

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä ja puutalouden markkinointi osasto

Markku Hänninen

TROOPPISISTA PUULAJEISTA VALMISTETTUJEN SELLUMASSOJEN VAIKUTUKSET  
PAPERITEKNISIIN OMINAISUUKSIIN

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

### HÄNNINEN, MARKKU

Insinööriyö	Trooppisista puulajeista valmistettujen sellumassojen vaikutukset paperitekniisiin ominaisuuksiin
Työn ohjaaja	tekn. lis. Kauko Mononen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Huhtikuu 2010	
Avainsanat	trooppiset puulajit, eukalyptus, akaasia, bambu, jauhatus, paperitekniset ominaisuudet

Tämän insinööriyön tavoitteena on vertailla erilaisia trooppisista puulajeista valmistettuja massoja keskenään ja tutkia jauhatusajan vaikutusta paperitekniisiin ominaisuuksiin. Tarkoituksena on löytää ominaisuuksia jotka selvästi korreloivat keskenään.

Kokeellinen osuus suoritettiin Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen laboratoriossa keväällä 2009. Koekappaleet valmistettiin identtisillä menetelmillä. Tulosten luotettavuuden takaamiseksi koekappaleita säilytettiin samanlaisissa olosuhteissa mittausten välissä ja kaikki kappaleet koestettiin identtisillä menetelmillä. Mittaukset tehtiin standardien mukaan ja ainoastaan kalibroituja mittalaitteita käyttäen. Tulokset syötettiin Excel laskentataulukkoon jonka perusteella datasta luotiin kaavioita tulosten havainnollistamiseksi.

Tutkimuksen pitäisi tuottaa dataa jonka perusteella voitaisiin arvioida eri kuitulähteiden soveltuvuutta erilaisten lopputuotteiden raaka-aineiksi. Tutkimuksen tarkoituksena ei ollut vertailla massojen paremmuutta, vaan tutkia niiden ominaisuuksia ja eroja.

Tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että Bambu ja Eukalyptus osoittautuivat ominaisuuksiltaan hiukan paremmiksi kuin Akasia. Erityisesti jauhatukseen vaadittu energia oli näillä kahdella lajilla selvästi pienempi kuin Akasialla.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Forest Products Marketing

HÄNNINEN, MARKKU

Bachelor`s thesis

Supervisor Kauko Mononen, LicSc (Tech.)

Commissioned by Kymenlaakso University of applied sciences

April 2010

Keywords tropical tree species, eucalyptus, acacia, bamboo, grinding, pulp properties

The purpose of this Bachelor`s thesis was to investigate the differences between pulps manufactured from multiple tropical species. Another purpose was to investigate the effect of different grinding times to pulp properties. In the analysing of the result the goal was to find dependencies between different properties.

Paper samples where made at the paper laboratory of the Kymenlaakso University of Applied Sciences. The samples were used to measure properties of strength and optics. The test where performed in identical environments on identical methods. The test pieces where also kept in identical environment between testing to ensure the reliability of the research.

The purpose of the test was to evaluate the pulp sources for possible end products. The purpose of the test was not to compare them to each other but to view them as separate subjects.

The results conclude that bamboo and eucalyptus produce slightly better results than acacia.

## Sisällysluettelo

1. JOHDANTO .....	6
1.1 Työn tausta .....	6
1.2 Työntavoitteet .....	6
2. TYÖN VIITEKEHYS .....	6
2.1 Tutkimuksen rajaus .....	7
2.2 Tutkittavat puulajit .....	7
2.2.1 Eukalyptus .....	7
2.2.2 Akasia .....	7
2.2.3 Bambu .....	8
2.3 Sulfaattikeitto .....	8
2.4.1 Jauhatus .....	9
2.4.2 Näytteiden jauhatu s .....	9
2.4.3 Jauhatusasteen mittau s .....	9
2.5 Näytearkkien valmistus .....	10
2.6 Märkäpuristus ja kuivaus .....	10
2.7 Arkkien testaus laboratorios sa .....	10
2.7.1 Laboratorio-olosuhteet .....	11
2.7.2 Neliömassa .....	11
2.7.3 Paksuus ja tiheys .....	12
2.7.5 Kosteus .....	13
2.7.6 Tuhka .....	14
2.7.7 Vetolujuus ja murtovenymä .....	15
2.7.8 Repäisyjuus .....	16
2.7.9 Karheus .....	16
2.7.10 Ilmanläpäisevyys .....	17
2.7.11 Vaaleus .....	17
2.7.12 Opasiteetti .....	17
2.7.13 Valonsironta ja valonabsorbtiokerroin .....	17
2.7.14 Kiihto .....	17
3 TYÖMENETELMÄT .....	18
3.1 Kirjallisuus .....	18
3.2 Laitteet .....	18
3.3 Taulukointi .....	18
4 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	18
4.1 Jauhatusaste .....	18
4.2 Mekaaninen kestävyys .....	19
4.2.1 Vetoindeksi, murtotyö ja venymä .....	21
4.2.2 Repäisyindeksi .....	22
4.2.3 Karheus .....	23
4.2.4 Ilmanläpäisevyys .....	24
4.3 Optiset ominaisuudet .....	25
4.4 Tulosten luotettavuus .....	25
5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26

## Terminologia

**Jauhatus:** Puun kuitujen erottaminen mekaanisesti.

**Formaatio:** Kuitujen asettuminen paperiarkissa.

**Valkoliipeä:** Sulfaattikeittoon käytettävä kemikaaliseos. Sen vaikuttavat kemikaalit ovat natriumhydroksidi (NaOH) ja natriumsulfidi (Na<sub>2</sub>S).

