

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Antti Kauttonen

VIIILUNKUIVAAJAN KUIVAUSPROSESSIN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Kauttonen Antti	Viilunkuivaajan kuivausprosessin optimointi
Opinnäytetyö	44 sivua + 12 liitesivua
Työn ohjaaja	lehtori Tuomo Väärä
Toimeksiantaja	Kotkan viilutehdas KVT Oy
Maaliskuu 2014	
Avainsanat	viilu, kuivauskone, parametri, optimointi

Opinnäytetyön aiheena oli Kotkan viilutehtaan, KVT Oy:n, viilunkuivaajan kuivausprosessin optimointi. Tarkoituksena oli löytää kuivaajalle sopivat kuivausparametrit, jotta kuivattava viilu saavuttaisi oikean loppukosteuden ja laadun.

Työn pääaiheena on viilun oikeanlainen kuivaus ja siihen liittyvät haasteet. Aluksi työssä selvitetään pääpiirteittäin viilun valmistusprosessia sen alkutekijöistä asti, mikä jälkeen tarkastellaan viilunkuivausprosessia.

Käytännön tutkimus suoritettiin kuivaamalla useita koekäyttöön tarkoitettuja viiluja, joista leikattiin näytekappaleita kosteuspitoisuuden analysointia varten. Koekappaleiden talteenoton jälkeen ne punnittiin ja asetettiin kuivauskaappiin n. vuorokaudeksi, ja sen jälkeen ne punnittiin uudelleen. Punnitusten jälkeen kappaleiden alkuperäisiä ja kuivauskaapin jälkeisiä massoja vertailtiin toisiinsa, jotta niistä saatiin laskettua prosentuaalinen kosteuspitoisuus.

Lopullisissa koekuivauksissa päästiin toivottuihin tuloksiin. Lopputuotteen visuaalinen laatu parani ja kosteusprosentti oli toivotun kaltainen. Oikeiden parametrien löytäminen loi mahdollisuuden hyvälaatuisen tuotannon toteuttamiseen.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

KAUTTONEN, ANTTI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2014

Keywords

Optimization of the Drying Process for the Veneer dryer

56 pages + 12pages of appendices

Tuomo Väärä, Senior Lecturer

Kotkan viilutehdas KVT Oy

veneer, dryer, parameter, optimize

The subject of this bachelor's thesis was the optimization of the drying process for the veneer dryer of Kotka veneer factory - KVT Oy. The goal was to find optimal drying parameters for the veneer dryer, so that both a suitable quality and moisture content for the product could be attained.

The main subject of the thesis is the correct drying method for the veneer and many challenges of the drying process. First, the thesis undergoes the manufacturing process of the veneer in its entirety. After that it focuses on the actual drying process.

The practical research was carried out by drying several sheets of veneer and cutting test samples out of them. Test samples were used in the analysis of the overall moisture content of the product. Once all test samples were cut off and preserved from sheets of veneer, they were weighed and placed in a heat locker for 24 hours. After 24 hour preservation in a heat locker, test samples were removed from the locker and weighed again. The final percentage of moisture content of the actual product was calculated by comparing masses of test samples recorded before and after placing them into the heat locker.

The final test drying brought an acceptable outcome. The visual quality of the product as well as its moisture content was significantly improved. These newly discovered parameters have enabled the possibility for a better quality product.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	VIILUN VALMISTUSPROSESSI	6
	2.1 Tukkien vastaanotto ja varastointi	7
	2.2 Tukkien haudonta	7
	2.3 Tukkien kuorinta	8
	2.4 Tukkien katkaisu	9
	2.5 Viilun valmistustavat	9
3	VIILUN KUIVAUS	10
	3.1 Kuivauksen vaatimukset	10
	3.2 Kuivauksen perusteet	11
	3.3 Kuivausaikoihin vaikuttavat tekijät	12
	3.4 Koivun ja kuusen erot kuivauksessa	13
	3.5 Viilunkuivauskoneet	14
	3.5.1 Telakuivaaja	14
	3.5.2 Verkkokuivaaja	14
4	KOTKAN VIILUTEHDAS KVT OY	14
	4.1 Yrityksen tavoitteet	14
	4.2 Raaka-aineet ja tuotantoprosessi	15
	4.3 Tuotantolaitteet	15
5	VIILUNKUIVAAJA VTS 29-2300-0204	16
	5.1 Kuivaajan runkorakenne	16
	5.1.1 Kuivaajan kuumaosa	17
	5.1.2 Jäähdytysosa	17
	5.1.3 Viilujen kuljetuslaitteet	18
	5.2 Lämpölaitteet	19
	5.2.1 Kuivausilman kierrätyslaitteet	19

5.2.2 Jäähdytyslaitteet	19
5.2.3 Käytönvalvontalaitteet	20
6 VIILUNKUIVAAJAN KUIVAUSPROSESSIN OPTIMOINTI	20
6.1 Parametrien haku	20
6.2 Koekuivaukset	21
6.2.1 Koeviilut	21
6.2.2 Näytekappaleet	21
6.2.3 Käytössä olleet mittalaitteet ja apuvälineet	23
6.3 Kokeen kulku	26
6.3.1 Osa I	26
6.3.2 Osa II	28
6.3.3 Osa III	30
7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	30
7.1 Ensimmäisen koekuivauksen tulokset	31
7.2 Toisen koekuivauksen tulokset	35
7.3 Koekuivausten analysointi	41
8 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44
LIITTEET	
Liite 1. Ensimmäisen koekuivauksen tulokset	
Liite 2. Toisen koekuivauksen tulokset	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli Kotkan viilutehtaan, KVT Oy:n, viilunkuivaajan kuivausprosessin optimointi. Kuivausprosessin optimoinnilla pyrittiin tuotannon laadun ja tehokkuuden parantamiseen. Toisin sanoen tutkimuksen tarkoituksena oli löytää kuivajalle oikeat kuivausparametrit, jotta kuivattava viilu saadaan oikeanlaiseen loppukosteuteen. Lisäksi tuotteen tuli olla visuaalisesti laadukasta. Kotkan viilutehtaalta tuotteen loppukosteudeksi toivottiin n. 5 - 7 %.

Viilun oikeanlainen kuivaus on niin teoriassa kuin käytännössäkin haasteellinen ja monimutkainen aihe käsitellä, sillä viilun kuivauksesta ei ole olemassa tarkkaa tietoa, jonka pohjalta lopputuotteen moitteeton laatu olisi taattu. On olemassa kuitenkin suuntaa antavaa teoretietoa puuaineksesta ja sen käyttäytymisestä ympäröivissä olosuhteissa. Jotta viilun kuivausta voidaan missään määrin ymmärtää, on kuivausprosessia lähdettävä tarkastelemaan aina puun solubiologian tasolta asti.

Parametrit haettiin olemassa olevien, suuntaa antavien teorioiden ja kokeilun pohjalta. Käytännössä tutkimus suoritettiin satunnaisotannalla valikoiduista testiviiluista leikatuista näytekappaleotoksin. Tarkoituksena oli suorittaa kaksi erillistä koekuivausta, joista ensimmäinen koekuivaus toteutettiin Kotkan viilutehtaan omilla kuivausparametreilla ja toinen koekuivaus kokonaan uudelleen haetuilla kuivausparametreilla.

2 VIILUN VALMISTUSPROSESSI

Viilua valmistetaan pääasiassa vaneria varten, sillä vaneri on yksi puulevyteollisuuden merkittävimmistä tuotteista. Vaneri valmistetaan liimaamalla ristikkäin levyn tason suuntaisia ohuita viiluja. Levyn käyttökelpoisuus määräytyy suurimmaksi osaksi viilun valmistuksessa ja sitä seuraavissa työvaiheissa, erityisesti liimauksessa. (1 : 37.)

Viilun valmistusprosessi on monivaiheinen. Prosessi alkaa tukkien vastaanotolla tehtaalte. Tämän jälkeen tukit viedään tavallisesti hautomoon, jossa ne haudotaan sorvauskelpoiksi. Tukit haudotaan lämpimässä vesialtaassa, jossa niitä pidetään n. 24 - 48 tuntia, vuodenajan mukaan. Haudonta on erittäin tärkeää etenkin talvisin, kun tukit ovat jäässä. Haudonta vaikuttaa merkittävästi sorvaukseen ja sen lopputulokseen.

Tukkien käsittely jatkuu niiden kuorinnalla ja katkaisulla. Tukit katkaistaan sorvipöleiksi, minkä jälkeen ne siirretään sorville, tuotantolaitoksen koon mukaan joko kuljettimin tai kuormaajalla. Tämän jälkeen viilun valmistus alkaa joko sorvaamalla tai leikkaamalla. Sorvauksen jälkeen viilut leikataan arkeiksi joko ennen tai jälkeen kuivauksen, sen mukaan onko kyseessä tela- vai verkkokuivain. Tämän jälkeen viilut siirretään jatkojalostukseen, jossa ne lajitellaan, leikataan, saumataan ja paikataan. (1 : 28.)

2.1 Tukkien vastaanotto ja varastointi

Puunkorjuun yhteydessä tukit mitataan Suomessa pysty- tai jälkimittauksella. Kustannusten ja varastojen minimoimiseksi tukkien kuljetukset tehtaalle suoritetaan nykyisin lähes yksinomaan autoilla. Tehtaalle saavuttuaan, tukkien kappalemääriä, laatua ja mittoja seurataan kuormittain kehys- ja otantamittauksella. Näiden tietojen perusteella selvitetään saapuneen puuraaka-aineen määrä ja laatu. (1 : 29.)

Kuljetuskustannusten ja teknisten seikkojen kuten tukkien käsittelyn, haudonnan ja kuorinnan yksinkertaistamiseksi puut kuljetetaan tehtaalle lähes poikkeuksetta tukkeina eikä pitkinä runkoina. Tehtaalle saapuneet tukkikuormat pudotetaan suoraan haudonta-altaaseen tai varastoidaan joko vesi- tai maavarastoissa. Tukkien varastoinnin tarkoituksena on toimia tehtaan ensimmäisenä välivarastona, jolla tasataan saapuva tukkivirta ja turvataan tehtaan häiriötön käynti. (1 : 29.)

2.2 Tukkien haudonta

Suomessa tukit haudotaan yleensä lämpimässä vedessä joko tukkeina tai pölleinä. Haudonnan tarkoituksena on puun lämmittäminen tilaan, jossa siitä saadaan sorvatuksi tai leikatuksi käyttökelpoista viilua. Haudonnasta tulevan kosteuden on noustava riittävälle tasolle, jotta leikattavan viilun laatu ja työstettävyyssominaisuudet säilyvät moitteettomina. Sorvattaessa viilun on leikkauduttava pinnaltaan tasaisena, sileänä ja riittävän lujana. Jotta em. vaatimukset täyttyisivät, puuaineksen on oltava riittävän muovautuvaa. Puuaineksen hyvä muovautuvuus saadaan aikaan hautomalla puuta riittävän kauan korotetussa lämpötilassa, mikä työstettävyyssominaisuuksien parantamisen lisäksi nostattaa myös puun kosteuspitoisuutta. Puun muovautuvuus ei kuitenkaan parane oleellisesti kosteuden noustessa yli puun syiden kyllästymispisteen. (1 : 30.)

Kuvassa 1 on esitetty yksi Kotkan viilutehtaan haudonta - altaista.



Kuva 1. Tukkien haudonta vesialtaassa, KVT Oy

2.3 Tukkien kuorinta

Tukit kuoritaan vasta haudonnan jälkeen. Tämä on tärkeää erityisesti talvella, jolloin puun kuori on jäässä, sillä jäisen puun kuorinta ei onnistu. Kuorimalla tukit ennen sorvausta vältetään puussa olevien epäpuhtauksien, hiekan ja mahdollisten metallikappaleiden, aiheuttamilta terävaurioilta ja saadaan katkaisusta ja sorvauksesta tulleet sivutuotteet talteen. Puun kuorinta nopeuttaa myös sorvausta. Kuorinta ei saa vahingoittaa kuorittavan tukin pintaa, jotta puuaineksen arvokkaimmasta pintaosasta saataisiin kaikki hyöty. Sorvattavan puun pinnan on oltava puhdas kuoresta ja muista epäpuhtauksista, jotta pöllin pyörityksestä tullut sivutuote voidaan jalostaa esimerkiksi selluloosaksi. Kuorimakoneen on oltava rakenteeltaan tarpeeksi luja, jotta se pystyy käsittelemään järeitä, pitkiä ja usein melko tyvekkäitä ja lenkoja tukkeja. Usein myös vaaditaan, että sama kuorimakone pystyy kuorimaan sekä koivu- että havupuutukkeja. (1 : 33.) Kuvassa 2 on esitetty Kotkan viilutehtaan kuorimakone.



Kuva 2. Kuorimakone, KVT Oy

2.4 Tukkien katkaisu

Sorvaukseen menevät tukit on katkottava ennen varsinaista sorvausta. Tukit katkotaan siten, että pölli on viilun mitan edellyttämässä pituudessa. Suomessa yleisimmät pöllinpituuudet ovat 1 300, 1 600 ja havupuulle usein 2 600 mm. Tukin katkaisun tavoitteena on optimoida sorvauksesta saatavan viilun määrä ja laatu, minimoida katkaisusta aiheutuvan raaka-aineen kulutus sekä sovittaa pöllien pituus ja saatavan viilun laatu vallitsevaan tilauskantaan. Katkaisun optimoimiseksi on kehitetty tietokone- ja kamera-avusteisia mittalaitteita ja mittausmenetelmiä, joiden avulla tietoja voidaan helposti käsitellä ja jotka antavat tukille parhaimmat katkaisuvaihtoehdot. Katkonta tulee suorittaa pintaviilujen tarvetta vastaavalla tavalla, sillä sekä koivu- että havupuulla sorvauksen kannalta arvokkaimmat osat ovat pintapuussa. (1 : 35.)

2.5 Viilun valmistustavat

Viilu valmistetaan pöllistä leikkaamalla tai sorvaamalla, joista jälkimmäinen menetelmä on yleisempi. Leikkausmenetelmässä viilu irrotetaan pöllistä, puun vuosirenkaiden suunnan vastaisesti edestakaisin liikkuvalla terällä. (1: 37.)

Sorvaus etenee siten, että pölli siirretään välivarastokuljettimelta keskityslaitteeseen, jossa pölli keskitetään. Keskitetty pölli kiinnitetään sorvin karojen väliin. Pöllin oikeanlainen keskitys karojen väliin on tärkeää viilun saannon kannalta, sillä puun pintaosa on sydänosaa arvokkaampi. Onnistuneen keskittämisen jälkeen aloitetaan sorvaus.

Sorvauksessa karat pyörivät pölliä ja terä ajetaan hitaasti kohti sitä. Terän koskettaessa pölliä siitä leikkautuu ohutta viilumattoa. (1:38.)

Pöllin asettelun sorvausvalmiuteen, pöllin pyörityksen ja viilun sorvauksen lisäksi, prosessi käsittää muitakin työvaiheita kuten esimerkiksi viilun siirron kuivaukseen ja leikkaukseen, pyöritysjätteiden siirron jatkokäsittelyyn ja sorvin terien huollon. (1 : 38.) Kuvassa 3 on esitetty, KVT Oy:n viilusorvi.



Kuva 3. Viilusorvi, KVT Oy (2.)

3 VIILUN KUIVAUS

Sorvauksen jälkeen viilu kuivataan, jotta viilusta saadaan mahdollisimman tasaista ja jännityksetöntä. Sorvilta tullut viilu on erittäin kosteaa eikä sellaisenaan sovellu jatkojalostukseen: liimaukseen, puristukseen jne. Niinpä oikeanlainen kuivaus on tärkeää viilun työstettävyyden kannalta.

