

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Arttu Nenonen

ERIKOISKUIVATUN SAHATAVARAN LOPPUKOSTEUSJAKAUMA KINNASKOSKI OY:N  
SAHALLA

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

NENONEN, ARTTU

Erikoiskuivatun sahatavaran loppukosteusjakauma

Kinnaskoski Oy:n sahalla

Opinnäytetyö

51 sivua + 16 liitesivua

Työn ohjaaja

Diplomi-insinööri Risto Jääskeläinen

Toimeksiantaja

Kinnaskoski Oy

Huhtikuu 2011

Avainsanat

kuivaus, kamarikuivaamo, erikoiskuivaus, kosteusjakauma

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää erikoiskuivatun sahatavaran loppukosteusjakauma Kinnaskoski Oy:n sahalla. Tutkimuksessa tutkittiin loppukosteusjakaumaa neljässä kamarikuivaamossa. Tutkittava dimensio oli 38 x 125 mm ja sen tavoitekosteus oli 12 ±2 %.

Kuivauskuormasta merkittiin kuivaamon koon mukaan 72 tai 96 sahatavarakappaletta. Merkintöjen perusteella sahatavarakappaleiden sijainti kuivauskuormassa pystyttiin takautuvasti selvittämään. Kuivauskuorman vaihdon yhteydessä kuivauskuorman pinnasta mitattiin satunnaisesti 10 kappaleen kosteus. Tutkimuksessa verrattiin pintakosteusmittaustuloksia kuivauskuorman sisäosista suoritettuihin kosteusmittaustuloksiin. Lisäksi tutkittiin kuivauskuorman sisäistä kosteusjakaumaa kuivaamon syvyys- ja korkeussuunnassa.

Tutkimuksissa saadut tulokset olivat yleisesti ottaen melko hyviä. Kaikkien neljästä kuivauserästä mitattujen kappaleiden keskimääräinen kosteus oli 11,7 % ja keskihajonta 1,2. Mitatuista kuivaamoista yhdessä loppukosteus oli jäänyt 1,4 prosenttiyksikköä liian märäksi kuivaamossa tapahtuneen häiriön vuoksi. Kolme muuta kuivausta olivat onnistuneet melko hyvin, mutta niitä oli hieman ylikuivattu. Niiden keskimääräiset loppukosteudet olivat 0,8 prosenttiyksikköä liian kuivia.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

NENONEN, ARTTU

End Moisture Distribution of Specially Kilned Timber in  
the Sawmill of Kinnaskoski Oy

Bachelor's Thesis

51 pages + 16 pages of appendices

Supervisor

Risto Jääskeläinen, Master of Science

Commissioned by

Kinnaskoski Oy

April 2011

Keywords

kilning, compartment kiln,  
special kilning, moisture distribution

The aim of this research was to investigate the end moisture distribution of specially kilned sawn timber in the sawmill of Kinnaskoski Oy. In this research moisture distribution was researched in four compartment kilns. Dimension in the research was 38 x 125 mm and its target moisture was  $12 \pm 2$  %.

Depending on the size of the compartment kiln 72 or 96 pieces of sawn timber were marked in each drying load. With the help of those marks the situation of the boards could be tracked. During the change of drying load 10 moisture measurements were randomly taken from the surface of drying load. In the research those surface moisture measurements were compared to moisture measurements of inner parts of the drying load. Also the moisture distribution of the depth and height in the compartment kiln was researched.

Results of the research were quite good. In all four of the measured drying loads average moisture was 11,7 % and standard deviation 1,2. Only in one drying load of four the end moisture was 1,4 percentage units too wet because of unexpected disturbance in the compartment kiln. The remaining three drying loads had succeeded quite well, but they were a bit overdried. Their average moisture was 0,8 percentage units too dry.

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty puutekniikan insinöörin (AMK) tutkintoa varten Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan koulutusohjelmassa.

Tämä opinnäytetyö on tehty Kinnaskoski Oy:n toimeksiannosta. Työni ohjaajana Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta toimi DI Risto Jääskeläinen. Työn toimeksiantajan puolesta ohjaajana toimi toimitusjohtaja Jyri Nenonen. Edellä mainituille esitän parhaimmat kiitokset työhön saamastani tuesta ja opastuksesta.

Kiitän yhteistyöstä kaikkia osapuolia, jotka ovat auttaneet tämän työn valmistumisessa. Erityiskiitos kuuluu niille Kinnaskoski Oy:n työntekijöille, joiden avulla käytännön kokeet saatiin tehtyä.

Tämä opinnäytetyö on omistettu Kinnaskoski Oy:n perustajan, isoisäni Aarne Nenosen (21.12.1922 - 15.2.2011) muistolle.

Ruovedellä 19.4.2011

Arttu Nenonen

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta.....	8
1.2 Sidosryhmät .....	8
1.3 Viitekehys .....	9
2 YRITYSESITTELY .....	10
2.1 Kinnaskoski Oy .....	10
2.2 Prosessin kuvaus .....	11
2.2.1 Puun hankinta .....	11
2.2.2 Tukkilajittelu .....	11
2.2.3 Sahaus .....	11
2.2.4 Särmäys.....	13
2.2.5 Dimensiolajittelu ja rimoitus combilaitoksessa.....	13
2.2.6 Kuivaus .....	14
2.2.7 Kuivalajittelu ja paketointi combilaitoksessa.....	14
3 SAHATAVARAN KUIVAUKSEN TEORIA .....	16
3.1 Kosteus puussa .....	16
3.2 Kosteuden mittaus .....	16
3.2.1 Punnitus-kuivausmenetelmä .....	16
3.2.2 Vastusmittari .....	17
3.3 Puun anisotropia .....	17
3.4 Puun kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä.....	18
3.4.1 Veden haihtuminen puun pinnalta .....	18
3.4.3 Ilman lämpötila ja nopeus .....	19
3.4.4 Kuivausvoima.....	19
3.4.5 Puun tiheys .....	20
3.4.6 Puun kosteus.....	20
3.4.7 Sahatavaran dimensio .....	20

4. SAHATAVARAN KUIVAUS KAMARIKUIVAAMOSSA .....	21
4.1 Kuivauksen vaiheet .....	22
4.2 Kuivauskuormalle asetettavat vaatimukset.....	22
4.2.1 Kuivauskuorman pituus .....	23
4.2.2 Kuivauskuorman korkeus .....	23
4.2.3 Kuivauskuorman leveys.....	24
4.3 Kamarikuivaus Kinnaskoski Oy:llä.....	24
4.3.1 Korkeapainekostutusjärjestelmä.....	25
4.3.2 Valmatics-ohjausjärjestelmä .....	25
4.3.3 Kuivauspainot.....	26
4.3.4 FME-kosteusmittari .....	26
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN .....	27
5.1 Tutkittavan dimension valinta.....	27
5.2 Tutkittavien kuivaamoiden valinta.....	27
5.3 Mitattavien kappaleiden lukumäärä ja sijainti rimanipussa.....	27
5.4 Kuivauskaava .....	29
5.5 Kosteuden mittaus kuivauskuorman pinnasta.....	30
5.6 Kosteusmittauskappaleiden erottelu kuivauskuormasta .....	30
5.7 Kosteuden mittaus kuivauskuorman sisäosista .....	31
5.8 Ongelmat.....	31
5.8.1 Aika.....	31
5.8.2 Kosteusmittauskappaleiden erotteleminen.....	32
5.8.3 Laadutettujen kosteusmittauskappaleiden joutuminen hylkylokeroon.....	32
5.8.4 Kosteusmittarin toiminta.....	33
6 TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	34
6.1 Kamari 3 .....	34
6.2 Kamari 5 .....	36
6.3 Kamari 6 .....	38
6.4 Kamari 8 .....	40

7 TULOSTEN TARKASTELU .....	42
7.1 Kamari 3 .....	42
7.2 Kamari 5 .....	43
7.3 Kamari 6 .....	44
7.4 Kamari 8 .....	45
7.5 Yhteenveto .....	45
7.6 Aiemmat tutkimukset .....	46
8 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA .....	47
8.1 Kuivauskaavan simulointi.....	47
8.2 Valmatics-ohjausjärjestelmän hienosäätö.....	48
9 YHTEENVETO.....	49
LÄHTEET .....	50

## LIITTEET

Liite 1.	Kuivauskuormien etupintojen kosteusmittaustulokset
Liite 2.	3 kamarissa kuivatun kuivauskuorman sisäosien kosteusmittaustulokset
Liite 3.	3 kamarissa kuivatun kuivauskuorman toteutunut kuivauskaava
Liite 4.	5 kamarissa kuivatun kuivauskuorman sisäosien kosteusmittaustulokset
Liite 5.	5 kamarissa kuivatun kuivauskuorman toteutunut kuivauskaavan alkuosa
Liite 6.	5 kamarissa kuivatun kuivauskuorman toteutunut kuivauskaavan loppuosa
Liite 7.	6 kamarissa kuivatun kuivauskuorman sisäosien kosteusmittaustulokset
Liite 8.	6 kamarissa kuivatun kuivauskuorman toteutunut kuivauskaava
Liite 9.	8 kamarissa kuivatun kuivauskuorman sisäosien kosteusmittaustulokset
Liite 10.	8 kamarissa kuivatun kuivauskuorman toteutunut kuivauskaava
Liite 11.	Laatukamari-ohjelman simulaatio tutkimuksessa käytetystä kuivauskaavasta
Liite 12.	Laatukamari-ohjelman simulaatio muunnellusta kuivauskaavasta

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta

Kinnaskoski Oy tuottaa kuusisahatavaraa, jotka kuivataan 10...20 %:n loppukosteuksiin. Kamarikuivaamoissa ei pystytä mittaamaan sahatavaran kosteutta kuin nosto-oven puoleisen kuivaustornin pinnasta, pois lukien uusimmat läpiajettavat kamari-kuivaamot, joissa on ovi myös kuivauskuorman takapuolella. Onkin herännyt kysymys, ovatko sahatavarakappaleet kuivauskuorman sisällä yhtä kuivia, kuin kuivauskuorman pinnasta mitatut kappaleet. Lisäksi haluttiin selvittää loppukosteusjakauman vaihteluita sisempien ja uloimpien kuivaustornien välillä. Tutkimuksessa otettiin myös huomioon kuivauskuorman korkeussuunnassa tapahtuva loppukosteushajonta.

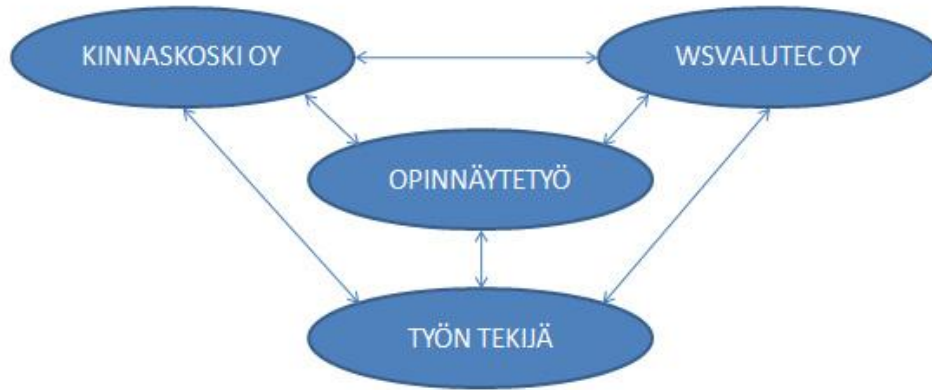
Työssä päätettiin tutkia vain yhtä dimensiota, jotta mittausten perusteella voitaisiin vertailla myös kuivaamoiden välisiä eroja. Dimensioksi valittiin 38 x 125 mm, joka kuivataan  $12 \pm 2$  % loppukosteuteen.

Opinnäytetyössä pyrittiin käyttämään mahdollisimman luotettavia lähteitä. Lähteinä käytettiin muun muassa alan kirjallisuutta, luentomonisteita ja aiempia tutkimuksia. Koneista ja laitteista tietoa saatiin käyttöohjekirjoista, tarjouksista ja laitevalmistajien Internet-sivuilta.

### 1.2 Sidosryhmät

Työn sidosryhmät ovat havainnollistettu kuvassa 1. WSValutec Oy on kuivaamotoimittaja, jonka kanssa oltiin tekemisissä työn aikana. Suurin osa työstä kuitenkin tehtiin yhdessä Kinnaskoski Oy:n johdon ja kuivaamoiden parissa toimivien henkilöiden kanssa.

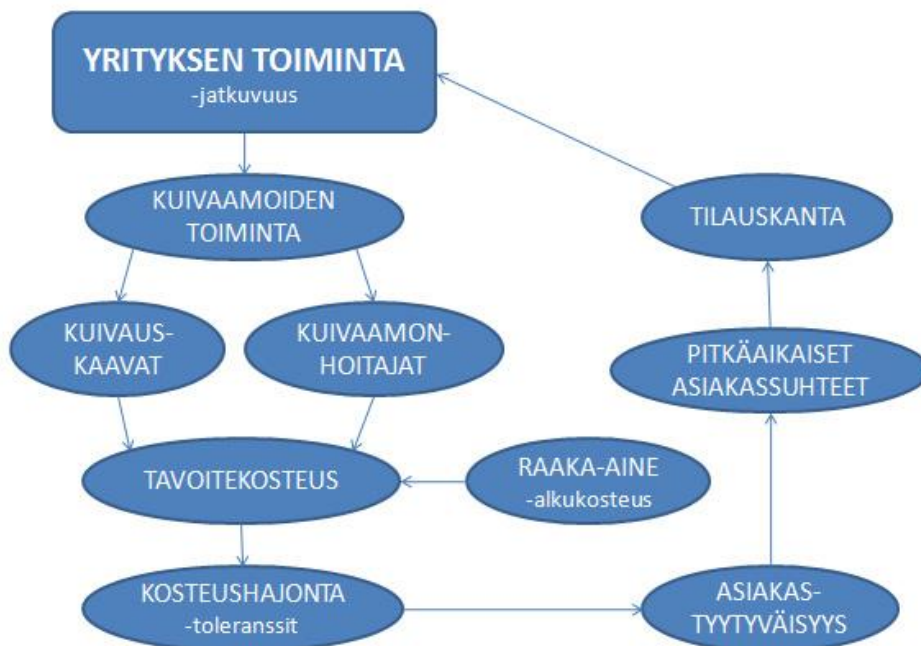




Kuva 1. Opinnäytetyön sidosryhmät

### 1.3 Viitekehys

Työn viitekehys on esitetty kuvassa 2. Työssä käytiin läpi sahan kuivausprosessiin vaikuttavat tekijät. Kuivauksen onnistumista tarkasteltiin kosteusmittauksien avulla. Kosteusmittauksista voitiin nähdä kuivauskuorman sisäinen kosteushajonta. Alkukosteuksia työssä ei tutkittu. Kosteushajonnan tulisi olla mahdollisimman pieni suuren asiakastyytyväisyyden takaamiseksi. Kun asiakkaat saavat hyviä kokemuksia Kinnaskoski Oy:n tuotteista, he haluavat ostaa tuotteita uudestaan. Siten syntyvät pitkäaikaiset, arvokkaat asiakassuhteet.



Kuva 2. Opinnäytetyön viitekehys

## 2 YRITYSESITTELY

### 2.1 Kinnaskoski Oy

Kinnaskoski Oy on Vilppulassa sijaitseva, sahatavaraa tuottava, perheyritys. Yrityksen perusti Aarne Nenonen vuonna 1971. Yritys perustettiin alun perin kommandiittiyhtiönä, ja sen tarkoitus oli tuoda lisäelinkeinoa maataloustoimintaa harjoittavan sukutilan yhteyteen. Yritysmuoto on vaihdettu osakeyhtiöksi vuonna 1994. Nykyisin Kinnaskoski Oy:n toimitusjohtajana toimii Jyri Nenonen.

*”Kinnaskoski Oy on hyvä esimerkki suomalaisesta yksityisestä sahayrityksestä, joka on noussut kenttäsahaustuksesta suomalaisten keskisuurien sahatollisuusyrityksien joukkoon.”* (Nenonen 2008.)

Ilman suuria investointeja sahaustoimintaa ei olisi pystytty pitämään kannattavana. Kinnaskoski Oy:n tuotantolaitteisto onkin uusittu lähes kokonaan 1990-luvulla. 2000-luvun merkittävin investointi oli combilaitoksen dimensiolajittelun uusiminen ja koneen käyttöönnotto sahatavaran lajittelussa. (Kinnaskoski Oy 2011).



Kuva 3. Ilmakuva Kinnaskoski Oy:stä (Kinnaskoski Oy 2011)

Sahalaitos tuottaa ainoastaan kuusisaatavaraa ja sen vuosituotanto on 50 000 ... 55 000 m<sup>3</sup>. Tuotteista n. 85 % menee vientiin. Kinnaskoski Oy:n asiakkaat ovat pääasiassa teollisia loppukäyttäjiä. Yrityksessä työskentelee 26 henkilöä, joista tuotannos-

sa työskentelee 19 henkilöä ja toimihenkilötehtävissä 7 henkilöä. Työntekijöiden lisäksi Kinnaskoski Oy:n työllistävä vaikutus on noin 50 henkilöä, jotka sijoittuvat pääasiassa logistiseen ketjuun ja laitehuoltoon. (Kinnaskoski Oy 2011).

Kinnaskoski Oy:n sahalinja mahdollistaa erikoisdimensioiden tuottamisen. Sahatavaran kuivaus on mahdollista aina 10 %:n loppukosteuteen saakka. Näiden mahdollisuuksien ansiosta asiakkaiden tarpeet pystytään ottamaan hyvin huomioon. Asiakastyytyväisyys ja vanhoista pitkäaikaisista asiakassuhteista huolehtiminen on Kinnaskoski Oy:lle tärkeää. (Kinnaskoski Oy 2011).

## 2.2 Prosessin kuvaus

### 2.2.1 Puun hankinta

Raaka-aineen hankinnassa Kinnaskoski Oy luottaa pääasiassa omaan metsäosastoonsa. Metsäosaston vuotuinen puunhankinta on noin 140 000 m<sup>3</sup>, josta saha käyttää noin 115 000 m<sup>3</sup>. Kuitupuut myydään kemialliselle metsäteollisuudelle. Kinnaskoski Oy:llä on myös sopimuksia toimituksista ulkopuolisten raaka-aineen toimittajien kanssa, jotka eivät hyödynnä tukkipuuta omissa prosesseissaan. (Kinnaskoski Oy 2011).

### 2.2.2 Tukkilajittelu

Tukin lajittelu on hyvin pitkälti automaattinen prosessi. Tukkilajittelija pääasiassa vain valvoo prosessia, mutta joutuu myös tekemään muutamassa latvaläpimittaluokassa lajittelua tyvi- ja välipölliin välillä. Tukit lajitellaan ennalta määrätyn ohjelman mukaan, joka muodostuu valmiin sahatavaran tilauksista. Lajitteluperusteita ovat mm. tukin latvaläpimitta ja pituus. Tukkilajittelulinja on 36-lokeroinen. Tukkirekat purkavat kuormansa pääasiassa suoraan lajittelijan pöydälle, tai maahan mikäli lajittelupöytä on täynnä. Maasta tukit nostetaan lajittelijan tukkipöydälle pyöräkuormaajalla. Pyöräkuormaaja myös siirtää lajitellut tukit lokeroista omiin pinoihinsa.

### 2.2.3 Sahaus

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä ruotsalaisen sahakonevalmistaja ARI AB:n pelkka-

hakkuri-pyörösahalinja. Linja on valmistunut vuonna 1995, mutta sitä on vuosien saatossa modernisoitu tarpeiden mukaan. Järjestelmällisen kunnossapidon ansiosta sahalinja on erinomaisessa toimintakunnossa. Ennen ensimmäistä pelkkahakkuria tukit mitataan uudelleen, jotta saanto voidaan maksimoida. Sahalinja mahdollistaa tukkien yksilöllisen sahauksen ja erikoisdimensioiden tuottamisen. Sahausasetetta voidaan muuttaa joka tukille erikseen. Asete määräytyy sahattavan tukkiluokan latvaläpimitan ja tilausten mukaan.

Ensimmäisessä sahausvaiheessa tukista tasoitetaan kaksi sivua ja otetaan mahdollisesti ensimmäiset 22 mm paksut sivulaudat kummaltakin puolelta. Ennen toista sahausvaihetta pelkka käännetään 90 astetta, minkä jälkeen tasoitetaan jäljelle jääneet kaksi sivua. Kolmannessa vaiheessa pelkka kulkee muuttuva-asetteisen jakosahan läpi, joka sahaa pelkan yksittäisiksi sahatavarakappaleiksi. Sahattavat tukkikoot jakosahataan joko yhdellä, kolmella, viidellä tai seitsemällä terällä. Kinnaskoski Oy:llä sahaus suoritetaan aina pohjoismaisen sahaustavan mukaisesti. Se tarkoittaa sitä, että tukin ydin halkaistaan jakosahausvaiheessa. Käytettävät sahausmenetelmät ovat joko exlog2 tai exlog4. Sahattavan sydäntavaran paksuus on 32 ... 75 mm ja leveys 100 ... 250 mm. Sahatut ja särmätyt sahatavarat siirtyvät välivarastoon odottamaan dimensiolajittelua.



Kuva 4. Näkymä sahan valvomosta

#### 2.2.4 Särmäys

Sahauksessa erotellut mahdolliset ensimmäiset ja toiset sivulaudat särmätään erillisessä särmäyksyksikössä. Kinnaskoski Oy:llä särmäyssahan terien asetteen määrittää särmäyssahan vieressä olevassa valvomossa työtään tekevä särmääjä. Hänen tehtävänsä on nappeja painelemalla kääntää sahatavara pintapuoli ylöspäin, tehdä päätös kappaleen maksimisaannosta ja asettaa särmäyssahan terät oikeaan asemaan jokaiselle särmättävälle sahatavarakappaleelle. Särmättävien sahatavarakappaleiden paksuudet ovat 22...44 mm ja leveydet 100...250 mm.