**Lingniini:** Puunsidosaine.

**Mustaliipeä:** Keitossa reagoimutta valkoliipeää johon on liuennut puun yhdisteitä.

**Kap:** Kuiva-ainepitoisuus.

**Kaustisointi:** Prosessi jossa soodakattilassa syntyvästä sulasta liuotettu viherliipeä muutetaan poltettua kalkkia apuna käyttäen valkoliipeäksi

**Meesa:** Kiinteässä olomuodossa olevaa kalsiumkarbonaattia (CaCO<sub>3</sub>).

**Mesauuni:** Uuni jossa meesa poltetaan kalkiksi.

**Hollanteri:** Paperin jauhukseen käytetty laite.

**Hemiselluloosa:** Heteropolysakkaridi joka muodostaa sidoksia ligniinin ja selluloosan välille.

**Viherliipeä:** Mustaliipeää jonka orgaaninen aines on poltettu pois.

**SR-laite:** Schopper-Riegler-luvun mittaamisen käytetty laite.

**SR-luku:** Schopper-Riegler-luku mittaa kuitujen suotautumisvastusta.

**Viirakangas:** Paperikoneessa oleva pohjakangas jonka pinnalle paperirata muodostetaan.

**Sulppu:** Kuitujen ja veden seos.

**Opasiteetti:** Paperin valoaläpäisemättömyys.

**Bulkki:** Tiheyden vastakohta

**Vetolujuus:** Paperin kyky vastustaa

**Bendsen mittari:** Karheuden ja ilmanläpäisevyyden mittaamiseen käytetty laite.

**Valonabsorbtiio:** Paperin kyky imeä valoa itseensä

**Ominaisheijastusluku:** Mittaa paperin vaaleutta.

**Spektrofotometri:** Laite, joka mittaa aineiden sähkömagneettisen säteilyn absorptiota eri aallonpituuksilla.

**Kiilto:** Pinnan optinen ominaisuus, joka kuvaa pintaan osuvan valon fysikaalista käyttäytymistä heijastumisessa.

**Valon sirontakerroin:** Mittaa paperin kykyä heijastaa valoa takaisin neliömassayksikköä kohden.

**Jauhatusaste:** Paperin jauhukseen käytetty aika.

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Paperiteollisuuden siirtyessä yhä enemmän lämpimämpiin maihin halvan raaka-aineen perässä, trooppisten puulajien merkitys paperintuotannossa tulee kasvamaan.

Insinööri työ koostuu kolmesta osasta. Ensimmäisessä sulfaattimenetelmällä valmistetut massat jauhetaan ja puristetaan koe-ärkeiksi. Toisessa vaiheessa valmiit arkit tutkitaan koulun laboratorioissa. Kolmannessa vaiheessa tarkastellaan tutkimuksissa saatuja tuloksia tilastollisesti ja yritetään löytää toisiaan korreloivia ominaisuuksia. Massoja vertaillaan myös keskenään.

## 1.2 Työntavoitteet

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kolmesta eri puulajista valmistettujen sellumassojen vaikutuksia valmistettavien paperinäytteiden jauhatus- lujuus- formaatin-ominaisuuksiin. Tavoitteena on myös löytää eroja tutkittavien puulajien välillä.

## 2. TYÖN VIITEKEHYS

Työ perustuu kolmesta eri puulajista jauhettuihin massoihin. Massat jauhettiin standardien mukaisesti ja niistä otettiin koe-erät neljästä erikestoisesta jauhatuksesta; 5, 20, 40 ja 60 minuutin. Jokaisesta koe-erästä valmistettiin 6 arkkia tutkimuksia varten. Massojen ominaisuuksien määrittely on tärkeää koska ne määrittävät millaisia lopputuotteita massoista voi valmistaa. Tässä tutkimuksessa keskitytään nimenomaan lujuusominaisuuksiin ja massan jauhatuksen vaikutuksiin. Arkkien paperitekniisiä ominaisuuksia testattiin ja niitä verrattiin keskenään.

## 2.1 Tutkimuksen rajaus

Työ perustuu eri puulajeista jauhettuun massaan. Tutkimuksessa jauhatuksen intensiteetti pysyy samana kaikilla näytteillä. Tutkimus keskittyy vertailemaan jauhatusajan vaikutusta tutkittavien massojen ominaisuuksiin.

## 2.2 Tutkittavat puulajit

### 2.2.1 Eukalyptus

Eukalyptukset on laaja kasvisuku puita ja harvemmin pensaita, jotka hallitsevat Australian puulajistoa. Lajeja tunnetaan yli 700, joista joitakin esiintyy myös Uudessa-Guineassa ja Indonesiassa. Eukalyptus haihduttaa paljon vettä ja muodostaa syvälle ulottuvat juuret, joilla se imee vettä syvältä maaperästä. Tästä syystä sitä käytetään myös esim. soisen alueen kuivatukseen malaria-alueilla.(8.)

Eukalyptukset ovat taloudellisesti tärkeitä puulajeja, joilla on monia käyttötarkoituksia. Niitä on istutettu paperinvalmistuksen kuitupuuksi Etelä-Amerikkaan. Myös Euroopassa kasvaa eukalyptusta. Niiden etuna on nopea kasvu, minkä vuoksi ne saattavat tulevaisuudessa muodostaa merkittävän selluloosan lähteen paperin ja kartongin valmistukselle. Eukalyptusselluloosaa valmistetaan muun muassa Uruguayssa Frey Bentoksen tehtaalla.

### 2.2.2 Akasia

Akasiat on kasvisuku, johon kuuluu lämpimässä ilmastossa viihtyviä puita ja pensaita. Heimoon kuuluu noin 1 300 lajia, joista 950 elää luonnonvaraisina Australiassa. Afrikan savannilla akasia on valtapuu. Akasian puuainekasvu on kovaa ja hyvin kestävä, ja sitä käytetään puusepänteollisuudessa. Monien lajien maitiaisnesteellä on kosmeettista tai lääketieteellistä käyttöä. Mm. arabikumi tehdään akasian (*Acacia arabica*) maitiaisnesteestä. Sillä on puuntuotannollista merkitystä luontaisesti erityisesti Afrikassa, mutta Australiasta peräisin olevia lajeja myös viljellään laajalti tropiikissa suojakasveina ja puun tuottamiseksi. (7.)