3.1 Kuivauksen vaatimukset

Viilun lopullinen kosteus määräytyy pääosin kuivauksessa. Kuivaajassa viilun kosteus lasketaan tasolle, jolla sen katsotaan parhaiten soveltuvan lopulliseen tuotantoon esimerkiksi vanerin liimaukseen ja valmistukseen. Dekoratiivisen viilun oikea kosteusprosentti on tavallisesti 8-12. Vanerilla tämä on matalampi. (3.) Oikean ja kauttaaltaan tasaisen loppukosteuden lisäksi kuivatun viilun tärkeimmät vaatimukset ovat pinnan tasaisuus, sileyys ja rikkoutumattomuus. Jotta nämä vaatimukset täyttyisivät, kuivaus-

olosuhteiden on oltava oikeanlaiset: kuivaajan lämpötila, kuivaajassa vallitseva kosteus ja kuivausaika. Vääränlainen kuivaus pilaa viilun. Liian kuuma lämpötila tekee viilusta hauraan epätasaisen ja halkeilevan. Liiallinen kuumuus aiheuttaa myös pinnalle värivirheitä ja voi pahimmassa tapauksessa polttaa viilun. Matala lämpötila taas jättää viilun liian kosteaksi eikä se näin ollen em. syistä sovellu tuotantoon. Tavanomaisimpia kuivausvirheitä viilussa ovat epätasaisen ja kauttaaltaan vaihtelevan kosteus, halkeilu sekä pinnan aaltoilu. Pinnan muotovirheet ja halkeilu johtuvat puun sisäisten jännitteiden äkillisistä purkautumisista.

3.2 Kuivauksen perusteet

Puu on soluista koostuvaa, biologista eli elävää alkuperää oleva aine. Puun kuivauksen kannalta tämä tuo mukanaan omat haasteensa. Yksi näistä haasteista on muun muassa puun kosteuseläminen, joka ilmenee puun kutistumisena ja turpoamisena. Tämä johtuu puun ominaisuudesta asettua ympäröivän ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden edellyttämään tasapainotilaan. Tätä ominaisuutta kutsutaan puun hygroskooppisuudeksi. Viilun kuivaus kuten puun kuivaus yleensä, perustuu puun hygroskooppisuuteen. Viilua kuivattaessa tuotteen tasapainokosteuden on havaittu laskevan sitä mukaa kun lämpötila on noussut. Siksi viilua kuivataan tavallisesti lähes 200 °C:n lämpötiloissa. (1 : 49.)

Kuivuessa puu kutistuu. Tämä aiheutuu puun solurakenteeseen sitoutuneen veden poistumisesta. Tuoreessa puussa vesi esiintyy vapaana soluonteloissa ja muissa puuaineen vapaissa tiloissa sekä sitoutuneena solujen seinämiin. Puun kuivauksen alkuvaiheessa vesi poistuu ensin soluonteloista. Kun vesi on poistunut puun soluonteloista, on saavutettu puun syiden kyllästymispiste, joka kotimaisilla puulajeilla on n. 30 %. (1 : 50.)

Puun syiden kyllästymispisteestä alkava kutistuminen suurenee melko suoraviivaisesti täysin kuivaan puuhun asti. Sorvatun viilun kutistuminen voidaan havaita viilun tason eli puun vuosirenkaan tangentin suunnassa sekä säteen eli puun vuosirenkaan radiaali suunnassa. Viilun loppukosteuspitoisuuden ollessa 5 % tangentin suuntainen kutistuma koivulla on noin 8 % ja havulla 6 %. Puun säteen suuntaan verrattuna kutistuminen on suurempaa tangentin suunnassa. (1 : 51.)

Kuivauksen aiheuttama kutistuminen saa viilussa aikaan jännityksiä, jotka voivat hal- kaista sen ja aiheuttaa muotovikoja, kuten aaltoilua ja kupruilua. Tästä syystä kuiva- uksen aiheuttama kutistuminen on syytä huomioida sorvauspaksuuksia määrittäessä. Erityisesti verkkokuivaajassa kuivauksen aikana tapahtuva kutistuminen vaikuttaa kuivaajan toimintaan. Jotta kuivattava tuote saadaan pidettyä mahdollisimman ehjänä ja tasaisena, verkkokuivaajan nopeus on sovitettava viilun kutistumisen edistymiseen. Myös muut kuivaajan parametrit, kuten kuivaajan lämpötila ja kuivaajassa vallitseva kuivausilman suhteellinen kosteus, on huomioitava. Viilua kuivattaessa puun alkukos- teudella on suuri vaikutus ennen kuivausta. Koivun pinta- ja sisäosan välillä ei ole suurta kosteuseroa. Vastaavasti havupuiden sydän- ja pintaosien kosteuserot ovat hy- vinkin suuret. (1 : 51.) Siksi havupuun sydän- ja pintaosien viilut kuivataan yleensä erikseen.

3.3 Kuivausaikoihin vaikuttavat tekijät

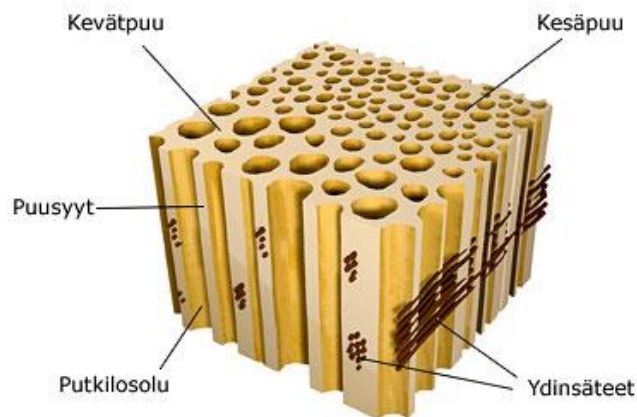
Kuivausilman lämpötilan nostaminen lyhentää voimakkaasti kuivausaikaa. Korkeissa lämpötiloissa kuivaaminen tuo kuitenkin mukanaan omat riskinsä. Näitä ovat esimer- kiksi viilun tummuminen ja ääritapauksessa palaminen. Kuivausilman suhteellisella kosteudella on myös merkittävä vaikutus kuivausprosessissa ja sen nopeuttamisessa, sillä kuivausilman suhteellisen kosteuden laskiessa viilu kuivuu nopeammin. Tämä on myös merkittävä tekijä, joka saattaa heikentää laatua, viilusta tulee epätasaista eikä se sovellu tarkoituksen mukaiseen käyttöön. Kuivausilman suhteellinen kosteus ei myös- kään saa olla liian korkea. Tämän takia viilua pyritään kuivaamaan siten, että kuivaa- jassa vallitseva kastepiste ei ylitä eli kuivaajaan ei tiivisty vettä. (1 : 53.)

Kuivausilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden lisäksi kuivausaikoihin vaikuttavat merkittävästi myös kuivausilman puhallusnopeus kuivattavan viilun pintaa vasten, puun alkukosteus, viilun paksuus, puulaji (solurakenne, tilavuuspaino ja pinta- ja sy- dänpuu) ja tärkeimpänä kaikista itse viilun loppukosteus. (1 : 52.)

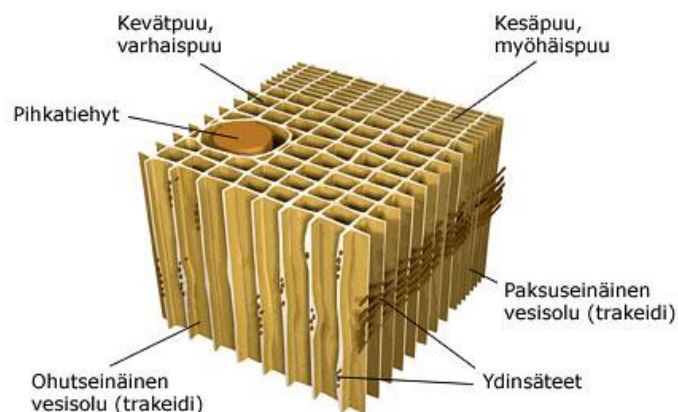
Vaikka viilun kuivauksesta on olemassa paljon tietoa, joka saattaa olla paikoin melko seikkaperäistäkin, kaikki kuivauksessa huomioitavat asiat perustuvat suurelta osin ko- kemusperäisiin tietoihin. Sopivat kuivausparametrit haetaan lähinnä kokeilun kautta.

3.4 Koivun ja kuusen erot kuivauksessa

Mitä pienempi puun tilavuuspaino on, sitä enemmän puu voi sisältää vettä. Tuoreen koivun kosteuspitoisuus on n. 70 %. Tällöin veden määrä kuutioissa on n. $410 \text{ kg} / \text{m}^3$. Tuoreen kuusen kosteuspitoisuus on vastaavasti pintapuussa n. 120 % , joten sen sisältämä vesimäärä kuutioissa on n. $530 \text{ kg} / \text{m}^3$. Sydänpuussa kuusen kosteuspitoisuus on n. 45 %, eli sen sisältämä vesimäärä kuutioissa on n. $190 \text{ kg} / \text{m}^3$. Solurakenteensa vuoksi koivu kuivuu kuusta nopeammin, sillä koivun avarat putkilot johtavat paremmin vettä kuin kuusen suippomaiset solut. (1 : 53.) Kuvissa 4 ja 5 esitetään koivun ja havupuun solurakenteita.



Kuva 4. Koivupuun solurakenne (4.)



Kuva 5. Havupuun solurakenne (5.)

3.5 Viilunkuivauskoneet

Viilunkuivauskoneet jaetaan viilun kuljetustavan mukaan. Kuivauskoneita on pääasiassa kahdenlaisia: tela- ja verkkokuivaajia. Kuivauskoneet koostuvat kuivaus- ja jäähdytysyksiköistä, joten niiden kapasiteettien muuttaminen on joustavaa. Kuivauskoneissa ilma puhalletaan suurella nopeudella viilun pintaa vasten. (1 : 53.)

3.5.1 Telakuivaaja

Viilujen syöttö telakuivaajaan tapahtuu leikattuina arkkeina sorvauksen jälkeen. Viilut syötetään kuivaajaan pituussuunnassa, kaksi tai useampi arkki rinnakkain. Arkit kulkevat telaparien vetäminä kuivaajaan, käyden ensin kuivausvyöhykkeen ja lopuksi koneen loppupäässä sijaitsevan jäähdytysvyöhykkeen läpi jossa viilut jäähdytetään koneen ulkoa ottamalla ilmalla, joka puhalletaan viilun pintaa vasten. (1 : 53)

3.5.2 Verkkokuivaaja

Verkkokuivaajiin viilu syötetään yleensä mattona suoraan sorvilta. Viilumatto kulkee sorvilta, syysuunta poikittain kuivaajan parillisten verkkojen väliin. Viilumatto kulkee lämmitysvyöhykkeissä useita kertoja koneen lävitse. Koneen alaosassa sijaitsee koneen lävitse ulottuva jäähdytysvyöhyke. (1 : 53.)

4 KOTKAN VIILUTEHDAS KVT OY

Kotkan viilutehdas valmistaa ekologista erikoisviilua muotoilijoille. Se toimii Kymenlaakson ammattikorkeakoulun entisen puulaboratorion tiloissa. KVT Oy on yrityksenä uusi, mutta osalla sen työntekijöistä on yli kahdenkymmenen vuoden kokemus viilun tekemisestä. (6.)

4.1 Yrityksen tavoitteet

Tehtaan visiona on olla halutuin erikoisviilun tuottaja Pohjois-Euroopassa, ja sen tavoitteena on edistää erikoisviilun käyttöä muotoilutuotteissa ja ylläpitää erikoisviilun tuotantoa. Samoin se pyrkii turvaamaan ensiluokkaisen, kotimaisen erikoisviilun saatavuuden muotoilijoille. Strategisena tavoitteena on valmistaa luotettavasti, ympäris-

töystävällisesti ja kustannustehokkaasti suunnittelijoiden ja valmistajien laatuvaatimukset täyttävää erikoisviilua. (6.)

4.2 Raaka-aineet ja tuotantoprosessi

Kotkan viilutehtaan raaka-ainevalikoima kattaa koivun, haavan ja eurooppalaisen tammen. Sorvattavien viilujen mitat ovat 0,3 – 3,00 mm *1155 * 1155 mm, mutta pääasiassa tehdas keskittyy 0,6 ; 1,0 ja 1,5 mm:n tuotantoon. Myynti ja markkinointi keskittyy pääasiassa muotoilutuotteiden valmistajiin Pohjois-Euroopassa. (6.)

Tuotantoprosessi etenee siten, että tukkitilaus saapuu ensin tehtaalle. Tämän jälkeen osa tukeista varastoidaan tehtaan pihalle. Prosessiin menevät tukit lasketaan kahteen tukkipihalla olevaan haudonta-altaaseen. Altaasta tukit nostetaan tukkinosturilla kuorimakoneelle, minkä jälkeen ne kuljetetaan pyöräkuormaajalla sahattaviksi, moottorisahalla ja tukit katkotaan sorvipöilleiksi. Sorvipölliä kuljetetaan pyöräkuormaajalla sorville, jonka jälkeen pölleistä sorvataan viilua. Sorvin loppupäässä on automaattinen leikkuri, joka leikkaa viilun asetteen mukaiseen määrämittaun. Asete vaihdetaan ja viilu lajitellaan manuaalisesti. Sorvatut ja lajitellut viilut kuljetetaan pumppukärryillä kuivaajan alkupäähän, jonka jälkeen ne syötetään kuivaajaan käsin. Kuivauksen jälkeen ne otetaan vastaan ja lajitellaan käsin mittojen, laadun ja paksuuksien mukaan. Lajittelun jälkeen viilut kuljetetaan leikkureille ja ne leikataan tilausta vastaaviin mittoihin. Tämän jälkeen leikatut viilut paketoitetaan. (6.)

4.3 Tuotantolaitteet

Tärkeimmät tuotantolaitteet koostuvat Kymenlaakson ammattikorkeakoulun entisen puutekniikan laboratorion laitteista.

Pääasialliset tuotantolaitteet ovat Rauten valmistamia. Nämä laitteet ovat:

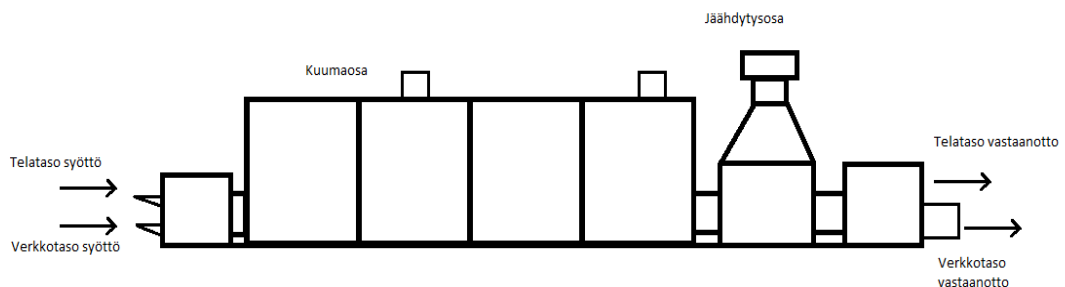
Viilusorvi:

Raute 3 VKKT 55/L65

Viilunkuivaaja: Raute VTS 29-2300-0204 Tela- ja verkkokuivaajan yhdistelmä

5 VIILUNKUIVAAJA VTS 29-2300-0204

Kotkan viilutehtaan viilunkuivaaja on kaksitasoinen tela- ja verkkokuivaajan yhdistelmä ja kumpaakin tasoa voidaan käyttää samanaikaisesti. Ylempi telataso soveltuu 1- 8 mm:n viilulle, ja alemmalla verkkotasolla voidaan ajaa 0,18 - 0,8 mm:n viilua. Nopeus voidaan asettaa kummallekin tasolle erikseen ja kosteuden säätö on jatkuväsäätöinen. Kuivaajan sähköinen lämmitysteho on 270 kW. Laite koostuu neljästä kennosta joiden lämpötila voidaan nostaa yli 220 °C:seen. Kuivaajassa on kolme lämpötilavyöhykettä ja lämpötila voidaan asettaa manuaalisesti kuivaajan ohjauspaneelista. Lämpöä voidaan säädellä portaattomasti ja säätimiä on kolme: yksi kpl / vyöhyke. Kuivaajan toimintaa ohjataan osittain ohjelmoitavalla logiikalla. (7.)



Kuva 6. Viilunkuivaaja VTS 29-2300-0204 (7.)

