja vanhemmissa kamarikuivaamoissa käytetään matalampia kuormia. Viimeksi valmistuneissa korkeammissa kamareissa kuormat ovat noin 2 metriä korkeampia

## 6 Puun kosteus

Seuraavaksi esitettävät käsitteet liittyvät puun kosteuteen ja kosteussuhteeseen yleisesti. Härkönen 2011 on käsitellyt laskelmissaan energianpuun kosteutta mutta sahatavaran kosteuskäyttäytyminen on hyvin samanlaista.

Puuhun pystyy sitoutumaan vettä hyvin suuria määriä. Määrä voi olla jopa suurempi kuin puun kuivamassa. Tällaista ainetta kutsutaan hygroskooppiseksi. Puuhun sitoutunut vesimäärä voidaan ilmoittaa kahdella tavalla, joko kosteutena  $X$ , joka ilmoittaa puun sisältämän vesimäärän per puun kokonaismassa tai kosteussuhteena  $U$ , joka kertoo vesimäärän per puun kuiva-aineen massa. Kosteus  $X$  ilmoitetaan usein prosentteina. Kosteussuhteen  $U$  ilmoittamiseen käytetään lähes aina desimaalilukua. Kosteuden  $X$  ja kosteussuhteen  $U$  välillä on yhteys seuraavasti,  $X = 100U/(1+U)$  tai  $U = X/(100-X)$ . Näissä lausekkeissa  $X$  on annettu prosentteina. (Härkönen 2011.)

Usein on tarpeellista saada tietää puusta poistettavan veden määrää. Tällöin alkutietona tiedetään kostean puun alkumassa  $m$ , alkukosteus  $X_1$  ja tavoiteltava loppukosteus  $X_2$ . Poistettava vesimäärä  $m_{\text{vesi}}$  voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

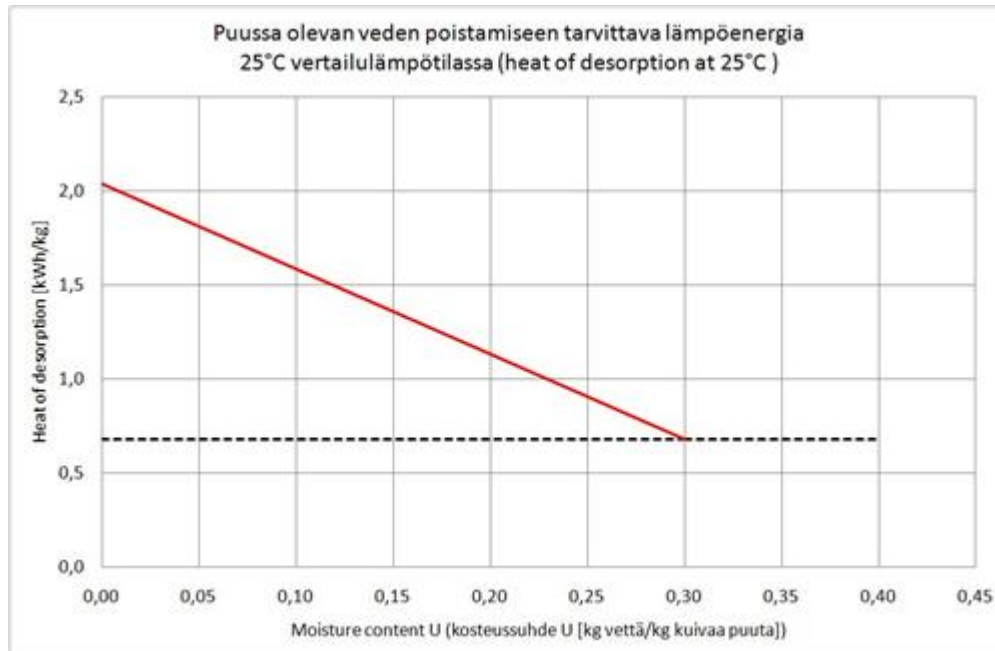
$$m_{\text{vesi}} = m[X_1 - X_2(100 - X_1)/(100 - X_2)]/100$$

Puussa oleva kosteus eli vesi sitoutuu puuhun kahdella eri päämekanismilla. Puu sisältää sidottua vettä ja vapaata vettä. Sitoutunutta vettä kutsutaan usein adsorboituneeksi. Se on imeytyneenä hyvin tiukasti puun syiden soluonteloiden seinämiin. Vapaa vesi sijaitsee itse soluonteloissa. (Härkönen 2011.)

Soluonteloiden seinämiin pystyy sitoutumaan kuitenkin vain tietty määrä vettä. Tämän jälkeen lisäkosteus alkaa kerääntyä soluonteloihin vapaana vetenä. Suomalaisen puun osalta käytetään kosteussuhteen arvona usein UPSK = 0,30 (niin sanottu PSK-raja). Tämä on rajakosteussuhde. Tällöin puun soluonteloiden seinämät ovat kyllästyneet vedestä täysin mutta vapaata vettä ei ole vielä soluonteloissa. Rajakosteussuhteen arvo 0,30 vastaa rajakosteutta  $X_{\text{psk}} = 23 \%$ . Rajakosteussuhteen numeroarvo riippuu lämpötilasta. Lukema sitä pienempi, mitä suurempi on lämpötila. Edellä mainittu raja-arvo UPSK = 0,30 vastaa keskimääräistä arvoa lämpötilavälillä 0°C–60°C. (Härkönen 2011.)

### **6.1 Kosteuden poistamiseen tarvittava lämpöenergia**

Kosteassa puussa olevan veden poistamiseen tarvittava lämpöenergia riippuu halutusta loppukosteudesta. Loppukosteuden jäädessä yli PSK-rajan 23 %, kaikki poistettava vesi on vapaata vettä ja tarvittava lämpöenergia on jokseenkin sama kuin veden kiehumiseen tarvittava eli 0,68 kWh/kg vettä (vertailulämpötilassa 25 °C). Loppukosteuden ollessa alle 23 %, ollaan sidotun veden alueelle ja sidotun veden poistamiseen tarvitaan lämpöenergiaa huomattavasti. Energia tarve on sitä suurempi mitä alemmas kosteus puussa halutaan. Tarvittava lämpöenergia saadaan karkeasti arvioitua kuvasta 6. (Härkönen 2011.)



Kuva 8. Veden poistamiseen tarvittava lämpöenergia kosteussuhteen  $U$  funktiona. Pystyakselilta nähdään yhden puussa olevan vesikilon haihuttamiseen tarvittava lämpöenergia. Kosteus on  $x = 100U/(1+U)$  (Kuva: Martti Härkönen.)

Kuten kuvasta 6 voidaan nähdä, kosteussuhteen  $U$  lähestyessä nollaa veden poistamiseen tarvittava lämpöenergia on hyvin suuri. Energian tarve voi olla jopa yli kolmenkertainen vapaan veden poistamiseen verrattuna. Kuvassa katkoviiva. (Härkönen 2011.)

Laskelmien helpottamiseksi todellinen eksponenttikäyrä voidaan korvata alueella  $U \leq 0,30$  korvata ilman suurta virhettä suoralla viivalla. Tällöin sidotun veden poistamiseen tarvittava lämpöenergia  $U$ :n funktiona on laskettavissa kaavalla  $Q = 2,036 - 4,52U$ .  $Q$ :n yksikkö kWh/kg) (Härkönen 2011.)

## 7 Kuivauksen lämpöenergiankulutus

Sahalaitoksen lämpöenergian kulutuksesta suurin osa kuluu 85-100% käytetään sahatavaran kuivaukseen. Loppuosa kulutuksesta menee kiinteistöjen lämmitykseen. Kuivaamon ilmanvaihdon mukana poistuu 65-90% kokonaisenergiasta. Kuormien mukana poistuu 5-15%. Kuivaamon rakenteiden läpi johtumalla ja säteilimällä 1-3%. Ovien aukaisuun kuormien vaihdon yhteydessä sekä kuivaamoraennuksen lämmitykseen 1-3%. (Juvonen & Johansson 1986, 143.)

Tavallinen lämpöenergian ominaiskulutus sahateollisuuden kuivaamossa on 250 - 360 KWh tuotettua sahatavarakuutiota kohti. Kamarikuivaamoilla kuivattaessa, lämpöenergian kulutus voi olla yli 410 KWh tuotettua sahatavarakuutiota kohden. (Juvonen & Johansson 1986, 143.)