### 2.2.3 Bambu

Bambut (Bambuseae) on heinäkasvien ryhmä, johon kuuluu noin 90 sukua ja näihin yhteensä yli tuhat lajia, hybridiä ja alalajia. Bambuja kasvaa villinä laajalla alueella ja viljeltynä lähes kaikkialla. Laajimmat bambumetsät ovat Aasian vuoristoissa joissa bambuja kasvaa jopa 4 000 metrin korkeudessa. Yksittäinen bambukasvi versoo suoraan maasta vuosittain useita versoja. Niiden halkaisija riippuu emokasvin iästä, pituutta tulee päivittäin lisää. Bambut, kuten muutkin heinäkasvit, kasvaa maan rajasta eikä kärjestään. Yksi kasviyksilö voi tuottaa jopa 15 kilometriä bambukeppiä. Juurakko on verkkomaisesti leviävä hiusjuuristo. Varsi on erittäin kuitupitoinen, ja sitä käytetään rakennusmateriaalina, polttopuuna, työkalujen ja tarveastioiden valmistukseen sekä tekstiilien raaka-aineena. Maailman suurimpia bambuntuottajia ovat Kiina, Intia, Bangladesh, Indonesia ja Thaimaa.(5. 6.)

### 2.3 Sulfaattikeitto

Sulfaattimenetelmäksi kutsutaan valmistuksen valtamenetelmää, jossa puuhakkeista tehdään sellua valkolipeän avulla korkeissa lämpötiloissa. Valkolipeän vaikuttavina aineina ovat veteen liuenneet hydroksidi- ja vetysulfidi-ionit. Nämä liuottavat puusta 150–180 °C:n lämpötilassa pääosan puun ligniinistä ja osan puun hemiselluloosasta, minkä jälkeen puuhake hajoaa helposti kuiduiksi ja saatu tumma kuitumassa on valmis pestäväksi ja jatkokäsiteltäväksi. (1.)

Sulfaattimenetelmässä käytetty keittoneste ja puusta liennut ligniini ja muu orgaaninen aine kerätään mustalipeänä, mikä väkevöidään mustalipeähaihduttimissa korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen (65–85 %) ja poltetaan soodakattilassa. Soodakattilassa mustalipeän orgaaninen aine muuttuu pääosin lämpö- ja sähköenergiaksi. (1.)

Keittokemikaalit kierrätetään mustalipeästä uudelleen valkolipeäksi talteenotto-prosessissa, mikä sisältää haihduttamon, soodakattilan, kaustisoinnin ja meesauunin. Soodakattilan alaosa toimii pelkistävänä, eli siihen ei syötetä koko poltossa tarvittavaa ilmamäärää. Näin lähes kaikki Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> muuttuu Na<sub>2</sub>S:ksi, lopun natriumin ollessa pääosin Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:na. Soodakattilan pohjalta kemikaalit valutetaan sulana liuottajaan, jossa ne sekoitetaan veteen ja saadaan viherlipeää. Viherlipeästä suodatetaan epäpuhtauksia pois, minkä jälkeen viherlipeä kaustisoidaan valkolipeäksi sekoittamalla siihen kaustisointiprosessissa poltettua kalkkia (CaO), jolloin saostuu meesaa (CaCO<sub>3</sub>):

Kalkin liukeneminen:  $\text{CaO (s)} + \text{H}_2\text{O (liq)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 \text{ (liq)}$



Meesan muodostuminen:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{liq}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{liq}) \rightarrow 2 \text{NaOH} (\text{liq}) + \text{CaCO}_3 (\text{s})$

Saatu meesa regeneroidaan takaisin poltetuksi kalkiksi meesauunissa.

Sulfaattimenetelmä on saanut nimensä kemikaalien talteenoton korvauskemikaalista natriumsulfaatista,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Nykyisten tehtaiden sulkemisasteiden ollessa hyvin korkea ei natriumsulfaattia juurikaan käytetä, vaan tehtaot saavat tarvitsemansa natriumin ja rikin pääosin natriumhydroksidina ( $\text{NaOH}$ ) ja rikkihappona ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). (1.)

### 2.4.1 Jauhatus

Jauhatus on erittäin tärkeä osa paperin valmistusta, koska sen mukaan määräytyvät useat paperin ominaisuudet. Jauhatusaika onkin suurin eroja aiheuttava tekijä tutkimuksessa. Jauhatus muuttaa sellun kuitujen (2.)

Jauhatus on tärkein osa paperin valmistusta koska sen vaikutus kulkee läpi koko prosessin. Massan jauhatusta mahdollistaa kuitujen optimaalisen jakautumisen ja paperin valmistukseen tarvittavien sidoksien muodostumisen. (2.)

### 2.4.2 Näytteiden jauhatusta

Näytteet valmistettiin jauhamalla 360g kuivattuja selluarkkeja. Arkkeja liotettiin vedessä yön yli. Seuraavana päivänä arkit jauhettiin laboratorion Valley-hollanterilla. Selluarkit hajotettiin hollanteriin ja laitteeseen lisättiin 23 litraa vettä. Tällä saatiin jauhettavan massan sakeudeksi 15,7g/l. Jauhatusaika käytettiin 5200 gramman kuormitusta koko jauhatuksen ajan. Olosuhteet ja toimenpiteet toistettiin identtisinä kaikilla puulajeilla tilastollisen vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi. (3.)

### 2.4.3 Jauhatusasteen mittaus

Massan jauhatusta mitataan Schopper-Riegler-luvulla (SR-luku). Luku mitataan suotauttamalla 1 litra sulppua, jonka sakeus on 2 g/l vapaasti laitteen viirakankaalle. Mittaus tehdään kalibroidulla

SR-laitteella. Tutkittavasta näytteestä erotettiin tilavuus joka vastaa 2g kuivaa massaa joka sitten laimennettiin 1 litraan vettä. Massan sakeudesta ja kuivan massan painosta johdettiin näytteen tilavuudeksi 130 ml. joka sitten kaadettiin SR-laitteeseen. SR-luku on sitä suurempi, mitä hitaammin massa suotautuu viiran läpi. (3.)

## **2.5 Näytearkkien valmistus**

Jauhetusta massasta valmistetaan näytearkkeja. Arkit valmistetaan SCAN-C 26:n mukaan kiertovesijärjestelmällä varustetulla arkkimuotilla. Jokaista näytearkkia kohden suodatetaan n. 9,5 litraa sulppua. Arkin tavoiteneliömassa on 60 g / 2 ja arkin tavoitepaino 1,63 g. Arvojen saavuttamiseksi näyte-erän tilavuudeksi laskettiin 105 ml. Vaikka osa kuidusta menee valmistuksessa viiran läpi, hävikki voidaan korvata lisäämällä hiukan sulpun määrää näytteessä. Silloin näytteen määräksi tulee noin 110 ml. Jokaisesta jauhatusnäytteestä valmistettiin 6 näytearkkia. Näin jokaista puulajia kohden saatiin 24 arkkiä, eli yhteensä 72 arkkiä.