#### 2.2.5 Dimensiolajittelu ja rimoitus combilaitoksessa

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä norjalaisen Odden Verksted AS:n valmistama combilaitos. Laitoksen yläkerrassa sijaitsee dimensiolajittelu ja kuivalajittelulinja. Rimoitus ja paketointi sijaitsevat laitoksen alakerrassa.

Tuoretta sahatavaraa ajettaessa Lisker Oy:n valmistama ProfiGrade-laadutusjärjestelmä määrittää sahatavarakappaleen dimension ja laadun. *”Tavallisimpina laadutuskriteereinä ovat vajaasärmäisyys, oksat, pihkakolot, laho sekä erilaiset muoto- ja rakenneviat.”* (Lisker Oy 2011.) Laadutusjärjestelmä käyttää apunaan viisitoista suunnattuja puolijohdelasereita ja kameroita, jonka avulla se muodostaa tarkan 3D-mallin sahatavarakappaleesta. Kappale laadutetaan ohjelmaan syötettyjen parametrien pohjalta. Laadutuksen yhteydessä trimmeri katkoo kameralajittelun havaitsemia vikoja tai vajaasärmiä pois sahatavarakappaleista. Lajittelulaitoksen automatiikka ohjaa sahatavarakappaleet oikeisiin lokeroihin. Automatiikka valvoo myös lokeroon putoavien kappaleiden määrää. Ohjelman parametreihin syötetyn kappalemäärän täytettyä lokeroon pudonneet kappaleet siirretään kuljettimilla rimoitukseen.

Kappaleet rimoitetaan siten, että joka toinen sahatavarakappale tasataan eri päihin. Näin saadaan aikaiseksi optimaalinen 6 m pitkä rimanippu. Jos rimanippu tasattaisiin vain toiseen päähän, kuivaamon ilmankierto ei olisi optimaalinen. Poikkeuksen tästä tekevät 22 mm:n laudat, jotka lajitellaan pituuden mukaan kahteen lokeroon: 3,9 m ja lyhyemmät omaan lokeroonsa sekä 4,2 ja pidemmät omaansa. Lyhyet rimaniput tasataan vain toiseen päähän, koska lyhyistä laudoista tehdyn 6 m pitkän rimanipun käsit-

tely on erittäin hankalaa. Pidemmät laudat rimoitetaan normaalikäytännön mukaan. Rimoituksessa pitkiin rimanippuihin laitetaan joka kerroksen väliin 9 kappaletta 22 mm x 50 mm:n kokoisia rimoja kuivausilmankierron takia. Lyhyisiin rimanippuihin puolestaan riittää 5 kappaletta rimoja. Rimoituksessa paketteihin myös kirjataan tarvittavat merkinnät dimensioista ja laaduista sekä pakettinumero.

### 2.2.6 Kuivaus

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä yhdeksän WSAB Oy:n toimittamaa kamarikuivaamoja ja yksi täysiautomaattinen, kaksivaiheinen kanavakuivaamo. Vuotuinen kuivauskapasiteetti on noin 60 000 m<sup>3</sup>. Kuivaus on mahdollista aina 10 %:in loppukosteuteen saakka. Kanavakuivaamo käytetään pääasiassa vain 22 mm:n lautatavaran kuivaukseen. Sydän- ja erikoiskuiva sahatavara kuivataan kamarikuivaamoissa. Kuivaamoiden olosuhteista huolehtii automatiikka, joka säätää kuivausolosuhteita kuivauksen keston, kuivattavan dimension ja loppukosteuden mukaan. Energiansa kuivaamot saavat Kinnaskoski Oy:n omasta, puun kuorta polttoaineena käyttävästä lämpölaitoksesta.

### 2.2.7 Kuivalajittelu ja paketointi combilaitoksessa

Kuivattu sahatavara lajitellaan asiakkaan toiveiden ja vaatimusten mukaisesti konenäön avulla. Ennen lajittelun aloittamista lajittelija määrittää tietokoneella ajo-ohjelman sekä lajitteluparametrit Liskerin ProfiGrade-konenäkölaitteelle. Konenäkö laaduttaa ja ohjaa katkaisua ennalta syötettyjen parametrien mukaan. Lajittelijalla on lisäksi käytössään vipu, jolla hän voi lajitella manuaalisesti esimerkiksi hakettaa rikinäisen kappaleen, jotta se ei aiheuta ongelmia muualla linjastossa. Automatiikka huolehtii lokeroiden täytöstä ja merkitsee lokeron täydeksi, kun asetettu kappalemäärä täyttyy. Silloin lokeroon pudonneet lankut tai laudat siirtyvät paketointiin.

Paketoinnissa lajiteltu sahatavara leimataan laatua vastaavalla laivausmerkillä ja paketoitetaan noin 1 m x 1 m:n kokoisiksi paketeiksi. Asiakkaiden toiveiden mukaisesti sahatavarapaketit voidaan peittää yläpuolelta muovilla tai viideltä sivulta erillisellä hupulla. Sahatavarapaketti puristetaan tiiviiksi ja sidotaan kolmella tai neljällä muovivanteella. Paketin kylkeen kirjataan pakettinumero, dimensio, laatu ja pituus. Sen jälkeen pyöräkuormaaja siirtää sen varastoon odottamaan lähetystä.



K

Kuva 5. Kinnaskoski Oy:llä käytössä olevat laivausmerkit (Kinnaskoski Oy 2011)

Kinnaskoski Oy:llä on yhä käytössä vanhat laatunimikkeet. Tarvetta laatunimikkeiden uusimiseen ei ole havaittu, koska asiakkaiden tilaukset ovat edelleen vanhojen laatunimikkeiden mukaiset.

### 3 SAHATAVARAN KUIVAUKSEN TEORIA

#### 3.1 Kosteus puussa

Puu on hygroskooppinen materiaali. Hygroskooppinen tarkoittaa sitä, että puu imee itseensä kosteutta ympäröivästä ilmasta. Puuaineen tasapainokosteuteen vaikuttavat ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Adsorptiossa puu imee itseensä lisää kosteutta. Kun puu luovuttaa kosteutta, sitä kutsutaan desorptioksi. Näistä termeistä käytetään yhteisnimitystä sorptio. (Kärkkäinen 2003, 175.)

Puun syiden kyllästymispiste tarkoittaa sitä pistettä, jossa kulkee soluseinämiin sitoutuneen ja soluonteloissa olevan vapaan veden raja. Puun kuivussa soluista poistuu aluksi vapaa vesi. Kun kaikki vapaa vesi on poistunut, soluseinämiin on edelleen sitoutunut maksimimäärä vettä. Tätä pistettä sanotaan puun syiden kyllästymispisteeksi. Kyllästymispiste vaihtelee puulajeittain. Kuusella se on 20 °C:n lämpötilassa 29,3 %. Kun puu kuivuu kyllästymispisteen alapuolelle, se alkaa kutistua. (Kärkkäinen Matti 2003, 175 ja 187.)

#### 3.2 Kosteuden mittaus

Puun kosteus määritetään veden massana suhteessa kuivan puuaineen massaan. Tällä laskukaavalla (kaava 1) voidaan puun kosteudeksi saada yli 100 %. Kosteus voidaan mitata esimerkiksi punnituskuivausmenetelmällä tai kosteusmittarilla.

$$\text{Puun kosteusprosentti} = \frac{\text{puussa olevan veden massa}}{\text{puun kuiva-aineen massa}} \times 100 \quad (1)$$

##### 3.2.1 Punnitus-kuivausmenetelmä

Punnituskuivausmenetelmässä sahatavarakappaleesta otetaan näytepala, joka punnitaan. Sen jälkeen näytepala kuivataan absoluuttisen kuivaksi 103 ±2 °C:n lämpötilassa. Kuivausaika riippuu kappaleen koosta ja alkukosteudesta. Kun näytepala on kuivattu absoluuttisen kuivaksi, se punnitaan uudelleen. Saatujen lukujen erotuksesta voidaan laskea puussa olleen veden määrä, jota verrataan kuivan puuaineen massaan.



Kun saatu erotus kerrotaan sadalla, saadaan puun kosteusprosentti (kaava 2). Menetelmä on hidas, mutta sillä saadaan määritettyä tarkasti puun kosteus kaikissa kosteusolosuhteissa. (Sipi 2006, 114.)

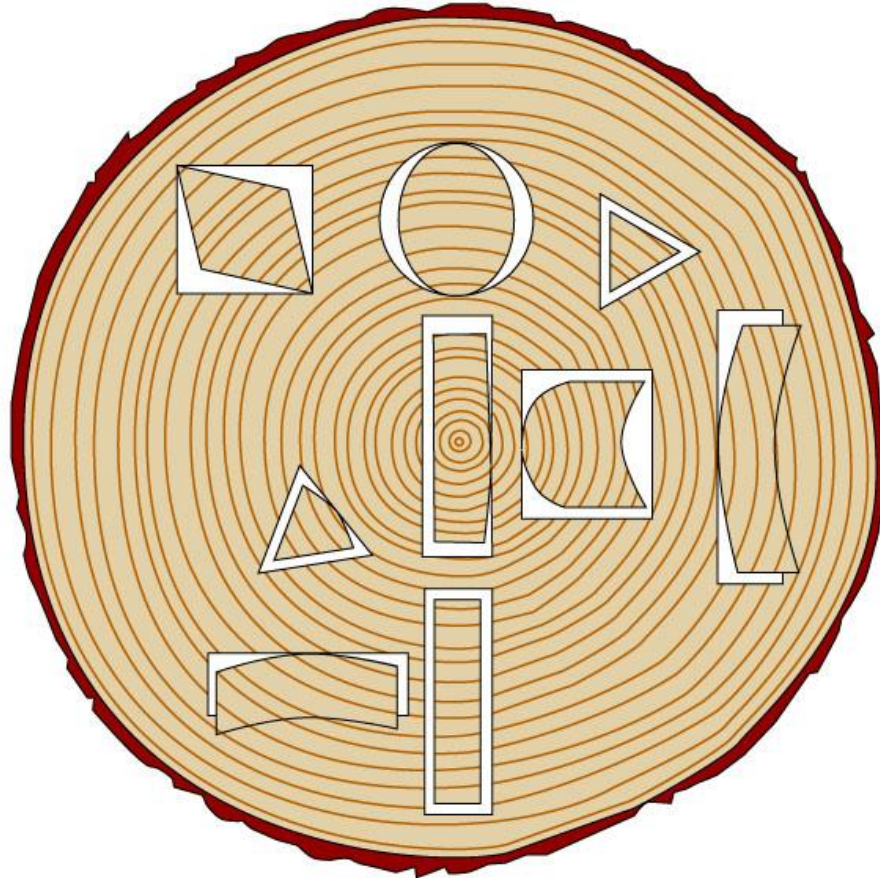
$$\text{Puun kosteusprosentti} = \frac{\text{alkupaino} - \text{kuivapaino}}{\text{kuivapaino}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.2.2 Vastusmittari

Teollisuudessa käytetään yleisesti vastusmittareita, jotka mittaavat puun kosteuden puuhun lyötävien elektrodien välillä. Kosteuden mittaaminen kosteusmittarilla perustuu puun kosteuden ja sähköisten ominaisuuksien väliseen riippuvuuteen. Tiettyä sähköistä vastusta vastaa tietty kosteusprosentti. Vastusmittaria voidaan käyttää vain mittaessa kosteutta alle puun syiden kyllästymispisteessä. Vastusmittaria käytettäessä on tiedettävä puun lämpötila ja mitattava puulaji, jotta mittaustuloksesta saadaan tarkka. Mitä korkeampi puun lämpötila on, sitä pienempi on sähkövastus. Eri puulajeilla sähkövastuksen ja kosteuden riippuvuus on erilainen. (Sipi 2006, 114.)

### 3.3 Puun anisotropia

Anisotropia tarkoittaa puun kosteuselämistä kosteuden muuttuessa. Puun kosteuden pienentyessä puunsyiden kyllästyspisteestä absoluuttisen kuivaksi puu kutistuu. Kosteuden kasvaessa puu turpoaa. Puu kutistuu pituussuunnassa melko vähän, puulajeittain 0,1...0,3 %. Säteen suunnassa puu kutistuu 3...6 % ja tangentin suunnassa 6...12 %. Kuvassa 6 havainnollistetaan säteen ja tangentin suuntaisen kutistuman vaikutusta sahatun kappaleen muotoon (Kärkkäinen 2003, 191.)



Kuva 6. Säteen ja tangentin suuntaisen kutistuman vaikutus kappaleen muotoon (Taideteollinen korkeakoulu 2011)

### 3.4 Puun kuivumiseen vaikuttavia tekijöitä

#### 3.4.1 Veden haihtuminen puun pinnalta

Kuivuminen alkaa veden haihtumisella puun pinnalta. Veden haihduttaminen puun pinnasta on yksinkertaista, mutta sen tekeminen oikein on hankalampaa. Vettä haihdutetaan lämpöiseen ja kuivaan ilmavirtaan, joka kiertää kuivauskuorman sisällä. Haihdutusnopeuden tulisi olla yhtä suuri kuin veden liikenopeus puun sisäosista puun pinnalle. Muuten sahatavaraan syntyy pintakovuutta, mikä voi estää kuivauksen jopa kokonaan. Tällainen puutavara saattaa näyttää kauniilta ja kuivalta, mutta todellisuudessa se ei ole luovuttanut lainkaan vettä ja se painaa kuin olisi tuore. *”Nämä ongelmat syntyvät yleensä vasta PSK:n alapuolella, koska solujen vapaa vesi siirtyy pinnalle hyvin, mutta sidottu vesi hitaasti.”* (Sipi 2006, 118–119; WSAB Oy 1993.)

### 3.4.2 Veden siirtyminen puun sisäosista puun pinnalle

Sahatavarakappaleen pintaosat kuivuvat nopeasti. Sisä- ja pintaosien kosteuserot voivat kuivauksen alkuvaiheessa olla melko suuria. Kuivumisen edetessä ne kuitenkin tasaantuvat, sillä puu pyrkii tasaamaan sisäisiä kosteusvaihteluitaan eli kosteusgradienttia. Kuivausolosuhteet tarvitsee kuivauksen edetessä säätää siten, että ilman suhteellinen kosteus ja puun lämpötila pidetään korkeana. Näin saadaan estettyä pintakovuutta ja nopeutettua veden siirtymistä puun sisäosista pintaan. Vapaa vesi siirtyy melko helposti, mutta soluseinämiin sitoutunut vesi hitaammin. Siirto kestää sitä kauemmin, mitä alempaan loppukosteuteen puuta yritetään kuivata. Veden siirtymiseen vaikuttavat muun muassa puulaji, veden siirtymissuunta, lämpötila ja puun tiheys. (Sipi 2006, 119; WSAB Oy 1993.)

### 3.4.3 Ilman lämpötila ja nopeus

Kuivausilmana käytetään lämmintä ilmaa, joka lämmitetään lämpöpattereilla kuivumisen nopeuttamiseksi. Korkeampi lämpötila nopeuttaa kuivumista, koska lämpöisempään ilmaan pystyy sitoutumaan enemmän vettä kuin kylmään ilmaan. *”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 2006, 119–120.)

Ilman nopeudella tarkoitetaan puhaltimien aiheuttamaa kuivausilman nopeutta kuivaamon sisällä. Ilman nopeuden tulee olla riittävän voimakas, jotta kosteus siirtyy sahatavarasta eikä pääse aiheuttamaan märkäpesäkkeitä. Kuivausilman nopeuden avulla saadaan lisäksi siirrettyä lämpöä patterista kuivattavaan sahatavaraan. Ilman nopeudella on vaikutusta kuivumisnopeuden ja kuivausajan lisäksi kuivaustuloksen tasaisuuteen ja kuivaamon energian kulutukseen. (Sipi 2006, 120.)

### 3.4.4 Kuivausvoima

*”Kuivausvoimalla tarkoitetaan puun hetkellisen kosteuden suhdetta puun tasapainokosteuteen. Kuivausvoima kuvaa kuivauksen rajuutta.”* Mitä alhaisempi kuivausilman suhteellinen kosteus on, sitä nopeampaa kuivaus on. Ilman suhteellinen kosteus on

kuitenkin pidettävä optimaalisena kuivaustapahtumaan nähden. Liian kuiva ilma kuivattaa liian nopeasti, jolloin puusta kuivuvat vain pintaosat. Liian kostea ilma puolestaan aiheuttaa tarpeettoman suuret kuivauskustannukset. Erityisesti PSK:n alapuolella, jossa kutistumista alkaa tapahtua, kuivausvoimalla on suuri vaikutus kuivaustuloksiin. Sopiva kuivausvoiman suuruus riippuu puulajista, sahatavaran paksuudesta ja sen alku- ja loppukosteudesta. (Sipi 2006, 120.)

#### 3.4.5 Puun tiheys

Kevyt, harvempi puuaines kuivuu tiheää ja painavaa puuta nopeammin. Vastus veden siirtymiselle puun sisäosista pintaosiin on pienempi ohuempien soluseinämien vuoksi. Esimerkiksi sahatavarakappaleen sisällä harvempi kevätpuu on tiheämpää kesäpuuta nopeampi kuivumaan. Tiheysvaihteluita esiintyy myös tyvi-, väli- ja latvatukkien välillä. Tyvitukit ovat latvatukkeja tiheämpiä. (Sipi 2006, 121; WSAB Oy 1993.)

#### 3.4.6 Puun kosteus

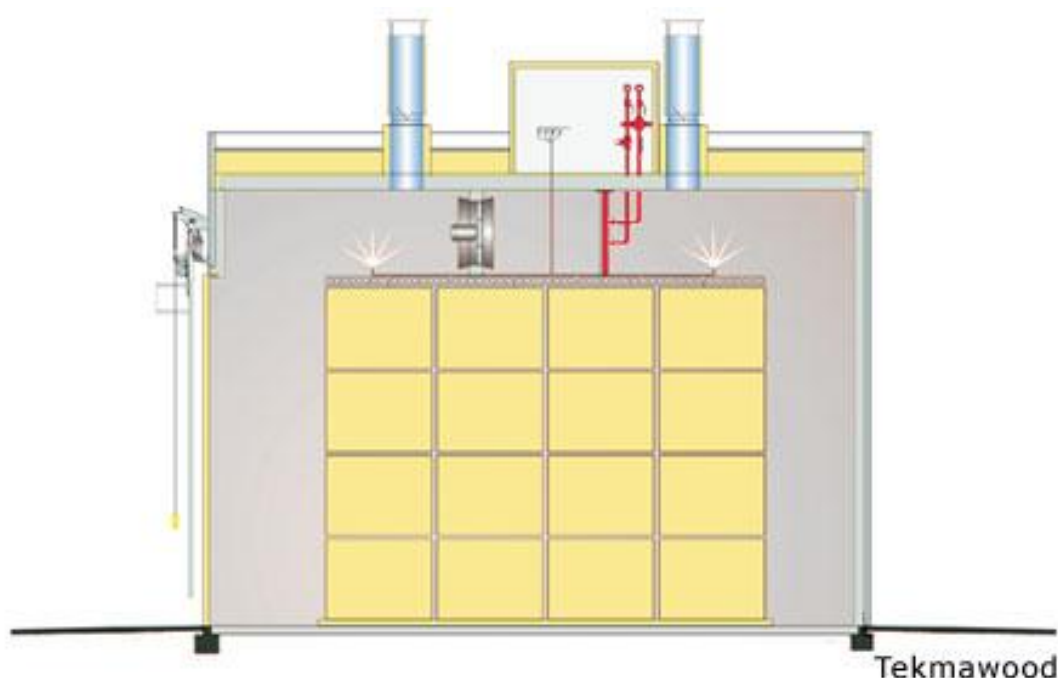
Kuivausaika muodostuu sitä pidemmäksi, mitä suurempi on puusta poistettava vesimäärä. Alkukosteudella ei ole niin suurta vaikutusta, koska kuivauksen alkuvaiheessa vapaan veden poistaminen sujuu helposti. Pienempiin loppukosteuksiin kuivattaessa kuivausaika pitenee, koska veden haihduttaminen hidastuu oleellisesti kuivauksen loppua kohti. (Sipi 2006, 121.)

#### 3.4.7 Sahatavaran dimensio

Olennessa mitta sahatavaran kuivauksessa on sen paksuus. Se kertoo kuinka pitkä matka vedellä on puun sisäosista pintaan. Ohuemmat kappaleet siirtävät veden huomattavasti nopeammin kuin paksut kappaleet. Sahatavarakappaleen pituudella ja leveydellä ei ole olennaista vaikutusta kuivauksen lopputulokseen. Sydäntavara on puun pintaosista sahattuja kappaleita kuivempaa. Esimerkiksi sydänpuun alkukosteus saattaa olla 50 % ja pintapuun 150 %. (WSAB Oy 1993.) ”*Jos perusaikana pidetään 25 mm paksun sahatavaran kuivausaikaa, on 50 mm paksun kuivausaika lähes kolminkertainen siihen verrattuna.*” (Sipi 2006, 122).

#### 4. SAHATAVARAN KUIVAUS KAMARIKUIVAAMOSSA

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.)



Kuva 7. Kamarikuivaamon läpileikkaus (PuuProffa 2011)

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 ilmassa. Märkälämpötila mitataan normaalilla lämpötila-anturilla kostutetun kankaan läpi, jotta mittaustulos olisi oikea. Kuiva- ja märkälämpötilan erotus määrää ilman suhteellisen kosteuden. (Sipi 2006, 125.)

#### 4.1 Kuivauksen vaiheet

Lämmitysvaiheessa märkä sahatavara, kuivaamon rakenteet ja kuivausilma lämmitetään haluttuun lämpötilaan. Lämmitysvaiheen kesto riippuu puulajista, puun alkulämpötilasta ja sen paksuudesta. Talviaikaan jäinen puu sulatetaan tässä vaiheessa ennen varsinaisen kuivauksen aloittamista. Ohjearvona voidaan pitää kesäisin 1 tunti/paksuuden 10 mm ja talvisin 2 tuntia/paksuuden 10 millimetriä. Lämmitysvaiheessa on tärkeää huolehtia siitä, ettei puu pääse kuivumaan. (Jääskeläinen 2010.)