## 8 Sahatavaran kosteuden mittaaminen

Puutieteessä puun kosteuden määrittämistä on tutkittu ja tutkitaan edelleen. Kosteudenmittausmenetelmiä on hyvin paljon olemassa. Käytettyjä menetelmiä ovat muun muassa lämpökaappi, kuumakuivaus, uuttaminen, sähkövastusmittaus, tehohäviön mittaus, mikroaaltomittaus, infrapuna-aaltomittaus ja ydinmagneettinen resonanssi. (Puun rakenne ja ominaisuudet, 187.) Monet näistä menetelmistä ovat niin monimutkaisia laitteistoja ja menetelmiä vaativia, että niitä on mahdotonta käyttää normaalissa päivittäisessä puun kosteuden mittauksessa.

Omien kokemusten mukaan normaalissa sahatavaran tuotannossa käytetään hyvin usein kolmea päämenetelmää. Näitä menetelmiä ovat punnituskuivaus eli lämpökaappi menetelmä, vastusmittari sekä kapasitiivinen mittaus.



## 8.1 Punnituskuivausmenetelmä

Punnituskuivausmenetelmässä puusta otetaan näytepala, joka punnitaan lähtötilanteessa märkänä. Tämän jälkeen näyte kuivataan absoluuttisen kuivaksi ja mitataan kuivapaino. (Sipi 2002, 113.)

Kosteussuhde sahatavarassa lasketaan seuraavasti:

Puun kosteussuhde= (märkäpaino – kuivapaino) / kuivapaino x 100

Punnituskuivausmenetelmä on tarkka mutta hidaskäyttöinen. Sillä voidaan määrittää puun tarkka kosteus kaikissa puun kosteustiloissa. (Sipi 2002, 114.) Tätä menetelmää käytetään yleensä vain erikoistuotteilla ja silloin kun halutaan varmistaa esimerkiksi mittarin antamia tuloksia.

## 8.2 Vastusmittari

Teollisuudessa käytetään yleisesti vastusmittareita. Ne mittaavat puun kosteuden puuhun lyötävien elektrodien välillä. Kosteusmittarilla saatava kosteus perustuu puun kosteuden ja sähköisten ominaisuuksien väliseen riippuvuuteen. Tiettyä kosteusprosenttia vastaa tietty sähköinen vastus. Vastusmittari toimii vain silloin kun mitattavan kappaleen kosteus on alle puun syiden kyllästymispisteen. Vastusmittarilla mitattaessa on oltava tiedossa mitattavan kappaleen puulaji ja lämpötila. Tällöin voidaan varmistua mittaustuloksen tarkkuudesta. Puun lämpötilan noustessa sähkövastus pienenee. Sähkövastuksen ja kosteuden riippuvuus on erilainen eri puulajeilla. (Sipi 2002, 114.)

Tällaisia mittareita käytetään päivittäisissä kuivaamokuormien kontrollimittauksissa. Kontrollimittauksen mittaustulosten perusteella tehdään päätös kuivaamokuorman ulosottamisesta. Liian korkean kosteuden omaavat kuormat jätetään vielä kuivumaan.

### **8.3 Kapasitiivinen mittaus**

Kapasitiivinen kosteuden mittaaminen perustuu kappaleen dielektrisyyteen. Mittausmenetelmä perustuu puun ja veden erilaisiin dielektrisiin ominaisuuksiin. Kapasitiiviset mittarit ovat käytännössä tarkempia kuin vastusmittarit.

Jatkuvassa tuotannossa käytetään kapasitiivista kosteusmittaria jolla mitataan kaikkien kappaleiden kosteudet puun pintaa rikkomatta.

## **9 Kuivausmenetelmät**

Kamarikuivaamot ovat jaksoittain toimivia kuivaamoja. Ne täytetään ja tyhjenetään trukilla tai pyöräkuormaajalla kuivauskuorma kerrallaan. Kuivauskaavalla muutetaan kuivaamon olosuhteita kuivauksen keston mukaan. Kuivausolosuhteet kuivauskuorman eri osissa pyritään pitämään mahdollisimman samanlaisina tasaisen lopputuloksen varmistamiseksi. Sen takia kuivausilman kiertosuuntaa vaihdetaan noin 2 - 4 tunnin välein. Kuivausilma kiertää kuivaamossa poikittain, kohtisuoraan kuivauskuorman pituussuuntaa vastaan. Kuivausilma lämmitetään patterilla, joka sijaitsee hoitotasolla kuivauskuorman yläpuolella puhaltimien ja kosteuden sumutuslaitteiston kanssa. (Sipi 2006, 125.)

Kuivausilman kosteutta säädetään ilmanvaihtokanavilla. Poistopelti aukeaa ja vedellä kyllästetty kuivausilma pääsee pois kuivaamosta. Tilalle otetaan ulkoilmasta uutta ilmaa, jota on mahdollisuus lämmittää lämmönvaihtimen avulla. Kuivausilman olosuhteita mitataan kuiva- ja märkälämpötila-antureilla. Kuivalämpö tarkoittaa kuivaamossa normaalisti lämpömittarilla mitattavaa lämpötilaa. Märkälämpö tarkoittaa sitä lämpötilaa, johon kostea kappale asettuu ilmavirrassa. Märkälämpötila mitataan normaalilla lämpötila-anturilla kostutetun kankaan läpi, jotta mittaus-tulos olisi oikea. Kuiva- ja märkälämpötilan erotuksen avulla saadaan selville ilman suhteellinen kosteus. (Sipi 2006, 125.)

## 10 Kannettava ultraäänivirtausmittari

Kuivaamon lämpöenergiamittauksissa käytettiin Flexim FLUXUS F601 ultraäänivirtausmittaria. Mittari on erittäin sopiva tämäntyyppiseen mittaukseen. Mittarin hankintahinta antureineen on 15000 euron luokkaa. Tästä syystä mittarille on mielekästä etsiä mahdollisimman paljon käyttökohteita. Mittaria käytetään useammalla Stora Enson sahalla. Yhteiskäyttö on taloudellisesti järkevää. Sopivassa kohteessa mittarilla voidaan löytää sellaisia säästökohteita. Tällöin mittarin takaisinmaksuaika on hyvinkin lyhyt saadun säästön kautta. Mittaria on käytetty menestyksekkäästi esimerkiksi öljyvuotojen etsintään pitkistä hydraulikkalinjoista. Mittarin mittatarkkuus riittää hyvin vuotojen löytämiseen. (Hantor 2014.)



Kuva 9. Flexim mittari (Kuva: Petri Vanninen).

Mittari toimii kuluaikakorrelaatioperiaatteella. Laite on mukana kannettava versio.

Se soveltuu kaikille nesteille, joissa ultraääni etenee vaimenematta niin, että signaali voidaan luotettavasti mitata sen kuljettua putken läpi yhden tai useamman kerran. Mittaus voidaan suorittaa luotettavasti ja nopeasti riippumatta putken materiaalista, seinämän paksuudesta, putkikoosta (6...6000 mm) tai lämpötilasta (maks. +400 oC). (Hantor 2014.)

Haluttu asia voidaan mitata kohteen ulkopuolelta. Tämä on ultraäänitekniikan yli-voimainen etu muihin mittaustapoihin verrattuna. Virtauksen lisäksi laitteistolla voidaan mitata useita muita suureita kuten jäähdystystehoa, lämpöenergiaa, liuosten väkevyyksiä, virtaus- ja etenemisnopeutta ja seinämien paksuuksia. Kyseinen mittari on tällä hetkellä ainoa putken päälle asennettavin anturein varustettu kuluaika / ultraäänivirtausmittari, jolla pystytään mittaamaan myös maksimissaan 10 %:sta kiintoainetta ja kaasua sisältäviä nesteitä. (Hantor 2014.)

Putkitietojen oikeellisuus on ratkaisevan tärkeää virtausmittareiden tietoja syötettäessä. Mittareiden mittaustarkkuus on varmistettu tehtaalla suoritettavalla märkä-

kalibroinnilla. Se tehdään viranomaishyväksytyin vertailumittauksen avulla. Virtausteknisten olosuhteiden ollessa oikein, päästään samaan ja jopa parempaan mittaustarkkuuteen kuin esim. magneettisilla määrämittareilla. Yleensä mittaustuloksen tarkkuus myös parempi kuin mittalaipoilla ja Vortex-mittareilla. Virtausnopeudet putkessa ovat alhaiset (alle 0,5 m/s) saavutetaan erityisen tarkkoja tuloksia. (Hantor 2014.)