## **2.6 Märkäpuristus ja kuivaus**

Valmiit arkit asetettiin pinoamiskehikkoon, jonka jälkeen ne esipuristettiin laboratorion omalla puristimella. Puristuksen tarkoituksena on poistaa vettä arkeista ja simuloida paperitehtaalla tehtävää märkäpuristusta. Tutkimuksen puristusaineeksi valittiin 2 Mpa ja puristusta pidettiin yllä 5 min. Puristuksen jälkeen arkit aseteltiin kuivatuslevyille, jotka siirrettiin niille varatuilla paikoille laboratorioon. Arkkien kuivuttua ne irrotettiin levyiltä ja testaus aloitettiin. (3.)

## **2.7 Arkkien testaus laboratoriossa**

Laboratoriossa arkit testataan samaan tapaan kuin normaalit paperiarkit. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että kyseessä ovat vasta selluarkki. Myös testiarkkien pieni koko tulee ottaa huomioon testauksen vertaamisessa tavalliseen paperiin. Kaikki laboratoriossa suoritettut testit on tehty Scan-standardien mukaan. Kaikki näytearkit säilytettiin samoissa olosuhteissa testauksen ajan. Testauksen tulokset ovat nähtävissä liitteenä olevissa taulukoissa (liitteet 14 - 21). Pääasiallisesti tutkimuksessa keskityttiin mekaaniseen kestävyys, mutta myös optiset ominaisuudet testattiin.

Näytteitä säilytettiin samassa tilassa koko testauksen ajan. Kaikille puulajeille ja kaikille jauhatusajoille tehtiin 6 mittausta. (3.)

### 2.7.1 Laboratorio-olosuhteet

Mittaukset suoritettiin identtisissä olosuhteissa koulun laboratoriossa.

### 2.7.2 Neliömassa

Neliömassalla tarkoitetaan ilmastoidun paperinäytteen pinta-alayksikön massaa ilmaistuna g/m<sup>2</sup>. Tutkittava paperilaatu pidetään ilmastoidussa tilassa koko punninnan ajan. Punnittava paperilaatu tulee punnita vähintään 0,2% tarkkuudella, jotta saatu vastaus olisi tarpeeksi tarkka. Paperilaadun neliömassa saadaan kaavasta.

$$W = 10\,000m/A$$

w = testikappaleen neliömassa, g/m<sup>2</sup>

m = testikappaleen massa, g

A = testikappaleen pinta-ala, cm<sup>2</sup>

(2; 3.)

### 2.7.3 Paksuus ja tiheys

Paperilaadun paksuus mitataan paperilaboratorion SCAN-P 7:75 mukaan varustetulla ja kalibroidulla tarkkuusmikrometrillä. Mittaustulos saadaan asettamalla koestettava paperi mikrometrin mittapäiden väliin. Mittapäiden asettuessa paperin kummallekin pinnalle tiukasti voidaan saatu tulos lukea 1  $\mu\text{m}$ :n tarkkuudella. Paperin tiheys on massa tilavuusyksikköä kohden laskettuna yhden paperiarkin neliömassan ja paksuuden perusteella. Paperin tiheys lasketaan kaavasta:

**$X = 1\,000w/t$ , jossa**

$X$  = tiheys  $\text{kg}/\text{m}^3$

$w$  = neliömassa  $\text{g}/\text{m}^2$

$t$  = paksuus  $\mu\text{m}$

### 2.6.4 Bulkki

Bulkki on tiheyden käänteisarvo. Se saadaan kaavasta

**$X = t/w$ , jossa**

$X$  = tiheys,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$w$  = neliömassa,  $\text{g}/\text{m}^2$

$t$  = paksuus

(2. 3.)

## 2.7.5 Kosteus

Koestettavan paperin kosteus määritettiin painohäviönä. Koestus tehtiin paperilaboratorion kosteusanalysointilaitteella. Laite ilmoittaa kosteuden koestettavan paperin painon (vähintään 0,5 g painava) ja koestuksen jälkeisen lämpötasapainon saavuttaneen tuloksen välillä. Saadun vastauksen virhemarginaali on maksimissaan noin 0,05 %. Näytteen kosteuden voi määrittää alla olevasta kaavasta.

**$X = ( a - b / a - c ) * 100$ , jossa**

X = näytteen kosteuspitoisuus %

a = astian, kannen ja näytteen paino ennen kuivausprosessia grammoina

b = astian, kannen ja näytteen paino kuivausprosessin jälkeen grammoina

c = astian ja kannen paino grammoina

(2; 3.)

## 2.7.6 Tuhka

Paperin tuhkapitoisuus kertoo näytteen epäorgaanisten aineiden painon suhteutettuna polttamattomaan näytteeseen. Näytearkki poltettiin noin 925 asteen lämpötilassa, jolloin siitä paloi kaikki orgaaninen aine. Polton jälkeen näyte punnittiin ja selville saatiin palamattoman eli epäorgaanisen aineen määrä. Tuhkapitoisuuden mittausta ei ole kovin tarkka, koska osa epäorgaanisesta aineesta muuttuu painoaan polton aikana. Näytepaperin tuhkapitoisuus saadaan selville kaavasta.

**$X = a / m * 100$ , jossa**

X = näytteen tuhkapitoisuus %

a = tuhkan paino grammoina

m = kuivatetun/poltetun näytteen paino grammoina.

(2; 3.)

### 2.7.7 Vetolujuus ja murtovenymä

Paperin vetolujuudella tarkoitetaan maksimaalista voimaa, jonka koestettava paperi kestää pinnan suuntaisesti vedettäessä murtumatta. Tulos on se maksimaalinen voima, jonka paperinäyte kesti ennen murtumistaan. Määrittäminen tehdään SCAN-P standardin mukaisesti varustetulla ja kalibroidulla laitteella. Koestusta varten paperista leikataan 15 mm:n levyisiä paloja sekä kone- että pituussuunnassa. Koestuskappaleiden tulee olla virheettömiä ja oikean kokoisia. Mittauslaite tulostaa erikseen pituus- ja konesuunnan tulokset. Vetolujuus saadaan kaavasta.