5.1 Kuivaajan runkorakenne

Kuivaajan rakenne koostuu muotorauodoista ja teräslevystä. Raaka-aineissa ja rakenteissa on huomioitu lämpötilojen muutoksista johtuvat muodonmuutokset. (7.)

5.1.1 Kuivaajan kuumaosa

Kuuman osan sivuseinät (kuva 7) muodostuvat imupuolen alaosassa pareittain aukeavista teräsovista, jotka on eristetty sisäpuolelta ja niissä on kiilalukkolukitukset. Ovet on sijoitettu siten, että niitä on kaksi / kenno. Yläosan seinät koostuvat lämpöeristetyistä laatoista, joissa on aukot potkuripuhaltimille. Puhaltimet on kiinnitetty ruuviliitoksiin, jotta ne voidaan helposti irrottaa huollon ajaksi. Painepuolen alaosa on samanlainen kuin imupuolella. Yläosa koostuu lämpöeristetyistä laatoista. Kuuman osan katto on eristetty vuorivillalevyillä ja peitetty allotetulla levyllä. Lattia ja päädyt on valmistettu lämpöeristetyistä laatoista. (7.)



Kuva 7. KVT Oy:n kuivaajan kuumaosa

5.1.2 Jäähdytysosa

Jäähdytysosa on rakennettu teräksestä ja teräslevyistä. Sen seinät muodostuvat kuuman osan tavoin ovista, mutta ilman eristyksiä. (7.) Kuvassa 8 on esitetty KVT Oy:n viilunkuivaajan jäähdytysosa.



Kuva 8. KVT Oy:n viilunkuivaajan jäähdytysosa

5.1.3 Viilujen kuljetuslaitteet

Viiluarkit kulkevat syysuunnassa, ylhäällä telaparin ja alhaalla kahden verkon välissä. Arkit kulkevat ensin kuivaajan kuuman osan läpi, joka kuivattaa viilun ja lopuksi jäähdytysosan läpi, joka jäädyttää viilun. Viilut kulkevat koneen läpi vain kerran. Kuivaustasot ovat ketjuvetoisia ja niissä on itsestään toimivat voitelu- ja kiristyslaitteet. (7.) Kuvassa 9 on esitetty, KVT Oy:n viilunkuivaajan alkupää, jossa viilujen syöttö kuivaajaan tapahtuu. Ylempänä on telataso ja sen alapuolella verkkotaso.



Kuva 9. Viilujen syöttö tela- ja verkkotasolla

5.2 Lämpölaitteet

Viilun kuivuminen tapahtuu lähes kokonaan kuivaajassa kiertävän kuuman ilman vaikutuksesta. Ilma kuumennetaan sähkövastuksilla, joita on 42 kpl / kenno. Vastukset on sijoitettu kuivausratojen yläpuolelle. (7.)

5.2.1 Kuivausilman kierrätyslaitteet

Kuivaajan ilmankierto toteutetaan potkuri- eli aksiaalipuhaltimilla, joita on yksi / kenno. Ilma ohjataan puhaltimilla lämpöpattereiden läpi suutinlaatikoihin, joista se purkautuu suutinreikien läpi suoraan viilun pintaa vasten. Suutinlaatikoiden ja telojen välissä olevien kanavien kautta ilma ohjautuu takaisin puhaltimille, minkä jälkeen se alkaa uuden kiertokulun. Osa kosteasta ilmasta johdetaan kuivaajan katossa oleviin poistoilmakanaviin, joissa on säädettävät luukut. (7.)

5.2.2 Jäähdytyslaitteet

Viilut jäähdytetään kiertävällä jäähdytysilmalla, joka tuodaan ulkoa, putkea pitkin puhaltimelle. Puhallin ohjaa ilman suutinlaatikoihin, joista se purkautuu suutinreikien läpi viilun pintaa vasten. Suutinlaatikoiden ja telojen välissä olevien kanavien kautta ilma johdetaan poistopuhaltimelle ja sieltä putkea pitkin ulos. (7.)

5.2.3 Käytönvalvontalaitteet

Kuivaaja varustetaan toimituslaajuusluettelon mukaisilla valvontalaitteilla. Kuivaajas-
sa on aina sisäinen palonsammutusjärjestelmä. Sammutusjärjestelmä sisältää yhden
suuttimen per kenno, kuumassa osassa ja suuttimet viilun ulostuloradoille. (7.)

Kuivaaja vaatii aina valvojan, jonka tehtävänä on seurata koneen käyntiä ja tehdä tar-
vittavat säädöt. Tärkeimmät säädöt, joita kuivaajan valvoja voi kuivaajalle tehdä ovat
lämpötilan, siipisäätimen ja nopeuden säädöt. Nämä säädöt toteutetaan kuivattavan
tuotteen, sekä kuivaajassa vallitsevien kuivausolosuhteiden mukaan. (7.)

Pääasiassa kuivaajan tasojen nopeudet asetetaan kuivattavien viilujen paksuuksien
mukaan. Nopeutta muutetaan vain silloin, kun viilun paksuus tai kuivaajan kuivaus-
olosuhteet kuivauksen aikana muuttuvat. Kuivaajan kuivausolosuhteiden muutoksilla
tarkoitetaan lämpötilan tai kuivaajassa vallitsevan kosteuden muutosta. Nopeuden sää-
töön vaikuttaa yleensä lähes yksinomaan kuivaajan lämpötila, sillä jos lämpötila on
liian alhainen, viilu jää liian kosteaksi. Jos se vastaavasti on liian korkea, viilusta tulee
liian kuivaa. Kuivaajan nopeus on siis asetettava lämpötilaan nähden sopivaksi, jotta
kuivattavan tuotteen laatuvaatimus kuivauksen jälkeen täyttyy.

Kuivaajassa vallitsevaa kosteutta hallitaan siipisäätimellä. Siipisäädintä voi käyttää
manuaalisesti tai sen voi asettaa automaatiolle. (7.)

6 VIILUNKUIVAAJAN KUIVAUSPROSESSIN OPTIMOINTI

Viilunkuivaajan kuivausprosessin optimoinnilla tarkoitetaan kuivaajan parametrien eli
asetusarvojen, nopeus-, lämpötila- ja kosteusarvoasetuksien, asettamista tasolle, jolla
tuotannon tehokkuus ja laatu ovat toisiinsa nähden tasapainossa. Oikeat parametrit ha-
ettiin tutkimuksella, joka suoritettiin kolmessa osassa meneillä olevan tuotannon yh-
teydessä sekä tela- että verkkotasolle.

6.1 Parametrien haku

Tilanteen kartoitus aloitettiin kuivaamalla viilua tehtaan omilla kuivausparametreilla.
Tämän ensimmäisen koekuivauksen tarkoituksena oli selvittää tuotteen sen hetkinen
loppukosteus. Kun tuotteen loppukosteus oli selvitetty ja sen oli todettu olevan liian

pieni, lähdettiin hakemaan uusia parametreja. Uudet parametrit haettiin olemassa olevien teoretietojen ja kokeilun kautta, ajamalla viilua kuivaajan läpi ja säätämällä kuivaajan asetuksia, kunnes tuotteen kosteus ja visuaalinen laatu oli halutun kaltainen. Sopivien parametrien löydyttyä suoritettiin toinen koekuivaus, jonka tarkoitus oli korvata Kotkan viilutehtaan omat kuivausparametrit.

6.2 Koekuivaukset

Koekuivaukset suoritettiin 0,6 mm:n ja 1,0 mm:n paksuisilla koivuviiluilla. Kuivausten tulokset selvitettiin koeviiluista leikatuin näytekappale otoksin. Tutkimuksessa seurattiin myös 1,5 mm:n viilua, mutta näytekappaleiden otot ja tulosten tarkastelut rajattiin kuitenkin vain 0,6 mm:n ja 1,0 mm:n viiluille, sillä näiden paksuuksien katsottiin olevan tuotannon kannalta kaikkein kriittisimmät. 1,5 mm:n viilussa tyydyttiin vain pintapuoliseen kosteuden ja visuaalisen laadun tarkasteluun. Pääasiassa 1,5 mm:n paksuinen viilu oli jo hyvälaatuista. Näytekappaleita koskevaa tietoa käsitellään tarkemmin kohdassa 6.2.2.

6.2.1 Koeviilut

Kotkan viilutehdas kuivaa viilua sekä tela- että verkkotasolla. Poikkeus tehdään kuitenkin 0,6 mm:n viilun kohdalla, jota kuivataan vain telatasolla. Koeviilut valittiin satumanvaraisesti heti sorvauksen jälkeen. Viilujen valinnan kriteerinä oli kuitenkin viilujen sorvauksen jälkeinen laatu, jonka tuli olla virheetön. Ensimmäiseen suoritettavaan koeajoon valittiin 30 viilua / paksuus. Tämä tarkoittaa, että 1,0 mm:n viilulle valittiin 30 kpl telatasolle, 30 kpl verkkotasolle ja 0,6 mm:n paksuudelle 30 kpl pelkästään telatasolla tapahtuvaa kuivausta varten. Yhteensä kuivattavia koeviiluarkkeja yhtä koekuivausta varten kertyi 90 kpl.

6.2.2 Näytekappaleet

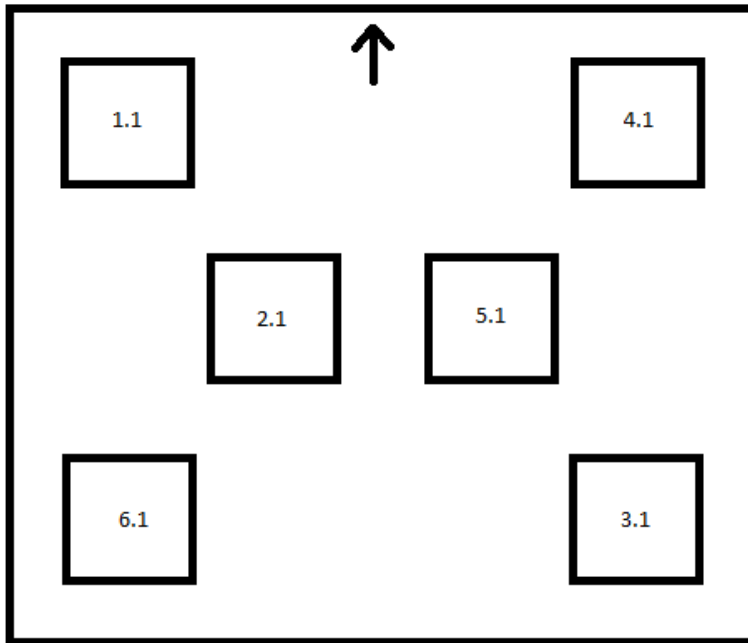
Kun koeviilut oli valittu, niihin merkittiin järjestelmällisesti kohdat, joista näytekappaleet otettiin. Näytekappaleita otettiin 6 kpl / viilu. Kappaleet otettiin siten, että ennen kuivaajaan syöttämistä viilusta otettiin kolme kosteaa näytekappaletta, jotka olivat alkukosteuskappaleita. Kuivauksen jälkeen otettiin loput kolme ns. kuivaa näytekappaletta, jotka olivat loppukosteuskappaleita. Kappaleet olivat viilun paksuuden mukaan kokoa 100 mm * 100 mm * 1,0 mm tai 150 mm * 150 mm * 0,6 mm. Kappaleet nu-

meroitiin juoksevasti siten, että ensimmäinen numero ilmoitti kappaleen sijainnin viilussa ja toinen sen, mistä viilusta kappale oli otettu. Ensimmäiset kolme kappaletta (1 - 3) olivat ennen kuivausta otettuja alkukosteuskappaleita ja loput kolme (4 - 6) kuivauksen jälkeen otettuja loppukosteuskappaleita. Näytekappaleet irrotettiin viiluista mattoveitsellä, minkä jälkeen ne asetettiin muovipusseihin, kuivat ja märät omiin pusseihinsa, jotta ne säilyttäisivät sen hetkisen kosteutensa, tarkkoja mittaustuloksia varten.

Kappaleet 1, 3, 4 ja 6 otettiin viiluarkkien reunoilta ja kappaleet 2 ja 5 viiluarkkien keskeltä. Näin pystyttiin kauttaaltaan selvittämään arkkien kosteuspitoisuutta ja sitä, kuinka tasaisesti tai epätasaisesti se vaihteli. Kuva 10 havainnollistaa koekappaleiden sijainnit.

Koekappaleiden otannan jälkeen, kappaleet punnittiin ja asetettiin kuivauskaappiin vuorokauden ajaksi n. 103 °C:n lämpötilaan, minkä jälkeen ne punnittiin kuivina uudelleen kosteuden määrittämistä varten. Kosteus ilmoitetaan prosentteina haihtuneen vesimäärän suhteena kuivaan puuhun. Märstä koekappaleista saatujen mittaustulosten tarkoitus oli ilmoittaa kuivattavan tuotteen alkukosteus. Vastaavasti kuivista koekappaleista saatujen tulosten tarkoitus oli ilmoittaa tuotteen loppukosteus.

Tutkimustulokset kirjattiin ylös kokeen edetessä. Punnituksista saadut tulokset eli kappaleiden massat sekä alku- että loppukosteuskappaleista kirjattiin ylös Excel-taulukoihin. Tulosten kirjaus tapahtui pääasiassa kahdessa osassa. Ensin kirjattiin alku- ja loppukosteuskappaleiden massat ennen niiden asettamista kuivauskaappiin. 24 tunnin kuluttua kuivauskaapin jälkeen kappaleiden massat kirjattiin uudelleen.



Kuva 10. Näytekappaleiden otannat

Kuvaan 10 on merkitty viilun kohdat, joista koekappaleet on otettu. Lisäksi kuvaan on merkitty nuolella viilun syöttösuunta kuivaajaan. Syöttö kuivaajaan tapahtui viiluarkin syysuuntaan. Koekappaleiden merkinnät tehtiin vedenkestävällä tussilla.

6.2.3 Käytössä olleet mittalaitteet ja apuvälineet

Käytössä olleisiin mittalaitteisiin ja apuvälineisiin lukeutuivat Sartorius-vaaka, Sartorius-kosteusanalysaattori, kapasitiivinen kosteuden mittaaja, Köttermann-kuivauskaappi sekä Fluke-lämpömittari.

Sartorius-vaaka ilmoittaa punnittavan kappaleen massan, gramman sadasosan tarkkuudella. Tällä vaa'alla (kuva 11) punnittiin viiluista irrotetut näytekappaleet.



Kuva 11. Sartorius-vaaka

Kosteutta seurattiin Sartorius-kosteusanalyssaattorilla (kuva 12), jota käytettiin viilujen tarkemman kosteuspitoisuuden seurannassa. Muutoin kosteutta seurattiin kapasitiivisella kosteuden mittaajalla, painamalla se kuivaajasta tulleen viilun pintaa vasten. Sartorius-kosteusanalyssaattoria käytettiin siten, että joka viidennestä koeviilusta leikattiin ylimääräinen koepala, joka ns. murennettiin vaa'assa olevaan folioastiaan. Tämän jälkeen vaaka asetettiin tilaan, jossa se alkoi mitata murusten kosteuspitoisuutta. Kosteuspitoisuus ilmoitettiin prosenttiyksiköissä.



Kuva 12. Sartorius-kosteusanalyssaattori

Koekappaleet kuivattiin Köttermann-kuivauskaapissa (kuva 13). Viiluista otetut koekappaleet asetettiin kaappiin ensimmäisten punnitusten jälkeen.



Kuva 13. Köttermann-kuivauskaappi

Kuivauskaapin lämpötilaa seurattiin Fluke-lämpömittarilla (kuva 14). Lämpöä seurattiin raottamalla kaapin ovea ja työntämällä mittarin termopari kaapin sisälle. Haluttu kuivauslämpötila oli n. 103 °C.