#### MITTARIN OMINAISUUKSIA

- putkikoot 6 mm...6000 mm
- metalli-, muovi-, valurauta- ja lasikuituputkiin
- lämpötila-alue -40 oC...+450 Oc
- luotettava mittaus myös hankalissa käyttökohteissa
- mittaustulos selvillä nopeasti
- ergonominen muotoilu
- IP67 -kantolaukku
- vakiona kaksi 4 – 20 mA kaksijohdintulostuloa ja kaksi binääriulostuloa
- kenttäkelpoiset, haponkestävät anturit varustettuna militääriliittimillä
- märkäkalibroidut anturit kalibrointitodistuksella, tarkkuus +/- 0,5 % lukemasta
- kalibrointitiedot tallennettu anturiin
- automaattinen anturitunnistus ja kalibrointitietojen luenta
- älykäs seinämänpaksuusmittaus
- pitkäkestoinen akku – 17 h/lataus
- maksimi kiintoainepitoisuus 10 %
- maksimi kaasupitoisuus 10 %
- dataloggeri 128 000 muistipaikkaa

Antureiden kotelointiluokkana on IP65. Anturien pistokeliittimille sekä tulojen ja lähtöjen liitännöille kuuluvat samaan luokkaan. (Hantor 2014.)

Mittarin käyttäminen on kohtuullisen yksinkertaista. Kaikki mittaamiseen tarvittavat komponentit ovat yhdessä pienen matkalaukun kokoisessa salkussa. Mittalaitteen lisäksi tarvitaan tietokone tulosten purkamiseen ja analysointiin.

Mitattavasta kohteesta on selvitettävä ennen anturien asennusta putken halkaisija, materiaali ja seinämävahvuus. Seinämävahvuudelle on oma mittausanturi. Sen mittatarkkuus on 0,01mm. Tämä anturi on hyvin tarpeellinen kenttätyössä. Putken halkaisija saadaan helposti mitattu mutta seinämävahvuutta ei useinkaan tiedetä varmaksi. Vanhemmissa putkistoissa mitat voivat vaihdella ja putkien merkinnät ovat hävinneet.

Ennen mittauksapahtumaa mittalaitteeseen kytketään varsinaiset virtausmittausanturit sekä lämpötila anturit. Lämpötila-anturit voidaan kytkeä jo tässä vaiheessa putkeen. Virtausmittaus-anturien kiinnittämiseksi on tiedettävä niiden oikea etäisyys toisistaan. Koneeseen syötetään putkitiedot ja mitattavan nesteeseen tiedot. Tämän jälkeen kone antaa ehdotuksen anturien etäisyydestä. Käytännössä etäisyys on muutamasta senttimetristä alkaen ylöspäin. Etäisyys on sitä suurempi mitä suurempi putken halkaisija on kyseessä. Koneen näytöltä on luettavissa mitaussignaalin vahvuus antureita aseteltaessa. Käytännössä varsinkin vanhempien putkien kohdalla riittävän signaalin saaminen voi olla haastavaa. Putken sisäpinnalla olevat epäpuhtaudet vaikeuttavat signaalin etenemistä putken sisällä. Putken halkaisijan kasvaessa anturien asetelutarkkuus on oltava suurempi vahvan signaalin saamiseksi. Virtausanturien toiminnan kannalta on oleellisen tärkeää käyttää geeliä mitta-anturien ja mitattavan putken pinnan välissä. Geelin tarkoituksena on ilman poistaminen välistä ja tätä kautta kontaktin parantaminen.

Kun anturit on aseteltu putkeen ohjeenmukaisesti, voidaan valita haluttu näyttötila laitteesta. Näyttötiloja on useita erilaisia. Voidaan esimerkiksi valita virtausnäyttö tai suoraan tehonäyttö. Myös näytettävän näytön yksikkö on valittavissa. Tehonäytössä voidaan nähdä esimerkiksi kilowatit tai megawatit riippuen kohteesta.

Kaikki data saadaan tallennettua koneen muistiin asetettujen asetusten mukaisesti. Tietojen purkamiseksi tarvitaan tietokone ja sarjaliikennekaapeli. Salkussa olevalla CD-levyllä on Fleximin oma ohjelma johon mittausdata puretaan. Tiedot tulevat taulukko muotoon josta tiedot on siirrettävissä muihin ohjelmiin kuten exceliin.

## 11 Lämpöenergiankulutus Uimaharjussa

Uimaharjussa lämpöenergian kulutus kuivaukseen oli 75404 MWh vuonna 2013. Kuivatun sahatavaran määrä oli 216682 m<sup>3</sup>. Seuraavasta taulukosta on nähtävissä lämpöenergiankulutus yhtä sahatavarakuutiometriä kohden.

Tuotanto m <sup>3</sup>	Lämpö energia MWh	MWh/m <sup>3</sup>
216682	75404	2,873614

Lämpöenergiaa on kulunut noin 287KWh yhtä sahatavarakuutiota kohden. Tämä on hyvin yhteneväinen Juvosen ja Johanssonin (1986,143) esittämään energian kulutukseen, joka on sahatavarakuutiometriä kohden on 250-360 kwh.

Yllä olevan kokovuoden kokonaisenergian avulla voidaan laskea keskimääräinen kuivaamon ottama teho. Laskennassa voidaan käyttää tuotantovuorokausien määränä 350 vuorokautta. Tällöin vuorokautta kohti energiaa on kulunut  $(75404 \text{ MWh} / 350) = 215 \text{ MWh}$ . Tästä voidaan edelleen laskea tuntiteho  $(215 \text{ MWh} / 24\text{h}) = 8,96 \text{ MW}$

Seuraavassa esimerkkilaskelmassa lasketaan yhden kuivaamouunin ottama teoreettinen lämpöteho. Oletetaan lämmönvaihtimesta otettavaksi tehoksi 9 megawattia ja kuivaamouuneja on kaikkiaan 28. Tästä saadaan laskettua yhden kuivaamouunin ottama lämpöteho.

Muunnetaan teho kilowateiksi ( $9 \text{ MW} = 9000 \text{ kW}$ ) ja jaetaan se uunien lukumäärällä 28 josta saadaan yhden uunin ottamaksi tehoksi noin 321 kilowattia. Tämä tulos on lähellä sitä tehoa joka saadaan mittaamalla myös yksittäisestä uunista.

### 11.1 Laskennallinen energiankulutus

Tässä esimerkkilaskelmassa lasketaan yhden kamarikuivaamon kuivauserän vaatima lämpöenergiämäärä. Kyseessä kamari numero 8 jossa kuivattiin  $33 \times 100 \text{ mm}$  sahatavaraa 48 kiinto-kuutiometriä tuoretta 50%:n kosteudessa ollutta sahatavaraa 8%:n loppukosteuteen. Aikaa tähän kuivaukseen meni 108 tuntia.

Yhdessä kamarikuivaamo erässä on 48 kiintokuutiometriä tuoretta mäntysahatavaraa. Tuoreen mäntysahatavaran massana käytetään  $800 \text{ kg/m}^3$ .

Tästä voidaan laskea koko erän massa tuoreena ( $48 \text{ m}^3 \times 800 \text{ kg/m}^3 = 38400 \text{ kg}$ ).  
 $m = 38400 \text{ kg}$

Kosteusprosentti sahatavarassa  $x_1 = 55 \%$ :a tuoreena. Kuivan sahatavaran loppukosteus tässä tapauksessa  $x_2 = 8 \%$ :a.

$$m_{\text{vesi}} = m[X_1 - X_2(100 - X_1)/(100 - X_2)]/100$$

$$m_{\text{vesi}} = 38400 \text{ kg}[55 - 8(100 - 55)/(100 - 8)]/100$$

$$m_{\text{vesi}} = 38400 \text{ kg}[47(45)/(92)]/100$$

$$m_{\text{vesi}} = 19617 \text{ kg}$$

Tästä voidaan laskea koko erän kuivaukseen kuluva veden haihduttamiseen tarvittava energia.

Kosteuden ollessa yli PSK:n eli yli 23%:n rajakosteussuhteen arvo  $U=0,30$ . Tällöin ollaan kokonaan vapaan veden alueella. Tällöin veden poistamiseen tarvittava



energia on lähes sama kuin veden kiehumiseen tarvittava energia 0,68 kwh /kg.

Vettä poistetaan  $38400\text{kg} \frac{55-23(100-55)}{(100-23)} / 100 = 15960\text{kg}$

Tarvittava energia  $15960\text{kg} \times 0,68 \text{ kwh/kg} = 10850\text{kwh}$

Kuivattaessa alle 23%:n ollaan kokonaan sidotun veden alueella. Lähtötilanteessa 23%:a  $U=0,30$  ja loppukosteudessa 8%:a  $U=8/(100-8)=0,087$ .