Ensimmäisessä kuivausvaiheessa on tarkoitus poistaa soluonteloista niin sanottu vapaa vesi. Tässä vaiheessa kuivauslämpötila on vakio ja puun tasapainokosteus laskee kuivauksen edistyessä. Sidotun veden poistaminen puun syiden kyllästymispisteen alapuolella on seuraava kuivausvaihe. Lämpötilaa voidaan nostaa, jotta vesi saadaan siirtymään sahatavarakappaleen keskiosasta pintaan. Näiden kuivausvaiheiden kesto riippuu alku- ja loppukosteuksista, dimensiosta sekä kuivaamon ominaisuuksista. (Jääskeläinen 2010.)

Kun haluttu loppukosteus on saavutettu, siirrytään tasaannutusvaiheeseen. Sitä käytetään erityisesti erikoiskuivatun sahatavaran yhteydessä, kun kuivataan alhaisiin loppukosteuksiin. Tasaannutuksen tarkoituksena on poistaa kosteuseroja eri sahatavarakappaleiden välillä ja pienentää yksittäisen sahatavarakappaleen kosteusgradienttia eli kosteushajontaa pinta- ja sisäosien välillä. Tasaannutusvaiheessa kuivausilman suhteellinen kosteus valitaan siten, että puun tasapainokosteus on haluttu loppukosteus tai siten, että kuivausilman tasapainokosteus alittaa halutun loppukosteuden 1 - 2 prosenttiyksiköllä. Tasaannutusvaiheen jälkeen käytetään vielä lyhyttä jäähdytysvaihetta, jolla pyritään estämään kontrolloimatonta jälkikuivumista, jota tapahtuu kun kuivaamon ovet avataan heti kuivauksen päätyttyä. (Jääskeläinen 2010.)

#### 4.2 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.)

Rimaniput rimoitetaan Kinnaskoski Oy:llä 22 mm x 50 mm:n rimoilla. Kuivausriman pituus on sama kuin kuivauskuorman leveys. Kuivausrimat ovat kuivauksen kannalta välttämättömiä. Ne mahdollistavat kuivausilmankierron kuivauskuorman läpi. Ilman kuivausrimoja kosteus ei pääse haihtumaan kuivauskuorman sisäosista, ja sahatavarakappaleilla on suuri vaara homehtua. Kinnaskoski Oy:llä käytetään yhdeksää kuivausrimaa ja ne asetellaan automaattisella rimoituskoneella tarkasti samaan linjaan. Useammalla kuivausrimalla voidaan ehkäistä sahatavarakappaleiden muodonmuutoksia. Kuivausrimat lisäksi tukevoittavat rimanippuja ja tekevät niiden siirtelystä helpompaa. (Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus 1990, 29–30.)

#### 4.2.1 Kuivauskuorman pituus

Kuivauskuorman pituus ja kuivaamon koko tarvitsee mitoittaa siten, että pisimmästä sahattavasta tukista tulevat lankut ja laudat sopivat pituudeltaan rimanippuun. Rajoituksia pituudelle voivat asettaa myös tuotantolaitteet. Tavanomainen rimanipun pituus on hieman yli 6 metriä, jotta 6,1-metrisestä tukista saatavat sahatavarat mahtuvat kuivauskuormaan ongelmitta. (Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus 1990, 29–30.)

Mikäli kerralla sahataan paljon lyhyttä tukkia, lautojen pituudet vaihtelevat esitasauksen mukaan 3.0 ... 3.6 metrin välillä. Kun tällaiset laudat tasataan vuorotellen rimanipun molempiin päihin, ne eivät pysy koossa trukkipäilyssä. Lyhyelle lautatarvalle on mahdollista käyttää lyhyempää pakettipituutta, jotta käsittelyongelmia ei syntyisi. Tämä ei ole kuivauksen lopputuloksen kannalta paras vaihtoehto, mutta käytäntö menee teorian edelle. Eri lokeroon lajitellut lyhyet, esimerkiksi alle 3,9-metriset laudat voidaan rimoituksessa tasata vain yhteen päähän. Lyhyiden rimanipputornien väliin kuivaamoon olisi hyvä asettaa pitkistä laudoista tehty torni tai asettaa rimanipun kova reuna vuorotellen kuivaamon vasempaan ja oikeaan reunaan. Näin kuivaamon ilmankierto säilyy edes jotenkin kohtuullisena. (WSAB Oy 1993.)

#### 4.2.2 Kuivauskuorman korkeus

Kuivauskuorman korkeuden määrää kuivaamon korkeus. Kuivaustornin yläpuolelle jäävän tyhjän tilan tulisi olla mahdollisimman pieni. Liian ahdas sovitus ei kuitenkaan ole hyväksi, koska muuten kuivaamon täyttäminen pyöräkuormaajalla hankaloituu,

ellei jopa muutu mahdottomaksi. (Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus 1990, 29–30.)

Kinnaskoski Oy:llä pinotaan dimensioittain kuivaustorniin kaksi tai kolme rimanippua. Rajoittavana tekijänä on combilaitoksen lokeroiden korkeus. Kaikkien dimensioiden vaatima kappalemäärä ei mahdu lokeroon, jos yritetään tehdä kuivaustorni kahdesta isosta rimanipusta. Tässä tapauksessa kuivaustorni joudutaan tekemään kolmesta pienemmästä rimanipusta, jotta kappaleet mahtuvat lokeroon ongelmitta.

#### 4.2.3 Kuivauskuorman leveys

Rimanipun leveyden tulisi olla vähintään 1/3 koko kuivauskuorman korkeudesta, jotta kuivauskuorma on vakaa eikä kaadu kuivauksen aikana. Kuivausriman pituuden tulee olla yhtä suuri kuin kuivauskuorman leveys. Liian pitkä kuivausrima hankaloittaa rimanippujen käsittelyä pyöräkuormaajalla sekä rimanippujen purkua pakettihissillä. Liian lyhyt rima ei kykene pitämään rimanippua kunnolla kasassa, joten reunimmaisiet kappaleet putoilevat herkästi rimanipun kyljestä, etenkin kapealla sahatavaralla. Leveyssuunnassa kuivaustornien väliin tulisi jättää noin 10 cm:n rako, jotta kuivausilma ehtii tasaantumaan ennen seuraavaan torniin siirtymistä. (Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus 1990, 29–30.)

#### 4.3 Kamarikuivaus Kinnaskoski Oy:llä

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä 9 WSAB Oy:n toimittamaa pyöräkuormaajatäyttöistä kamarikuivaamo. Erikoiskuivaus on mahdollista aina 10 %:n loppukosteuteen asti. Kuivaamot saavat energiansa puun kuorta polttoaineena käyttävältä lämpölaitokselta. Kaikissa kamareissa kuivausilma kiertää poikittain, kohtisuoraan kuivauskuorman pituussuuntaa vastaan. Kuivausilman nopeus kuivaamossa voi olla jopa 4,1 m/s. Kuivaamoittain kuivauskuorman koko on 3 tai 4 kuivaustornia. Kaikkiin kamarikuivaamoihin investoitiin kesän 2010 aikana korkeapainekostutusjärjestelmä sekä juuri markkinoille tullut Valmatics-ohjausjärjestelmä. Laitteistot toimitti WSValutec Oy. (Kinnaskoski Oy 2011; WSAB Oy 1993.)

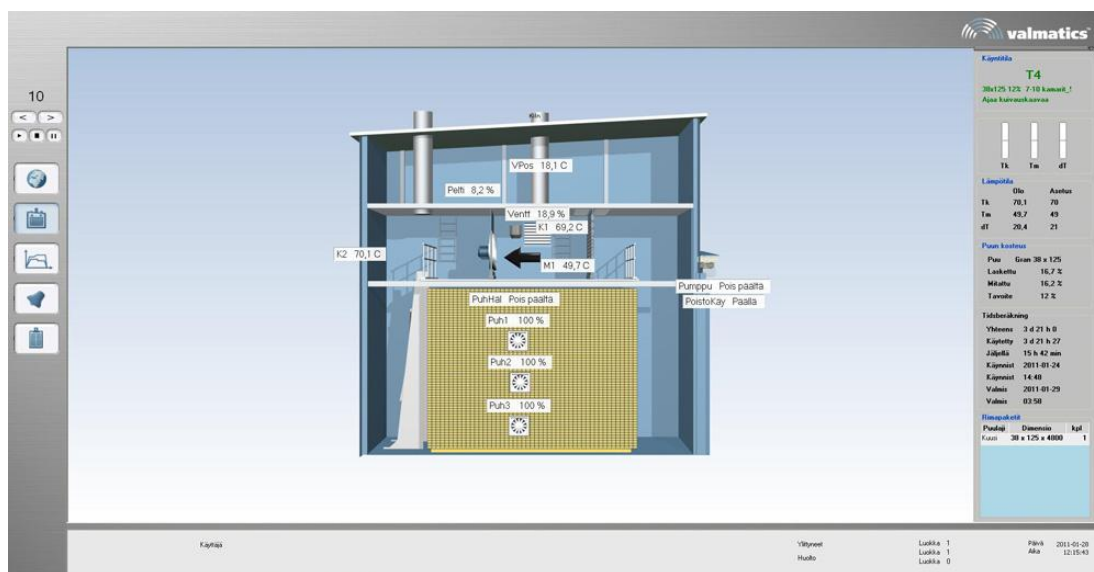


### 4.3.1 Korkeapainekostutusjärjestelmä

Korkeapainekostutusjärjestelmässä kostutusvesi esilämmitetään noin 90 °C:n lämpötilaan ja paine nostetaan noin 25 bariin. Esilämmitetty vesi lyhentää kuivauksen lämmitysvaihetta noin puoleen alkuperäisestä. Järjestelmä on optimoitu ottaen huomioon teho, käyttövarmuus, kestävyys ja huollettavuus. (WSValutec Oy 2010.)

### 4.3.2 Valmatics-ohjausjärjestelmä

Valmatics-järjestelmän avulla voidaan valvoa ja hallita kuivauskaavoja. Järjestelmä näyttää myös kuivausolosuhteet ja kuivauksen simuloitun etenemisen reaaliajassa. Kuivaamot voidaan ohjelman avulla luokitella eri rakenne- ja teholuokkiin, jotta jokaisesta kuivaamosta saadaan suurin hyöty irti. (WSValutec Oy 2010.)



Kuva 8. Valmatics-ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä sisältää Valusim-simulointityökalun, jonka avulla voidaan hakea kuivauskaavoihin optimaalisimpia parametreja. Simulointityökalulla voidaan lisäksi muuttaa kuivauskaava sopivaksi oikeaan vuodenaikaan nähden. Järjestelmän käyttö ei vaadi fyysistä läsnäoloa, vaan sitä on mahdollista etäkäyttää omalta kotitietokoneelta. (WSValutec Oy 2010.)

### 4.3.3 Kuivauspainot

Kinnaskoski Oy käyttää erityisesti erikoiskuivatuissa sahatavaroissa kuivaustornien päällä rimanipun pohjapinta-alan suuruisia, 25 cm paksuja betonipainoja. Betonipainojen avulla saadaan olennaisesti vähennettyä sahatavaralle kuivauksessa tapahtuvia muodonmuutoksia etenkin kuivaustornien ylimmissä kerroksissa.

### 4.3.4 FME-kosteusmittari

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä Brookhuis Micro Electronicsin valmistamia FME-kosteusmittareita. Mikroprosessoriohjattu kosteusmittari soveltuu puu- ja rakennustarvikkeiden kosteuksien mittaamiseen. FME-mittarissa on kaksi elektrodia, jotka lyödään puun sisään. Mittarille syötetyn puun lämpötilan ja puulajin perusteella se laskee puuaineen kosteuden. Mittariin voidaan lisälaitteena liittää lämpötila-anturi, jotta puun lämpötilan määrittäminen varastossa olisi helpompaa. Kinnaskoski Oy:llä ei lämpötila-anturia ole aiemmin ollut käytössä, mutta opinnäytetyön suorittamista varten semmoinen hankittiin. Kuivauskuormien kosteutta mitattaessa on aiemmin luettu tietokoneelta kuivaamon kuivalämpötila-arvo, joka vastaa melko tarkasti puun lämpötilaa kuivaamossa. Mittariin voidaan asettaa lämpötilakorjaus  $-40 \dots 90$  °C. Puun mittaustilasto on 5 ... 99 %. Mittaustarkkuus vertailumateriaaleilla on 0,3 %. (Brookhuis Micro Electronics 2011.)

## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

### 5.1 Tutkittavan dimension valinta

Tutkittavaksi sahatavaradimensioksi valittiin yhdessä työn ohjaajan, toimitusjohtaja Jyri Nenosen kanssa 38 mm x 125 mm, ja kappaleet kuivattiin  $12 \pm 2$  %:n loppukosteuteen. Valintapäätökseen vaikuttivat muun muassa säännöllinen sijainti sahausohjelmassa, suuret tuotantomäärät sekä halu tutkia erikoiskuivauksen onnistumista. Tutkittavaa dimensiota sahataan exlog2:na. Täysisärmäisyysrajana käytetään 157 mm, vaikka se on Tukki 4.1-sahausasetesimulaattorin mukaan 155 mm. Kyseessä olevan latvaläpimittaluokan tukit lajitellaan pituuden mukaan kahteen lokeroon, jotta sahausprosessi olisi sujuvampaa. Pidemmät lajitellaan lokeroon 10 ja lyhemmät lokeroon 14.

### 5.2 Tutkittavien kuivaamoiden valinta

Loppukosteusjakaumaa tutkittiin yhteensä neljässä kamarikuivaamossa. Tutkittavat kuivaamot valittiin siten, että samanlaisista kuivaamoista ei tehtäisi useampaa tutkimusta. Tutkittaviksi kuivaamoiksi valittiin 3, 5, 6 ja 8. Perustelut valinnoille olivat seuraavat; kamarit 3 ja 4 ovat samanlaiset, kamarit 5 ja 6 ovat muihin kamareihin verrattuna erilaiset ja kamarit 7 ... 10 ovat keskenään samanlaisia. Kamarit 3 ja 8 valittiin tutkimukseen sillä perusteella, että niissä vaihdettiin kuivauskuorma kun tutkittavat kuivauskuormat oli rimoitettu. Selvennykseksi todettakoon, että 1-kamaria ei ole olemassa, koska se on purettu pois kamarien 7 ... 10 rakennusvaiheessa. 2-kamari jätettiin tutkimuksesta pois, koska sen kuivausteho ei riitä erikoiskuivaukseen.

Kinnaskoski Oy:llä on käytössä kahden kokoisia kamarikuivaamoja. Pienempiin kuivaamoihin mahtuu 3 kuivaustornia ja isompiin 4 kuivaustornia. Kuivaamoihin mahtuu 3 rimanippua päällekkäin. Erikoiskuivauksessa ylimmän rimanipun päälle asetetaan kuivauspaino, joka vähentää kuivauksen aiheuttamia muodonmuutoksia. Pieniin kuivaamoihin mahtuu 9 rimanippua ja isompiin 12 rimanippua.

### 5.3 Mitattavien kappaleiden lukumäärä ja sijainti rimanipussa

Jokaisesta kuivauskuorman rimanipusta päätettiin valita mitattavaksi 8 kappaletta.

Pienestä kuivaamosta merkittiin 72 kappaletta ja isosta 96 kappaletta. Siten hajonta saatiin riittävän suureksi. Neljästä kuivaamosta mitattavia kappaleita kertyi yhteensä 336. Mitattavien kappaleiden päät maalattiin spraymaalilla ennen kuivauskuorman laittamista kuivaamoon. Uloimmat kuivaustornit maalattiin sinisellä ja sisemmät punaisella värillä. Mitattavat kappaleet sijaitsivat rimanipuissa kuvan 9 osoittamalla tavalla.

Loppukosteushajontaa päätettiin myös tutkia kuivauskuorman korkeussuunnassa, koska ainakin alle 32 mm:n kappaleilla on havaittu, että kuivauskuorman yläosat kuivavat alaosa kuivemmiksi (Hirvelä 2011). Kuivaustornien alimmaisiiin rimanippuihin merkittiin numero 1, keskimmäisiin numero 2 ja ylimmäisiin numero 3. Näin kosteusmitauksia tehdessä oli helppo selvittää, mistä kohtaa kuivauskuormaa mitattava kappale oli.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

Kuva 9. Mitattavien kappaleiden sijainti rimanipun päätyä tarkasteltaessa

Mitattavia kappaleita ei valittu rimanippujen kahdesta reunimmaisesta rivistä, kahdesta ylimmäisestä eikä alimmaisesta kerroksesta, koska on mahdollista, että ne kuivuvat sisäosia nopeampaa suuremman ilmannopeuden takia. Rimanippujen välissä käytettiin 63 mm paksuja välipuita. Sen takia rimanippujen väleistä ilma kiertää nopeammin kuin 22 mm paksujen kuivausrimojen välistä.

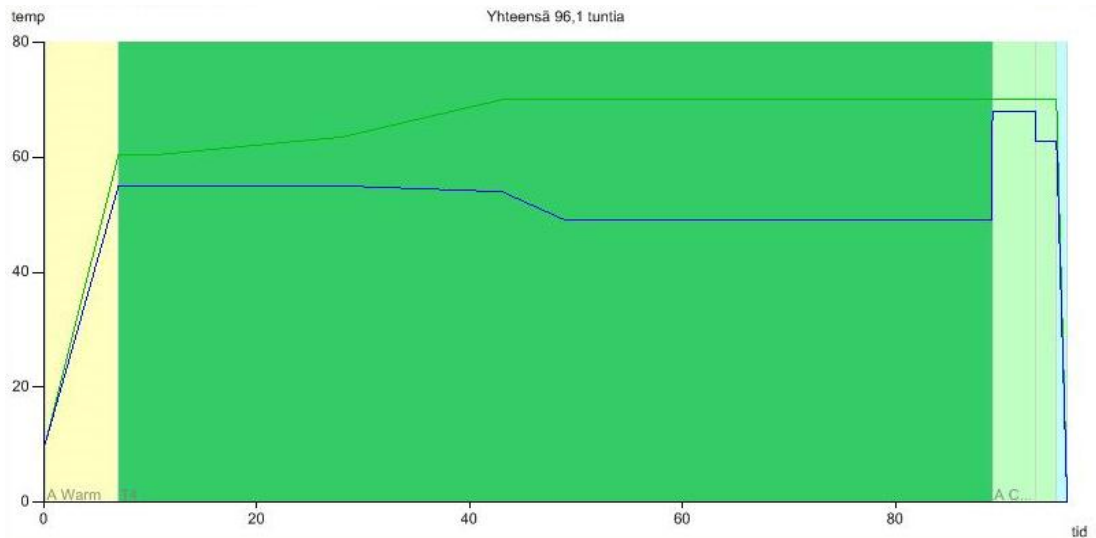


Kuva 10. Kosteusmittauskappaleet merkittynä 8-kamarin kuivauskuormassa

#### 5.4 Kuivauskaava

Kuivattaessa 38 x 125 mm:n sahatavaraa loppukosteuteen 12 ±2 % käytettiin kuvan 11 kuivauskaavaa. Kuivauskaavan ohjeellinen kesto oli 96,1 tuntia. Vasemmalla oleva vaalea palkki esittää lämmitysajan kestoa, tumman vihreä esittää kuivausvaiheen kestoa, vaaleanvihreä esittää tasaannutusvaiheen kestoa ja oikealla näkyvä ohut sininen palkki esittää jäähdytysvaiheen kestoa. Vihreällä viivalla on kuvattu kuivaamon kuivalämpötilaa ja sinisellä viivalla märkälämpötilaa.

Kuivauskaavan pituus vaihteli hieman eri kuivaamoiden välillä, koska kuivaamoiden lämmitys- ja puhalluslaitteistot eroavat toisistaan. Valmatics-ohjausjärjestelmä ottaa kuivauskaavaa tehdessään huomioon nämä erot ja luo jokaiselle kuivaamolle optimaalisen kuivauskaavan.



Kuva 11. Kuivauksissa käytetty kuivauskaava (Kinnaskoski Oy 2011)

### 5.5 Kosteuden mittaus kuivauskuorman pinnasta

Kuivauskaavan päätyttyä kuivauskuorman kosteus mitattiin ensimmäisen kuivaustorin pinnasta. Mittauksia suoritettiin satunnaisesti 10 sahatavarakappaleesta jokaisesta tutkittavasta kuivaamosta. Kosteusmittarissa käytettiin 25 mm pitkiä piikkejä. Mittaukset suoritettiin sahatavarakappaleen syrjästä, koska eurooppalaisen kuivausstandardin (ENV 13183-2 + AC) edellyttämät mittaukset lappeelta ovat mahdottomia toteuttaa käytännössä. Piikit lyötiin puuhun 25 mm:n syvyyteen, joten mittaussyvyudeksi tuli 1/5 leveydestä, kuten FME-kosteusmittarin ohjekirjassa suositeltiin syrjämittauksia tehtäväksi.

### 5.6 Kosteusmittauskappaleiden erottelu kuivauskuormasta

Kosteusmittauskappaleet eroteltiin kuivauskuormasta kuivalajittelun yhteydessä. Normaalisti ne lajitellaan siten, että valtalautana on U/S ja kameralajittelu erottelee V- ja VI-laadut omiin lokeroihinsa. Käytettävään lajitteluohjelmaan jouduttiin lisäämään lajittelurivi mitattaville kappaleille, joka ohjasi ne omaan lokeroonsa. Kosteusmittauskappaleet laadutettiin manuaalisesti, koska kameralajittelu ei olisi ymmärtänyt kappaleiden päissä olevia värimerkintöjä. Suuren linjanopeuden takia kappaleet merkittiin todella selvästi, jotta lajittelija havaitsisi kappaleet helposti ja pystyisi lajittelemaan merkityt kappaleet omaan lokeroonsa ongelmitta.