Kuva 14. Fluke-lämpömittari

6.3 Kokeen kulku

6.3.1 Osa I

Koe aloitettiin valikoimalla ja merkitsemällä koeviilut ja niistä otettavien koekappaleiden kohdat sekä säätämällä viilunkuivaajan asetukset. Alkuvaiheessa kuivaajassa käytettiin viilutehtaan omia parametreja, jotka on esitetty tuotekohtaisesti taulukoissa 1 - 3. Seuraavaksi aloitettiin viilun kuivaus, jonka yhteydessä seurattiin kuivaajasta ulos tulleen viilun kosteutta kapasitiivisella kosteudenmittaajalla. Kosteuden mittausta tehtiin tuotantoon menevälle viilulle. Kun viilujen kosteuspitoisuudet eivät toisiinsa nähden selkeästi enää vaihdelleet aloitettiin koeviilujen syöttö. Tätä ennen otettiin mattoveitsellä leikkaamalla talteen jokaisen koeviilun kosteat kappaleet, joita oli kolme kpl / viiluarkki; yksi kappale viiluarkin vasemmasta yläreunasta, yksi viiluarkin keskeltä ja lopuksi yksi kappale viiluarkin oikeasta alareunasta.

Kun arkit tulivat ulos kuivaajasta, niistä mitattiin kosteus kapasitiivisella kosteuden mittaajalla, jonka jälkeen niistä irrotettiin mattoveitsellä viimeiset kuivauksen jälkeiset koekappaleet, joita oli myös kolme kpl / viiluarkki; yksi kappale viiluarkin oikeasta yläreunasta, yksi kappale viiluarkin keskeltä ja yksi kappale viiluarkin vasemmasta alareunasta. Joka viidennestä viiluarkista otettiin myös yksi koepala Sartorius-kosteudenmittaajaa varten. Kun kaikki koeviilut oli kuivattu ja niistä otetut koekappaleet (kosteat sekä kuivauksen jälkeen otetut kappaleet) oli laitettu omiin muovipus-

seihinsa, ne vietiin punnittaviksi. Punnituksissa kappaleista, sekä kosteista että kuivista, otettiin talteen kappaleiden märkämäärät eli märkämäärät. Punnitusten jälkeen kappaleet asetettiin kuivauskaappiin n. 24 tunnin ajaksi, jonka jälkeen ne punnittiin uudelleen. Tällä kertaa kappaleista punnittiin niiden kuivapainot eli kuivamäärät. Näiden tulosten avulla saatiin lasketuksi kappaleiden alku- ja loppukosteusprosentit.

Taulukoihin 1 - 3 on kirjattu kuivaajan asetusarvot. Nämä asetusarvot ts. KVT Oy:n omat kuivausparametrit toimivat koekuivausten lähtöarvoina, ja niitä käytettiin ensimmäisessä koekuivauksessa. Taulukoihin on merkitty kuivaustasot, viilun paksuudet, kuivaajan lämpötilan asetusarvot, kuivausaika ja kosteutta säättävän siipisäätimen asento.

Taulukko 1. Kotkan viilutehtaan kuivaajan parametrit telatasolla kuivatulla 1,0 mm:n paksuisella viilulla

Telataso	Viilun paksuus	1,0 mm
	Lämpötila	145 °C
	Kuivausaika	3 min 20 s
	Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Taulukko 2. Kotkan viilutehtaan kuivaajan parametrit verkkotasolla kuivatulla 1,0 mm:n paksuisella viilulla

Verkkotaso	Viilun paksuus	1,0 mm
	Lämpötila	145 °C
	Kuivausaika	3 min 20 s
	Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Taulukko 3. Kotkan viilutehtaan kuivaajan parametrit telatasolla kuivatulla 0,6 mm:n paksuisella viilulla

Telataso	Viilun paksuus	0,6 mm
	Lämpötila	130 °C
	Kuivausaika	2 min 40 s
	Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Näillä parametreilla saavutettu laatu ei vastannut viilutehtaan tavoitteita. Tuote oli kupruilevaa ja epätasaista sekä kosteudeltaan että visuaalisuudeltaan. Haluttua loppukosteusprosenttia ei saavutettu. Yleisesti ottaen kosteus oli 1,0 mm:n viilulla 1,5 - 3,5 % ja 0,6 mm:n viilulla 0,50 - 0,70 %. Kosteuden seuranta suoritettaessa yksittäisten "ei koekäyttöön" tulleiden viilujen kosteusarvot tietyissä kohdin pintaa saattoivat vaihdella useita prosenttiyksiköitä. Myös koekappaleiden ottaminen kuivatuista koeviiluista oli hankalaa, sillä kuivattu viilu halkeili helposti. Viilu siis "ylikuivattiin".

6.3.2 Osa II

Ensimmäisen koekuivauksen jälkeen lähdettiin hakemaan uusia kuivausparametreja. Uusia parametreja haettiin ensimmäisten koekuivausten tapaan tuotannon ohessa, mutta ilman varsinaisia koeviiluja ja koekappaleita, seuraamalla kuivaajasta tulleiden tuotantoon menevien viilujen kosteutta kapasitiivisella kosteudenmittaajalla. Tarkempia kosteusmäärityksiä tehdessä jouduttiin uhraamaan muutamia viiluja, joista otettiin kosteuspaloja Sartoriusta varten. Näiden mittausten perusteella, kuivaajalle tehtiin tarvittavat säädöt.

Aikaisemmin viilua kuivattiin siten, että jokaisessa kuivaajan neljässä kennossa vallitsi tasaisesti paksuuden mukaan joko reilu 130 °C:n (0,6 mm) tai 145 °C:n (1,0 mm) lämpötila ja kuivaajan kuivaustasojen nopeudet ja kuivaajan kuivausilman kosteutta säätävä siipisäädin, kuten taulukoissa 1 - 3 on mainittu. Tämä ei tuottanut kuivauksen kannalta toivottuja lopputuloksia.

Puun hygroskooppisuuden liittyvien teorioiden ja kokeilun avulla, kuivaajan kennojen lämpötilat säädettiin pienemmiksi ja toisiinsa nähden eri lämpötiloihin. Käytännössä tämä tarkoitti, että kuivaajan kaksi äärikennoa olivat keskimäärin 10 °C viileämmät kuin kaksi keskikennoa. Myös kuivausnopeuksia nostettiin. Kuivaajan kuivausilman kosteutta säätävän siipisäätimen asetusarvo säilytettiin entisellään.

Kuivauksia alettiin toteuttaa näin, koska kuivauksen aikana on tyypillistä, että puussa tapahtuu jännitysten purkautumisia. Aikaisemmin viilu kuivui korkeissa lämpötiloissa nopeasti, altistaen sen rikkoutumiselle ja pinnan epätasaisuudelle. Uusien parametrien pyrkimyksinä oli purkaa nämä jännitykset vaiheittain, viilun edetessä kuivaajassa ensin mietoon lämpötilaan, minkä jälkeen lämpötila alkaa pikkuhiljaa nousta korkeammaksi. Loppua kohden lämpötila alkaa laskea, joten suuresta lämpötilan vaihtelusta

aiheutuvia muodon muutoksia ei ehdi tapahtua. Uudet kuivausparametrit on esitetty taulukoissa 4 - 6.

Taulukko 4. Toisen koekuivauksen parametrit telatasolla kuivatulla 1,0 mm:n paksuisella viilulla

Telataso	Viilun paksuus
	1,0 mm
Kuivausilman lämpötila	
Kenno 1.	130 °C
Kenno 2.	140 °C
Kenno 3.	140 °C
Kenno 4.	130 °C
Kuivausaika	2 min 40 s
Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Taulukko 5. Toisen koekuivauksen parametrit verkkotasolla kuivatulla 1,0 mm:n paksuisella viilulla

Verkkotaso	Viilun paksuus
	1,0 mm
Kuivausilman lämpötila	
Kenno 1.	130 °C
Kenno 2.	140 °C
Kenno 3.	140 °C
Kenno 4.	130 °C
Kuivausaika	2 min 40 s
Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Taulukko 6. Toisen koekuivauksen parametrit telatasolla kuivatulla 0,6 mm:n paksuisella viilulla

Telataso	Viilun paksuus
	0,6 mm
Kuivausilman lämpötila	
Kenno 1.	130 °C
Kenno 2.	140 °C
Kenno 3.	140 °C
Kenno 4.	130 °C
Kuivausaika	2 min 10 s
Siipisäätimen asetusarvo	70 %

Huom. Taulukoiden 1- 6 olevat kuivaajan lämpötila-arvot ovat asetusarvoja. Taulukoiden tiedot eivät selitä kuivaajan todellista oloarvoa.

6.3.3 Osa III

Kuun uudet parametrit oli todettu lupaaviksi, eli kuivaajasta tullut viilu oli kosteudeltaan toivotun laista (5 - 7 %) ja sen visuaalinen laatu hyvää, suoritettiin tutkimuksen viimeinen osa eli toinen koekuivaus. Sen tarkoitus oli korvata Kotkan viilutehtaan omat kuivausparametrit. Toinen koekuivaus suoritettiin ensimmäisen kuivauksen tapaan näytekappaleotoksin. Poikkeus tehtiin vain näytekappaleiden määrissä, jotka rajattiin kymmeneen koeviiluun viilun paksuutta ja kuivaustasoa kohden eli 10 koeviilua paksuudella 0,6 mm ja 20 koeviilua paksuudella 1,0 mm (10 viilua telatasolla ja 10 viilua verkkotasolla). Yhteensä koekappaleita uudessa koeajossa tuli 0,6 mm:n paksuudella 60 kpl ja 1,0 mm:n paksuudella 120 kpl.

7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tulokset merkittiin Excel-taulukoihin siten, että tulostaulukon yläosassa on koekappaleiden lähtötiedot. Niistä nähdään, mitkä koekappaleet ovat kyseessä, niiden paksuus ja kuivaajan kuivaustaso eli tela tai verkkotaso. Lähtötietojen jälkeen on merkitty alkukosteuskappaleet ja loppukosteuskappaleet, kumpikin omaan sarakkeeseen. Kummankin sarakkeen vasemmassa reunassa on merkintä kpl / viilu, mikä ilmoittaa kappaleen sijainnin koeviilussa. Lisäksi sarakkeissa on merkinnät m_u , joka tarkoittaa kappaleen märkämassaa (g), m_0 , joka tarkoittaa kappaleen kuivamassaa (g) sekä kappaleiden mukaan alku- tai loppukosteusprosentti ja näiden keskiarvot ja -hajonnat.

Ensimmäisessä koekuivauksessa kuivauskaapin kapasiteetin ja koekappaleiden suurien määrien takia, koeajoja jouduttiin kontrolloimaan jakamalla kappaleet kuivauseriin. Ensimmäisen koekuivauksen koetulosten tulostaulukoiden oikeassa yläreunassa on merkintä "Erä", joka tarkoittaa, mikä kuivauserä on ollut kyseessä. Ensimmäisessä koekuivauksessa, kummallakin paksuudella (0,6 mm ja 1,0 mm) kuivauseriä on ollut kaiken kaikkiaan kolme. Toinen koekuivaus toteutettiin olosuhteiden pakosta tyypistetyllä määrällä koekappaleita, ja sen tulostaulukoissa erämerkinnän sijaan on merkintä "Koe II", joka kertoo kyseessä olevan toinen koekuivaus.

Taulukosta 7 nähdään, kuinka tulokset on kokeen aikana kirjattu ylös. Kyseessä on esimerkkiotos viilutehtaan omilla parametreilla suoritetun koeajon tuloksista. Molempien koekuivausten tulostaulukot ovat liitteissä.

Taulukko 7. Esimerkki tulosten merkintätavasta

Telataso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä I	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	9,66	5,98	61,5	4,1	6,44	6,32	1,9
2,1	9,87	6,02	64,0	5,1	6,26	6,11	2,5
3,1	9,95	6,18	61,0	6,1	6,13	6,06	1,2
1,2	9,31	5,47	70,2	4,2	6,68	6,57	1,7
2,2	10,24	6,07	68,7	5,2	6,20	6,03	2,8
3,2	9,88	5,98	65,2	6,2	4,84	4,76	1,7
		KA	65,1			KA	1,9
		KH	3,7			KH	0,6

Tulosten painopiste on kuivaajan läpi menneissä koekappaleissa eli loppukosteuskappaleissa 4 - 6, sillä juuri ne kertovat, miten kuivaus on vaikuttanut viilun kosteuteen. Alkukosteuskoekappaleet 1 - 3 sekä ensimmäisessä että toisessa koekuivauksessa eivät tuloksellisesti merkittävästi eroa toisistaan, joten niiden tarkoitus on toimia vain vertauksena kuiville koekappaleille.

7.1 Ensimmäisen koekuivauksen tulokset

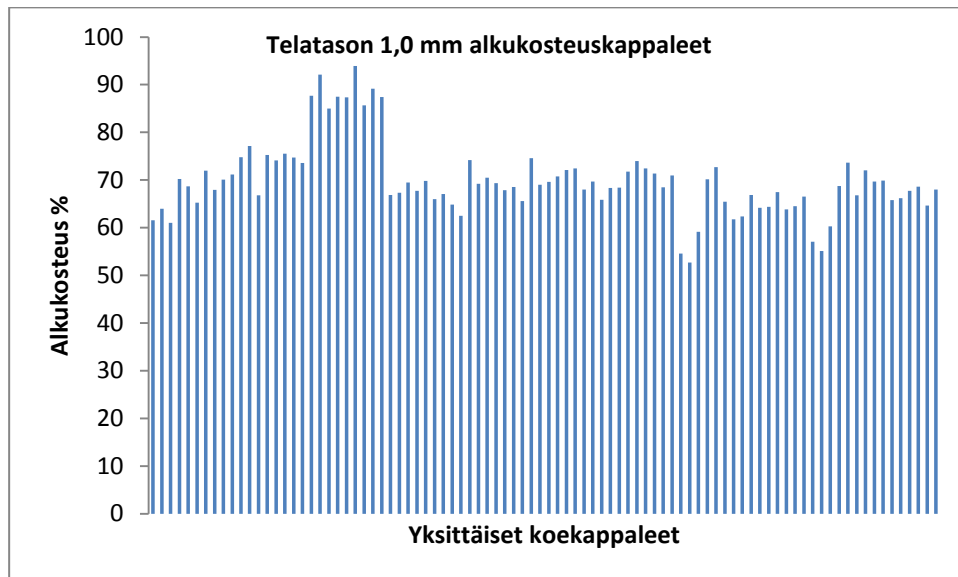
Ensimmäisen koekuivauksen eli Kotkan viilutehtaan omien parametrien mukaan toteutetun kuivauksen lopputulos jäi alle toivottujen tulosten. Tuotteelle halutun 5 - 7 %:n loppukosteuden sijaan saavutettiin keskimäärin n. 2 %:n loppukosteus.

Heikoin tulos saavutettiin verkkotasolla kuivatulla 1,0 mm:n paksuisella viilulla, jonka keskimääräinen loppukosteusprosentti oli vain n. 1,4 %. Telatasolla kuivatun 1,0 mm:n paksuisen viilun loppukosteusprosentti oli keskimäärin 2,3. 0,6 mm:n paksuus, jota kuivattiin vain telatasolla, saavutti keskimäärin 2,1 %:n loppukosteuden.