Keskimäärin kosteussuhde tuolla välillä on  $(0,30+0,087)/2= 0,1935$

Poistettava vesimäärä  $19617\text{kg} - 15960\text{kg}=3660\text{kg}$

Tarvittava energiamäärä  $2,036-4,524 \times 0,1935=1,15\text{kwh/kg}$

Tarvittava energia  $3660\text{kg} \times 1,15 \text{ kwh/kg} = 4200\text{kwh}$

Kokonaisuutena laskennallinen energiankulutus veden poistamiseen  $10850\text{kwh}+4200\text{kwh}=15050\text{kwh}$ .

Tällöin kulutus yhtä sahatavara kuutiometriä kohden on  $(15050\text{kwh} / 48\text{m}^3)$   $313\text{kwh/m}^3$ . Tämä tulos on hyvin yhteneväinen Juvosen ja Johanssonin (1986,143) esittämään  $250-360\text{kwh/m}^3$  kulutukseen.

## 11.2 Mitattu energiankulutus

Energiankulutus mitattiin mittarilla meno- ja paluuvesiputkista. Molempiin putkiin aseteltiin lämpötila-anturit jotka mittasivat putkistossa virtaavan veden lämpötilaa. Lisäksi toiseen putkista asetettiin virtausmittausanturi jolla saatiin mitattu putkessa virtaavan veden tilavuusvirta. Virtaus-anturi asetettiin joko meno tai paluuputkeen riippuen putkiston muodosta. Putkistossa on oltava suoraa osuutta riittävästi jotta putkistossa virtaava vesi kulkee mahdollisimman laminaarisesti. Virtausanturin

mittaussuunta on valittava oikein koska muuten mittari antaa negatiivisen virtaus tuloksen.

Mittarista voidaan valita suure ja mittausyksikkö. Tässä tapauksessa mitattiin lämpötehoa ja yksiköksi valittiin megawattitunti. Yksiköksi voidaan valita tilanteeseen sopiva suure esimerkiksi virtaus.

Kokonaisenergian kulutuksen kannalta tärkein mittauspiste oli kuivaamon päälinja kuivaamon ylimmässä kerroksessa. Meno- ja paluuviesiputket kulkevat vierekkäin, kattorakenteista kannatettuna. Päälinjasta syötetään lämminvesi kuivaamon patteri verkostoon. Tämä mittauspiste on lähellä päälämmönvaihdinta jossa sellutehtaalta tulevan höyryn lämpöenergia siirretään kuivaamon käyttöveteen. Liitteestä x nähdään päälinjan hetkellisiä teholumkia. Mittaustulokset ovat noin vuorokauden ajalta aikavälillä 13.11-14.11.2013. Vaihteluväli on 6,85 ja 9,56 megawatin välissä (liite 1). Keskiarvo tehoille tuolla aikavälillä 8,13 megawattia. Kuten lukevista voidaan havaita, niin tehon tarve vaihtelee hyvinkin paljon riippuen kuivaamon tilanteesta. Tällä aikavälillä kaksi kanavakuivaamo oli tyhjänä.

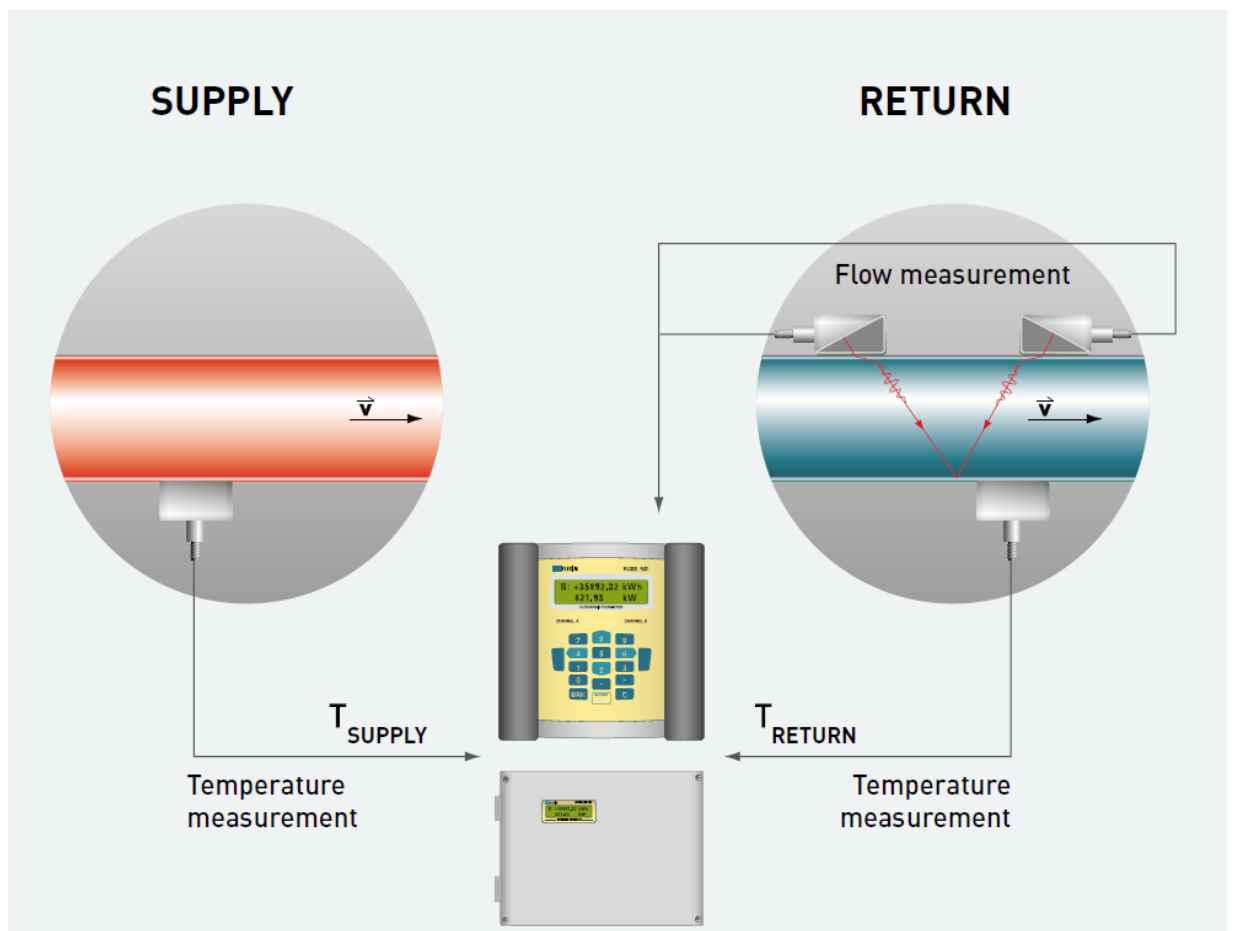


Kuva 10 Kuivaamon päälinjan mittaustilanne (Kuva: Petri Vanninen).



Kuva 11. Kamarin 8 yläpuoli (Kuva: Petri Vanninen).

Kuvassa 8 näkyy putkiston eristämätön osa johon virtausmittari oli kiinnitetty. Eristämätön putki on paluuputki pattereilta. Mittarin sijoittaminen oli järkevin tässä kohteessa toteuttaa paluuputkeen. Luotettavan mittaustuloksen kannalta on tärkeää että putkessa on suoraa osuutta riittävästi. Energiamittarin lämpötila-anturit olivat sijoitettuna siten että paluuputkessa oli palaavan veden lämpötilaa mittaava anturi. Menevän veden lämpötilaa mittasi toinen anturi joka oli sijoitettuna lähelle kuvassa näkyvää punaista kiertovesipumppua.



Kuva 12. Ultraäänimittarin toiminnan periaatekuva  
(Kuva: Fluxus energy).

Mittaamalla saatu tehon keskiarvo kyseiselle kuivauserälle on 228kw (liite 2). Kuivausaika erälle oli 108 tuntia. Liitteessä 2 ei ole nähtävissä kaikki tuon aikavälin mittauservoja. Mittaustuloksissa on nähtävissä noin kolmasosa kaikista saaduista tuloksista. Koko kuivausaikaa tarkasteltaessa kaikki mittaustulokset ovat niin lähellä saatua keskiarvoa, ettei katsottu tarpeelliseksi esittää kaikkia tuloksia. Alkuperäisessä taulukossa oli mittaustulos kymmenen minuutin välein kokoajalta. Taulukko sisälsi useita satoja rivejä joten sen esittäminen tässä yhteydessä ei ollut järkevää.