Selvistä merkinnöistä huolimatta lajitteluvaiheessa tapahtui hävikkiä yhdellä kuivauskuormalla. Oletettavasti syynä tähän oli se, että suuren linjanopeuden takia laaduttaminen oli tapahtunut hieman väärään aikaan. Seurauksena ohilaaduttamisesta oli se, että laaduttaminen osuikin linjalla viereiseen, merkitsemättömään kappaleeseen. Merkitsemättömiä kappaleita löytyi joka kuivauskuormalla merkittyjen joukosta muutamia. Kosteusmittauksia niistä ei kuitenkaan tehty, koska sijaintia kuivauskuormassa ei voitu paikallistaa.

## 5.7 Kosteuden mittaaminen kuivauskuorman sisäosista

Jokaisesta merkitystä kappaleesta suoritettiin kolme kosteusmittausta. Mittauksia pienestä kuivaamosta tuli yhteensä 216 kappaletta ja isosta 288 kappaletta, jos ei yhtään hävikkiä ollut. Koko tutkimuksen aikana kosteusmittauksia suoritettiin kuivauskuorman sisäosista 1 008 kappaletta. Mittauskohdat olivat seuraavat: noin 60 cm:n etäisyydeltä tyvipäästä, keskeltä ja noin 60 cm:n etäisyydeltä latvapäästä. Mittauskohdaksi valittiin oksaton ja suorasyinen kohta, jotta mittaus tulokset olisi luotettava.

Kosteusmittauskappaleiden ollessa erillään olisi eurooppalaisen kuivausstandardin (ENV 13183-2 + AC) mukaiset mittaukset olleet mahdollisia. Kinnaskoski Oy:n toivomuksesta kosteus mitattiin kuitenkin syrjämittauksina, vastaavalla tavalla kuin he suorittavat mittauksia kuivauskuormista, jotta tuloksista saataisiin vertailukelpoiset. Ennen mittauksia kappaleiden annettiin tasaantua vuorokausi 15 ... 20 °C:n lämpötilassa, jotta lämpötilakorjauksen määrittäminen helpottui eikä lämpötila-anturille tarvinnut porata reikää jokaiseen mitattavaan kappaleeseen.

## 5.8 Ongelmat

### 5.8.1 Aika

Työn suorituksessa esiintyi muutamia ongelmia, mutta ne saatiin ratkaistua yhteistyössä Kinnaskoski Oy:n henkilökunnan kanssa. Suurimmaksi ongelmaksi osoittautui välimatka Kotkan ja Vilppulan välillä. Kävin normaalisti koulussa maanantaista torstaihin koko kevään ajan, joten en voinut olla paikalla aina, kun olisi tarvinnut.

Jouduin tekemään ohjeet kosteusmittauskappaleiden merkitsemisestä kuivauskuormaan, jotta Kinnaskoski Oy:n henkilökunta pystyisi tarvittaessa tekemään merkintöjä puolestani. Lopulta kuitenkin merkitsin kappaleet yhtä kuivauskuormaa lukuun ottamatta itse. Kuivauskuorman pintaosat mittasi kokonaisuudessaan Kinnaskoski Oy:n jälkikäsitteilypäällikkö Markku Nenonen. Kuivauskuorman sisäosien kosteusmittaukset tein perjantaisin, viikonloppuisin ja koulun hiihtoloman aikana.

### 5.8.2 Kosteusmittauskappaleiden erotteleminen

Kosteusmittauskappaleiden erotteleminen muusta kuivauskuormasta osoittautui myös haasteelliseksi. Aluksi oli tarkoitus mitata kosteus pakettihissin ja lajittelulaitokseen nostavan kiramon välisellä kuljettimella. Mittausten hitaan suoritusnopeuden takia idea kuitenkin hylättiin. Seuraavaksi oli tarkoitus poimia mittauskappaleet pois kuljettimelta samasta kohdasta, jossa mittauksia oli aluksi tarkoitus suorittaa. Mittauskappaleiden suuren lukumäärän takia tästäkin ideasta jouduttiin luopumaan. Ongelma ratkaistiin lopulta yhdessä Kinnaskoski Oy:n henkilökunnan kanssa. Mittauskappaleet päätettiin lajitella lajittelulaitoksessa manuaalisesti erilleen päätymerkintöjen perusteella. Lajittelua varten lajitteluohjelmaan lisättiin ylimääräinen rivi, johon kosteusmittauskappaleet lajiteltiin.

### 5.8.3 Laadutettujen kosteusmittauskappaleiden joutuminen hylkylokeroon

Lajittelulaitoksessa lajittelijan tekemä manuaalinen laadutus on lopullinen, eikä kameranlajittelu voi sitä päätöstä enää muuttaa. Lajiteltaessa 38 x 125 mm:n erää muutamia merkittyjä kappaleita joutui kuitenkin lajittelulinjan perällä olevaan hylkylokeroon. Lajittelun loputtua hylkylokero jouduttiin tyhjäämään, jotta merkityt kappaleet saatiin mittauksia varten talteen.

Ongelma saatiin ratkaistua vasta lajiteltaessa toista tutkittavaa kuivauskuormaa. Keskustelin ongelmasta lajittelemassa olleen työntekijän kanssa, ja hän epäili, että lajitteluohjelman rivissä olisi vikaa. Olin laittanut lajitteluohjelman riville merkittyjen kappaleiden maksimipituudeksi 6 100 mm ja katkaisusäännöt pois päältä, jotta terät eivät poistaisi sahatavaran päähän merkittyjä sijaintitietoja. Osa mitattavista kappaleista oli kuitenkin yli 6 100 mm pitkiä, ja kun katkaisusäännöt olivat pois, ei automatiikka



osannut päättää, mihin lokeroon kappaleet pudotetaan, joten ne menivät hylkylokeron. Ongelma korjaantui, kun lajitteluohjelman riville vaihdettiin maksimipituudeksi 6 200 mm.

#### 5.8.4 Kosteusmittarin toiminta

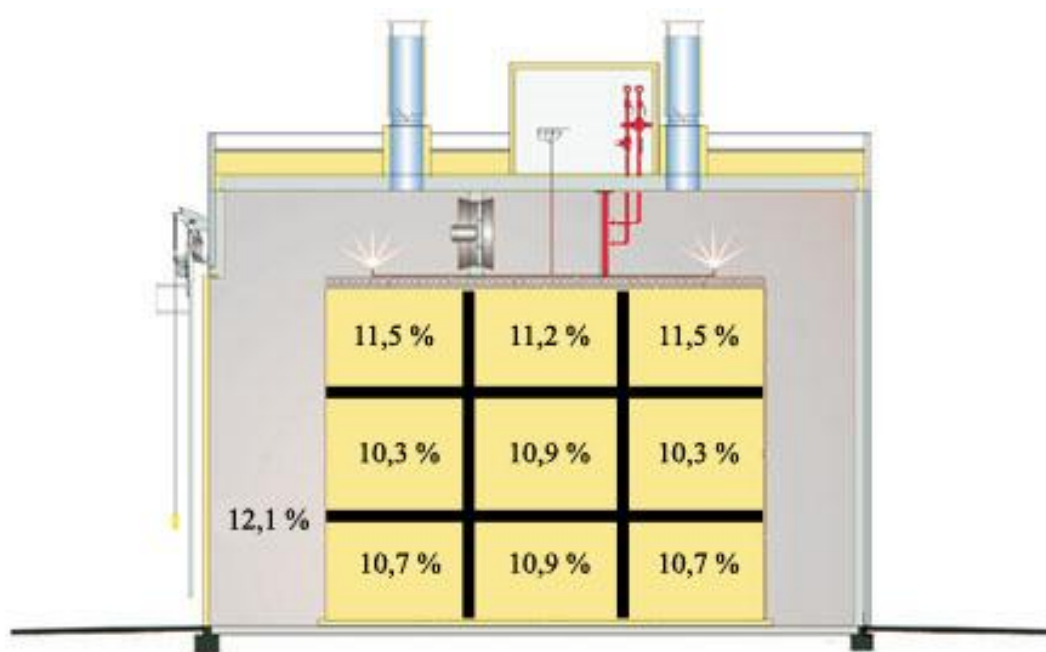
Ennen tutkimuksen tekoa minulla oli melko vähän kokemusta kosteusmittarin käytöstä. Tehdessäni kosteusmittauksia 5-kamarista, käyttämäni kosteusmittari ei toiminut kunnolla. Mittarilukema vilkkui ja vaihteli 5 ... 25 % välillä. Kinnaskoski Oy:n henkilökunnan neuvojen mukaan vaihdoin kosteusmittarin johdon. Se ratkaisi ongelman, ja kosteusmittauksia päästiin jatkamaan.

Tutkimuksen aikana yksi kosteusmittari jouduttiin myös lähettämään huoltoon, koska se muutti itsekseen puulaji- ja lämpötilakorjaimen arvoja. Vika havaittiin onneksi ennen mittausten suorittamista, eikä se päässyt vaikuttamaan mittaustulosten oikeellisuuteen.

## 6 TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 6.1 Kamari 3

3-kamarista mitattiin kaikki suunnitellut 72 kappaletta. Kuvasta 12 nähdään sahatavarakappaleiden keskiarvokosteuksien jakautuminen kuivauskuorman sisällä. Kahdesta uloimmasta kuivaustornista mitattiin yhteensä 48 kappaletta. Uloimpien kuivaustornien keskiarvokosteudeksi saatiin 10,8 % ja keskihajonnaksi 1,1. Sisemmästä kuivaustornista mitattiin 24 kappaletta. Sisemmän kuivaustornin keskiarvokosteus oli 11,0 % ja keskihajonta 0,6. Koko kuivauskuorman keskiarvokosteus oli 10,9 % ja keskihajonta 0,9. Kuivauskuorman pinnasta suoritettujen kosteusmittauksien keskiarvoksi saatiin 12,1 % ja keskihajonnaksi 0,8.

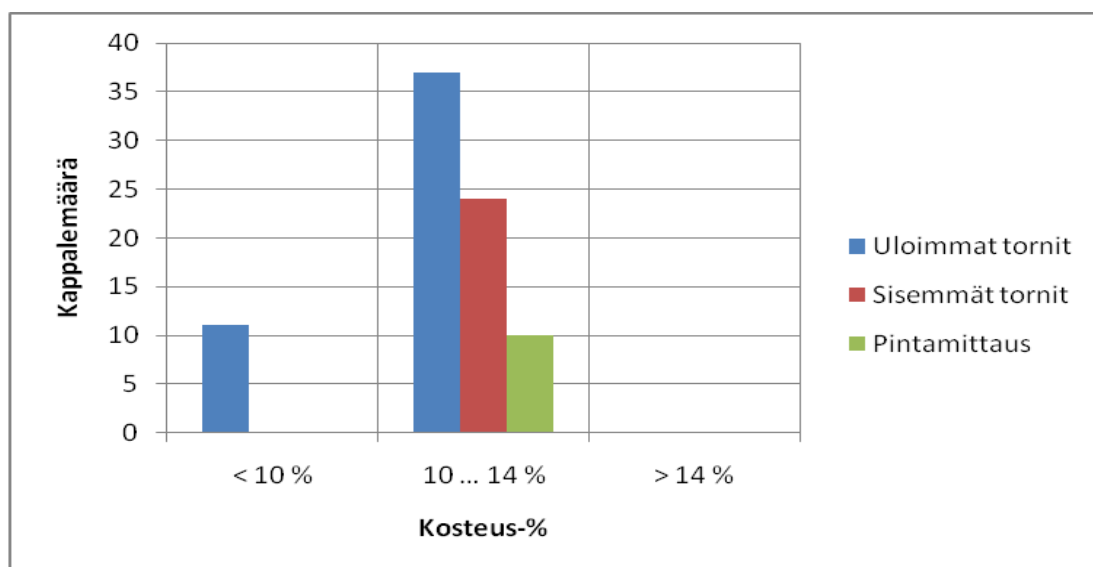


Kuva 12. Kosteusjakauma 3-kamarin sisällä

3-kamarissa kuivauskuorman uloimpien kuivaustornien ja sisemmän kuivaustornin väliset kosteuserot ovat hyvin pienet. Sisemmissä ja uloimmissa kuivaustorneissa kuivauskuorman yläosat jäivät kuivauskuorman alaosia kosteammiksi. Alimmaisissa rimanipuissa sisempi torni oli vain 0,2 prosenttiyksikköä kosteampi kuin uloimmat tornit. Keskimmaisissa rimanipuissa ero oli 0,6 prosenttiyksikköä. Ylimmaisissa rimanipuissa kuivauskuorman uloimmat tornit ovat 0,3 prosenttiyksikköä kosteampia

kuin kuivauskuorman sisemmät tornit.

Jokainen sahatavarakappale mitattiin kolmesta kohtaa: noin 60 cm:n etäisyydeltä latvasta, keskeltä ja noin 60 cm:n etäisyydeltä tyvestä. Mittausten perusteella jokaiselle sahatavarakappaleelle määritettiin keskimääräinen kosteus. Kuvasta 13 voidaan havaita kuivauskuormasta mitattujen sahatavarakappaleiden keskimääräisellä kosteudella suoritettu kosteusjakauma.



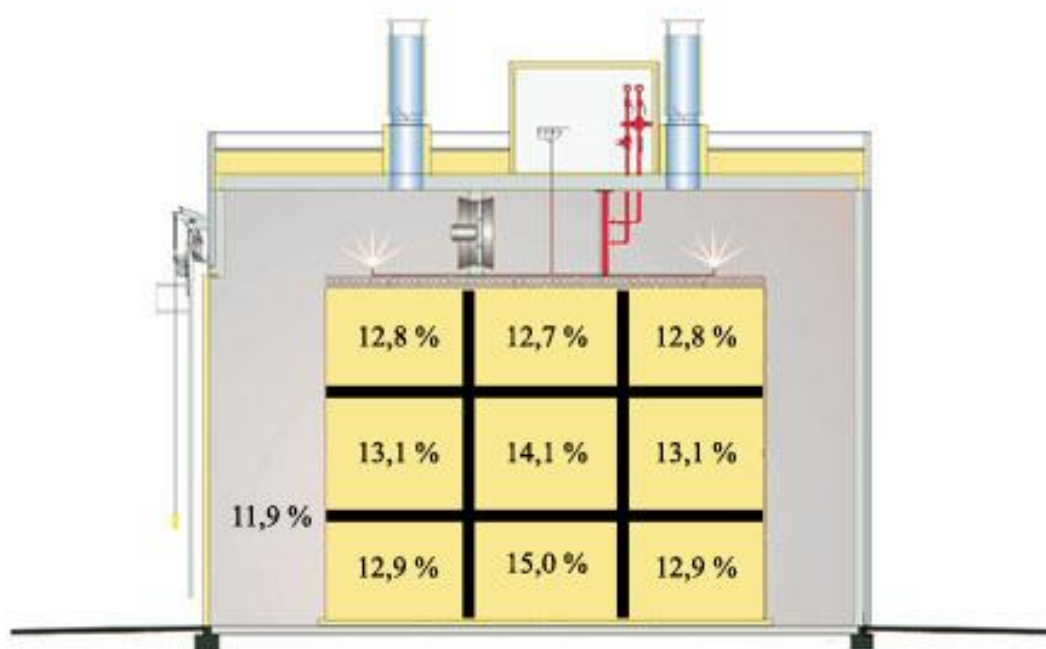
Kuva 13. Kosteusmittauskappaleiden kesikosteushajonta 3-kamarissa

Sahatavaran haluttu loppukosteus oli  $12 \pm 2$  %. Yli 14 %:n keskimääräistä kosteutta ei 3-kamarissa olleessa kuivauskuormassa ollut ainuttakaan. Alle 10 %:n keskimääräinen kosteus mitattiin yhteensä 11 kappaleesta. Kaikki liian kuivaksi kuivatut kappaleet sijaitsivat kuivauskuorman uloimmissa kuivaustorneissa. Loput 37 kuivauskuorman sisältä mitattua kappaletta olivat keskimääräiseltä kosteudeltaan haluttua loppukosteutta. Pintamittauksia suoritettiin kuivauskuorman vaihdon yhteydessä yhteensä 10 kappaletta satunnaisista sahatavarakappaleista kuivauskuorman pinnasta. Kaikki pintamittauskappaleet olivat haluttua loppukosteutta.

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 2 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 3.

## 6.2 Kamari 5

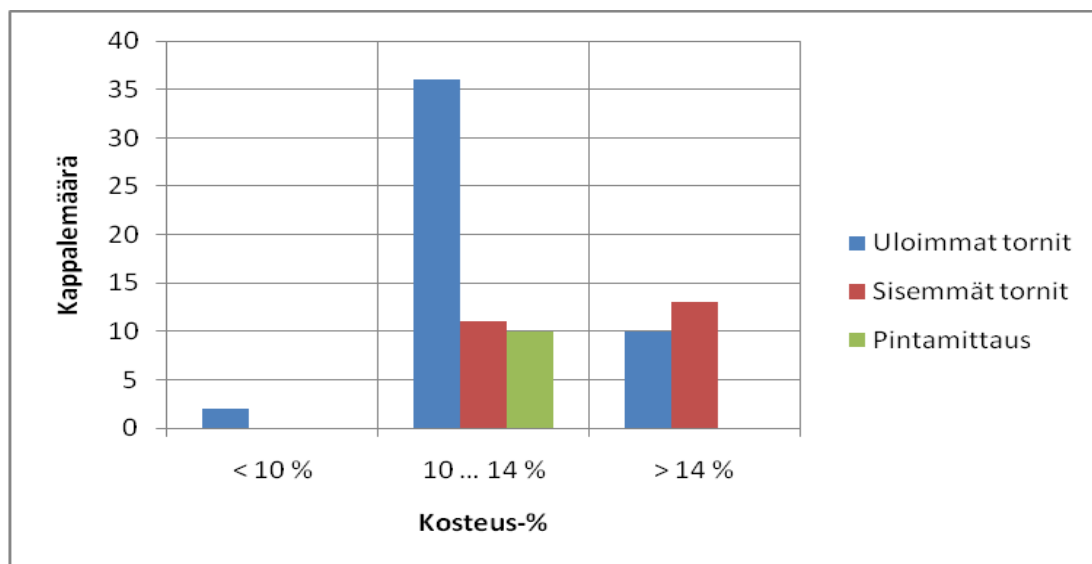
5-kamarista mitattiin kaikki suunnitellut 72 kappaletta. Kuvasta 14 nähdään sahatavarakappaleiden keskiarvokosteuksien jakautuminen kuivauskuorman sisällä. Kahdesta uloimmasta kuivaustornista mitattiin yhteensä 48 kappaletta. Uloimpien kuivaustornien keskiarvokosteudeksi saatiin 12,9 % ja keskihajonnaksi 1,6. Sisemmästä kuivaustornista mitattiin 24 kappaletta. Sisemmän kuivaustornin keskiarvokosteus oli 13,9 % ja keskihajonta 1,7. Koko kuivauskuorman keskiarvokosteus oli 13,4 % ja keskihajonta 1,6. Kuivauskuorman pinnasta suoritettujen kosteusmittauksien keskiarvoksi saatiin 11,9 % ja keskihajonnaksi 0,9.



Kuva 14. Kosteusjakauma 5-kamarin sisällä

5-kamarissa sisempi kuivaustorni jäi uloimpia kuivaustorneja kosteammaksi. Kosteusero oli keskimääräisesti 1,0 prosenttiyksikköä. Sisemmän kuivaustornin alaosassa olevat kappaleet kuivuivat huonommin kuin kuivaustornin yläosassa olevat. Uloimmilla kuivaustorneilla korkeussuuntaiset vaihtelut ovat hyvin pieniä.

Jokainen sahatavarakappale mitattiin kolmesta kohtaa: noin 60 cm:n etäisyydeltä latvasta, keskeltä ja noin 60 cm:n etäisyydeltä tyvestä. Mittausten perusteella jokaiselle sahatavarakappaleelle määritettiin keskimääräinen kosteus. Kuvasta 15 voidaan havaita kuivauskuormasta mitattujen sahatavarakappaleiden keskimääräisellä kosteudella suoritettu kosteusjakauma.



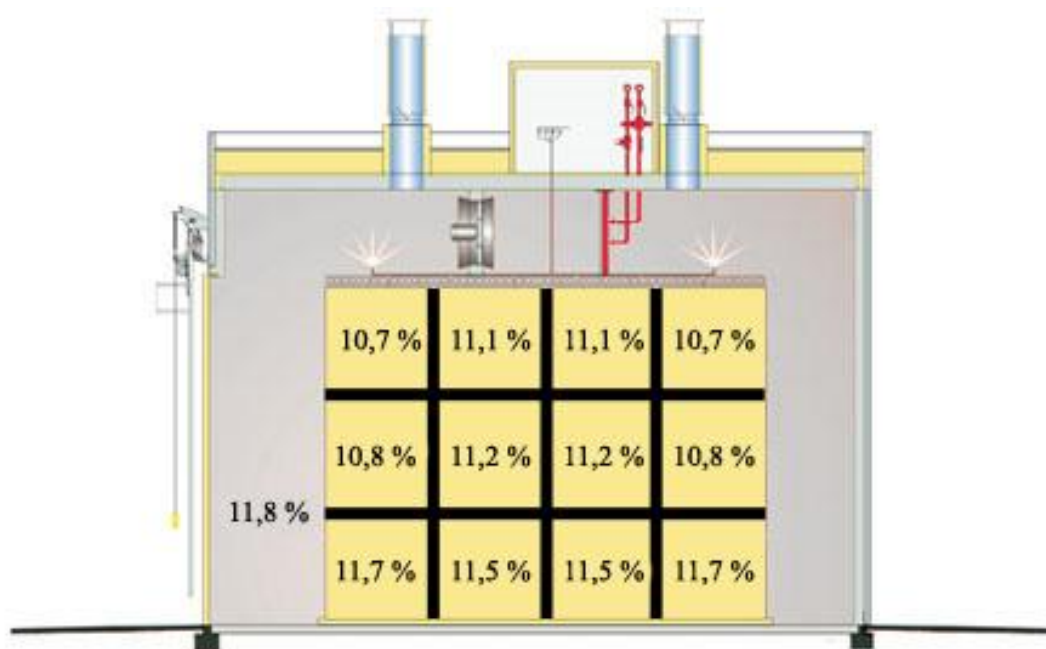
Kuva 15. Kosteusmittauskappaleiden kesikosteushajonta 5-kamarissa

Sahatavaran haluttu loppukosteus oli  $12 \pm 2$  %. Yli 14 %:n keskimääräistä kosteutta mitattiin 5-kamarissa olleesta kuivauskuormassa yhteensä 23 kappaletta. Niistä 10 kappaletta sijaitsi uloimmissa kuivaustorneissa ja 13 kappaletta sisemmässä kuivaustornissa. Alle 10 %:n keskimääräinen kosteus mitattiin yhteensä kahdesta kappaleesta. Molemmat liian kuivaksi kuivatut kappaleet sijaitsivat kuivauskuorman uloimmissa kuivaustorneissa. Loput 47 kuivauskuorman sisältä mitattua kappaletta olivat keskimääräiseltä kosteudeltaan haluttua loppukosteutta. Pintamittauksia suoritettiin kuivauskuorman vaihdon yhteydessä yhteensä 10 kappaletta satunnaisista sahatavarakappaleista kuivauskuorman pinnasta. Kaikki pintamittauskappaleet olivat haluttua loppukosteutta.