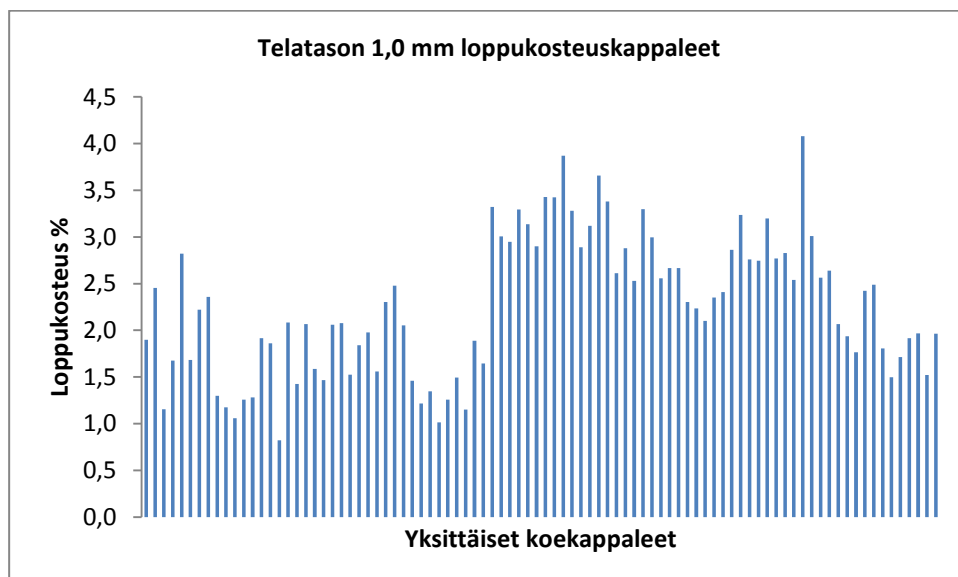
Kuvissa 15 - 20 on esitetty koekuivausten tulokset graafisesti. Tulokset on esitetty järjestyksessä siten, että ensin tarkastellaan 1,0 mm tela- ja verkkotason koeviiluista ennen kuivausta irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden ja tämän jälkeen kuivauksen

jälkeen irrotettujen loppukosteuskoekappaleiden tuloksia. Samoin on esitetty 0,6 mm koekappaleiden tulokset, pois lukien verkkotaso, jolla kyseistä paksuutta ei kuivattu.

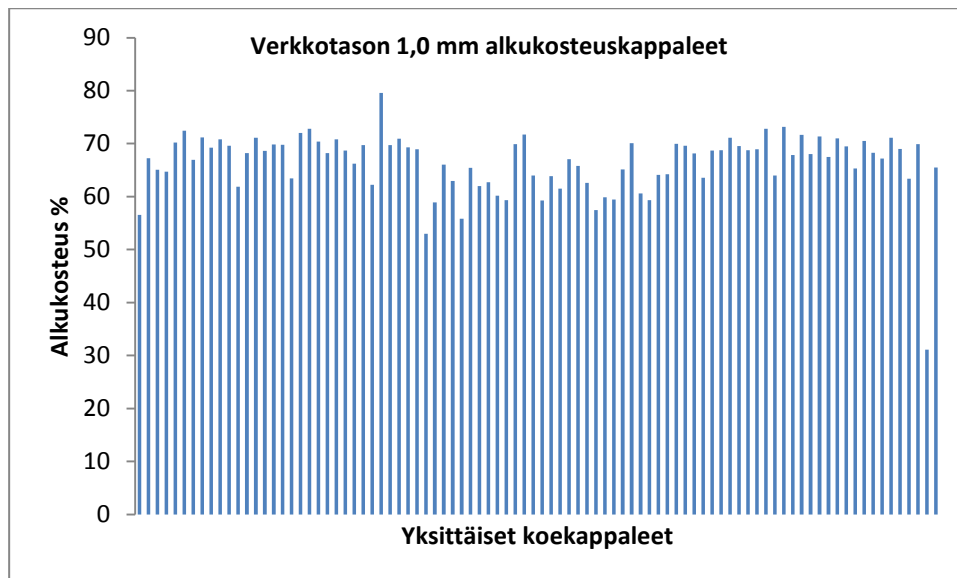
Tulokset ovat kuivauskaapin jälkeisten punnitusten tuloksia, ensin on esitetty alkukosteus- ja tämän jälkeen loppukosteuskappaleet.



Kuva 15. Telatasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset



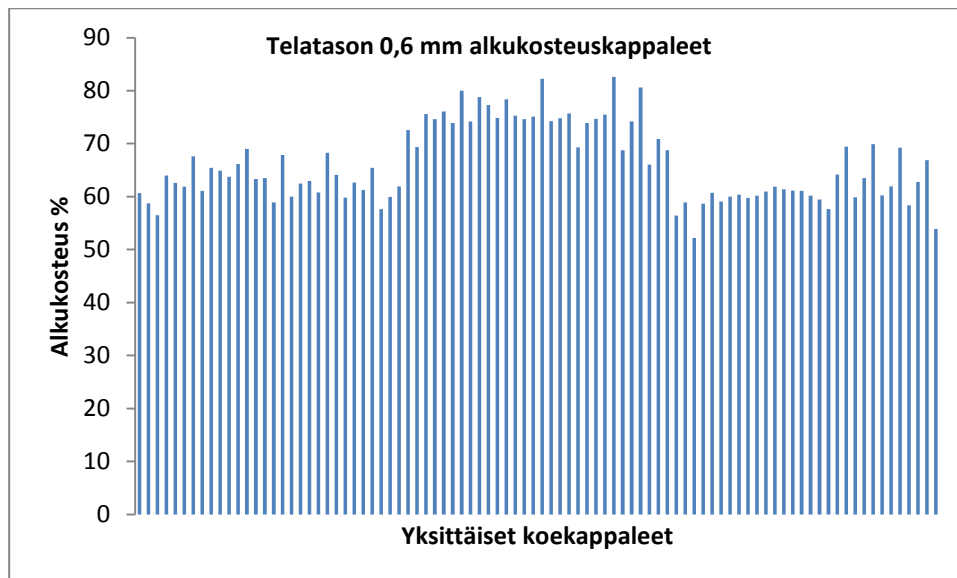
Kuva 16. Telatasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset



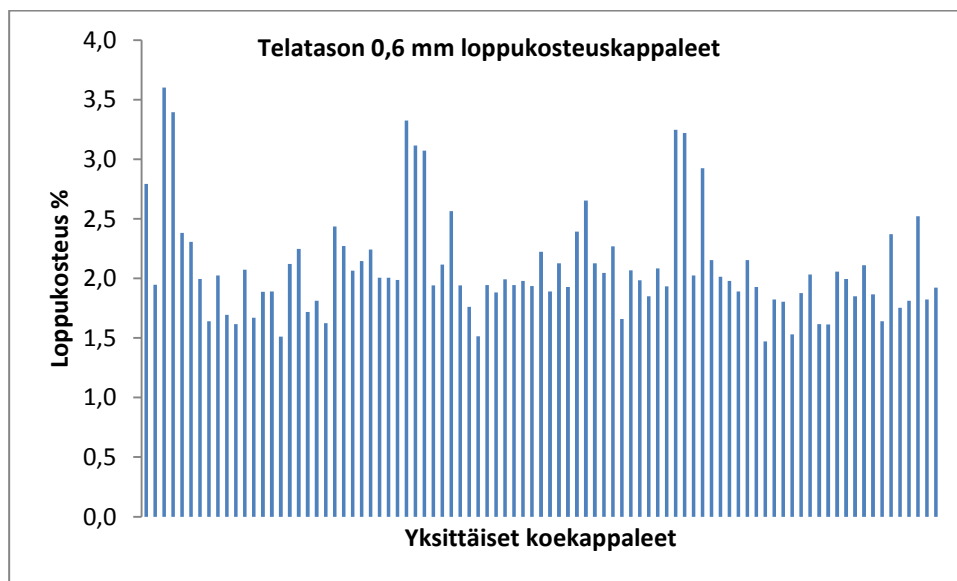
Kuva 17. Verkkotasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset



Kuva 18. Verkkotasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset



Kuva 19. Telatasolla kuivatuista 0,6 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset



Kuva 20. Telatasolla kuivatuista 0,6 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset

7.2 Toisen koekuivauksen tulokset

Toinen koekuivaus eli uusien parametrien mukaan toteutettu kuivaus antoi toivottuja tuloksia, ja tuotteen kosteus saatiin nostettua keskimäärin n. 5 %:iin.

Kuvaajissa 21 - 26 on esitetty tulosten graafiset kuvaajat. Tulokset ovat kuivauskappin jälkeisten punnitusten tuloksia, ja ne on esitetty samoin kuin edellisen kuivauksen tulokset.



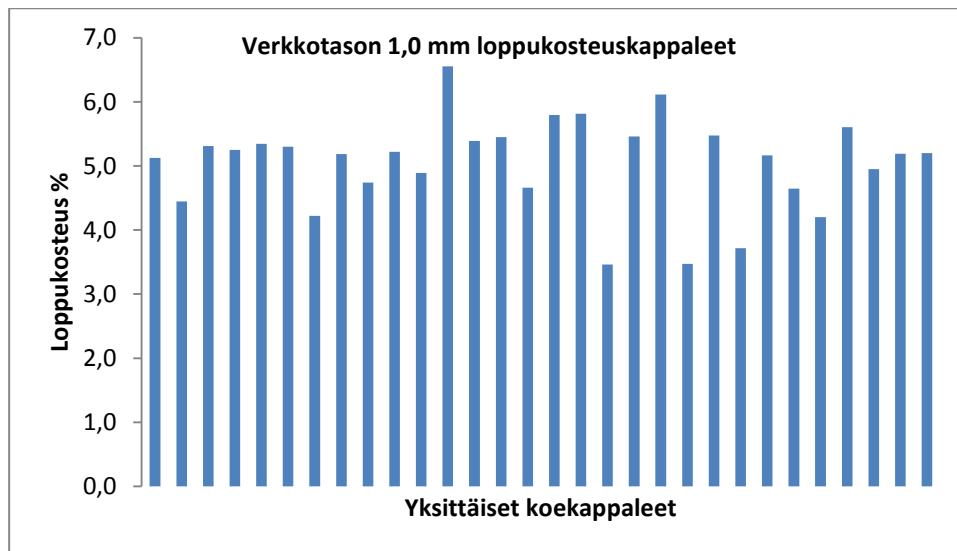
Kuva 21. Telatasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset



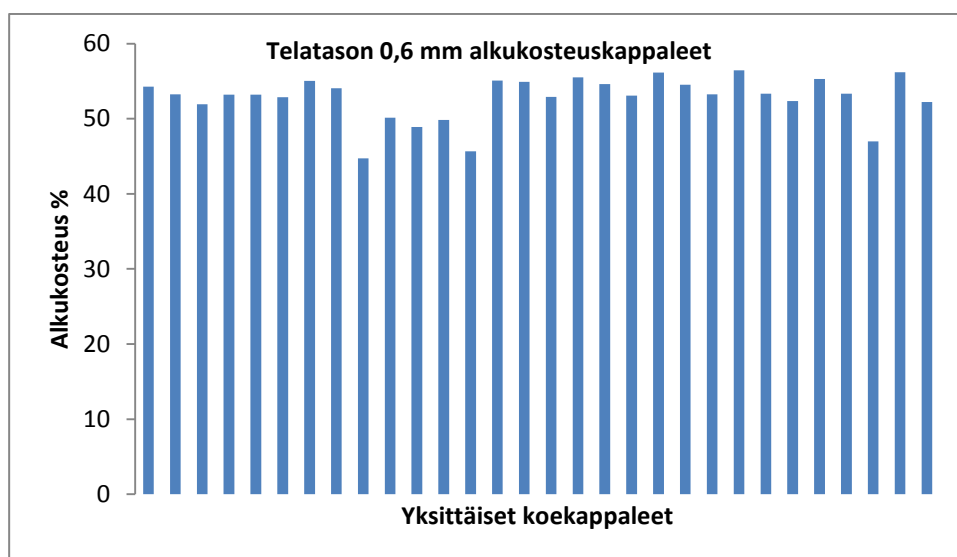
Kuva 22. Telatasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset



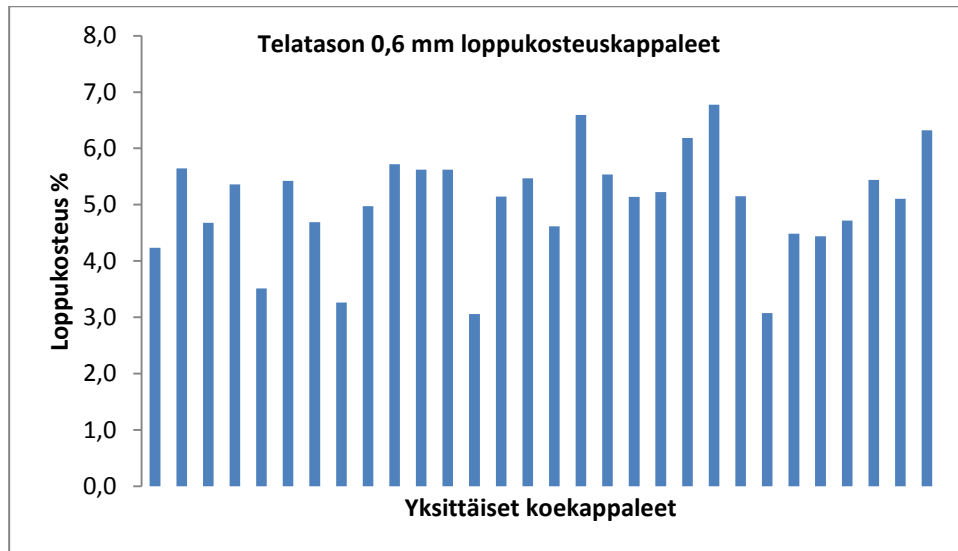
Kuva 23. Verkkotasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset



Kuva 24. Verkkotasolla kuivatuista 1,0 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset

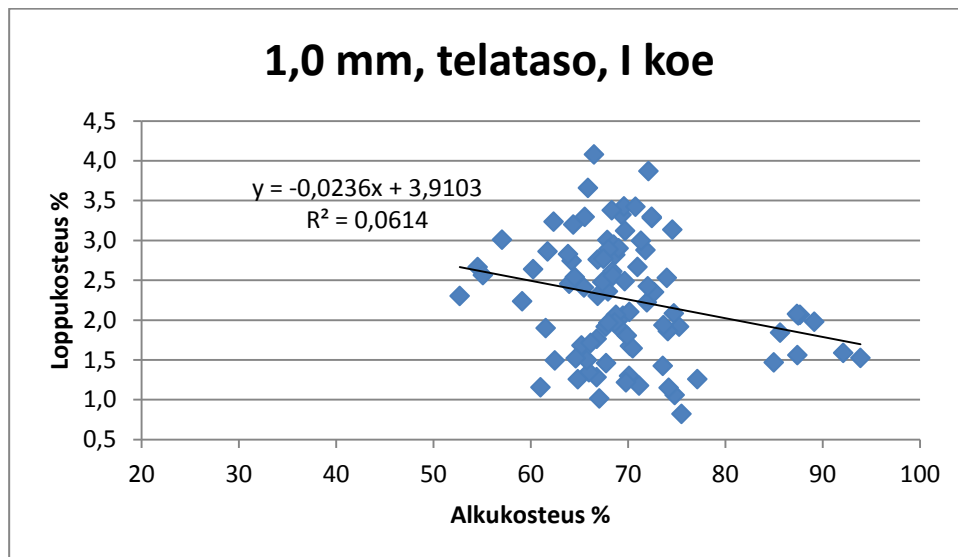


Kuva 25. Telatasolla kuivatuista 0,6 mm:n koeviiluista ennen kuivaajaan syöttöä irrotettujen alkukosteuskoekappaleiden tulokset

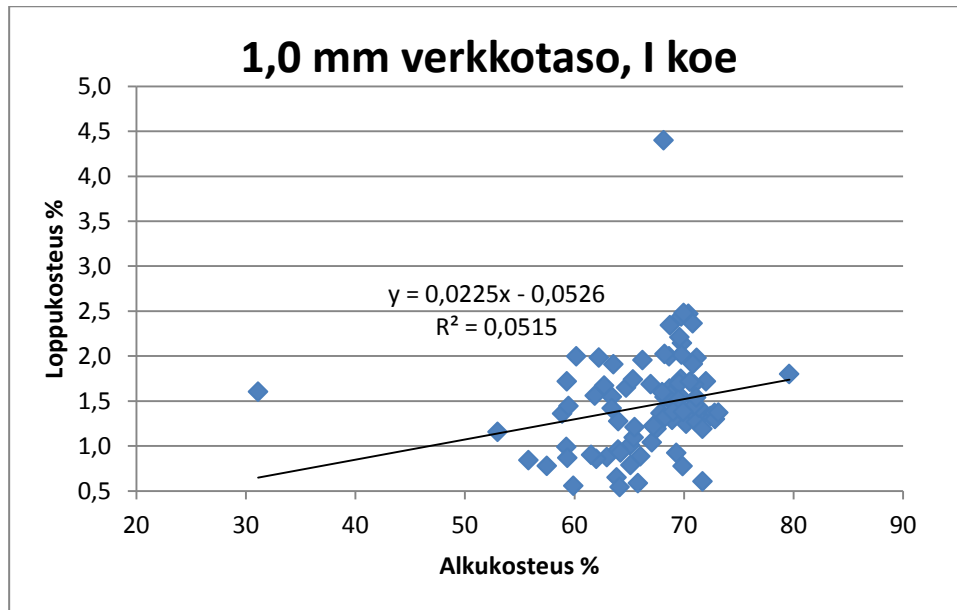


Kuva 26. Telatasolla kuivatuista 0,6 mm:n koeviiluista irrotettujen kuivauksen jälkeisten loppukosteuskoekappaleiden tulokset