Edellä esitettyjen tietojen perusteella saadaan laskemalla kokonaisenergiankulutukseksi  $228 \text{ kw} \times 108\text{h} = 24624\text{kwh}$ . Tämä on enemmän kuin laskemalla saatu veden haihduttamiseen tarvittava energia  $15050\text{kwh}$ . ( $24624 \text{ kwh} - 15050\text{kwh} = 9574\text{kwh}$ ). Laskennallisen lämpöenergian kulutuksen ja mitatun kulutuksen välillä on  $9574$  kilowattituntia. Tällöin lämpöhyötysuhteeksi saadaan  $((15050 \times 100)/24624)=61$ ) 61%:a. Tästä lukemasta voidaan hyvin päätellä se että suuri osa lämpöenergiasta menee hukkaan.

Laskennallisessa kulutuksessa ei huomioida mitään muuta kulutusta kuin veden haihduttamiseen tarvittava energia. Energiaa kuluu todellisuudessa paljon muuhunkin. Varsinkin kuivauksen alussa sahatavaran lämmittämiseen kuluu lämpöenergiaa runsaasti. Lisäksi kuivaamonrakenteiden lämmönjohtumisen kautta menetetään energiaa seinien ja katon kautta. Myös ovitiivisteiden välistä tapahtuvat vuodot lisäävät kulutusta. Valtaosa hukkaan menevästä lämpöenergiasta poistuu ilmanvaihtokanavien kautta ulos kuivaamosta.

Poistuvasta ilmasta olisi mahdollista ottaa talteen lämpöenergiaa huomattavia määriä. Tosin kuten yleisesti tiedetään, kamarikuivaamossa jossa kuivataan erikoiskuivaa sahatavaraa, ei ole energiataloudellisesti järkevää käyttää lämmön talteenottojärjestelmää poistoilmakanavassa. Syynä tähän on kuivauksen loppuvaiheessa poistuvan kohtuullisen kuivan ilman vähäinen energiasisältö. Kysees-

sä olevassa kamarikuivaamossa ei ole lämmön talteenottojärjestelmää jolla energiaa voitaisiin ottaa talteen.

Tässä yhteydessä on hyvä kertoa tähän kyseiseen kuivaamokamariin liittyvät yksityiskohdat jotka vaikuttavat lämpöenergian kulutukseen.

Kyseessä on kamari numero 8 joka sijaitsee reunimmaisena neljän kamarin rakennuksessa. Kamarista ainoastaan yksi sivuseinä on yhteistä toisen kamarin kanssa. Kaikki muut sivut ovat ulkoilmaa vastaavaa lämpötilaa vasten.

Väliseinät ovat betonisia ja ulkoseinissä betonin ulkopinnalla lasivillaeriste. Kuivaamokamarin sisäkatto on teräslevyä jonka päällä lasivillaeriste. Kuivaamon yläpuolella on lisäksi ulkokatto jossa ei ole eristettä. Välikaton ja ulkokaton välissä olevassa ullakkotilassa sijaitsevat kuivaamon putkilinjat ja venttiilit.

## **12 Tulosten tarkastelu**

Lähtötilanteessa kuivaamon energiankulutuksesta ei ollut tiedossa minkäänlaisia tarkkoja mittaustuloksia. Suoritettujen mittausten avulla saatiin mitattua sekä kuivaamon koko energiankulutusta sekä yksittäisen kuivaamon sen hetkiset energiankulutukset.

Saatujen mittaustulosten perusteella voidaan kyseisen kuivaamon energiankulutuksen päätellä olevan lähellä kirjallisuudessa ja aikaisemmissa tutkimuksissa esiintyvien arvojen kanssa. Huomioitavaa mittaustuloksissa on kuitenkin se että lähes kaikki saadut arvot ovat korkeita vertailtaessa niitä aikaisemmin tunnettuihin tuloksiin. Varsinkin kamarikuivaamon kohdalla on kuitenkin huomioitava se että

työhön liittyvien mittauksien aikana kuivattavana ollut erä oli erikoiskuivattava erä jonka energiankulutus on tunnetusti suurempi kuin keskimääräinen energiankulutus.

Kuivaamoiden kulutuksia mittaamalla todelliset energiankulutukset saatiin hyvin selville. Suurin energian säästö olisi saatavissa lämmön talteenottojärjestelmällä. Normaalisti niiden asentaminen on poikkeuksetta kannattavaa. Uimaharjussa lämpöenergian hankintahinta on niin edullinen että investoinnin takaisinmaksu ajasta tulee liian pitkä.

Alkuperäisenä työn tarkoituksena oli selvittää energiankulutuksen muutosta tiettyjen toimenpiteiden jälkeen. Alkuperäistä suunnitelmaa ei saatu toteutettua suunnitellusti. Suurin tähän vaikuttava tekijä oli mittaustulosten vähäisyys ennen huoltoisokkia jossa muutoksia tehtiin. Mittauksia saatiin tehtyä vain sen verran että niistä voitiin päätellä tehdyillä puhdistustoimenpiteillä olevan vaikutusta energiankulutuksen suhteen. Puhdistuksen jälkeen kamarista palaavan veden lämpötila oli useita asteita alempi kuin ennen puhdistusta. Tästä voidaan päätellä patterin luovuttaneen paremmin lämpöä kuivaamon ilmaan. Muut kuivaamon energiankulutukseen vaikuttavat tekijät pysyivät samana molemmissa mittauksissa.

Tehtyjen kokeilujen perusteella voidaan todeta kannettavan ultraäänimittarin sopivan erittäin hyvin tällaiseen mittaukseen. Saadut tulokset ovat lähellä niitä arvoja joita niiden oletetaan olevankin.

## 13 Pohdintaa

Sahan alueella lämpöenergiaa kuluttavat kohteet sisältävät pääasiassa koh- tuullisen ikääntynyttä tekniikka. Varsinkin suurimmissa kulutuskohteissa kuten kuivaamoilla lämmitykseen liittyvä ohjausautomaatikka on niin iäkstä että va- raosien saatavuus alkaa olla vaikeaa. Uudemmallalla ohjausautomaatiolla saavu- tettaisiin tarkempi säätötarkkuus ja tätä kautta energiansäästö voisi olla hyvin- kin huomattava.

Lämpöenergianmittaus koko Uimaharjun sahan alueella oli opinnäytetyötä aloittaessa hyvin alkutekijöissään. Käytännössä kulutukselle ei ollut minkään- laista mittausta kulutusalueella. Ainoastaan sellutehtaalta tulevasta putkesta mitattiin höyryn määrää putken lähtöpäässä. Suurin syy siihen ettei energian- kulutuksesta ole oltu kiinnostuneita, on ollut halpa energian hinta moneen muuhun tehdasalueeseen verrattuna. Tulevaisuudessa energiatehokkuusso- pimus velvoittaa dokumentoimaan kulutuksen tarkemmin kulutuskohteittain. Tästä syystä kiinteitä mittauspisteitä on asennettava.

Lämpöenergianmittauksia suunniteltiin vuoden 2013 aikana konsulttien avus- tuksella. Suunnittelu kuluu osana energiatehokkuussopimukseen liittyvään energian käytön tehostamiseen. Energiankulutuskohteet kartoitettiin koko sa- han alueelta. Kiinteille mittauspisteille määritettiin paikat putkistoissa.

Sahan alueelle tulee kaikkiaan 7 kappaletta kiinteitä mittauspistettä joissa ku- lutusta mitataan. Mittauspisteistä kuusi (6) tulee kiinteistöjen lämmitykseen liittyviin paikkoihin. Kuivaamon päälinjaan tulee yksi kiinteä mittauspiste ja sen sijoituspaikka tulee olemaan lähellä paikkaa josta mittaukset tehtiin tätä työtä tehtäessä. Yksittäisiin kuivaamoihin ei tässä vaiheessa tule energiamittareita. Mittareiden asentaminen vaatii käytännössä tuotantokatkoksen. Kiinteät mitta-



rit (liite 3) asennetaan laippaliitoksilla prosessiputkeen. Uudet mittauspisteet yhdistetään tietokoneeseen josta mittausdata on nähtävissä ja analysoitavissa.

Työn tuloksena voidaan todeta energiatehokkuussopimuksen vaatimien dokumentointien tulevan toimiviksi, kunhan tekniset laitteet saadaan asennettua paikoilleen. Se kuinka sopimuksen vaatimat ehdot tulevat täyttymään on vielä arvailujen varassa.

## 14 Jatkokehitysehdotukset

Tulevaisuudessa energiankäyttöön tullaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Tärkeintä on pystyä todistamaan dokumenttien avulla aikaisempi kulutus ja varsinkin se kuinka paljon kulutus on vähentynyt.

Sahaprosessin tehokuutta on parannettavissa monellakin eri tavalla. Sähköenergian kulutusta pyritään pienentämään uudella tekniikalla. Varsinkin kun otetaan huomioon se että nykyisin käytössä on vielä tekniikka 70- ja 80-luvuilta. Energiatehokkuus on kehittynyt 30 vuodessa todella paljon parempan. Tekniikassa on siis runsaasti potentiaalista energiansäästöä.