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 4, kuivauksessa toteutunut kuivauskaavan alku liitteessä 5 ja jatko liitteessä 6.

## 6.3 Kamari 6

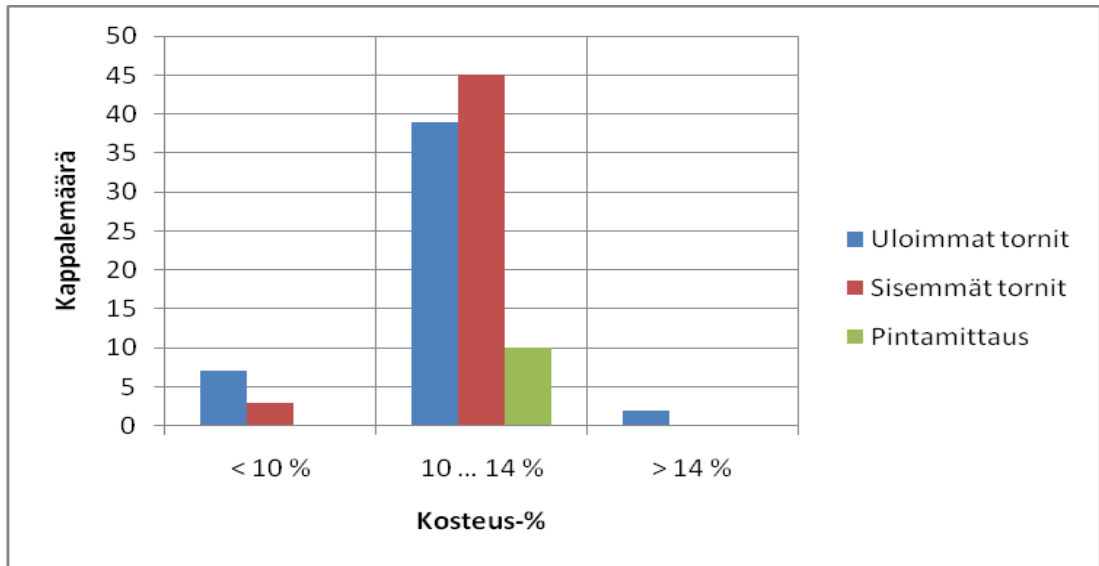
6-kamarista mitattiin kaikki suunnitellut 96 kappaletta. Kuvasta 16 nähdään sahatavarakappaleiden keskiarvokosteuksien jakautuminen kuivauskuorman sisällä. Kahdesta uloimmasta kuivaustornista mitattiin yhteensä 48 kappaletta. Uloimpien kuivaustornien keskiarvokosteudeksi saatiin 11,1 % ja keskihajonnaksi 1,1. Sisemmästä kuivaustornista mitattiin 48 kappaletta. Sisemmän kuivaustornin keskiarvokosteus oli 11,3 % ja keskihajonta 1,0. Koko kuivauskuorman keskiarvokosteus oli 11,2 % ja keskihajonta 1,0. Kuivauskuorman pinnasta suoritettujen kosteusmittauksien keskiarvoksi saatiin 11,8 % ja keskihajonnaksi 1,0.



Kuva 16. Kosteusjakauma 6-kamarin sisällä

6-kamarissa uloimmat kuivaustornit olivat sisempiä kuivaustorneja hieman kuivemmat. Kosteusero oli 0,2 prosenttiyksikköä. Kuivauskuorman uloimmissa torneissa korkeussuuntainen kosteusvaihtelu oli 1,0 prosenttiyksikköä siten, että ylimmät rimaniput olivat alimpia kuivempia. Sisemmillä kuivaustorneilla korkeussuuntainen kosteusvaihtelu oli vain 0,4 prosenttiyksikköä. Myös sisempien kuivaustornien ylimmät rimaniput kuivuivat alimpia rimanippuja paremmin. Sekä uloimmilla että sisemmillä kuivaustorneilla keskimmäiset rimaniput olivat 0,1 prosenttiyksikköä ylimpiä rimanippuja kosteampia.

Jokainen sahatavarakappale mitattiin kolmesta kohtaa: noin 60 cm:n etäisyydeltä latvasta, keskeltä ja noin 60 cm:n etäisyydeltä tyvestä. Mittausten perusteella jokaiselle sahatavarakappaleelle määritettiin keskimääräinen kosteus. Kuvasta 17 voidaan havaita kuivauskuormasta mitattujen sahatavarakappaleiden keskimääräisellä kosteudella suoritettu kosteusjakauma.



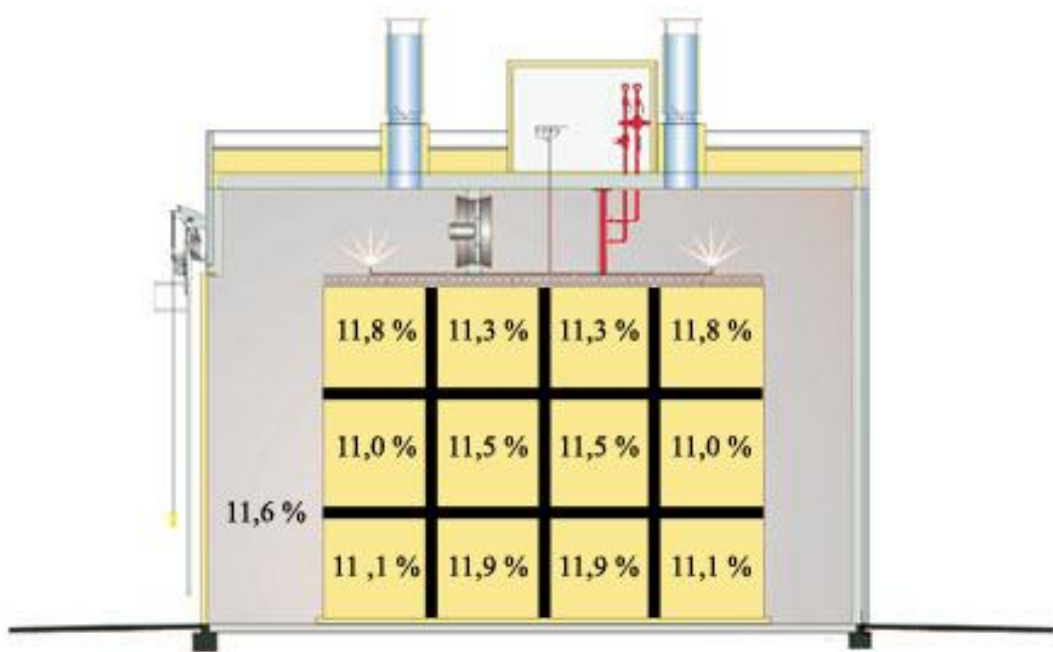
Kuva 17. Kosteusmittauskappaleiden keskimosteushajonta 6-kamarissa

Sahatavaran haluttu loppukosteus oli  $12 \pm 2$  %. Yli 14 %:n keskimääräistä kosteutta mitattiin 6 kamarissa olleesta kuivauskuormasta kahdesta kappaleesta. Molemmat niistä sijaitsivat uloimmissa kuivaustorneissa. Alle 10 %:n keskimääräinen kosteus mitattiin yhteensä 10 kappaleesta. Liian kuivista kappaleista 7 sijaitsi uloimmissa kuivaustorneissa ja 3 sisemmissä kuivaustorneissa. Loput 84 kuivauskuorman sisältä mitattua kappaletta olivat keskimääräiseltä kosteudeltaan haluttua loppukosteutta. Pintamittauksia suoritettiin kuivauskuorman vaihdon yhteydessä yhteensä 10 kappaletta satunnaisista sahatavarakappaleista kuivauskuorman pinnasta. Kaikki pintamittauskappaleet olivat haluttua loppukosteutta.

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 7 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 8.

## 6.4 Kamari 8

8-kamarista mitattiin 90 kappaletta. Tarkoitus oli mitata yhteensä 96 kappaletta, mutta 6 kappaletta oli lajitteluvaiheessa hävinnyt ilmeisesti ohilaadutuksen takia. Kuvasta 18 nähdään sahatavarakappaleiden keskiarvokosteuksien jakautuminen kuivauskuorman sisällä. Kahdesta uloimmasta kuivaustornista mitattiin yhteensä 48 kappaletta. Uloimpien kuivaustornien keskiarvokosteudeksi saatiin 11,3 % ja keskihajonnaksi 1,1. Sisemmästä kuivaustornista mitattiin 48 kappaletta. Sisemmän kuivaustornin keskiarvokosteus oli 11,6 % ja keskihajonta 1,0. Koko kuivauskuorman keskiarvokosteus oli 11,4 % ja keskihajonta 1,1. Kuivauskuorman pinnasta suoritettujen kosteusmittauksien keskiarvoksi saatiin 11,6 % ja keskihajonnaksi 1,0.

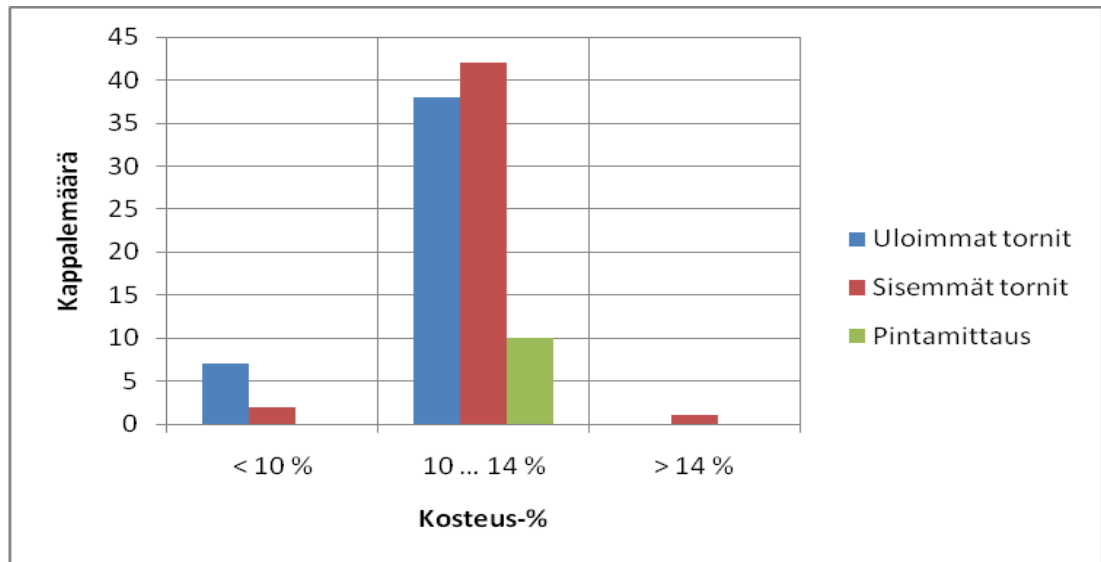


Kuva 18. Kosteusjakauma 8-kamarin sisällä

8-kamarissa kuivauskuorman sisemmät kuivaustornit jäivät ulompia kuivaustorneja 0,3 prosenttiyksikköä kosteammaksi. Uloimmissa kuivaustorneissa ylimmät rima-riput jäivät kuivauskuorman keskimmäisiä ja alimpia rima-rippuja kosteammiksi. Sisemmissä kuivaustorneissa puolestaan kuivaustornien alaosat olivat yläosia 0,6 prosenttiyksikköä kosteampia.



Jokainen sahatavarakappale mitattiin kolmesta kohtaa: noin 60 cm:n etäisyydeltä latvasta, keskeltä ja noin 60 cm:n etäisyydeltä tyvestä. Mittausten perusteella jokaiselle sahatavarakappaleelle määritettiin keskimääräinen kosteus. Kuvasta 19 voidaan havaita kuivauskuormasta mitattujen sahatavarakappaleiden keskimääräisellä kosteudella suoritettu kosteusjakauma.



Kuva 19. Kosteusmittauskappaleiden kesikosteushajonta 8-kamarissa

Sahatavaran haluttu loppukosteus oli  $12 \pm 2$  %. Yli 14 %:n keskimääräistä kosteutta mitattiin 8-kamarissa olleesta kuivauskuormasta vain yhdestä kappaleesta, joka sijaitsi sisemmissä kuivaustorneissa. Alle 10 %:n keskimääräinen kosteus mitattiin yhteensä yhdeksästä kappaleesta. Liian kuivista kappaleista 7 sijaitsi uloimmissa kuivaustorneissa ja 2 sisemmissä kuivaustorneissa. Loput 80 kuivauskuorman sisältä mitattua kappaletta olivat keskimääräiseltä kosteudeltaan haluttua loppukosteutta. Pintamittauksia suoritettiin kuivauskuorman vaihdon yhteydessä yhteensä 10 kappaletta satunnaisista sahatavarakappaleista kuivauskuorman pinnasta. Kaikki pintamittauskappaleet olivat haluttua loppukosteutta.

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 9 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 10.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

### 7.1 Kamari 3

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 2 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 3.

Kuivaamon olosuhteet olivat ongelmalliset, koska kuivalämpö ei pysynyt halutussa asetusarvossa, säätöautomaattika oli nostanut märkälämpötilaa, kun pellit menivät luultavasti kiinni. Sen takia lämpötilaerotus pieneni huomattavasti, ilman suhteellinen kosteus kasvoi ja kuivuminen hidastui.

Kuivauskaavasta näkyy 90 tunnin kohdalla harmaa pystysuora viiva, joka kuvastaa kohtaa, jossa kuivaamohoitaja oli pysäyttänyt kuivauksen ja käynyt suorittamassa tarkastusmittauksia kuivaamossa. Hän kuitenkin havaitsi kuivauskuorman ylikosteaksi ja jatkoi kuivausta. Samalla kuivaamosta otettiin kostutus pois päältä, jotta kuivaamon kuivalämpötila pysyi selvästi paremmin halutussa asetusarvossa. Tämän muutoksen ansiosta myös märkälämpötila ja lämpötilaerotus pysyivät asetusarvoissa ja kuivuminen jatkui normaalisti.

Kuivauskaavan kestoksi muodostui lopulta hieman yli 140 tuntia. Kuivauskuorman pinnasta suoritettut mittaukset olivat todella hyviä. Pintamittausten keskiarvokosteus oli 12,1 %. Kuivauskuorman sisäosia mitattaessa keskimääräinen kosteus oli mitatuilla kappaleilla 10,9 %. Mitattavat kappaleet odottivat sisäosien mittauksia melkein kaksi viikkoa sisällä 20 °C:n lämpötilassa. Tämä selittää 1,2 prosenttiyksikön eron kuivauskuorman etupinnan ja sisäosien mittaustulosten välillä.

Tasaantumisesta kertoo myös se, että kuivauskuorman uloimpien ja sisimmäisen kuivaustornin väliset erot olivat hyvin pieniä. Lisäksi sahatavarakappaleista suoritettujen latva- ja tyvimittausten välinen kosteusero oli 5- ja 8-kamareihin verrattuna huomattavasti paljon pienempi.

## 7.2 Kamari 5

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 4, kuivauksessa toteutunut kuivauskaavan alku liitteessä 5 ja jatko liitteessä 6.

Kuivaus sujui ongelmitta 3,5 vuorokauden ajan, mutta sitten tapahtui jotain odottamatonta. Kuivauskaavan piti valmistua erääksi lauantaiamuksi. Perjantai-iltana kello kymmeneltä suoritettua tarkastuksessa kuivaamo toimi vielä normaalisti. Tullessaan aamulla suorittamaan kuivauskuorman vaihtoa kuivaamonhoitaja kuitenkin huomasi, ettei kuivaamo enää käynyt, vaikka sen piti olla yhä käynnissä. Kyseisenä perjantain ja lauantain välisenä yönä lumen painosta katkeilleet puut olivat aiheuttaneet sähkökatkoja ympäri Pirkanmaata. Luultavasti syy kuivaamon pysähtymiseen oli siis sähkökatkos, jonka jälkeen kuivaus ei ollut automaattisesti jatkunut. Toteutuneesta kuivauskaavasta ei kuitenkaan löydy mitään merkkejä ongelmasta. Se vain näytti, että kuivaus olisi sujunut melko hyvin asetusarvoissaan. Kuivausta jouduttiin jatkamaan vuorokaudella, koska kuivattava erä oli mittaushetkellä ylikosteaa.

Kuivauskuormaa vaihdettaessa sunnuntaiamuna, pintamittausten keskiarvoksi saatiin 11,9 %. Kuivauskuorman sisäosia mitattaessa kappaleet olivat tasaantuneet noin vuorokauden sisätiloissa 20 °C:n. Mittauksia tehdessä havaitsin, että kuivauskuorma oli jäänyt tavoitekosteudesta keskimäärin 1,4 prosenttiyksikköä, joten sen keskimääräinen kosteus oli 13,4 %.

Sisimmäisessä kuivaustornissa alimmaisen rimanipun keskimääräinen kosteus oli 15,0 % ja keskimmäisen 14,1 %, eli ne olivat jääneet kosteustoleranssien ulkopuolelle. Uloimmat kuivaustornit olivat puolestaan jääneet keskimäärin noin yhden prosenttiyksikön liian kosteiksi tavoitekosteudesta, mutta olivat toleranssien määrittämässä rajoissa. Mitattavien kappaleiden tyvipää oli noin 2 prosenttiyksikköä latvapäätä kuivempia, eli pitkästä odotusajasta johtuvaa tasaantumista ei ollut tapahtunut, kuten 3- ja 6-kamarissa.

### 7.3 Kamari 6

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 7 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 8.

6-kamarin kuivaus oli tulosten valossa onnistunut. Pintamittausten keskiarvokosteus oli 11,8 %, mutta sisäosista suoritettujen mittausten keskiarvokosteus oli 11,2 %. Pintamittausten ja sisäosamittausten välinen aika oli sama kuin 3-kamarilla, eli melkein kaksi viikkoa 20 °C:n lämpötilassa. Mitattavat kappaleet olivat päässeet tasaantumaan, mikä oli myös havaittavissa tyvi- ja latvaosien välisten kosteuserojen minimaalisena erona verrattuna 5-kamarin noin 2 prosenttiyksikön eroon.

Käytetyn kuivauskaavan kesto oli 6-kamarissa noin 135 tuntia, eli kuivausta jouduttiin jatkamaan noin 40 tuntia. Syy tähän oli sama kuin 3 kamarissa. Koska kuivalämpötila ei pysynyt kaavan mukaisessa asetusarvossa, kuivaamon pellit olivat luultavasti menneet kiinni ja märkälämpötila oli noussut.

70 tunnin kohdalla kuivauskaavassa näkyvä harmaa viiva kuvaa kohtaa, jossa kuivaamosta otettiin kostutus pois päältä. Sen jälkeen voidaan havaita, että kuivalämpötila pyrki nousemaan ja märkälämpötila laskemaan asetusarvoonsa. Selityksenä tähän voitaneen pitää sitä, että poistettavan kosteuden määrä kuivaamossa laski huomattavasti, kun sumutus otettiin pois päältä.

Kuivauskuorman uloimmaisten ja sisimmäisten kuivaustornien välinen kosteusero oli melko minimaalinen. Uloimmaisten tornien alimmaisissa rimanipuissa kosteutta oli 0,2 prosenttiyksikköä enemmän kuin sisimmäisissä torneissa. Keskimmaisissa ja ylimmäisissä rimanipuissa jakauma oli luonnollisempi, eli sisemmät kuivaustornit olivat hieman kosteampia kuin uloimmat tornit. Tosin tähänkin asiaan vaikutti melkein kahden viikon tasaantumisaika, jonka sahatavarakappaleet joutuivat odottamaan ennen kuin ehdin kosteusmittauksia suorittamaan.

## 7.4 Kamari 8

Kuivauskuorman pintaosan kosteusmittaustulokset ovat liitteessä 1. Sisäosien kosteusmittaustulokset esitetään liitteessä 9 ja kuivauksessa toteutunut kuivauskaava liitteessä 10.

Kuivauserä 8-kamarissa onnistui todella hyvin. Kuivalämpötilassa oli pieni notkahdus 45 ... 55 tunnin välillä, koska lämpökeskus oli huollon takia pysähdyksissä. Kuivalämpötilan pudottua asetusravosta luultavasti pellit olivat menneet kiinni, joten märkälämpötila nousi ja kuivuminen hidastui. Se ei kuitenkaan vaikuttanut kuivaustulokseen, sillä koko kuivauskuorman keskimääräinen kosteus oli 11,4 %. Tutkittavista kuivaamoista 8-kamari oli uusin, joten se varmasti paransi kuivaustulosta.

Sisemmät kuivaustornit olivat odotetusti jääneet ylimmäistä rimanippua lukuun ottamatta hieman uloimpia torneja kosteammiksi. Mitattavien sahatavarakappaleiden tyvi- ja latvapäiden kosteus ero oli keskimäärin noin 1,5 prosenttiyksikköä. Tasaantumista ei oleellisesti ollut tapahtunut ennen mittaushetkeä. Mitattavat kappaleet odottivat mitausta 20 °C:n lämpötilassa noin vuorokauden ajan.