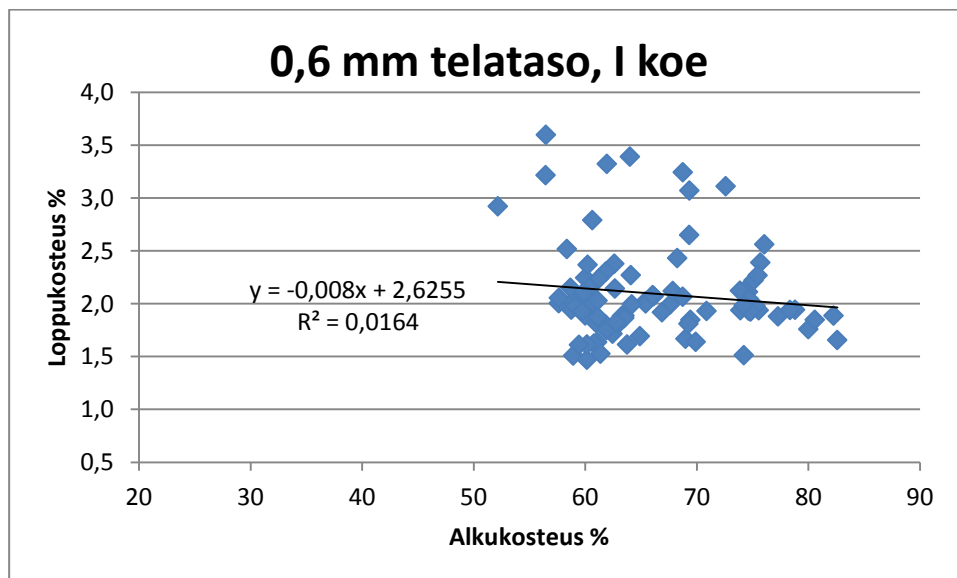
Regressiokuvaajissa on esitetty kaikki ensimmäisen (kuvat 27 - 29) ja toisen (kuvat 30 - 32) koekuivauksen tulokset järjestyksessä, alkaen 1,0 mm:n paksuudesta. Kuvaajissa tarkastellaan koekappaleiden alkukosteuden mahdollista vaikutusta niiden loppukosteuteen. R^2 on selitysaste, joka kuvaa, miten voimakkaasti muuttaja x (alkukosteus) vaikuttaa funktion arvoon y (loppukosteus).



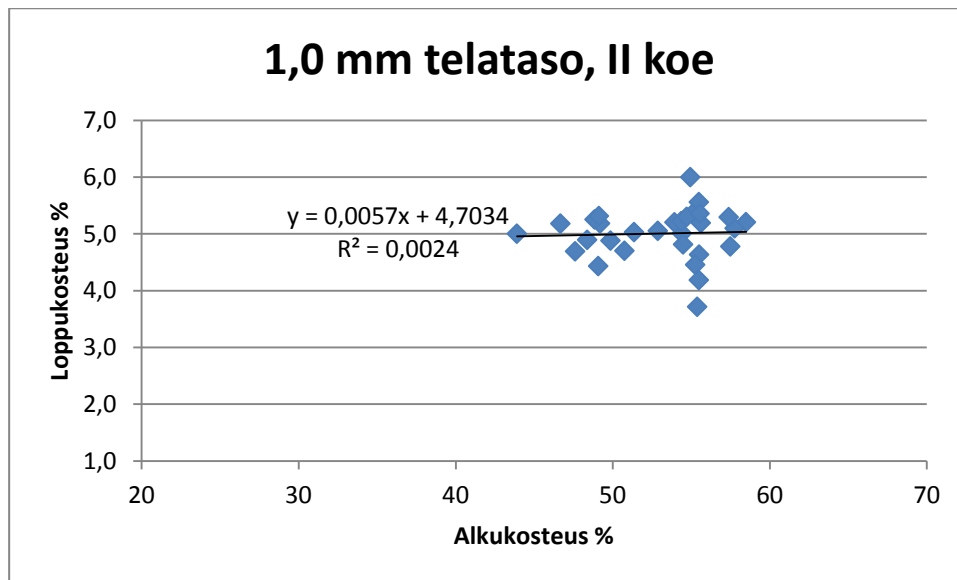
Kuva 27. Regressiokuvaaja ensimmäisen koekuivauksen telatasolla kuivatuille 1,0 mm:n koekappaleille



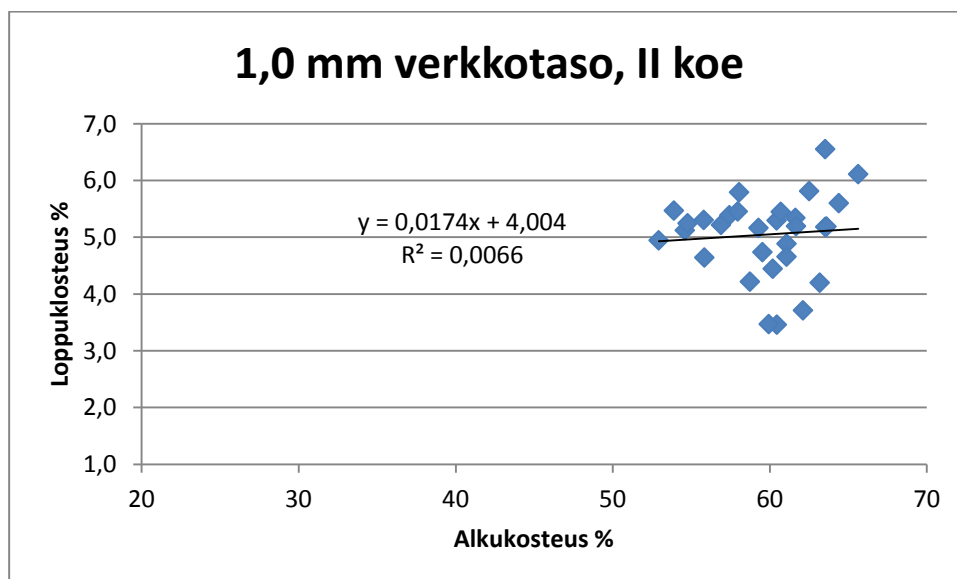
Kuva 28. Regressiokuvaaja ensimmäisen koekuivauksen verkkotasolla kuivatuille 1,0 mm:n koekappaleille



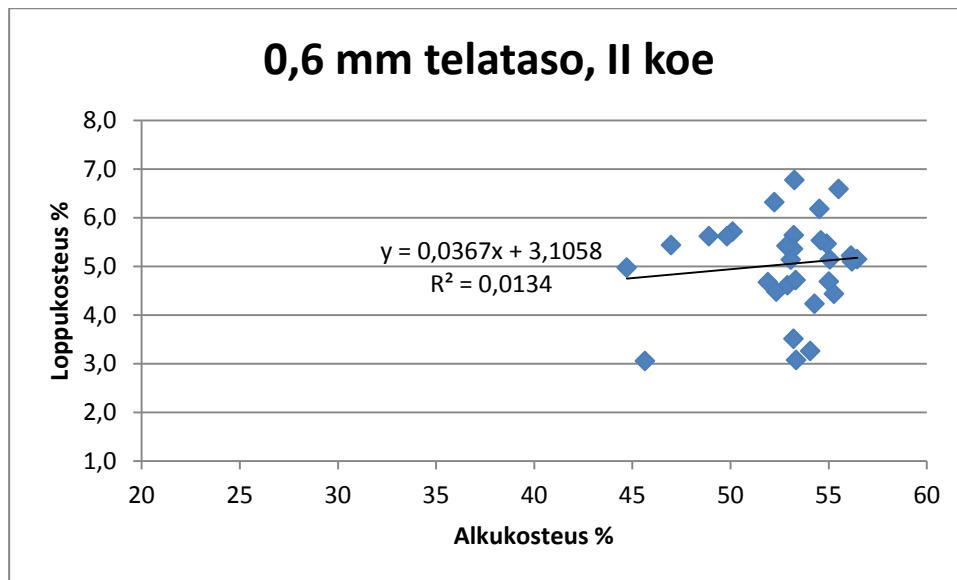
Kuva 29. Regressiokuvaaja ensimmäisen koekuivauksen telatasolla kuivatuille 0,6 mm:n koekappaleille



Kuva 30. Regressiokuvaaja toisen koekuivauksen telatasolla kuivatuille 1,0 mm:n koekappaleille



Kuva 31. Regressiokuvaaja toisen koekuivauksen verkkotasolla kuivatuille 1,0 mm:n koekappaleille



Kuva 32. Regressiokuvaaja toisen koekuivauksen telatasolla kuivatuille 0,6 mm:n koekappaleille

Koska kaikki regressiokuvaajissa esiintyvät selitysasteet (R^2) jäävät prosentuaalisesti niin pieniksi, voidaan todeta, että näissä testeissä alkukosteuden vaihtelu ei selitä loppukosteuden vaihtelua.

Yleisellä tasolla tarkasteltuna alkukosteus on säilynyt prosentuaalisesti kummankin koekuivauksen aikana suhteellisen samanlaisena. Erona on vain tuotteen loppukosteus, joka toisessa koekuivauksessa on toivotun kaltainen. Regressiokuvaajat eivät juuri kerro enempää.

7.3 Koekuivausten analysointi

Tuotteen alkukosteus ei ole erityisesti kummankaan koekuivauksen aikana muuttunut. Sitä voidaan pitää hyvänä asiana, sillä se kertoo, että tuotantoon menevän puuraaka-aineen alkukosteus on tasaista. Ensimmäisen koekuivauksen loppukosteudet jäävät kuitenkin liian pieniksi. Tämä selittyy sillä, että viilua on kuivattu liian korkeassa lämpötilassa ja näin ollen aikaan saatu ylikuivattua viilua.

Toisen koekuivauksen tulosten perusteella uusien parametrien käyttöönotto helpottaa viilunkuivausta ja parantaa tuotteen laatua entiseen nähden merkittävästi. Tuotteen loppukosteus on sille asetettujen raja-arvojen (5 - 7 %) sisäpuolella, ja tuotteen laatu ja työstettävyys ovat hyvät. Kun parametrit on valmiiksi laadittu, kuivaajaan ei tarvit-

se jokaisella kuivauskerralla etsiä sopivia asetusarvoja uudelleen eikä uhrata aikaa ja kuivattavaa viilua.

Tuotannon aikana on tyypillistä, että kuivaajan lämpötila saattaa muuttua huomattavasti. Kuivaajan parametrien säilyvyys vaatiikin jatkuvaa seurantaa. Kuivaustasojen nopeuksia on kyettävä säätämään lämpötilaan nähden optimaaliseksi, siksi aikaa kun lämpötila saadaan taas oikeanlaiseksi. Toisin sanoen kuivaajan tasojen nopeudet on suhteutettava lämpötilaan nähden siten, että tuotteen laatu säilyy halutunlaisena kuivausolosuhteiden muutoksista huolimatta. Tässä kohtaa uusien parametrien hyödyllisyys korostuu.

Kuivaajan hallinnan ja kuivaustapahtuman haasteellisuuden vuoksi koekuivauksissa laaditut parametrit eivät ole tarkkoja arvoja. Ne on laadittu enemmän suuntaantaviksi kuin kiinteiksi asetusarvoiksi, ja niiden tarkoitus on luoda joustavuutta ts. helpottaa kuivausprosessin hallintaa. Tämä joustavuus korostuu erityisesti juuri niissä tilanteissa, joissa kuivaustasojen nopeudet on kyettävä säätämään lämpötilan kanssa optimaaliseksi.

Kuivaajan hallinnan kannalta kriittisimmät hetket ajoittuvat siihen ajankohtaan, kun kuivaaja käy tuotannon aikana hetkellisesti ns. "tyhjäkäynnillä", eli sen läpi ei ajeta viilua. Tyhjäkäynnin aikana on tyypillistä, että lämmöt nousevat huomattavasti varsin nopeassa ajassa. Tyhjäkäynnin aikana tapahtuvaa lämpötilan nousua voidaan hallita mm. kytkemällä tilapäisesti vastuksien tehoa pienemmälle, jotta lämpötila ei pääse yllättäen nousemaan liian korkealle. Vastaavasti tämä luo vaaran lämpötilan liialliselle laskulle. Tästä syystä on tärkeää, että kuivaajaa valvova henkilö tekee tarvittavat säädöt kuivaajalle, jotta kuivausprosessin taas jatkuessa, tuotteen laatu pysyy tasaisena.

Ensimmäisessä koekuivauksessa otetut koekappaleet ovat kosteushajonnaltaan epätasaisempia toiseen koekuivaukseen nähden. Yksittäisten koekappaleiden loppukosteus saattaa vaihdella n. 0,4 %:n ja yli 4 %:n välillä, kokonaistulosten keskiarvojen välillä n. 1 %:n ja reilun 2 %:n välillä. Toisen koekuivauksen kappalekohtaisten tulosten loppukosteuden hajonta on muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta pienempää. Kokonaistulosten keskiarvot toisessa koekuivauksessa ovat kaikilla paksuuksilla ja kuivaustasoilla noin 5 %.

Toisesta koekuivauksesta saatujen tulosten nojalla uudet asetusarvot ovat luoneet mahdollisuuden kuivausprosessin parempaan hallintaan.

8 YHTEENVETO

Uusien parametrien löytyminen on selkeyttänyt KVT Oy:n viilun kuivausprosessia merkittävästi. Kuivaajalle laaditut uudet asetusarvot ovat parantaneet tuotannon tehokkuutta nopeuttamalla kuivauksen alkamista, sen hallittavuutta ja lopputuotteen laatua. Viilunkuivaajalle luotuja asetusarvoja voidaan nyt tehokkaasti hyödyntää tuotannossa, uhraamatta aikaa ja kallisarvoista raaka - ainetta.

Kuivausprosessin hallinnan helpottamisesta huolimatta laaditut parametrit ovat enemmän suuntaa antavia kuin kiinteitä arvoja. Ei siis välttämättä ole olemassa oikeaa ja täysin ehdotonta parametrikokonaisuutta, jota tulee sokeasti noudattaa. Siksi kuivaajalla työskentelevien henkilöiden, erityisesti valvonta- ja vastaanottopäässä olevan henkilön, asema korostuu.

Haastavimpana asiana koko koekuivausprosessissa voidaan pitää ensimmäisen koekuivauksen jälkeen toteutettua parametrien hakua. Oikeiden parametrien selvittämiseksi oli ensin paikannettava kuivauksen varsinaiset ongelmakohdat ja keinot niiden hallintaan. Valitettavasti tämä kyseinen ongelmien paikannusprosessi jouduttiin toteuttamaan lähinnä kokeilun kautta uhraamalla aikaa ja kuivattavaa tuotetta. Mutta nämä uhraukset voitaneen katsoa tarpeellisiksi huomioiden koko tutkimuksen päämäärä, tuotteen laadun parantaminen.

Kun kuivausprosessin hallinnan kannalta haasteelliset tekijät oli selvitetty, suoritettiin toinen koekuivaus. Tämän koekuivauksen hyväksyttävää parametrikokonaisuutta voidaan nyt käyttää ohjenuorana tulevaisuudessa tapahtuvien kuivausprosessien hallinnassa. Voin tyytyväisenä todeta KVT Oy:n hyödyntävän näitä suuntaa antavia parametreja tuotannossaan.