Kuivaamoiden lämpöenergian käytön tehostamiseksi tarvitaan varsin mittavia investointeja. Käytännössä olisi tehtävä rakenteiden peruskorjaus toimenpiteitä. Samassa yhteydessä kuivaamoiden pattereita ja varsinkin puhaltimia täytyisi uusia nykyaikaisempaan tekniikkaan.

Kannettavalle ultraäänimittari on erittäin monipuolinen laite kaikkien putkissa virtaavien nesteiden virtauksen mittaamiseen. Tällaisen laitteen tehokas käyttäminen teollisuusympäristössä vaatii perehtymistä laitteen toimintaa. Tällöin voidaan varmistua paremmin mittaustulosten luotettavuudesta. Mittaustulosten analysointi vaatii prosessituntemusta sekä matemaattista ajattelutapaa.

## Lähteet

- Hantor 2015. Kannettava ultraäänivirtausmittari Fluxus F601.  
<http://hantor.fi/tuotteet/virtausmittaus/kannettavat-ultraaanivirtausmittarit-fluxus-f601>
- Härkönen, M. 2011. Puun kosteus. Centria tutkimus ja kehitys.  
[http://www.forestpower.net/data/liitteet/112323=1016\\_puun\\_kosteus.pdf](http://www.forestpower.net/data/liitteet/112323=1016_puun_kosteus.pdf) 31.3.2015
- Ilmatieteenlaitos. 2014. Ilmatieteen laitos teematietoa.  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/lampotila-ja-kosteus#15>. 31.3.2015
- Juvonen, R. & Johanson, P. E. 1986. Mekaaninen metsäteollisuus 2, Sahateollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus Oy
- Motiva 2014. Energiatohokkuussopimukset 2014.  
<http://www.energiatohokkuussopimukset.fi>. 31.3.2015
- Paajanen, T. & Siimes, H. 1996. Mekaaninen metsäteollisuus 2, Sahateollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus
- Sipi, M. 2002 Sahatavaratuotanto. Puutuoteteollisuus 5. Helsinki: Edita
- Stora Enso kotisivut. 2014. Yritysesittely.  
<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-in-brief>. 31.3.2015
- Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus. 1990, Metlas Ky. Karhula.

## Kuivaamon päälinjan mittaustiedot

```

.....
\SOURCE=received data[05] (V 6.08)
DEVICE      : F 601 -06014185
MODE        : STORED
NAME        : SCANDATA
CHAN        : 1 (A:)
START       : 13.11.2013 10:40:01
\COMMENTS
\PARAMS
Par.Record  : Par.Record  02
Meas. Point No.: A:2
Pipe        :
  Outer Diameter : 324,00 mm
  Wall Thickness  : 8,40
  mm
  Roughness      : 0,1 mm
  Pipe Material  : Carbon
  Steel
  c-Material     : 3230,0 m/s
  Lining         : WITHOUT LINING
  Medium         : Water
  c-Medium MIN: 1531,1 m/s
  c-Medium MAX: 1531,1 m/s
  Kinem.Viscosity : 0,27 mm2/s
  Density        : 0,95 g/cm3
  Medium Temperat.: 110
  C
  Fluid pressure : 1,00 bar
  Transducer Type : CDQ1NZ738360
  Sound Path     : 1 NUM
  Transd. Distance : 131,0 mm
  Damping        : 30 s
  Storage Rate   : 00:10:00 SAMPLES
  Profile corr.  : ON
  Physic. Quant. : Heatflow
  Unit Of Measure : [MW]/[MWh]
  Numb.Of Meas.Val : 166

```

## \DATA

\*	DATE_TIME	MEASURE	T1	T2	VOLUMEFLOW
\#		[MW]	[°C]	[°C]	[m³/h]
A	13.11.2013 10:50	9,22	99,5	86,9	651,07
A	13.11.2013 11:50	8,37	99,6	88,3	652,13
A	13.11.2013 12:50	6,19	100	91,4	634,79
A	13.11.2013 13:50	8,62	99,6	87,9	648,4
A	13.11.2013 14:50	8,74	99,9	88,1	655,87
A	13.11.2013 15:50	7,8	100,1	89	621,18
A	13.11.2013 16:50	7,82	99,5	88,4	619,58
A	13.11.2013 17:50	7,7	99,7	88,5	610,24
A	13.11.2013 18:50	8,82	99,8	87	610,24
A	13.11.2013 19:50	9,02	101,1	88	612,91
A	13.11.2013 20:50	6,87	99,4	89,4	608,11
A	13.11.2013 21:50	8,36	100	87,9	611,57

A	13.11.2013 22:50	8,06	99,9	88,3	612,11
A	13.11.2013 23:50	7,95	99,7	88,2	610,77
A	14.11.2013 0:50	7,94	99,6	88,2	614,78
A	14.11.2013 1:50	7,95	100,2	88,5	605,44
A	14.11.2013 2:50	7,21	100,4	90,1	624,12
A	14.11.2013 3:50	7,56	99,4	88,4	608,37
A	14.11.2013 4:50	7,43	99,7	89,2	620,91
A	14.11.2013 5:50	7,43	99,2	88,6	619,31
A	14.11.2013 6:50	7,12	99,8	89,4	608,91
A	14.11.2013 7:50	9,49	99,8	86,6	638,79
A	14.11.2013 8:50	9,32	100	87,6	665,47
A	14.11.2013 9:50	8,67	99,7	88,2	661,74
A	14.11.2013 10:50	9,33	100	87,3	651,07
A	14.11.2013 11:50	8,17	99,2	88,1	651,07
A	14.11.2013 12:50	6,85	99,7	90,5	662,54
A	14.11.2013 13:50	9,56	99,9	87,1	663,07
	<b><u>Keskiarvo</u></b>	<b><u>8,13</u></b>			

## Kuivaamokamari 8 mittauksetiedot

\START : 23.9.2013 9:33:14  
 \PARAMS  
 Par.Record : Par.Record 02  
 Meas. Point No.: : A:2  
 Pipe :  
 Outer Diameter : 78,00 mm  
 Wall Thickness : 3,40 mm  
 Roughness : 0,1 mm  
 Pipe Material : Carbon Steel  
 c-Material : 3230,0 m/s  
 Lining : WITHOUT LINING  
 Medium : Water  
 c-Medium MIN: 1542,4 m/s  
 c-Medium MAX: 1542,4 m/s  
 Kinem.Viscosity : 0,29 mm<sup>2</sup>/s  
 Density : 0,96 g/cm<sup>3</sup>  
 Medium Temperat.: 100 C  
 Fluid pressure : 1,00 bar  
 Transducer Type :  
 CDQ1NZ738360  
 Sound Path : 2 NUM  
 Transd. Distance : 35,0 mm  
 Damping : 60 s  
 Storage Rate : 00:10:00 SAMPLES  
 Profile corr. : ON  
 Physic. Quant. : Heatflow  
 Unit Of Measure : [kW]/[kWh]  
 Numb.Of Meas.Val : 297

## \DATA

\*DATE_TIME \#	MEASURE [kW]	T1 [°C]	T2 [°C]	VOLUMEFLOW [m <sup>3</sup> /h]
23.9.2013 9:53	264,93	77,5	63,6	16,67
23.9.2013 10:53	265,16	78,1	64	16,5
23.9.2013 11:53	255,91	77,4	64	16,7
23.9.2013 12:53	268,92	78,1	64	16,74
23.9.2013 13:53	229,83	75,6	63,5	16,63
23.9.2013 14:53	240,08	76,7	64	16,51
23.9.2013 15:53	236,11	75,5	63	16,54
23.9.2013 16:53	224,46	75,1	63,3	16,58
23.9.2013 17:53	218,23	74,8	63,3	16,64
23.9.2013 18:53	249,25	75,9	62,7	16,61
23.9.2013 19:53	234,23	74,6	62,2	16,5
23.9.2013 21:53	220,63	74,2	62,6	16,56
23.9.2013 22:53	234,44	73,3	61,1	16,84
23.9.2013 23:53	226,05	73,8	61,9	16,67
24.9.2013 0:53	227,78	74,7	62,6	16,48
24.9.2013 1:53	219,69	73,9	62,3	16,51
24.9.2013 2:53	226,11	73,2	61,4	16,78
24.9.2013 3:53	221,08	73,7	62,1	16,7