**$X = a / b$  tai  $X = 9,81 C / B$ , jossa**

$X$  = vetolujuus, kN/m

$a$  = asteikon lukemien keskiarvo, N

$b$  = liuskan leveys, mm

$c$  = asteikon lukemien keskiarvo

(2; 3.)

### 2.7.8 Repäisylujuus

Paperin repäisylujuus on se tehdyn työn määrä, joka tarvitaan repäisemään paperi alku leikkauksesta eteenpäin tietyn matkan. Tehty työ mitataan heilurimittarin ns. Potentiaalienergian vähenemisenä verrattuna kalibrointimittaukseen. Repäisylujuuden määrittäminen voidaan laskea seuraavan kaavan mukaan.

**$a = s * p$ , jossa**

$a$  = repäisylujuus, mN

$s$  = asteikon lukemien keskiarvo

Vuorostaan repäisyindeksi saadaan selville seuraavaa kaavaa hyväksikäyttäen;

**$X = A / w$ , jossa**

$X$  = repäisyindeksi, mN \* m<sup>2</sup> /g

$a$  = repäisylujuus, mN

$w$  = näytteen neliömassa, g / M<sup>2</sup>

(2; 3.)

### 2.7.9 Karheus

Paperin karheus on ilmanvirtaaminen paperin ja metallilevyn välissä noin 150 mm wp:n paine-eron vallitessa. (3.)



### **2.7.10 Ilmanläpäisevyys**

Ilmanläpäisevyys mitataan ilman tilavuusvirtaa, jonka 150 mm wp paine-ero saa aikaan 10 cm<sup>2</sup>:n pinta-alalla. Ilmanläpäisevyys mitattiin paperilaboratorion Bendtsen-mittarilla, joka on varustettua tarvittavilla mittareilla ja kalibroitu. Luotettavan tuloksen saamiseksi kustakin paperilaadusta tulee saada vähintään kuusi tulosta. Mittarin skaala toimii vain tietyllä alueella, joten osa paperilaaduista ei ollut mitattavissa, minkä vuoksi mittaustulokset ovat jääneet ottamatta. (3.)

### **2.7.11 Vaaleus**

Massojen kuidut ja ligniini ovat luonnostaan kellertäviä. Paperilta normaalisti vaadittaviin vaaleusarvoihin päästään vain poistamalla tätä luontaista kellertävyyttä valkaisuprosesseilla. Valkaisu vähentää valonabsorptiota eli lisää paperin vaaleutta. Paperin vaaleus mitataan Iso-vaaleutena eli paperin ominaisheijastusluku määritettynä 457 nm vaikuttavalla aallonpituudella. Tulos saadaan vaaleus prosentteina noin 0,5 % yksikön tarkkuudella. (3.)

### **2.7.12 Opasiteetti**

Paperin opasiteetti tarkoittaa valon läpäisemättömyyttä. Tämä optinen ominaisuus saadaan mitattua Minolta Spectrofotometrillä, joka määrittää mustaa taustaa vasten paperiarkin valonheijastusluvun suhdetta saman paperin Y-arvoon, joka on mitattu ennen opasiteetin määrittämistä. (3.)

### **2.7.13 Valonsironta ja valonabsorbtiokerroin**

Valonsirontakerroin tarkoittaa aineen kykyä heijastaa valoa takaisin itseään kohti eli hajauttaa valoa omaan massaansa. Valonsirontakerroin vaikuttaa arkin vaaleuteen ja opasiteettiin. Yleensä valonsirontan kasvaminen lisää arkin opasiteettia, mutta heikentää vaaleutta samassa suhteessa. Nykyaikaisilla kemikaaleilla voidaan kuitenkin saavuttaa kiitettävät ominaisuudet sekä opasiteetissa että vaaleudessa. (3.)

### **2.7.14 Kiilto**

Kiillolla tarkoitetaan paperin kykyä heijastaa siihen osuvaa valoa. Kiilto mitataan jokseenkin tasaiselta paperilta, jossa valon tulokulma ja havaitsemiskulma ovat 75 astetta. (3.)

## **3 TYÖMENETELMÄT**

### **3.1 Kirjallisuus**

Aiheesta löytyy paljon kirjallisuutta ja tutkimustuloksia. Pääasialliseksi lähdekirjallisuudeksi tutkimukseen valittiin sopivat teokset. Lähteinä käytettiin myös kursseilla jaettua materiaalia, aiheesta aikaisemmin tehtyjä insinööritöitä ja tutkimusraportteja.

### **3.2 Laitteet**

Tutkimuslaitteina käytettiin koulun laboratorion laitteita, joiden käyttöön ja kalibrointiin oli perehdytty aiemmilla kursseilla. Kaikki laitteet olivat standardien vaatimusten mukaisia, ja ne kalibroitiin aina ennen mittauksia.

### **3.3 Taulukointi**

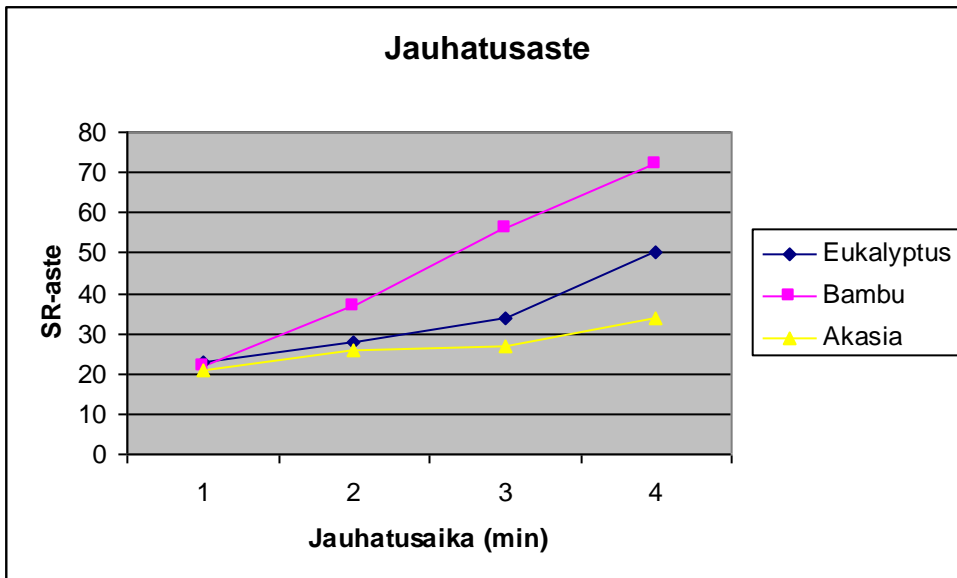
Tulosten taulukointiin käytettiin MS Excel ohjelmaa. Sen avulla tehtiin myös kaikki taulukot ja kuvaajat.