Lopuksi haluan lausua heille kiitokset heidän minulle osoittamastaan verrattomasta tuesta ja yhteistyökyyvystä.

LÄHTEET

1. Koponen, Hannu. 2005. Puulevytuotanto. - Opetushallitus. Edita Prima Oy.
2. Viilusorvi, KVT Oy 2014. Saatavissa:
<http://www.kyamk.fi/folders/Images/KymiTechnology/Kuvat%202010/Puutekniikka/viilusorvi.png>. [Viitattu 25.1.2014.]
3. PuuProffa / Viilun kuivaus 2014. Saatavissa:
http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puujalosteet/viilun-valmistus. [Viitattu 25.1.2014.]
4. Koivupuun solurakenne 2014. Saatavissa:
http://www.puuproffa.fi/proffin/images/stories/metsa/_solukkorakenne_lehtipu_u.jpg. [Viitattu 26.1.2014.]
5. Havupuun solurakenne 2014. Saatavissa:
http://www.puuproffa.fi/proffin/images/stories/metsa/_solukkorakenne_havupu_u.jpg. [Viitattu 26.1.2014.]
6. Yritysesittely. PowerPoint. Kotkan viilutehdas, KVT Oy.
7. VTS 29-2300-0204. - Tekninen osio. 1996. Raute.

Taulukko 1. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 1,0 mm, koe I, erä I

Telataso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä I	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	9,66	5,98	61,5	4,1	6,44	6,32	1,9
2,1	9,87	6,02	64,0	5,1	6,26	6,11	2,5
3,1	9,95	6,18	61,0	6,1	6,13	6,06	1,2
1,2	9,31	5,47	70,2	4,2	6,68	6,57	1,7
2,2	10,24	6,07	68,7	5,2	6,20	6,03	2,8
3,2	9,88	5,98	65,2	6,2	4,84	4,76	1,7
1,3	9,13	5,31	71,9	4,3	5,98	5,85	2,2
2,3	10,11	6,02	67,9	5,3	5,64	5,51	2,4
3,3	9,56	5,62	70,1	6,3	6,24	6,16	1,3
1,4	10,08	5,89	71,1	4,4	6,02	5,95	1,2
2,4	10,96	6,27	74,8	5,4	5,73	5,67	1,1
3,4	10,22	5,77	77,1	6,4	6,44	6,36	1,3
1,5	10,29	6,17	66,8	4,5	6,32	6,24	1,3
2,5	10,34	5,90	75,3	5,5	5,85	5,74	1,9
3,5	10,08	5,79	74,1	6,5	6,57	6,45	1,9
1,6	10,60	6,04	75,5	4,6	6,14	6,09	0,8
2,6	10,64	6,09	74,7	5,6	5,88	5,76	2,1
3,6	10,05	5,79	73,6	6,6	6,41	6,32	1,4
1,7	9,44	5,03	87,7	4,7	5,93	5,81	2,1
2,7	10,24	5,33	92,1	5,7	5,76	5,67	1,6
3,7	10,84	5,86	85,0	6,7	5,53	5,45	1,5
1,8	10,35	5,52	87,5	4,8	5,95	5,83	2,1
2,8	10,68	5,70	87,4	5,8	5,90	5,78	2,1
3,8	10,16	5,24	93,9	6,8	5,33	5,25	1,5
1,9	9,95	5,36	85,6	4,9	5,53	5,43	1,8
2,9	9,76	5,16	89,1	5,9	5,67	5,56	2,0
3,9	10,12	5,40	87,4	6,9	5,21	5,13	1,6
1,10	10,38	6,22	66,9	4,10	5,33	5,21	2,3
2,10	9,64	5,76	67,4	5,10	6,62	6,46	2,5
3,10	10,66	6,29	69,5	6,10	6,46	6,33	2,1
		KA	75,4			KA	1,8
		KH	9,6			KH	0,5

Taulukko 2. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 1,0 mm, koe I, erä II

Telataso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,11	9,83	5,86	67,7	4,11	6,26	6,17	1,5
2,11	9,61	5,66	69,8	5,11	5,82	5,75	1,2
3,11	9,71	5,85	66,0	6,11	6,03	5,95	1,3
1,12	8,72	5,22	67,0	4,12	5,97	5,91	1,0
2,12	9,33	5,66	64,8	5,12	5,64	5,57	1,3
3,12	9,18	5,65	62,5	6,12	6,12	6,03	1,5
1,13	10,59	6,08	74,2	4,13	6,16	6,09	1,1
2,13	10,83	6,40	69,2	5,13	6,48	6,36	1,9
3,13	10,86	6,37	70,5	6,13	6,18	6,08	1,6
1,14	9,94	5,87	69,3	4,14	5,91	5,72	3,3
2,14	9,77	5,82	67,9	5,14	6,17	5,99	3,0
3,14	9,37	5,56	68,5	6,14	5,94	5,77	2,9
1,15	9,90	5,98	65,6	4,15	6,27	6,07	3,3
2,15	9,88	5,66	74,6	5,15	6,58	6,38	3,1
3,15	9,50	5,62	69,0	6,15	6,74	6,55	2,9
1,16	10,65	6,28	69,6	4,16	6,64	6,42	3,4
2,16	10,28	6,02	70,8	5,16	6,95	6,72	3,4
3,16	10,24	5,95	72,1	6,16	6,71	6,46	3,9
1,17	11,33	6,57	72,5	4,17	6,61	6,40	3,3
2,17	10,18	6,06	68,0	5,17	6,41	6,23	2,9
3,17	10,25	6,04	69,7	6,17	6,94	6,73	3,1
1,18	9,87	5,95	65,9	4,18	6,80	6,56	3,7
2,18	9,78	5,81	68,3	5,18	6,12	5,92	3,4
3,18	10,39	6,17	68,4	6,18	6,29	6,13	2,6
1,19	10,05	5,85	71,8	4,19	6,79	6,60	2,9
2,19	9,90	5,69	74,0	5,19	6,08	5,93	2,5
3,19	10,57	6,13	72,4	6,19	6,58	6,37	3,3
1,20	9,68	5,65	71,3	4,20	6,19	6,01	3,0
2,20	10,04	5,96	68,5	5,20	6,02	5,87	2,6
3,20	10,19	5,96	71,0	6,20	6,16	6,00	2,7
		KA	69,4			KA	2,6
		KH	2,9			KH	0,9

Taulukko 3. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 1,0 mm, koe I, erä III

Telataso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä III	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,21	9,86	6,38	54,5	4,21	7,32	7,13	2,7
2,21	9,33	6,11	52,7	5,21	7,11	6,95	2,3
3,21	9,77	6,14	59,1	6,21	6,86	6,71	2,2
1,22	9,97	5,86	70,1	4,22	6,80	6,66	2,1
2,22	10,43	6,04	72,7	5,22	6,53	6,38	2,4
3,22	10,69	6,46	65,5	6,22	7,23	7,06	2,4
1,23	10,27	6,35	61,7	4,23	7,19	6,99	2,9
2,23	9,66	5,95	62,4	5,23	7,34	7,11	3,2
3,23	10,33	6,19	66,9	6,23	6,33	6,16	2,8
1,24	10,46	6,37	64,2	4,24	6,74	6,56	2,7
2,24	10,52	6,40	64,4	5,24	7,42	7,19	3,2
3,24	11,07	6,61	67,5	6,24	7,05	6,86	2,8
1,25	10,42	6,36	63,8	4,25	6,91	6,72	2,8
2,25	10,02	6,09	64,5	5,25	7,27	7,09	2,5
3,25	10,19	6,12	66,5	6,25	7,91	7,60	4,1
1,26	9,47	6,03	57,0	4,26	7,19	6,98	3,0
2,26	9,91	6,39	55,1	5,26	6,80	6,63	2,6
3,26	10,32	6,44	60,2	6,26	7,78	7,58	2,6
1,27	9,40	5,57	68,8	4,27	5,93	5,81	2,1
2,27	9,29	5,35	73,6	5,27	6,32	6,20	1,9
3,27	9,39	5,63	66,8	6,27	5,77	5,67	1,8
1,28	8,98	5,22	72,0	4,28	6,34	6,19	2,4
2,28	8,50	5,01	69,7	5,28	6,18	6,03	2,5
3,28	10,04	5,91	69,9	6,28	5,64	5,54	1,8
1,29	8,14	4,91	65,8	4,29	6,10	6,01	1,5
2,29	8,79	5,29	66,2	5,29	5,94	5,84	1,7
3,29	9,66	5,76	67,7	6,29	5,85	5,74	1,9
1,30	8,33	4,94	68,6	4,30	5,70	5,59	2,0
2,30	9,40	5,71	64,6	5,30	6,68	6,58	1,5
3,30	9,44	5,62	68,0	6,30	5,71	5,60	2,0
		KA	65,0			KA	2,4
		KH	5,3			KH	0,6

Taulukko 4. Kappalekohtaiset tulokset, verkkotaso, 1,0 mm, koe I, erä I

Verkkotaso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä I	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	10,05	6,42	56,5	4,1	6,98	6,91	1,0
2,1	11,19	6,69	67,3	5,1	6,77	6,66	1,7
3,1	11,11	6,73	65,1	6,1	6,48	6,40	1,3
1,2	10,41	6,32	64,7	4,2	6,83	6,74	1,3
2,2	11,25	6,61	70,2	5,2	7,22	7,10	1,7
3,2	11,38	6,60	72,4	6,2	7,20	7,06	2,0
1,3	11,32	6,78	67,0	4,3	6,83	6,73	1,5
2,3	11,69	6,83	71,2	5,3	6,92	6,79	1,9
3,3	11,12	6,57	69,3	6,3	7,17	7,06	1,6
1,4	11,53	6,75	70,8	4,4	7,15	7,04	1,6
2,4	11,06	6,52	69,6	5,4	7,22	7,11	1,5
3,4	11,33	7,00	61,9	6,4	6,79	6,70	1,3
1,5	11,12	6,61	68,2	4,5	6,63	6,50	2,0
2,5	11,48	6,71	71,1	5,5	6,66	6,52	2,1
3,5	11,40	6,76	68,6	6,5	6,57	6,44	2,0
1,6	11,14	6,56	69,8	4,6	7,21	7,10	1,5
2,6	12,19	7,18	69,8	5,6	7,09	6,97	1,7
3,6	11,08	6,78	63,4	6,6	7,40	7,30	1,4
1,7	11,49	6,68	72,0	4,7	6,63	6,47	2,5
2,7	11,56	6,69	72,8	5,7	7,05	6,91	2,0
3,7	10,94	6,42	70,4	6,7	6,92	6,76	2,4
1,8	11,49	6,83	68,2	4,8	6,98	6,82	2,3
2,8	11,58	6,78	70,8	5,8	7,29	7,15	2,0
3,8	10,41	6,17	68,7				
1,9	11,02	6,63	66,2				
2,9	11,39	6,71	69,7	5,9	6,71	6,55	2,4
3,9	11,21	6,91	62,2	6,9	7,19	7,05	2,0
1,10	12,68	7,06	79,6	4,10	7,34	7,21	1,8
2,10	11,32	6,67	69,7	5,10	6,98	6,86	1,7
3,10	12,05	7,05	70,9	6,10	7,23	7,11	1,7
		KA	68,6			KA	1,8
		KH	4,2			KH	0,4

Taulukosta on poistettu kaksi virheellistä tulosta. Poistetut tulokset ovat: 6,8 ja 4,9.

Kyseessä oli tuloksia vääristäviä mittausvirheitä.

Taulukko 5. Kappalekohtaiset tulokset, verkkotaso, 1,0 mm, koe I, erä II

Verkkotaso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,11	9,65	5,70	69,3	4,11	6,54	6,48	0,9
2,11	10,00	5,92	68,9	5,11	7,05	6,96	1,3
3,11	10,25	6,70	53,0	6,11	6,98	6,90	1,2
1,12	10,20	6,42	58,9	4,12	5,95	5,87	1,4
2,12	10,21	6,15	66,0	5,12	6,82	6,76	0,9
3,12	9,81	6,02	63,0	6,12	6,89	6,83	0,9
1,13	8,46	5,43	55,8	4,13	5,97	5,92	0,8
2,13	9,23	5,58	65,4	5,13	6,45	6,38	1,1
3,13	10,40	6,42	62,0	6,13	7,04	6,98	0,9
1,14	9,34	5,74	62,7	4,14	6,68	6,57	1,7
2,14	9,37	5,85	60,2	5,14	7,14	7,00	2,0
3,14	10,10	6,34	59,3	6,14	7,09	6,97	1,7
1,15	9,70	5,71	69,9	4,15	6,47	6,42	0,8
2,15	9,22	5,37	71,7	5,15	6,61	6,57	0,6
3,15	10,20	6,22	64,0	6,15	7,34	7,27	1,0
1,16	9,97	6,26	59,3	4,16	6,11	6,05	1,0
2,16	9,70	5,92	63,9	5,16	6,17	6,13	0,7
3,16	9,74	6,03	61,5	6,16	6,70	6,64	0,9
1,17	9,79	5,86	67,1	4,17	6,78	6,71	1,0
2,17	10,13	6,11	65,8	5,17	6,83	6,79	0,6
3,17	10,31	6,34	62,6	6,17	7,21	7,18	0,4
1,18	9,37	5,95	57,5	4,18	6,45	6,40	0,8
2,18	9,61	6,01	59,9	5,18	5,39	5,36	0,6
3,18	9,44	5,92	59,5	6,18	6,31	6,22	1,4
1,19	9,23	5,59	65,1	4,19	5,10	5,06	0,8
2,19	8,52	5,01	70,1	5,19	6,12	6,09	0,5
3,19	8,43	5,25	60,6	6,19	6,78	6,75	0,4
1,20	8,86	5,56	59,4	4,20	6,95	6,89	0,9
2,20	10,57	6,44	64,1	5,20	7,37	7,33	0,5
3,20	9,77	5,95	64,2	6,20	7,60	7,53	0,9
		KA	63,0			KA	1,0
		KH	4,5			KH	0,4

Taulukko 6. Kappalekohtaiset tulokset, verkkotaso, 1,0 mm, koe I, erä III

Verkkotaso		Viilun paksuus		1,0 mm		Erä III	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,21	11,15	6,56	70,0	4,21	7,02	6,85	2,5
2,21	11,04	6,51	69,6	5,21	7,39	7,23	2,2
3,21	11,03	6,56	68,1	6,21	7,35	7,04	4,4
1,22	11,40	6,97	63,6	4,22	6,93	6,80	1,9
2,22	11,15	6,61	68,7	5,22	6,81	6,70	1,6
3,22	11,41	6,76	68,8	6,22	8,11	7,99	1,5
1,23	10,54	6,16	71,1	4,23	6,38	6,30	1,3
2,23	10,36	6,11	69,6	5,23	7,18	7,06	1,7
3,23	11,83	7,01	68,8	6,23	7,12	7,01	1,6
1,24	11,20	6,63	68,9	4,24	6,80	6,70	1,5
2,24	10,56	6,11	72,8	5,24	7,00	6,91	1,3
3,24	10,25	6,25	64,0	6,24	7,13	7,04	1,3
1,25	11,41	6,59	73,1	4,25	7,38	7,28	1,4
2,25	10,29	6,13	67,9	5,25	6,67	6,58	1,4
3,25	9,46	5,51	71,7	6,25	6,78	6,70	1,2
1,26	11,66	6,94	68,0	4,26	6,98	6,87	1,6
2,26	11,67	6,81	71,4	5,26	7,81	7,70	1,4
3,26	11,39	6,80	67,5	6,26	7,62	7,53	1,2
1,27	12,07	7,06	71,0	4,27	6,95	6,85	1,5
2,27	11,83	6,98	69,5	5,27	6,70	6,60	1,5
3,27	11,64	7,04	65,3	6,27	7,59	7,46	1,7
1,28	11,46	6,72	70,5	4,28	7,70	7,57	1,7
2,28	12,52	7,44	68,3	5,28	7,65	7,55	1,3
3,28	10,70	6,40	67,2	6,28	7,44	7,35	1,2
1,29	13,33	7,79	71,1	4,29	7,90	7,78	1,5
2,29	11,51	6,81	69,0	5,29	7,32	7,22	1,4
3,29	10,85	6,64	63,4	6,29	7,84	7,73	1,4
1,30	11,47	6,75	69,9	4,30	7,33	7,23	1,4
2,30	10,07	7,68	31,1	5,30	7,59	7,47	1,6
3,30	12,55	7,49	67,6	6,30	8,35	8,25	1,2
		KA	67,6			KA	1,6
		KH	7,3			KH	0,6