## 7.5 Yhteenveto

Yleisesti ottaen voidaan todeta kuivausten onnistuneen melko hyvin. Tutkimuksessa mitattiin kuivauskuorman sisäosista kosteuksia yhteensä 330 sahatavarakappaleesta. Jokaisesta sahatavarakappaleesta suoritettiin 3 kosteusmittausta. Mittauksista muodostettiin jokaiselle sahatavarakappaleelle keskimääräinen kosteus. Mitatuista kappaleista 272 kappaletta eli 82,4 % oli haluttua loppukosteutta. Liian kuivaksi kuivattuja kappaleita oli 32 kappaletta, eli niiden prosentuaalinen osuus oli 9,7 %. Liian kosteaksi jääneitä kappaleita tutkimuksessa löytyi 26 kappaletta eli 7,9 %.

Kosteuden keskihajonnan keskiarvo neljässä kuivauskuormassa oli yhteensä 1,2. Keskiarvoa nosti hieman 5-kamarista, jossa kuivaus hieman epäonnistui sähkökatkon takia, laskettu 1,6 keskihajonta. Paras keskihajonta kuivauskuormalle laskettiin 3-kamarista, vain 0,9. Myös 6- ja 8-kamarien keskihajonnat olivat hyvät; 1,0 ja 1,1.

## 7.6 Aiemmat tutkimukset

Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta vuonna 2002 valmistunut Jarmo Reinikkala oli tutkinut sahatavaran kuivausta Haminan Veistosaha Oy:llä. Tutkimuksessaan hän tutki sahatavaran kuivauslaatua. Kuivauslaatua tutkittiin 39 x 187 mm, 39 x 237 mm ja 47 x 225 mm sahatavaralla. Tutkimukseen kuului myös loppukosteuden tutkiminen. Loppukosteustavoite oli kaikilla dimensioilla 18 %. Lopputasaannutusta tutkimuksessa ei tehty. (Reinikkala 2002.)

Tutkimuksessa kosteusmittauksia suoritettiin jokaisesta kamarissa kolmesta rimanipusta. Mitattavia kappaleita rimanipussa oli 20. Kosteusmittauksia suoritettiin vain yhdestä kohtaa sahatavarakappaletta. 39 x 187 mm:n sahatavarasta tutkittiin kolme kuivauserää, eli yhteensä 9 rimanippua. 39 x 237 mm ja 47 x 225 mm:n sahatavarasta tutkittiin vain yhden kuivauserät, eli 3 rimanippua kumpaakin erää kohden. (Reinikkala 2002.)

39 x 187 mm:n sahatavaralle kolmen kuivauserän keskimääräiseksi loppukosteudeksi oli saatu 17,2 % ja keskihajonnaksi 2,1. 39 x 237 mm:n sahatavaralla yhden kuivauserän keskimääräiseksi loppukosteudeksi oli saatu 15,6 % ja keskihajonnaksi 1,8. 47 x 225 mm:n sahatavaralla yhden kuivauserän keskimääräiseksi loppukosteudeksi oli saatu 17,0 % ja keskihajonnaksi 1,4. (Reinikkala 2002.)

Tutkimustulokset ovat ainakin Reinikkalan 39 mm sahatavaran kohdalla vertailukelpoisia, koska paksuuseroa sahatavaralla ei ole kuin 1 mm. Tutkimustuloksia vertailtaessa voitaneen heti havaita, että Kinnaskoski Oy:llä suoritetuissa kuivauksissa kuivauksen loppukosteushajonta oli huomattavasti pienempi. Syy pienempään kosteushajontaan on mitä todennäköisimmin onnistunut lopputasaannutus. Pienempään kosteushajontaan vaikuttaa myös 6 prosenttiyksikköä alhaisempi loppukosteustavoite. Keskimääräiset loppukosteudet tutkimusten välillä ovat linjassa toistensa kanssa.

## 8 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA

### 8.1 Kuivauskaavan simulointi

Koska tämän tutkimuksen aikana ei muunneltu käytössä olevia kuivauskaavoja, kuivauskaavaa simuloitiin jälkikäteen erityisesti tähän käyttöön tarkoitettulla Laatukamari 2.1-ohjelmalla. ”Sahatavaran kuivauksen simulointiohjelma Laatukamari on tehty suomalaisen havusahatavaran kuivauskaavojen kehittämiseksi. Sillä voidaan laskea käyttäjän antaman kuivauskaavan tuottama kuivauslaadullinen tulos ja näin löytää kuhunkin tarkoitukseen paras mahdollinen kuivauskaava. Ohjelman taustalla olevaan matemaattiseen malliin on sisällytetty kaikki olennaisimmat sahatavaran kuivauslaadun osatekijät: kosteus, sen hajonta, pinnan halkeilu ja sahatavaran sisäinen kosteusjakauma eli kosteusgradientti.” (Hukka 1997.)

Tutkimuksessa käytössä olleen kuivauskaavan simulaatio esitetään liitteessä 11. Laatukamarilla muunneltu kuivauskaavan simulaatio esitetään liitteessä 12.

Käytössä olleen kuivauskaavan kestoksi laskettiin simulointiohjelmalla 95 tuntia. Loppukosteudeksi saatiin tasan 12,0 %. Halkeiluprosentti käytössä olleella kuivauskaavalla oli simulointiohjelman mukaan 0 %. Kosteusgradientiksi saatiin 2,7 % ja kosteushajonnaksi 1,4 %.

Muunnellulla kuivauskaavalla kuivauskaavan kestoksi tuli 122 tuntia eli 27 tuntia pidempi kuin käytössä olleella kuivauskaavalla. Loppukosteudeksi saatiin 11,2 %. Halkeiluprosentiksi saatiin myös muunnellulla kuivauskaavalla 0 %. Kosteusgradientti oli 1,4 % ja kosteushajonta 1,2 %.

Kosteusgradienttia ja kosteushajontaa voidaan simulointien perusteella pienentää pidemmällä kuivausajalla. Kuivauskaavan pidentäminen yli vuorokaudella luo kuitenkin huomattavasti lisäkustannuksia kuivaukseen. Kuivaamoiden energian kulutus nousee ja kuivauskapasiteetti pienenee. Huomioitava on myös se, että tutkimuksessa käytetyssä kuivauskaavassa kosteusgradientti vaihteli sahatavarakappaleen pinta- ja sisäosien 10 ... 14 % välillä, joten arvot olivat asiakkaiden määrittämien toleranssien sisällä heti kuivauksen päätyttyä. Sahatavara odottaa Kinnaskoski Oy:n varastoissa ja kulje-

tuksien aikana, jolloin tasaantumista tapahtuu ja kosteusgradientti pienenee ennen kuin asiakas saa tilaamansa tuotteet.

Simuloitujen kuivauskaavojen perusteella en näe tarpeelliseksi, että Kinnaskoski Oy muuttaa käytössä olevaa kuivauskaavaa, mikäli asiakkaat eivät tilausten yhteydessä vaadi nykyistä pienempää kosteusgradienttia.

## 8.2 Valmatics-ohjausjärjestelmän hienosäätö

Tutkimuksessa ilmeni, ettei kostea kuivausilma pääse pois kuivaamosta kaikissa olosuhteissa. Mikäli kuivaamon kuivalämpötila laskee asetusarvostaan, kuivaamon poistoilmapellit menevät kiinni, jotta lämpötila saataisiin asetusarvoon. Peltien ollessa kiinni kostea ilma ei pääse pois kuivaamosta ja nostaa kuivaamon märkälämpötilaa. Kuivausvoima heikkenee, kun kuiva- ja märkälämpötilojen lämpötilaerotus pienenee. Joissain tapauksissa saattaa käydä jopa niin, että kuivaamon olosuhteet muuttuvat siten, että sahatavara alkaa imeä kosteutta takaisin itseensä.

Koska Valmatics-ohjausjärjestelmä on uusi investointi, sen kaikkia ominaisuuksia ei varmasti ole vielä löydetty ja saatu hyödynnettyä. Toimenpide-ehdotuksena suosittelisin Kinnaskoski Oy:tä selvittämään yhdessä WSValutec Oy:n kanssa edellä kuvattua tapahtumasarjaa ja sille mahdollisuuksien mukaan tehtävissä olevia ohjausjärjestelmän säätötoimenpiteitä.



## 9 YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää kamarikuivaamoiden sisäistä loppukosteusjakamaa. Kuivauskuorman sisäistä loppukosteusjakamaa verrattiin kuivauskuorman etupinnasta saatuihin kosteusmittauksiin, jotka kuivaamonhoitaja suoritti kuivauskuorman vaihdon yhteydessä. Tutkimuksessa tutkittiin myös kuivauskuorman sisempien ja uloimpien kuivaustornien välisiä kosteuseroja.

Tutkimuksessa mitattiin yhteensä 330 sahatavarakappaletta. Jokaisesta kappaleesta suoritettiin 3 kosteusmittausta, joista muodostettiin jokaiselle kappaleelle keskiarvokosteus. Kosteusmittauksia suoritettiin yhteensä neljästä kamarikuivaamosta. Pienistä kuivaamoista mitattiin 72 kappaletta ja isoista kuivaamoista 96 kappaletta. Kosteusmittauksia suoritettiin tutkimuksen aikana kuivauskuorman sisäosista yhteensä 990 kappaletta, jotta otanta saataisiin tarpeeksi laajaksi. Kuivauskuorman etupinnasta kosteus mitattiin 10 kertaa jokaisesta tutkittavasta kuivaamosta eli kaikista tutkittavista kuivaamoista yhteensä 40 kertaa.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kuivauskuorman sisemmät tornit jäävät kuivauksen jälkeen uloimpia torneja 0,4 prosenttiyksikköä kosteammiksi. Kuivauskuormien pinnasta mitattu keskimääräinen kosteus oli tutkimuksessa keskimäärin 0,2 prosenttiyksikköä kosteampi kuin kaikkien kuivauskuormien sisäosien keskimääräinen kosteus. Tämä luku on hieman virheellinen, koska todellisuudessa kuivauskuorman pintaosista saadun mittaustuloksen pitäisi olla hieman alhaisempi kuin kuivauskuorman keskiosasta suoritettu kosteusmittaus.

Voidaan kuitenkin todeta, että jos kuivauskaava on toteutunut ongelmitta ja kuivauskuorman pinnasta suoritettut mittaukset näyttävät kosteudeksi 12 %, silloin myös kuivauskuorman sisäosien kosteus on hyvin lähellä haluttua loppukosteutta.

## LÄHTEET

Brookhuis Micro Electronics. 2011. Kosteusmittarin käyttöohje.

Hirvelä, Markku. Puhelinkeskustelu 26.1.2011. WSValutec Oy.

Hukka, Antti. 1997. Sahatavaran kamarikuivauskaavojen optimointi LAATUKAMARI-simulointiohjelmalla. VVT:n tiedotteita 1866. Espoo.

Kinnaskoski Oy. 2011. Kotisivut. Saatavissa <http://www.kinnaskoski.fi>. [viitattu 12.1.2011].

Jääskeläinen, Risto. 2010. Kuivaustekniikan luentomoniste. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Kärkkäinen, Matti. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Lisker Oy. 2011. Kotisivut. Saatavissa <http://www.lisker.fi/fi/tuotteet/profigrade> [viitattu 13.1.2011].

Nenonen, Joonas. 2008. Kinnaskoski Oy:n markkinakatsaus ja investointitoimet. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

PuuProffa. 2011. Kotisivut. Saatavissa <http://www.puuproffa.fi/arkisto/kamarikuivaamo.php> [viitattu 14.4.2011].

Reinikkala, Jarmo. 2002. Sahatavaran kuivaustutkimus Haminan Veistosaha Oy:lle. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Sipi, Marketta. 2006. Sahatavaratuotanto. Helsinki: Opetushallitus.

Taideteollinen korkeakoulu. 2011. Kotisivut. Saatavissa: <http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/puuteknologia/3-2-kosteus.html> [viitattu 14.4.2011].

Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus. 1990, Metlas Ky. Karhula.

WSAB Oy. 1993. Kuivaamon huolto-, käyttö ja varaosaluettelo Kinnaskoski Oy:lle

WSAB Oy. 1993. Tarjous Kinnaskoski Oy:lle.

WSValutec Oy. 2010. Tarjous Kinnaskoski Oy:lle.

WSValutec Oy. 2010. Valmatics Käyttöohjeet.

# KUIVAUSKUORMIEN ETUPINTOJEN KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Dimensio: 38 mm x 125 mm

Tavoitekosteus:  $12 \pm 2$  %

## Kamari nro 3

Mittaus	Kosteus %
1	11,7
2	12,5
3	11,4
4	13,2
5	11,5
6	12,2
7	12,3
8	10,5
9	12,6
10	13,1
KA	12,1
KH	0,8

## Kamari nro 5

Mittaus	Kosteus %
1	12,6
2	11,3
3	11,7
4	11,4
5	11,4
6	11,8
7	11,8
8	13,7
9	10,4
10	12,9
KA	11,9
KH	0,9

## Kamari nro 6

Mittaus	Kosteus %
1	11,0
2	11,7
3	12,8
4	10,4
5	12,3
6	13,2
7	11,9
8	10,4
9	11,6
10	12,9
KA	11,8
KH	1,0

## Kamari nro 8

Mittaus	Kosteus %
1	10,5
2	10,5
3	12,2
4	10,1
5	11,6
6	13,0
7	13,0
8	12,3
9	11,8
10	11,3
KA	11,6
KH	1,0

### 3-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN SISÄOSIEN KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Dimensio: 38 mm x 125 mm Tavoitekosteus: 12 ± 2 % Pieni kamari (3 kuivaustornia)

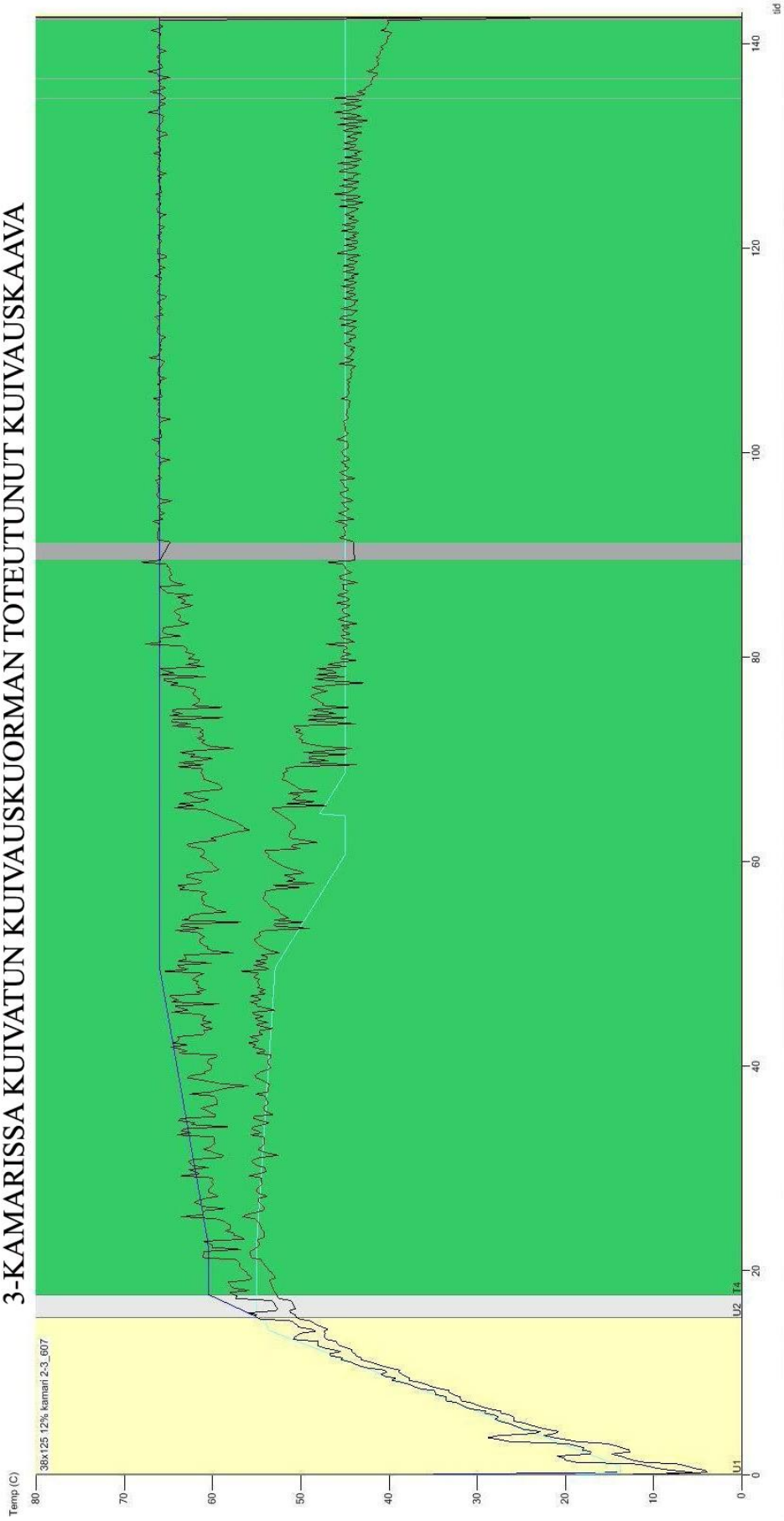
Uloimmat kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	12,0	11,6	12,0	11,9	10,6	10,7	10,1	10,5	10,0	9,6	11,5	10,4
2	10,3	9,9	10,8	10,3	9,0	9,1	9,2	9,1	12,0	12,8	14,0	12,9
3	10,3	10,7	10,9	10,6	8,9	9,0	9,0	9,0	13,0	12,2	13,1	12,8
4	10,1	10,2	10,6	10,3	8,6	9,6	10,9	9,7	11,6	11,6	12,8	12,0
5	8,8	8,2	9,7	8,9	9,8	9,5	10,6	10,0	9,9	10,0	10,4	10,1
6	11,0	11,9	12,0	11,6	9,1	9,8	10,1	9,7	11,9	13,1	13,2	12,7
7	10,4	10,7	11,5	10,9	11,9	11,7	13,7	12,4	9,8	9,5	10,0	9,8
8	9,9	10,0	10,4	10,1	10,4	10,7	10,7	10,6	12,6	13,4	12,8	12,9
9	9,8	10,4	11,6	10,6	9,6	9,6	9,8	9,7	11,8	11,3	11,5	11,5
10	10,1	10,5	10,2	10,3	9,1	9,2	9,0	9,1	9,7	10,0	9,8	9,8
11	10,4	10,1	11,3	10,6	9,6	9,8	10,0	9,8	11,4	11,8	12,6	11,9
12	11,8	12,5	12,8	12,4	10,8	10,6	11,5	11,0	11,5	11,7	12,1	11,8
13	9,8	9,6	9,6	9,7	10,4	14,2	13,4	12,7	10,0	10,7	11,2	10,6
14	9,3	10,0	11,2	10,2	10,2	10,5	10,7	10,5	12,5	12,1	12,5	12,4
15	10,5	10,1	9,6	10,1	10,8	11,1	11,6	11,2	9,8	9,7	10,8	10,1
16	10,9	13,0	14,3	12,7	10,6	10,6	10,9	10,7	10,8	11,1	14,2	12,0
KA	10,3	10,6	11,2	10,7	10,0	10,4	10,7	10,3	11,1	11,3	12,0	11,5
KH	0,8	1,2	1,2	1,0	0,9	1,3	1,4	1,1	1,1	1,3	1,4	1,2

Sisemmät kuivaustornit 1 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	10,6	10,8	11,3	10,9	11,5	10,9	11,7	11,4	11,4	11,8	12,0	11,7
2	10,5	10,6	11,0	10,7	10,9	11,1	10,8	10,9	11,8	11,3	12,0	11,7
3	9,8	10,3	11,3	10,5	11,1	9,9	11,0	10,7	10,4	10,0	11,7	10,7
4	11,4	11,6	11,4	11,5	9,8	9,9	10,6	10,1	9,8	10,1	10,3	10,1
5	10,8	10,3	10,8	10,6	11,6	10,1	11,8	11,2	10,0	9,7	10,5	10,1
6	10,2	10,3	10,5	10,3	10,6	10,2	11,5	10,8	11,1	10,6	10,8	10,8
7	10,4	10,4	11,6	10,8	12,2	11,3	12,0	11,8	12,1	12,8	13,3	12,7
8	11,0	11,7	12,1	11,6	10,0	10,9	11,3	10,7	11,1	11,1	12,2	11,5
KA	10,6	10,8	11,3	10,9	11,0	10,5	11,3	10,9	11,0	10,9	11,6	11,2
KH	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	0,9

### 3-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN TOTEUTUNUT KUIVAUSKAAVA



## 5-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN SISÄOSIEN KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Dimensio: 38 mm x 125 mm Tavoitekosteus: 12 ± 2 % Pieni kamari (3 kuivaustornia)