24.9.2013 4:53	224,78	73,8	62	16,71
24.9.2013 5:53	233,82	74,2	61,9	16,64
24.9.2013 6:53	235,58	73,2	60,8	16,71
24.9.2013 7:53	227,21	72,7	60,9	16,9
24.9.2013 8:53	211,83	72,7	61,6	16,8
24.9.2013 9:53	189,82	70,7	60,8	16,68
24.9.2013 10:53	198,03	70,9	60,7	16,9
24.9.2013 11:53	208,77	72,8	61,9	16,81
24.9.2013 12:53	201,26	72,2	61,8	16,8
24.9.2013 13:53	186,72	70,8	61,1	16,7
24.9.2013 14:53	224,95	73	61,1	16,58
24.9.2013 15:53	235,52	75	62,6	16,6
24.9.2013 16:53	230,83	74,6	62,3	16,51
24.9.2013 17:53	227,86	73,9	61,8	16,53
<b><u>Keskisarvo</u></b>	<b><u>228</u></b>			

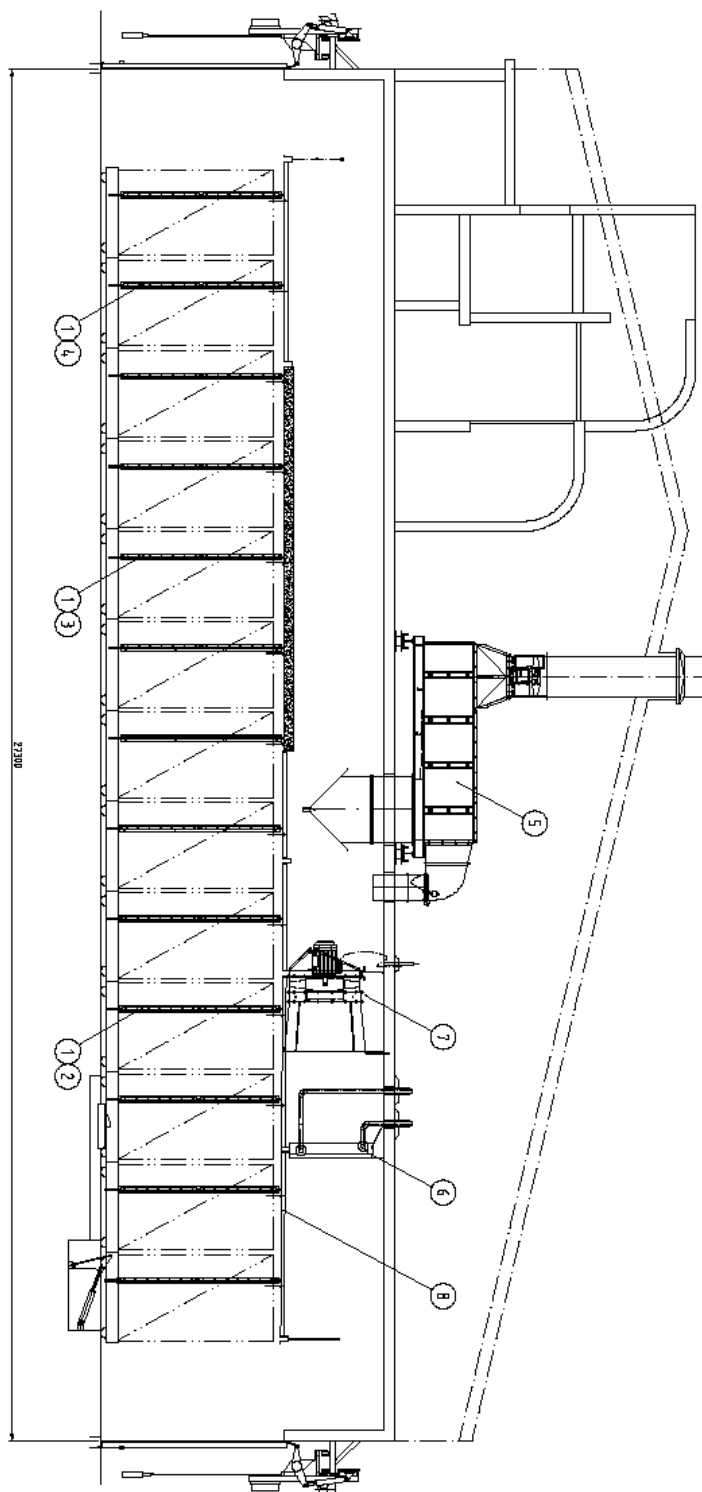
Kiinteiden mittauspisteiden tiedot

UIMAHARJUN SAHA  
ENERGIAN MITTAUKSET

9.12.2013

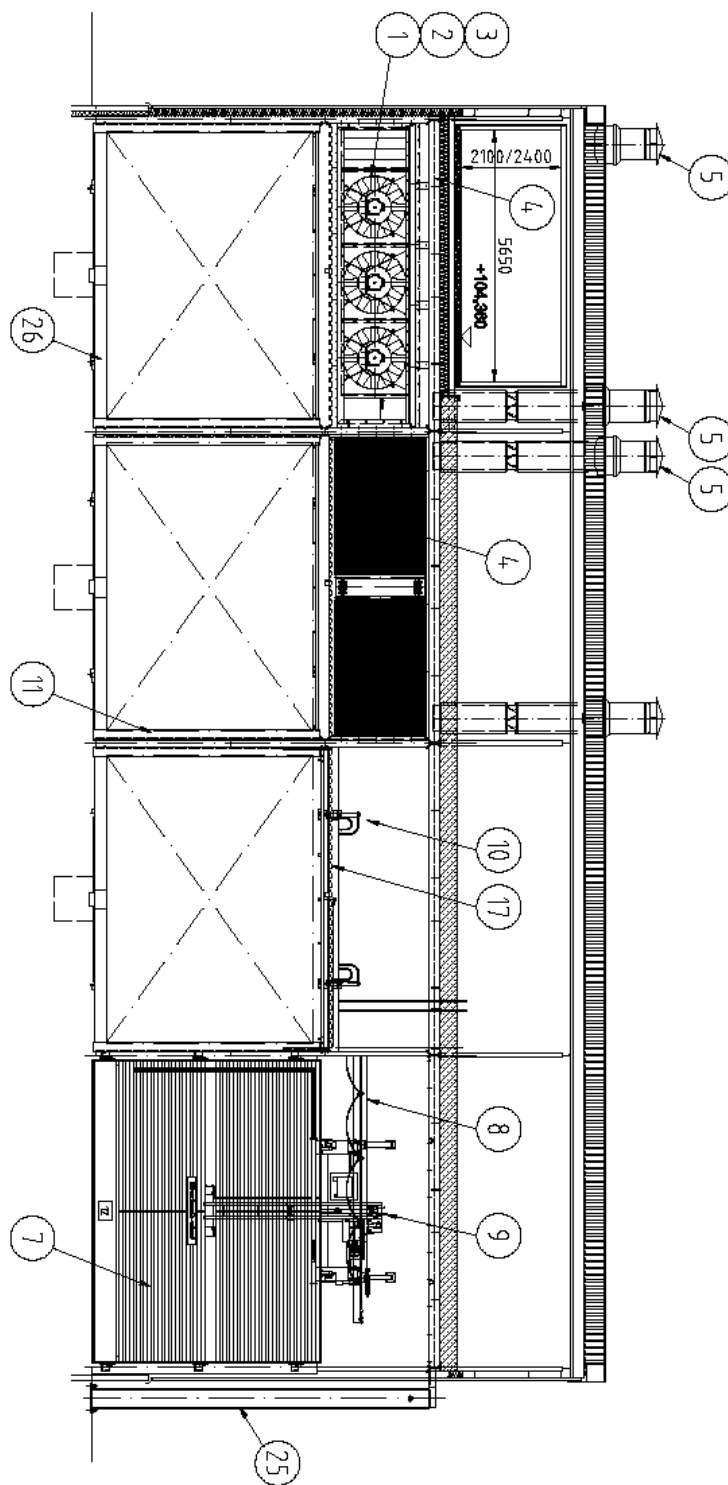
Mittaus	Tunnus	Kohde	Mittari	Anturi	Asennus	Putkisto
1FIQ-010	1FIQ-010.1	Sahan lämmitys	MC801-JF 100 DN125/350 mm	Pt500	Suojaputki, upotus 160 mm, kaula 100 mm	DN150
	1FIQ-010.2	Sahan lämmitys		Pt500	Suojaputki, upotus 160 mm, kaula 100 mm	DN150
1FIQ-030	1FIQ-030.1	Sahan lkv	MC801-JF 25 DN40/300 mm	Pt500	Pinta-anturi	Kupari DN40
	1FIQ-030.2	Sahan lkv		Pt500	Pinta-anturi	Kupari DN40
2FIQ-010	2FIQ-010.1	Kuivaamon kiertovesi	MC801-JF 400 DN250/600 mm	Pt500	Suojaputki, upotus 200 mm, kaula 100 mm	DN300
	2FIQ-010.2	Kuivaamon kiertovesi		Pt500	Suojaputki, upotus 200 mm, kaula 100 mm	DN300
2FIQ-020	2FIQ-020.1	Kyllästyslaitoksen lämmitys	MC801-JF 25 DN65/300 mm	Pt500	Suojaputki, upotus 120 mm, kaula 100 mm	DN80
	2FIQ-020.2	Kyllästyslaitoksen lämmitys		Pt500	Suojaputki, upotus 120 mm, kaula 100 mm	DN80
3FIQ-010	3FIQ-010.1	Kompohallin lämmitys	MC801-JF 25 DN65/300 mm	Pt500	Suojaputki, upotus 120 mm, kaula 100 mm	DN80
	3FIQ-010.2	Kompohallin lämmitys		Pt500	Suojaputki, upotus 120 mm, kaula 100 mm	DN80
4FIQ-010	4FIQ-010.1	Konttori lämmitys	MC801-JF 6,0 R11/4"/260 mm	Pt500	Pinta-anturi	DN32
	4FIQ-010.2	Konttori lämmitys		Pt500	Pinta-anturi	DN32
4FIQ-020	4FIQ-020.1	Konttori lkv	MC62-JF 2,5 R1"/190 mm	Pt500	Pinta-anturi	Kupari DN32
	4FIQ-020.2	Konttori lkv		Pt500	Pinta-anturi	Kupari DN32