Taulukko 7. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 0,6 mm, koe I, erä I

Telataso		Viilun paksuus		0,6 mm		Erä I	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	14,65	9,12	60,6	4,1	9,20	8,95	2,8
2,1	14,24	8,97	58,8	6,1	9,43	9,25	1,9
3,1	14,13	9,03	56,5				
1,2	14,81	9,03	64,0	4,2	8,92	8,61	3,6
2,2	14,44	8,88	62,6	5,2	9,14	8,84	3,4
3,2	14,68	9,07	61,9	6,2	9,46	9,24	2,4
1,3	14,65	8,74	67,6	4,3	8,87	8,67	2,3
2,3	14,40	8,94	61,1	5,3	9,20	9,02	2,0
3,3	13,63	8,24	65,4	6,3	9,92	9,76	1,6
1,4	14,94	9,06	64,9	4,4	7,56	7,41	2,0
2,4	15,36	9,38	63,8	5,4	9,60	9,44	1,7
3,4	13,74	8,27	66,1	6,4	9,43	9,28	1,6
1,5	13,35	7,90	69,0	4,5	6,40	6,27	2,1
2,5	14,06	8,61	63,3	5,5	8,52	8,38	1,7
3,5	13,72	8,39	63,5	6,5	8,64	8,48	1,9
1,6	11,22	7,06	58,9	4,6	8,09	7,94	1,9
2,6	12,74	7,59	67,9	5,6	8,06	7,94	1,5
3,6	13,20	8,25	60,0	6,6	8,18	8,01	2,1
1,7	13,11	8,07	62,5	4,7	9,10	8,90	2,2
2,7	14,70	9,02	63,0	5,7	8,88	8,73	1,7
3,7	14,31	8,90	60,8	6,7	9,55	9,38	1,8
1,8	13,83	8,22	68,2	4,8	9,38	9,23	1,6
2,8	14,85	9,05	64,1	5,8	10,10	9,86	2,4
3,8	13,31	8,33	59,8	6,8	8,55	8,36	2,3
1,9	13,68	8,41	62,7	4,9	8,40	8,23	2,1
2,9	14,27	8,85	61,2	5,9	9,52	9,32	2,1
3,9	14,59	8,82	65,4	6,9	10,49	10,26	2,2
1,10	13,84	8,78	57,6	4,10	8,14	7,98	2,0
2,10	14,06	8,79	60,0	5,10	9,15	8,97	2,0
3,10	14,85	9,17	61,9	6,10	10,27	10,07	2,0
		KA	62,8			KA	2,1
		KH	3,2			KH	0,5

Taulukosta on poistettu virheellinen tulos. Poistettu tulos on 5,1. Kyseessä oli tuloksia vääristävä mittausvirhe.

Taulukko 8. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 0,6 mm, koe I, erä II

Telataso		Viilun paksuus		0,6 mm		Erä II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m _o (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m _o (g)	Loppukosteus (%)
1,11	13,98	8,10	72,6	4,11	8,70	8,42	3,3
2,11	12,87	7,60	69,3	5,11	8,61	8,35	3,1
3,11	14,94	8,51	75,6	6,11	8,72	8,46	3,1
1,12	14,09	8,07	74,6	4,12	7,88	7,73	1,9
2,12	14,19	8,06	76,1	5,12	8,21	8,04	2,1
3,12	13,53	7,78	73,9	6,12	8,00	7,80	2,6
1,13	14,49	8,05	80,0	4,13	7,88	7,73	1,9
2,13	13,38	7,68	74,2	5,13	7,51	7,38	1,8
3,13	13,84	7,74	78,8	6,13	8,04	7,92	1,5
1,14	14,75	8,32	77,3	4,14	8,91	8,74	1,9
2,14	14,88	8,51	74,9	5,14	8,66	8,50	1,9
3,14	15,41	8,64	78,4	6,14	8,70	8,53	2,0
1,15	14,18	8,09	75,3	4,15	8,92	8,75	1,9
2,15	14,67	8,40	74,6	5,15	8,76	8,59	2,0
3,15	14,90	8,51	75,1	6,15	8,42	8,26	1,9
1,16	14,18	7,78	82,3	4,16	9,20	9,00	2,2
2,16	14,90	8,55	74,3	5,16	8,09	7,94	1,9
3,16	14,51	8,30	74,8	6,16	8,65	8,47	2,1
1,17	15,04	8,56	75,7	4,17	8,46	8,30	1,9
2,17	14,24	8,41	69,3	5,17	8,99	8,78	2,4
3,17	13,91	8,00	73,9	6,17	8,90	8,67	2,7
1,18	15,11	8,65	74,7	4,18	8,65	8,47	2,1
2,18	16,44	9,37	75,5	5,18	9,48	9,29	2,0
3,18	15,52	8,50	82,6	6,18	8,56	8,37	2,3
1,19	13,28	7,87	68,7	4,19	8,58	8,44	1,7
2,19	15,54	8,92	74,2	5,19	9,87	9,67	2,1
3,19	16,18	8,96	80,6	6,19	9,76	9,57	2,0
1,20	13,50	8,13	66,1	4,20	8,81	8,65	1,8
2,20	15,55	9,10	70,9	5,20	8,82	8,64	2,1
3,20	15,12	8,96	68,8	6,20	9,49	9,31	1,9
		KA	74,8			KA	2,1
		KH	3,9			KH	0,4

Taulukko 9. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 0,6 mm, koe I, erä III

Telataso		Viilun paksuus		0,6 mm		Erä III	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,21	14,55	9,30	56,5	4,21	9,86	9,55	3,2
2,21	15,03	9,46	58,9	5,21	9,30	9,01	3,2
3,21	14,38	9,45	52,2	6,21	10,08	9,88	2,0
1,22	15,09	9,51	58,7	4,22	10,56	10,26	2,9
2,22	15,51	9,65	60,7	5,22	10,44	10,22	2,2
3,22	15,02	9,44	59,1	6,22	9,12	8,94	2,0
1,23	14,48	9,05	60,0	4,23	9,79	9,60	2,0
2,23	14,53	9,06	60,4	5,23	9,16	8,99	1,9
3,23	14,28	8,94	59,7	6,23	9,96	9,75	2,2
1,24	14,59	9,11	60,2	4,24	9,52	9,34	1,9
2,24	15,26	9,48	61,0	5,24	10,34	10,19	1,5
3,24	15,31	9,46	61,8	6,24	10,06	9,88	1,8
1,25	13,91	8,62	61,4	4,25	9,59	9,42	1,8
2,25	14,26	8,85	61,1	5,25	9,96	9,81	1,5
3,25	14,79	9,18	61,1	6,25	10,32	10,13	1,9
1,26	14,51	9,06	60,2	4,26	9,04	8,86	2,0
2,26	14,35	9,00	59,4	5,26	9,43	9,28	1,6
3,26	15,67	9,94	57,6	6,26	10,08	9,92	1,6
1,27	14,71	8,96	64,2	4,27	8,93	8,75	2,1
2,27	15,13	8,93	69,4	5,27	9,71	9,52	2,0
3,27	15,97	9,99	59,9	6,27	9,36	9,19	1,8
1,28	14,83	9,07	63,5	4,28	9,68	9,48	2,1
2,28	16,26	9,57	69,9	5,28	8,73	8,57	1,9
3,28	17,56	10,96	60,2	6,28	7,43	7,31	1,6
1,29	14,75	9,11	61,9	4,29	9,50	9,28	2,4
2,29	15,25	9,01	69,3	5,29	9,87	9,70	1,8
3,29	15,82	9,99	58,4	6,29	10,11	9,93	1,8
1,30	14,65	9,00	62,8	4,30	8,95	8,73	2,5
2,30	15,42	9,24	66,9	5,30	10,05	9,87	1,8
3,30	15,94	10,36	53,9	6,30	10,08	9,89	1,9
		KA	61,0			KA	2,0
		KH	4,0			KH	0,4

Taulukko 10. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 1,0 mm, koe II

Telataso		Viilun paksuus		1,0 mm		KOE II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	12,00	7,96	50,8	4,1	8,01	7,65	4,7
2,1	11,72	7,59	54,4	5,1	7,96	7,58	5,0
3,1	11,15	7,18	55,3	6,1	7,79	7,39	5,4
1,2	11,90	8,02	48,4	4,2	7,71	7,35	4,9
2,2	11,64	7,69	51,4	5,2	7,51	7,15	5,0
3,2	11,53	7,49	53,9	6,2	7,88	7,49	5,2
1,3	11,69	7,97	46,7	4,3	7,71	7,33	5,2
2,3	12,39	8,02	54,5	5,3	8,05	7,68	4,8
3,3	11,15	7,17	55,5	6,3	7,67	7,33	4,6
1,4	11,22	7,52	49,2	4,4	8,72	8,29	5,2
2,4	11,57	7,30	58,5	5,4	9,29	8,83	5,2
3,4	11,18	7,19	55,5	6,4	7,78	7,37	5,6
1,5	11,15	7,44	49,9	4,5	8,16	7,78	4,9
2,5	11,84	7,67	54,4	5,5	7,45	7,08	5,2
3,5	11,59	7,48	54,9	6,5	8,83	8,33	6,0
1,6	10,51	7,12	47,6	4,6	7,58	7,24	4,7
2,6	12,49	8,17	52,9	5,6	8,31	7,91	5,1
3,6	11,07	7,13	55,3	6,6	7,73	7,40	4,5
1,7	11,00	7,39	48,8	4,7	8,41	7,99	5,3
2,7	12,18	7,72	57,8	5,7	8,24	7,84	5,1
3,7	11,25	7,24	55,4	6,7	7,53	7,26	3,7
1,8	11,39	7,64	49,1	4,8	8,24	7,89	4,4
2,8	11,60	7,37	57,4	5,8	7,95	7,55	5,3
3,8	10,94	7,03	55,6	6,8	8,30	7,89	5,2
1,9	11,08	7,43	49,1	4,9	8,12	7,71	5,3
2,9	10,66	6,89	54,7	5,9	8,34	7,92	5,3
3,9	10,82	6,87	57,5	6,9	7,45	7,11	4,8
1,10	10,62	7,38	43,9	4,10	8,39	7,99	5,0
2,10	11,51	7,40	55,5	5,10	7,86	7,46	5,4
3,10	11,04	7,10	55,5	6,10	7,46	7,16	4,2
		KA	53,0			KA	5,0
		KH	3,7			KH	0,4

Taulukko 11. Kappalekohtaiset tulokset, verkkotaso, 1,0 mm, koe II

Verkkotaso		Viilun paksuus		1,0 mm		KOE II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	10,42	6,74	54,6	4,1	7,59	7,22	5,1
2,1	11,23	7,01	60,2	5,1	7,28	6,97	4,4
3,1	10,47	6,72	55,8	6,1	7,54	7,16	5,3
1,2	10,37	6,70	54,8	4,2	7,42	7,05	5,2
2,2	10,83	6,70	61,6	5,2	8,28	7,86	5,3
3,2	10,83	6,75	60,4	6,2	7,75	7,36	5,3
1,3	10,62	6,69	58,7	4,3	8,15	7,82	4,2
2,3	11,35	6,94	63,5	5,3	7,71	7,33	5,2
3,3	11,12	6,97	59,5	6,3	6,85	6,54	4,7
1,4	11,25	7,17	56,9	4,4	7,66	7,28	5,2
2,4	10,76	6,68	61,1	5,4	7,51	7,16	4,9
3,4	10,45	6,39	63,5	6,4	7,64	7,17	6,6
1,5	10,69	6,79	57,4	4,5	7,43	7,05	5,4
2,5	10,88	6,77	60,7	5,5	8,32	7,89	5,4
3,5	10,47	6,50	61,1	6,5	8,31	7,94	4,7
1,6	10,40	6,58	58,1	4,6	7,85	7,42	5,8
2,6	11,88	7,31	62,5	5,6	7,46	7,05	5,8
3,6	11,89	7,41	60,5	6,6	7,77	7,51	3,5
1,7	10,90	6,90	58,0	4,7	7,73	7,33	5,5
2,7	10,75	6,49	65,6	5,7	7,81	7,36	6,1
3,7	11,34	7,09	59,9	6,7	7,45	7,20	3,5
1,8	10,45	6,79	53,9	4,8	7,71	7,31	5,5
2,8	11,30	6,97	62,1	5,8	7,26	7,00	3,7
3,8	11,23	7,05	59,3	6,8	6,92	6,58	5,2
1,9	11,47	7,36	55,8	4,9	7,66	7,32	4,6
2,9	10,64	6,52	63,2	5,9	7,44	7,14	4,2
3,9	10,67	6,49	64,4	6,9	7,35	6,96	5,6
1,10	10,43	6,82	52,9	4,10	7,00	6,67	4,9
2,10	10,39	6,35	63,6	5,10	6,89	6,55	5,2
3,10	11,35	7,02	61,7	6,10	7,69	7,31	5,2
		KA	59,7			KA	5,0
		KH	3,3			KH	0,7

Taulukko 12. Kappalekohtaiset tulokset, telataso, 0,6 mm, koe II

Telataso		Viilun paksuus		0,6 mm		KOE II	
Alkukosteuskappaleet				Loppukosteuskappaleet			
Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Alkukosteus (%)	Kpl/Viilu	m _u (g)	m ₀ (g)	Loppukosteus (%)
1,1	12,96	8,40	54,3	4,1	9,60	9,21	4,2
2,1	13,04	8,51	53,2	5,1	9,36	8,86	5,6
3,1	13,11	8,63	51,9	6,1	9,40	8,98	4,7
1,2	13,19	8,61	53,2	4,2	9,43	8,95	5,4
2,2	13,10	8,55	53,2	5,2	9,13	8,82	3,5
3,2	13,10	8,57	52,9	6,2	9,33	8,85	5,4
1,3	12,82	8,27	55,0	4,3	8,48	8,10	4,7
2,3	12,88	8,36	54,1	5,3	7,91	7,66	3,3
3,3	13,01	8,99	44,7	6,3	9,07	8,64	5,0
1,4	13,00	8,66	50,1	4,4	8,69	8,22	5,7
2,4	12,91	8,67	48,9	5,4	8,64	8,18	5,6
3,4	13,05	8,71	49,8	6,4	9,58	9,07	5,6
1,5	13,05	8,96	45,6	4,5	9,10	8,83	3,1
2,5	13,15	8,48	55,1	5,5	8,99	8,55	5,1
3,5	13,26	8,56	54,9	6,5	8,68	8,23	5,5
1,6	13,15	8,60	52,9	4,6	9,07	8,67	4,6
2,6	13,25	8,52	55,5	5,6	8,73	8,19	6,6
3,6	13,25	8,57	54,6	6,6	9,34	8,85	5,5
1,7	13,18	8,61	53,1	4,7	9,00	8,56	5,1
2,7	13,21	8,46	56,1	5,7	8,46	8,04	5,2
3,7	12,95	8,38	54,5	6,7	9,10	8,57	6,2
1,8	12,92	8,43	53,3	4,8	8,98	8,41	6,8
2,8	13,33	8,52	56,5	5,8	8,37	7,96	5,2
3,8	12,36	8,06	53,3	6,8	9,04	8,77	3,1
1,9	13,01	8,54	52,3	4,9	8,39	8,03	4,5
2,9	12,50	8,05	55,3	5,9	8,00	7,66	4,4
3,9	12,22	7,97	53,3	6,9	8,43	8,05	4,7
1,10	12,64	8,60	47,0	4,10	8,14	7,72	5,4
2,10	12,23	7,83	56,2	5,10	8,03	7,64	5,1
3,10	11,89	7,81	52,2	6,10	8,24	7,75	6,3
		KA	52,8			KA	5,0
		KH	3,0			KH	0,9