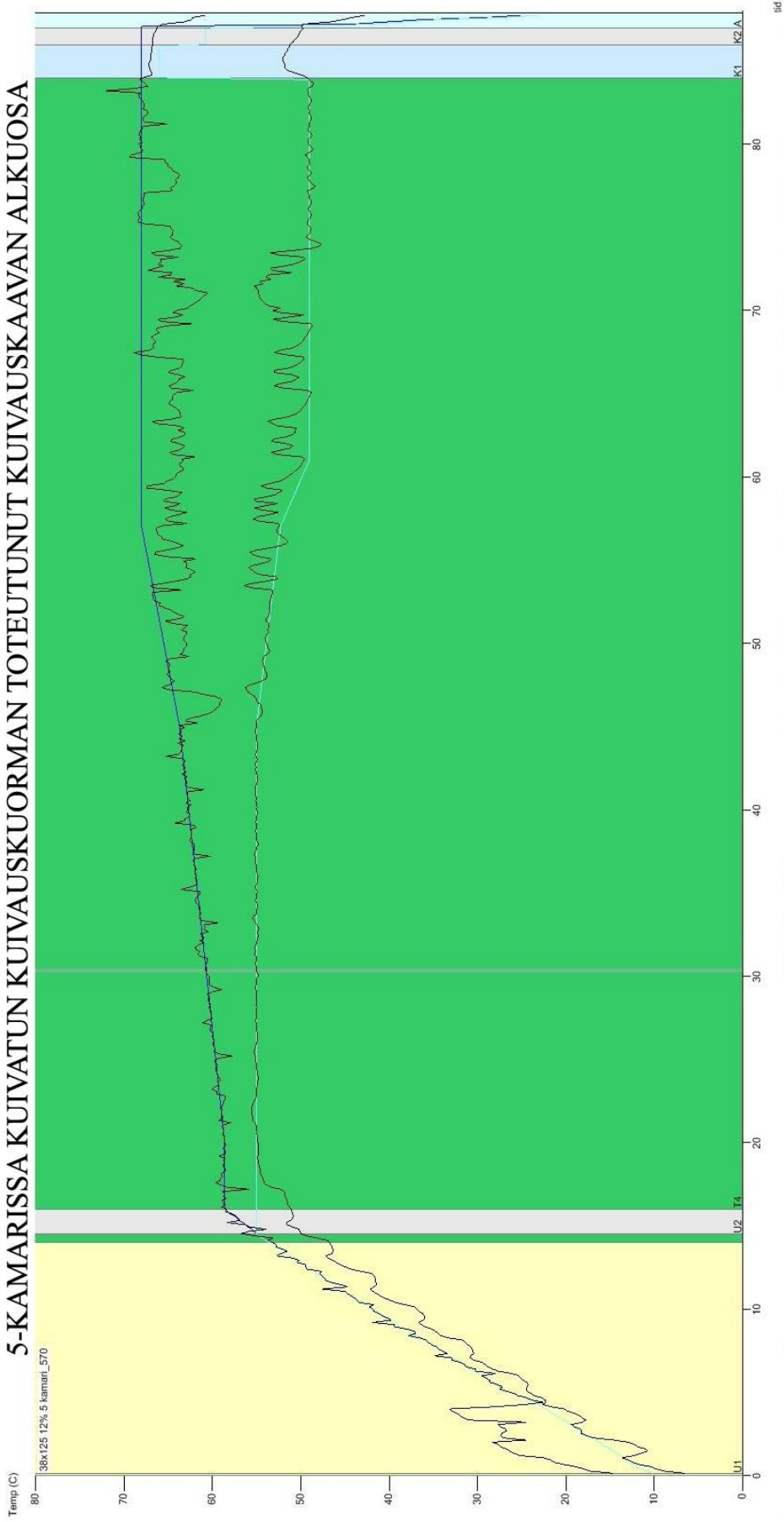
Uloimmat kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	11,3	12,3	13,1	12,2	15,0	14,4	15,3	14,9	9,9	10,3	11,8	10,7
2	11,2	11,4	13,6	12,1	13,0	14,7	15,0	14,2	10,6	11,3	13,7	11,9
3	13,6	13,6	14,0	13,7	10,5	13,0	13,2	12,2	9,1	9,4	10,6	9,7
4	13,9	14,1	13,5	13,8	11,5	12,5	12,4	12,1	8,6	11,2	12,9	10,9
5	13,1	14,2	14,4	13,9	10,8	13,9	13,5	12,7	11,9	12,2	15,0	13,0
6	11,4	12,0	12,4	11,9	10,2	13,1	11,8	11,7	11,4	15,1	14,9	13,8
7	11,0	13,8	15,6	13,5	12,7	14,6	13,8	13,7	9,6	12,3	14,3	12,1
8	13,8	16,8	17,2	15,9	11,9	12,3	15,1	13,1	10,1	11,2	11,7	11,0
9	10,2	12,7	12,6	11,8	12,9	16,2	14,5	14,5	12,2	16,4	15,9	14,8
10	10,9	10,3	13,2	11,5	12,3	14,2	13,9	13,5	10,6	14,0	16,7	13,8
11	11,3	12,5	13,9	12,6	10,1	12,7	15,5	12,8	13,6	15,5	18,4	15,8
12	11,1	12,0	13,1	12,1	11,5	12,3	14,5	12,8	9,1	10,8	13,0	11,0
13	10,9	10,7	11,7	11,1	9,0	9,2	10,4	9,5	11,2	14,4	15,2	13,6
14	15,6	15,9	16,5	16,0	13,1	15,0	17,0	15,0	11,3	14,3	18,4	14,7
15	11,4	13,2	14,4	13,0	12,5	12,9	15,4	13,6	13,3	16,5	15,6	15,1
16	10,3	10,8	12,5	11,2	11,4	13,1	15,2	13,2	10,1	13,2	14,7	12,7
KA	11,9	12,9	13,9	12,9	11,8	13,4	14,2	13,1	10,8	13,0	14,6	12,8
KH	1,6	1,8	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,4	1,5	2,2	2,2	1,8

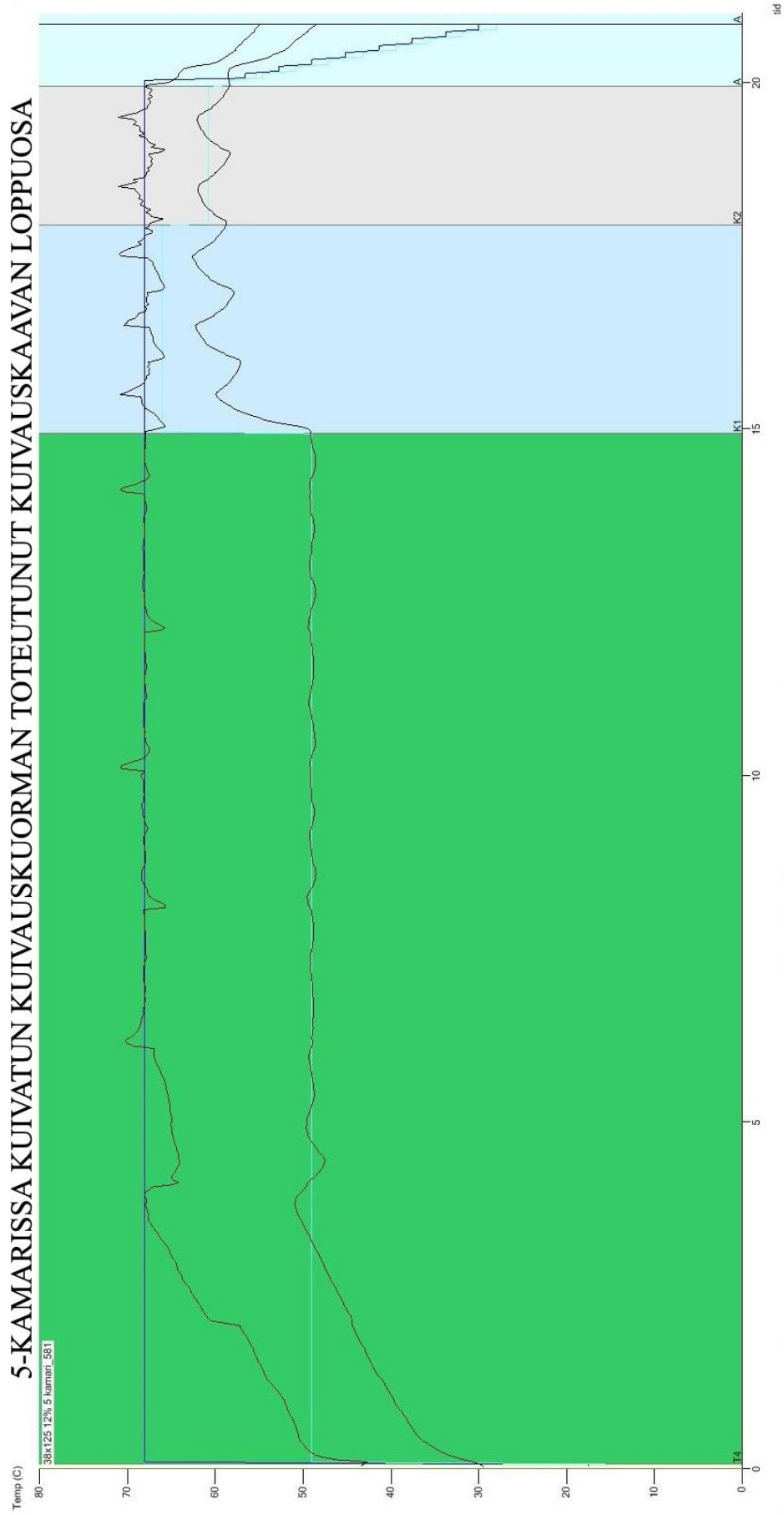
Sisemmät kuivaustornit 1 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaiput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	14,8	16,7	18,2	16,6	11,6	11,9	12,0	11,8	9,3	10,5	12,6	10,8
2	16,3	17,7	19,2	17,7	13,1	14,4	17,4	15,0	14,7	15,1	16,4	15,4
3	13,1	14,0	16,3	14,5	11,6	12,4	14,6	12,9	10,3	11,7	12,0	11,3
4	13,5	15,3	14,9	14,6	13,1	14,4	16,5	14,7	11,1	12,5	13,1	12,2
5	11,7	13,4	15,6	13,6	16,6	17,1	19,6	17,8	10,3	10,7	13,8	11,6
6	13,8	15,6	16,2	15,2	12,8	14,7	15,1	14,2	12,9	12,1	14,5	13,2
7	12,6	14,6	15,3	14,2	13,5	14,6	15,3	14,5	11,4	13,1	14,5	13,0
8	12,7	12,3	15,7	13,6	10,7	10,5	14,6	11,9	11,7	13,4	18,1	14,4
KA	13,6	15,0	16,4	15,0	12,9	13,8	15,6	14,1	11,5	12,4	14,4	12,7
KH	1,4	1,8	1,5	1,5	1,8	2,1	2,2	1,9	1,7	1,5	2,0	1,6

5-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN TOTEUTUNUT KUIVAUSKAAVAN ALKUOSA







# 6-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN SISÄOSIEN KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Dimensio: 38 mm x 125 mm Tavoitekosteus: 12 ± 2 % Iso kamari (4 kuivaustornia)

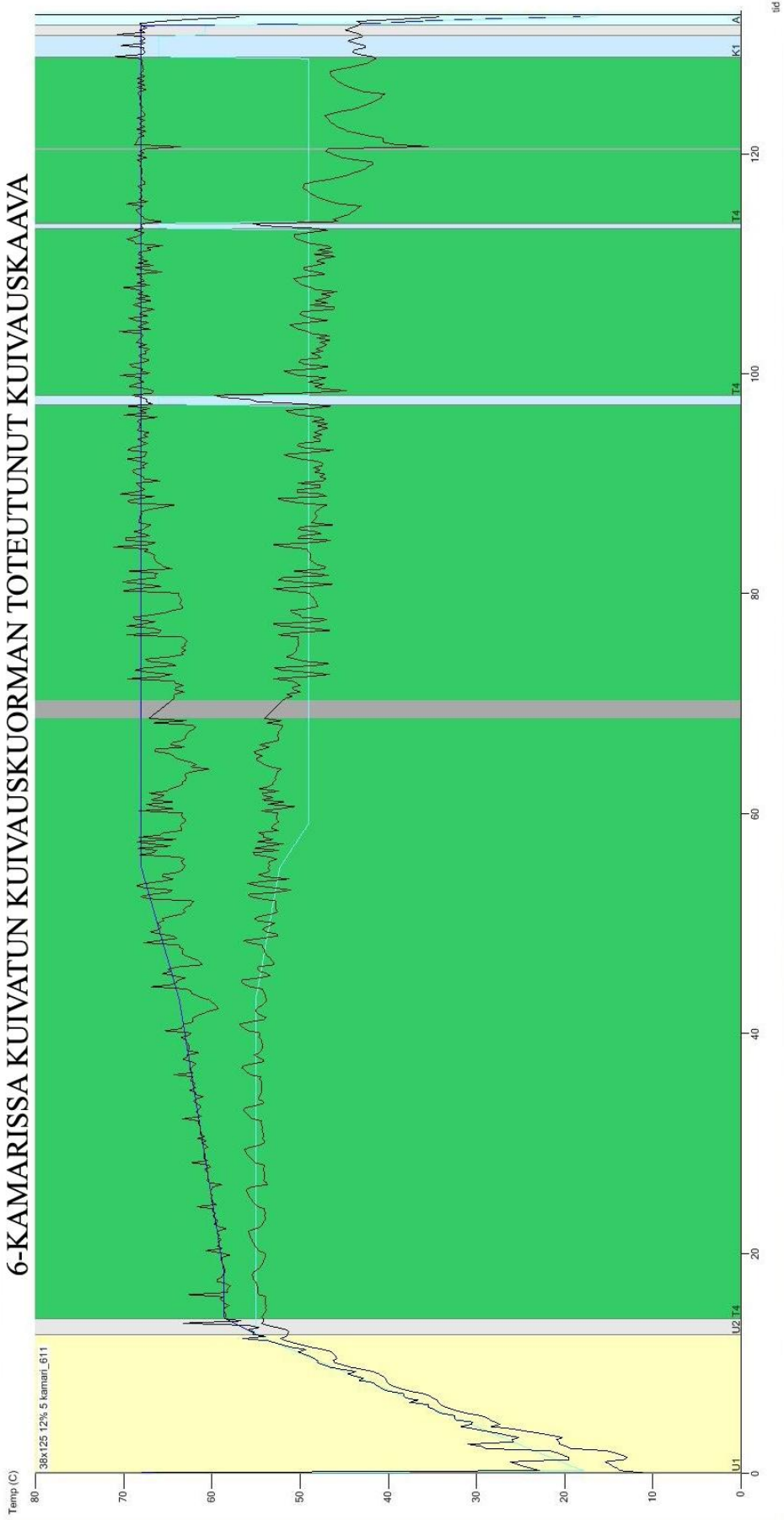
Uloimmat kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisat rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	10,3	10,4	10,3	10,3	11,5	11,8	11,7	11,7	10,1	9,5	10,3	10,0
2	10,0	9,8	10,9	10,2	9,9	10,0	11,3	10,4	9,6	9,2	9,6	9,5
3	11,3	11,6	10,8	11,2	9,9	10,1	11,2	10,4	9,3	9,1	9,3	9,2
4	9,8	9,9	9,8	9,8	11,3	11,3	10,4	11,0	13,3	12,3	11,9	12,5
5	11,9	12,1	11,0	11,7	9,7	9,7	10,3	9,9	9,1	9,7	9,6	9,5
6	11,9	12,4	12,8	12,4	9,9	9,8	9,7	9,8	10,9	10,0	9,4	10,1
7	10,9	11,0	11,0	11,0	11,7	11,1	10,2	11,0	11,9	11,1	11,0	11,3
8	10,2	9,7	10,0	10,0	11,2	11,1	10,6	11,0	12,3	11,9	10,4	11,5
9	13,1	14,6	15,1	14,3	10,7	11,0	10,9	10,9	10,9	10,8	10,2	10,6
10	11,2	10,7	11,7	11,2	10,0	10,4	11,1	10,5	12,1	11,7	12,3	12,0
11	12,2	13,0	13,1	12,8	9,8	9,6	9,7	9,7	12,0	12,9	11,1	12,0
12	11,2	11,9	12,6	11,9	10,4	11,3	11,5	11,1	10,2	10,1	10,6	10,3
13	14,8	14,1	13,7	14,2	10,0	10,6	10,5	10,4	10,7	10,9	11,1	10,9
14	12,7	13,4	13,3	13,1	13,3	13,6	11,2	12,7	11,2	11,6	10,2	11,0
15	12,0	11,5	12,1	11,9	11,1	9,8	12,4	11,1	10,2	10,5	10,8	10,5
16	10,1	11,1	10,8	10,7	11,8	12,1	11,8	11,9	10,8	10,8	10,9	10,8
KA	11,5	11,7	11,8	11,7	10,8	10,8	10,9	10,8	10,9	10,8	10,5	10,7
KH	1,3	1,5	1,5	1,4	1,0	1,1	0,8	0,8	1,2	1,1	0,9	1,0

Sisemmät kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisat rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	9,9	11,1	11,5	10,8	13,1	13,3	12,7	13,0	11,6	11,0	10,7	11,1
2	10,4	11,2	10,5	10,7	12,1	13,2	14,1	13,1	11,4	12,3	12,6	12,1
3	10,0	11,1	11,1	10,7	10,1	10,3	10,4	10,3	10,4	10,8	11,1	10,8
4	12,0	12,5	12,3	12,3	11,5	10,8	10,5	10,9	10,3	9,7	9,6	9,9
5	12,8	13,0	13,8	13,2	9,8	9,9	10,6	10,1	10,6	11,0	10,9	10,8
6	11,1	10,4	11,6	11,0	10,9	11,2	12,1	11,4	11,5	12,1	11,2	11,6
7	10,0	10,0	10,9	10,3	10,6	11,3	11,1	11,0	11,8	11,4	10,8	11,3
8	10,0	9,4	10,1	9,8	12,8	12,4	12,4	12,5	14,1	12,5	11,5	12,7
9	11,0	11,7	12,8	11,8	10,2	10,5	11,1	10,6	10,9	10,9	10,7	10,8
10	11,0	10,1	11,9	11,0	10,0	10,8	9,8	10,2	10,4	10,3	9,8	10,2
11	11,8	12,4	12,7	12,3	10,8	11,2	9,3	10,4	11,5	10,8	10,3	10,9
12	11,5	12,1	12,1	11,9	12,5	12,2	10,9	11,9	12,0	11,6	11,4	11,7
13	12,4	12,8	14,2	13,1	10,0	11,6	10,1	10,6	13,1	13,5	12,5	13,0
14	12,2	12,9	13,5	12,9	11,1	11,4	11,6	11,4	10,0	10,5	10,7	10,4
15	10,2	10,6	11,4	10,7	12,0	12,3	11,4	11,9	9,2	9,2	9,6	9,3
16	10,7	10,9	11,4	11,0	10,6	10,8	10,9	10,8	10,6	10,9	10,6	10,7
KA	11,1	11,4	12,0	11,5	11,1	11,5	11,2	11,3	11,2	11,2	10,9	11,1
KH	1,0	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,2	1,1	0,9	1,0

### 6-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN TOTEUTUNUT KUIVAUSKAAVA



# 8-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN SISÄOSIEN KOSTEUSMITTAUSTULOKSET

Dimensio: 38 mm x 125 mm Tavoitekosteus: 12 ± 2 % Iso kamari (4 kuivaustornia)

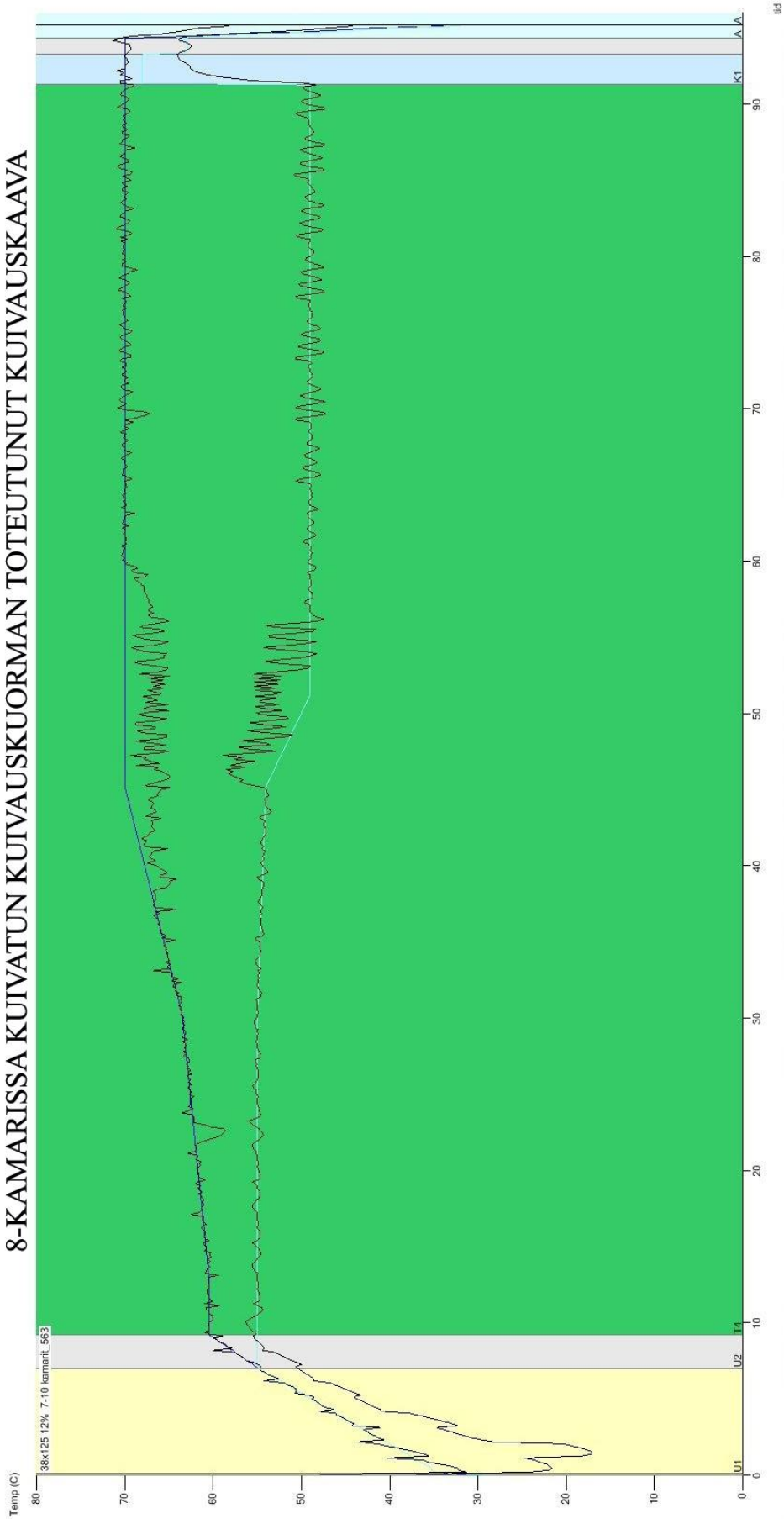
Uloimmat kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	9,0	9,7	10,1	9,6	12,6	13,2	13,3	13,0	10,1	11,5	11,6	11,1
2	11,1	12,0	14,8	12,6	11,4	12,8	13,8	12,7	10,1	11,1	11,5	10,9
3	11,2	11,9	13,5	12,2	12,1	12,4	13,5	12,7	9,6	10,3	12,0	10,6
4	9,8	10,2	11,5	10,5	9,6	9,5	10,1	9,7	12,5	12,3	13,7	12,8
5	10,4	10,4	10,6	10,5	11,5	11,5	12,2	11,7	12,5	14,4	14,9	13,9
6	10,9	10,3	10,8	10,7	11,4	11,5	13,5	12,1	11,5	12,3	12,8	12,2
7	11,7	11,8	12,2	11,9	10,2	10,0	10,6	10,3	10,7	10,6	11,6	11,0
8	10,5	11,2	12,7	11,5	10,6	11,4	11,0	11,0	13,3	12,8	14,3	13,5
9	10,6	10,7	12,0	11,1	9,0	10,2	10,4	9,9	11,7	12,0	12,7	12,1
10	12,3	13,3	14,3	13,3	9,9	9,8	10,2	10,0	11,0	11,4	12,3	11,6
11	9,6	9,5	10,4	9,8	10,9	11,0	11,3	11,1	10,3	12,0	12,4	11,6
12	9,5	9,3	10,0	9,6	10,8	10,2	11,3	10,8	11,6	12,3	14,7	12,9
13	9,8	11,6	11,4	10,9	9,8	9,8	10,7	10,1	9,9	10,4	12,2	10,8
14	11,6	11,3	11,8	11,6	9,8	9,6	10,1	9,8	11,2	11,6	12,1	11,6
15					8,9	9,7	10,5	9,7	10,5	11,2	11,7	11,1
16									11,3	11,7	12,3	11,8
KA	10,6	10,9	11,9	11,1	10,6	10,8	11,5	11,0	11,1	11,7	12,7	11,8
KH	1,0	1,1	1,5	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0