## **4 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO**

### **4.1 Jauhatusaste**

Jauhatusaste on tutkimuksen perusta, koska sillä on selvästi suurin vaikutus arkkien ominaisuuksiin. Jauhatusasteen vaikutusta tarkastelemalla pyritäänkin löytämään yhteys jauhatuksen ja arkkien lopullisten ominaisuuksien muodostumisen välillä.

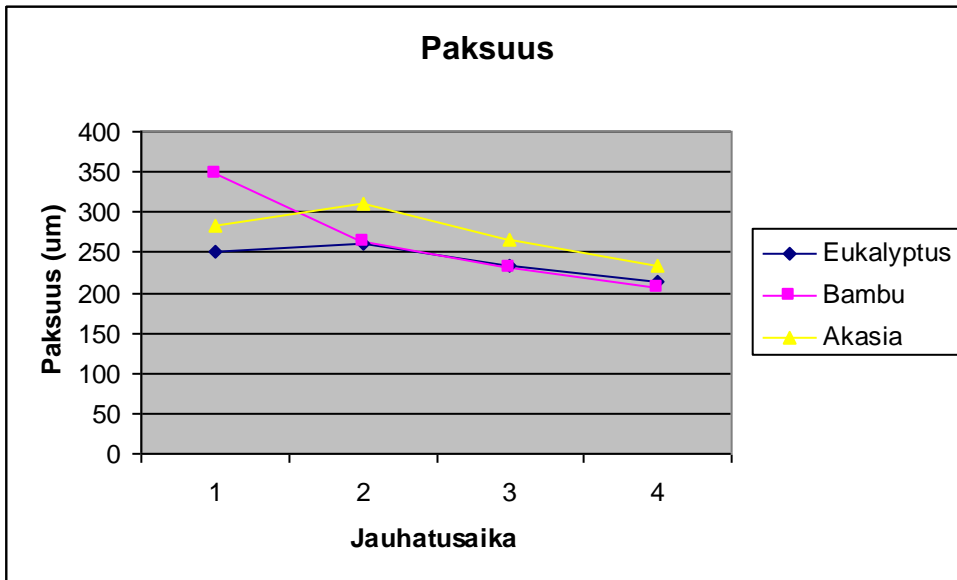
Jauhatusaste ilmoitetaan SR-lukuna, se kasvaa luonnollisesti kaikilla näytekappaleilla jauhatuksen keston pitkittyessä. Eroina voidaan nähdä bambun suhteellisesti nopeammin kasvava SR-luku, joka kertoo tämän puulajien jauhautuvan huomattavasti pienemmällä energialla kuin eukalyptus ja akasia. Bambun jauhatusaste kasvaa myös suoraviivaisemmin kuin eukalyptuksen ja akasian, jotka jauhautuvat aluksi todella heikosti, mutta jauhatuksen loppuvaiheessa tahti tuntuu kiihtyvän. Jo näytteiden valmistaessa jauhautumisessa näki selvästi eroja jo silmämääräisellä tarkastelulla. (2. 4.)



Kuva 1. Jauhatusaste

## 4.2 Mekaaninen kestävyys

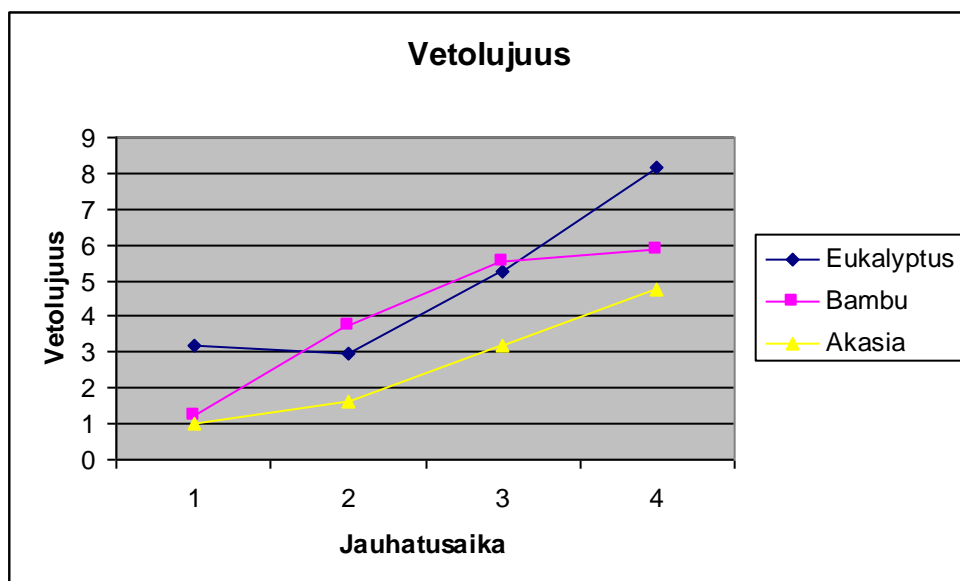
Kaikkien näytteiden paksuudet laskevat jauhatuksen lisääntyessä. Poikkeuksena on akasian toinen näyte-erä, jonka eron voi selittää näytekappaleiden valmistuksessa syntyneillä eroilla. Muuten näytteet käyttäytyivät odotetusti ja kappaleet muuttuivat ohuemmiksi lisääntyneen jauhatuksen lyhentäessä kuituja. (2; 4.)