## Kanavakuivaamon leikkauskuva sivusta

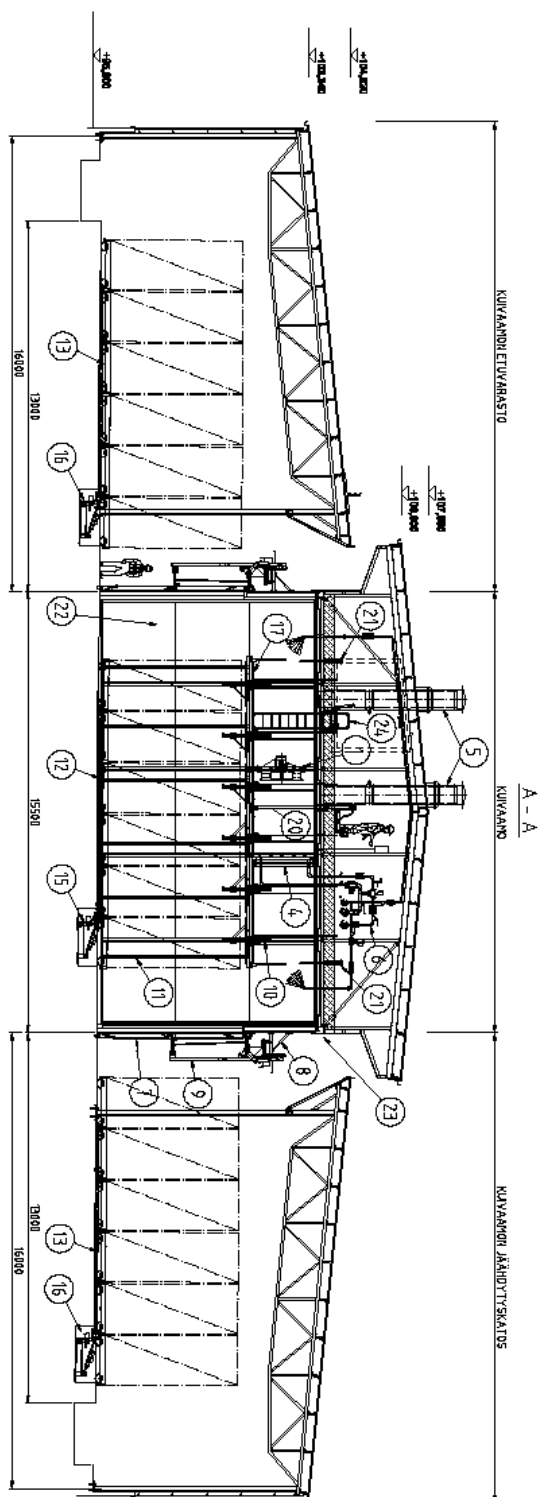




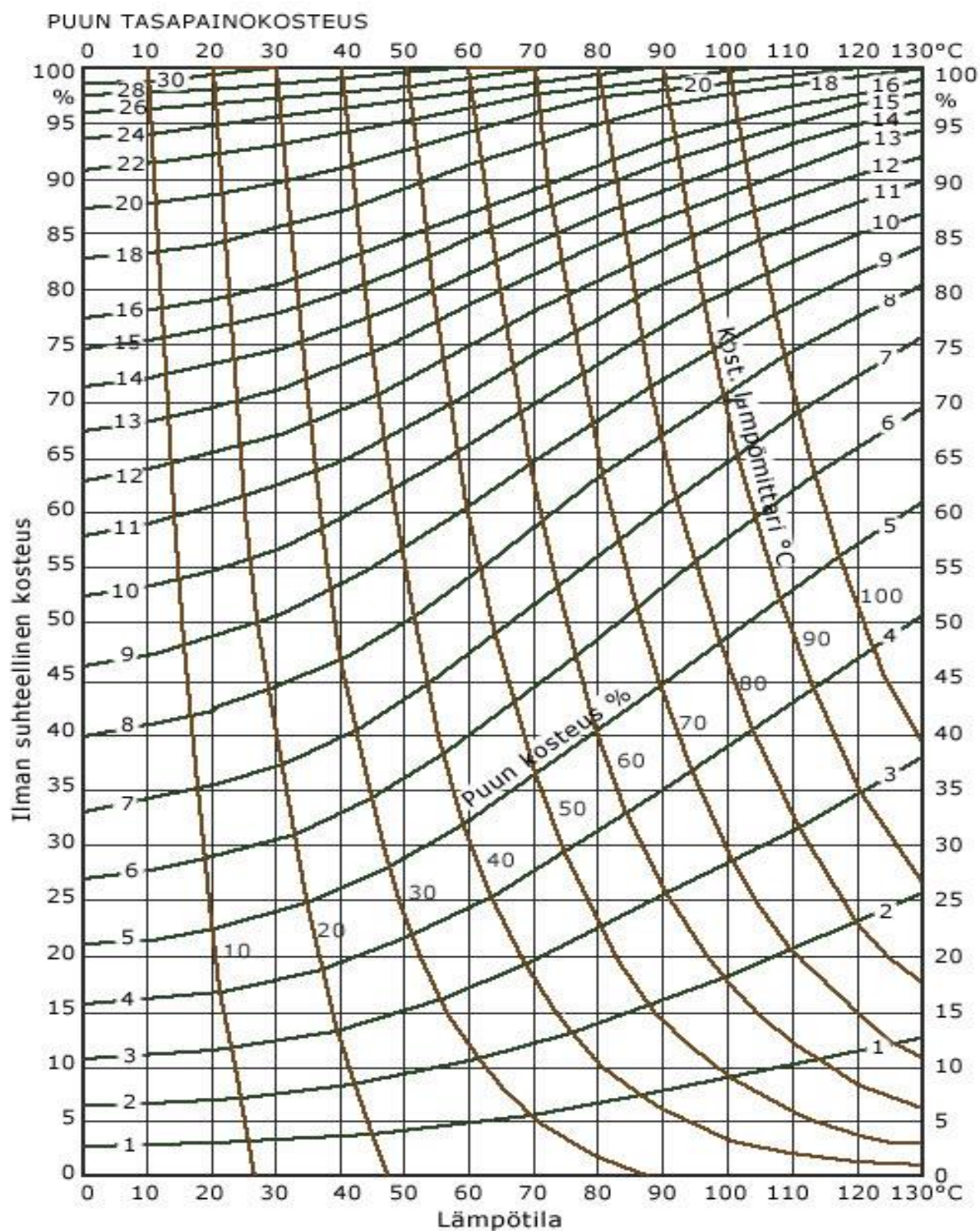
Matalan kamakuivaamon poikkileikkaus edestä



## Korkeiden kamareiden poikkileikkaus sivusta



## Puun tasapainokosteustaulukko



Kuva:

[http://www.puuproffa.fi/proffin/images/stories/raaka\\_aine/\\_Kuivaustaulukko.jpg](http://www.puuproffa.fi/proffin/images/stories/raaka_aine/_Kuivaustaulukko.jpg)