Sisemmät kuivaustornit 2 kpl

Kappale	Alimmaisiet rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Keskimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:				Ylimmäiset rimaniput Kosteus % mittauskohtassa:			
	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA	Tyvi	Keski	Latva	KA
1	12,5	13,3	13,3	13,0	8,6	9,7	10,6	9,6	10,1	10,6	12,5	11,1
2	9,6	11,0	12,3	11,0	10,5	11,5	11,4	11,1	9,4	10,7	11,5	10,5
3	13,7	14,2	15,1	14,3	12,9	13,3	14,3	13,5	11,1	12,4	12,6	12,0
4	11,1	10,3	12,7	11,4	11,0	11,3	12,2	11,5	9,2	10,0	11,8	10,3
5	10,8	12,3	11,5	11,5	10,9	11,6	11,8	11,4	12,3	13,2	13,7	13,1
6	11,7	11,8	12,3	11,9	10,4	10,2	10,9	10,5	11,9	12,4	13,4	12,6
7	14,0	13,9	13,7	13,9	10,9	10,7	12,7	11,4	11,7	13,0	13,0	12,6
8	10,9	11,0	11,7	11,2	10,8	11,8	11,8	11,5	9,6	10,1	11,9	10,5
9	10,5	11,0	11,7	11,1	10,4	11,5	12,6	11,5	10,7	11,5	13,5	11,9
10	11,6	11,9	13,7	12,4	10,1	11,1	12,2	11,1	9,8	11,5	12,3	11,2
11	9,8	11,5	11,6	11,0	11,7	11,6	12,4	11,9	8,9	9,2	10,0	9,4
12	9,7	10,4	11,1	10,4	11,5	11,9	12,8	12,1	9,5	11,2	11,4	10,7
13	11,7	12,1	11,9	11,9	11,1	11,1	12,0	11,4	9,5	11,0	11,8	10,8
14	10,4	12,6	13,8	12,3	10,5	12,3	13,2	12,0	9,9	9,9	11,4	10,4
15					10,7	10,3	12,3	11,1	12,1	11,9	12,0	12,0
16					12,0	13,0	12,8	12,6				
KA	11,3	12,0	12,6	11,9	10,9	11,4	12,3	11,5	10,4	11,2	12,2	11,3
KH	1,4	1,2	1,2	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	1,2	1,2	1,0	1,0

# 8-KAMARISSA KUIVATUN KUIVAUSKUORMAN TOTEUTUNUT KUIVAUSKAAVA



LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO TUTKIMUKSESSA  
KÄYTETYSTÄ KUIVAUSKAAVASTA 1/3

## Laatukamari 2.1 Windows

## Laskennan lähtötiedot:

Puulaji ja -laatu	Kuusi	Lopetuskriteeri	Aika
Nimellispaksuus	38 mm	Kuivausaika	95 h
Nimellisleveys	125 mm	Ohjausanturit	Painepuoli
Tukin latvaläpimitta	157 mm	Anturityyppi	Märkä-anturi
Sahausasete	2-exlog	Puhallussyvyys	6,3 m
Sydänpuun säde	45 mm	Rimaväli	22 mm
Tilavuuspaino	380 kg/m <sup>3</sup>	Ulkolämpötila	-20 °C
Sydänpuun alkukosteus	35 %	Esikuivumisaika	0 vrk
Pintapuun alkukosteus	120 %		
Sydänpuuosuus	59 %		
Alkukosteus	70 %		

## Ilman virtausnopeus rimavälissä ja puhallussuunnan vaihtoväli

Aika [h]	Ilman nopeus [m/s]	Suunnan vaihtoväli [h]
0	3,5	2,0
5	3,5	2,0

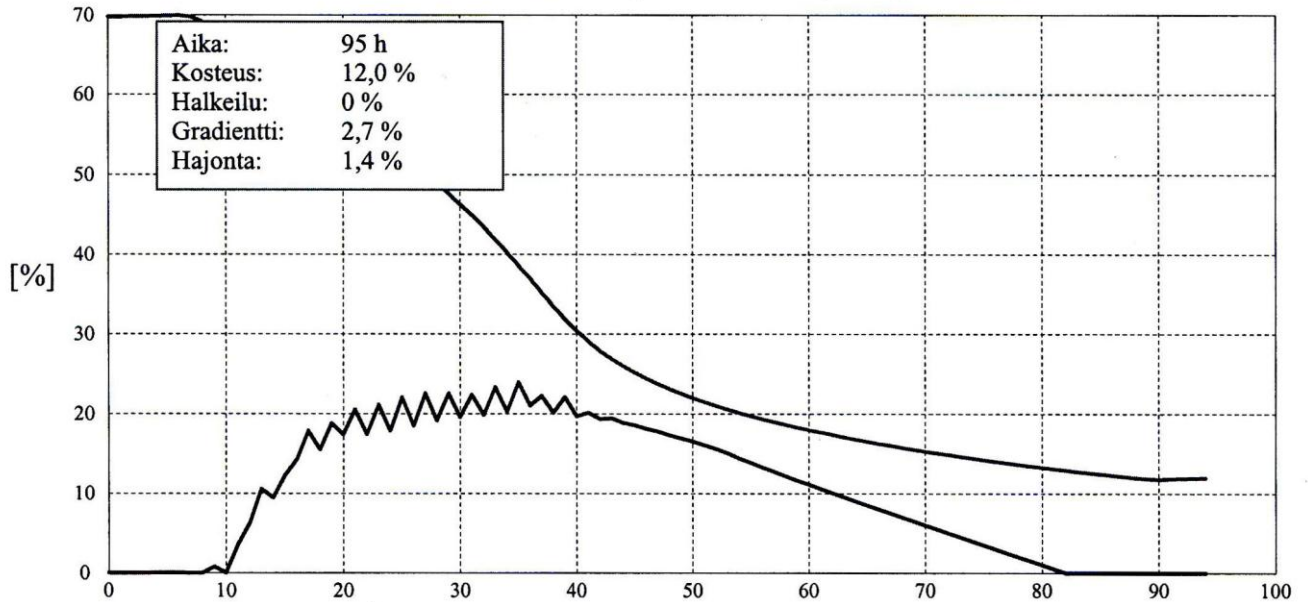
## Kuivauskaava

Aika [h]	Kuiva [°C]	Märkä [°C]	RH [%]	Tasapainokosteus [%]
0	10,0	9,0	88,4	20,3
7	60,0	56,0	81,6	14,2
30	65,0	55,0	60,4	8,6
40	70,0	54,0	44,9	5,9
50	70,0	50,0	35,5	4,8
90	70,0	50,0	35,5	4,8
91	70,0	68,0	91,3	17,6
95	70,0	68,0	91,3	17,6

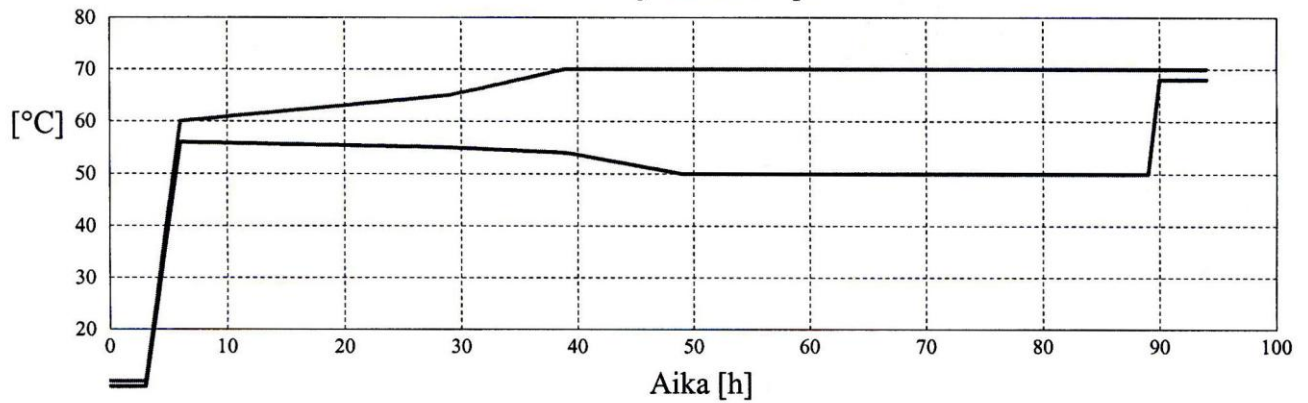
LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO TUTKIMUKSESSA  
KÄYTETTYÄ KUIVAUSKAAVASTA 2/3

Laatukamari 2.1 Windows

Kosteus ja suhteellinen jännitys



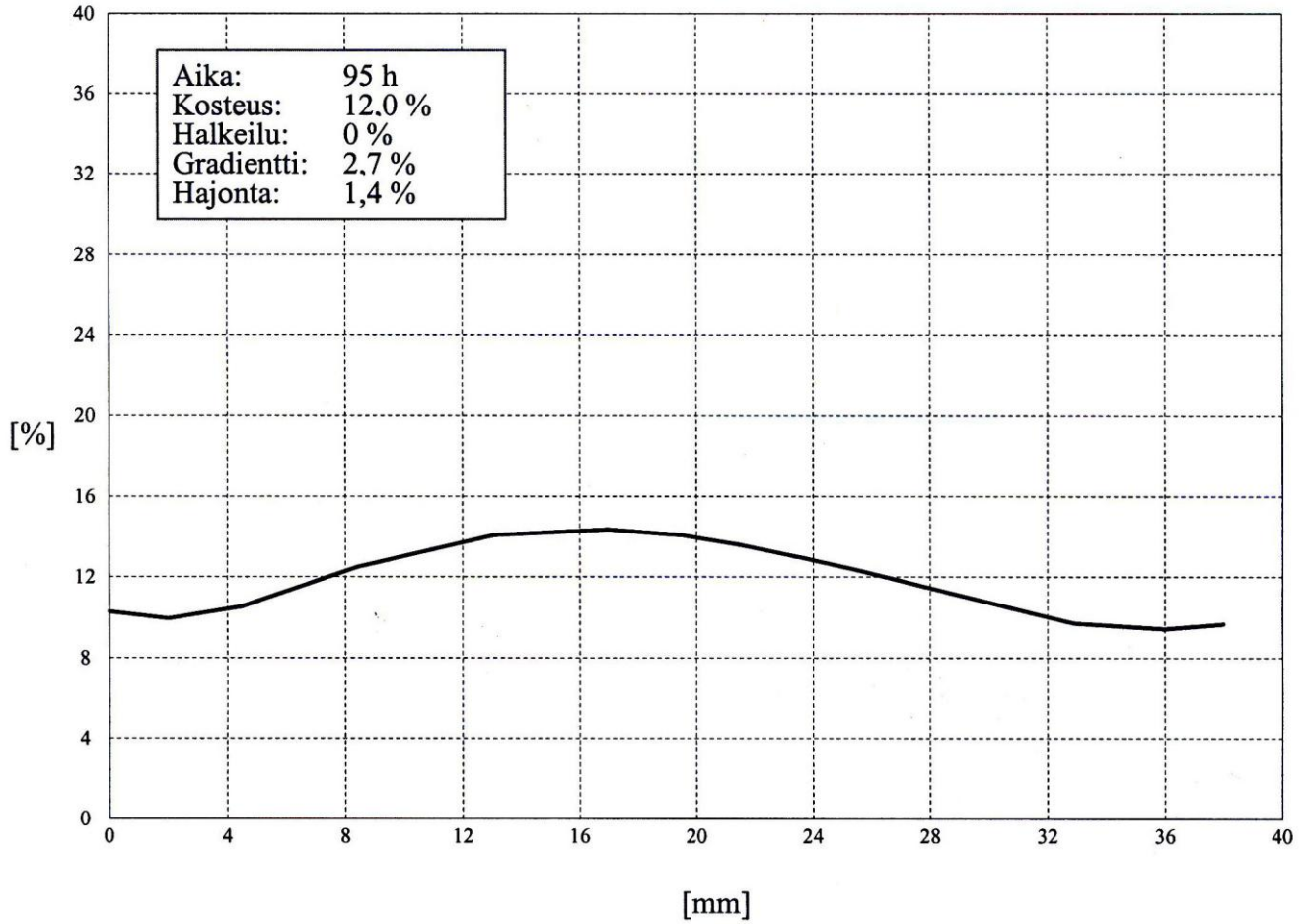
Kuiva- ja märkälämpötila



LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO TUTKIMUKSESSA  
KÄYTETYSTÄ KUIVAUSKAAVASTA 3/3

Laatukamari 2.1 Windows

Kosteusprofiili





LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO MUUNNELUSTA  
KUIVAUSKAAVASTA 1/3

Laatukamari 2.1 Windows

Laskennan lähtötiedot:

Puulaji ja -laatu	Kuusi	Lopetuskriteeri	Aika
Nimellispaksuus	38 mm	Kuivausaika	122 h
Nimellisleveys	125 mm	Ohjausanturit	Painepuoli
Tukin latvaläpimitta	157 mm	Anturityyppi	Märkä-anturi
Sahausasete	2-exlog	Puhallussyvyys	6,3 m
Sydänpuun säde	45 mm	Rimaväli	22 mm
Tilavuuspaino	380 kg/m <sup>3</sup>	Ulkolämpötila	-20 °C
Sydänpuun alkukosteus	35 %	Esikuivumisaika	0 vrk
Pintapuun alkukosteus	120 %		
Sydänpuuosuus	59 %		
Alkukosteus	70 %		

Ilman virtausnopeus rimavälissä ja puhallussuunnan vaihtoväli

Aika [h]	Ilman nopeus [m/s]	Suunnan vaihtoväli [h]
0	3,5	2,0
5	3,5	2,0

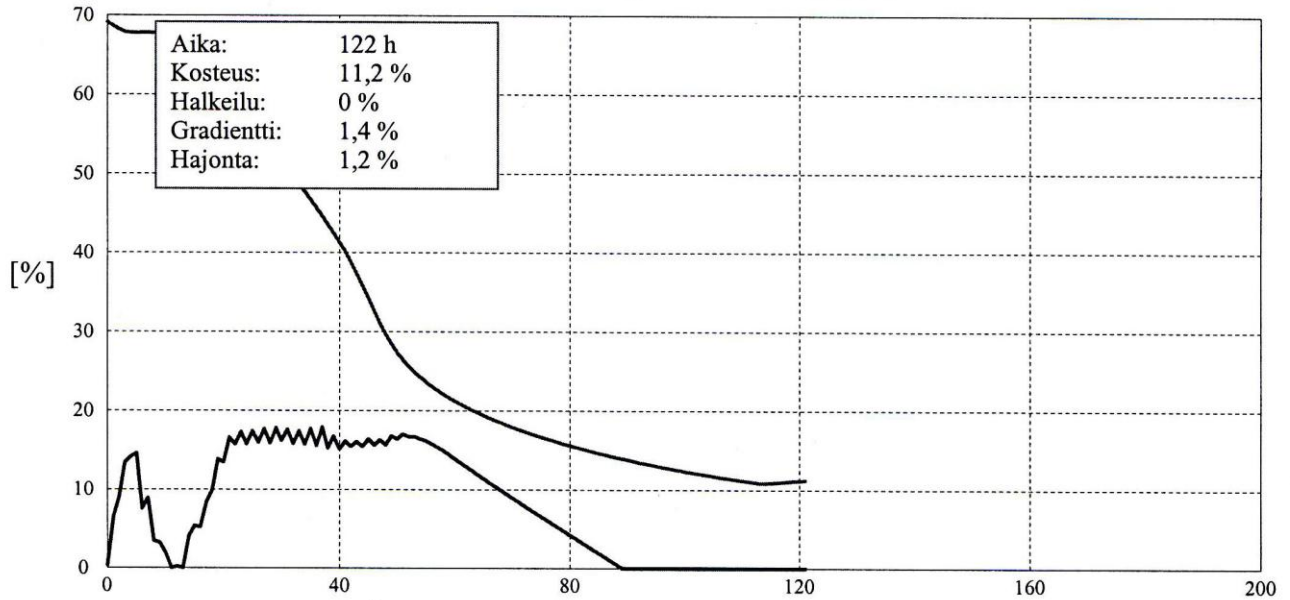
Kuivauskaava

Aika [h]	Kuiva [°C]	Märkä [°C]	RH [%]	Tasapainokosteus [%]
0	-20,0	-24,6	-133,8	0,1
13	67,0	62,4	80,4	13,2
18	67,0	62,4	80,4	13,2
19	67,0	61,4	76,6	12,1
20	67,0	60,4	72,8	11,0
21	67,0	60,4	72,8	11,0
25	67,0	60,2	71,9	10,8
31	67,0	60,2	71,9	10,8
35	67,0	59,7	70,1	10,4
39	67,0	59,2	68,4	10,0
41	67,0	58,7	66,6	9,6
42	67,0	58,2	64,9	9,3
43	67,0	57,2	61,6	8,6
44	67,0	56,2	58,4	8,1
45	67,0	55,2	55,3	7,6
46	67,0	54,2	52,4	7,1
47	67,0	53,2	49,5	6,7
48	67,0	52,2	46,8	6,3
49	67,0	51,2	44,1	6,0
50	67,0	50,2	41,6	5,6
114	67,0	50,0	41,2	5,6
114,8	67,0	58,0	64,4	9,2
115,6	67,0	66,0	95,5	20,6
122	67,0	66,0	95,5	20,6

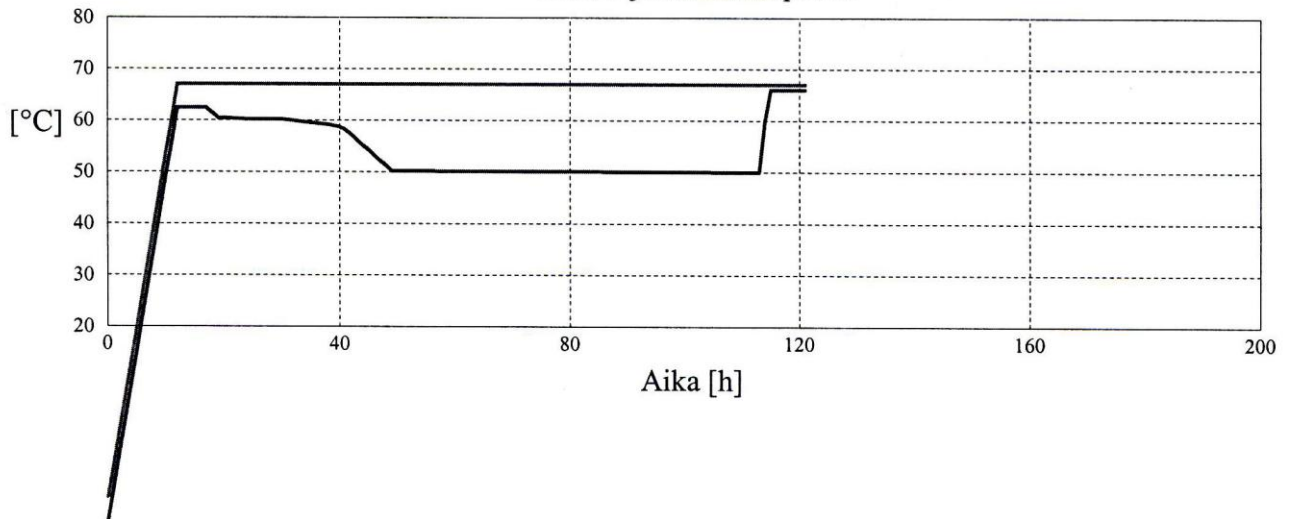
LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO MUUNNELUSTA  
KUIVAUSKAAVASTA 2/3

Laatukamari 2.1 Windows

Kosteus ja suhteellinen jännitys



Kuiva- ja märkälämpötila



LAATUKAMARI-OHJELMAN SIMULAATIO MUUNNELUSTA  
KUIVAUSKAAVASTA 3/3

Laatukamari 2.1 Windows

Kosteusprofiili