Kuva 2. Paksuus

### 4.2.1 Vetoindeksi, murtotyö ja venymä

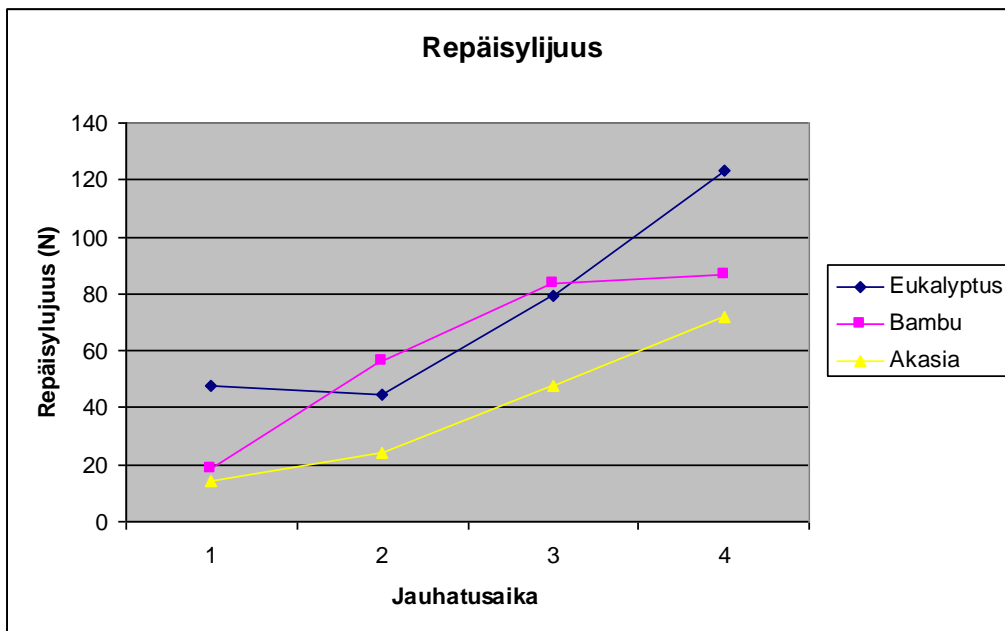
Selluista valmistetut paperit ovat yleensä lujuusominaisuuksiltaan hyviä. Sulfaatin raaka-aineilla on erittäin suuri vaikutus vetolujuuteen. Kaikilla testatuilla puulajeilla voitiin todeta vetolujuuden kasvavan jauhatusajan pidentyessä. Tämä selittyy pääsääntöisesti kuitujen välisten sidosten lisääntymisellä jauhatusasteen kasvaessa. Muista poiketen voitiin havaita, että bambun lujuusominaisuuksien kasvaminen hidastui viimeisiin näytteisiin tultaessa. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että heikot bambukuidut alkoivat hajota siinä määrin, että vaikutus lujuusominaisuuksiin olisi ollut pian negatiivinen, jos jauhatusta olisi jatkettu. (2. 4.)



Kuva 3. Vetolujuus

### 4.2.2 Repäisyindeksi

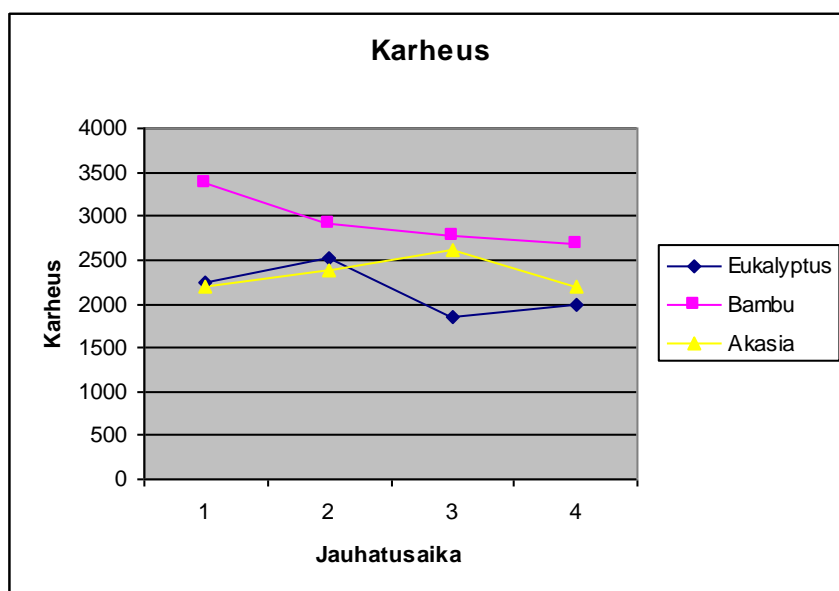
Repäisylujuudet kasvoivat kaikilla näytteillä jauhatuksen lisääntyessä. Tämä oli odotettavaa koska lisääntynyt jauhatus lisää kuitujen lomittumista ja lisää näin kappaleen sisäisiä sidoksia. Tämä vaikutus kasvaa niin nopeasti, että se riittää lisäämään lujuutta samalla, kun lyhenevä kuitupituus heikentää sitä. (4.)



Kuva 4. Repäisylujuus

### 4.2.3 Karheus

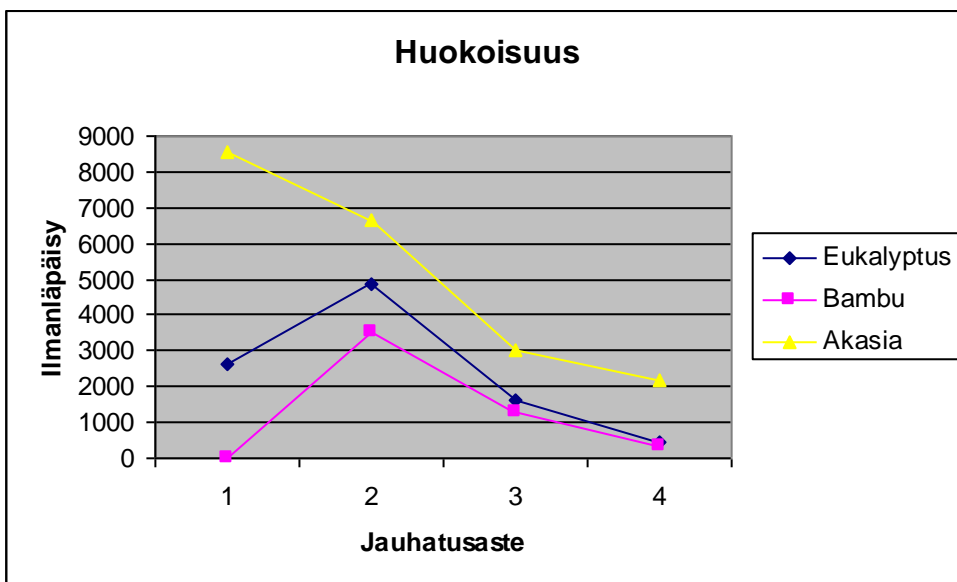
Kaikkien tutkittujen näytteiden karheuden voisi olettaa laskevan jauhatuksen lisääntyessä, koska käytettävän massa muuttuu koko ajan hienojakoisemmaksi. Bambun käyttäytyessäkin odotetusti, voitiin kuitenkin huomata ainakin aluksi akasian ja eukalyptuksen karheuden kasvavan lievästi. Erot johtuvat kuitujen asettumisesta koearkkeihin, mikä saattaa johtua jauhatuksen vaikutuksesta massan sisäisiin sidoksiin. Kuitenkin kuitupituuden laskiessa jauhatuksen loppuvaiheissa sen vaikutus lisääntyi riittävästi, jotta akasiankin karheus lähti laskemaan. Eukalyptuksen tapahtuva pieni karheuden lisääntyminen viimeisissä näytteissä saattaa johtua käsintehtyjen arkkien valmistuksessa tapahtuneesta virheestä, joka on johtanut erilaisten ominaisuuksien syntymiseen. Ero on kuitenkin niin pieni, että se on saattanut syntyä myös yksittäisestä mittavirheestä, joka näkyy tilastoissa kyseisenä ilmiönä. (4.)



Kuva 5. Karheus

#### 4.2.4 Ilmanläpäisevyys

Jauhatusella näyttää olevan suuri vaikutus arkin ilmanläpäisevyyteen. Jauhatusasteen kasvaessa ilmanläpäisevyys pienenee selvästi kaikilla näyttekappaleilla. Tämä johtuu kuitujen lyhenemisestä, jonka ansiosta ne asettuvan tiiviimpiin muodostelmiin ja näin estävät ilman kulkua arkin lävitse.  
(4.)

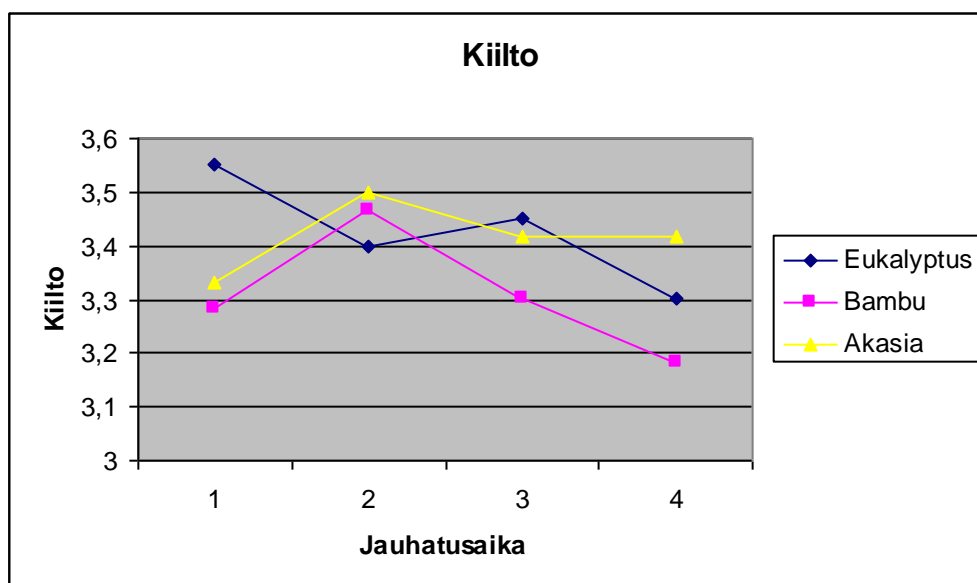


Kuva 6. Huokoisuus



### 4.3 Optiset ominaisuudet

Tutkimuksessa mitattiin myös näytearkkien optiset ominaisuudet eli vaaleus, opasiteetti, valon absorptio ja kiilto. Näiden ominaisuuksien vertailu on kuitenkin tutkimuksen kannalta jokseenkin epäolennaista, koska nämä ominaisuudet määräytyvät pääasiassa itse massaa valmistettaessa, eikä näin ollen jauhatuksella ole niihin suurtakaan vaikutusta. Joitakin pieniä eroja tietenkin esiintyy näyte-erien välillä. Koska koe-erien määrä oli pieni olisi pitkälle menevien johtopäätösten tekeminen on tältä osin harhaanjohtavaa. Tulokset ovat kuitenkin mukana liitteissä, joissa niihin voi tutustua halutessaan tarkemmin. (4.)



Kuva 7. Kiilto

### 4.4 Tulosten luotettavuus

Tutkimuksen tuloksia voidaan pitää jokseenkin luotettavina. Virheiden syntymistä on pyritty estämään kaikissa tutkimuksen vaiheissa. Tavallisimmat tutkimuksen tuloksiin vaikuttavat virheet ovat mittavirheitä, jotka syntyvät havainnoitavan suureen todellista arvon ja mitatun arvon välistä eroista. Suhteellisen pienen otoskoon vuoksi mahdollisella mittausvirheellä olisi suuri vaikutus tuloksiin. Mittavirheitä pyrittiin minimoimaan kalibroimalla laitteet ennen tutkimuksia.

Laitevalmistaja huoltaa koulun laboratorion mittarit kerran vuodessa. Huollon yhteydessä mittarit kalibroidaan uudelleen.

Tuloksissa saattaa myös esiintyä systemaattisia virheitä jotka voivat johtua esimerkiksi huoneen ilmankosteuden vaihteluista. Niitä ei pystytty kontrolloimaan tarkasti ilmastoinnin puutteen vuoksi tai virheestä laitteen kalibroinnissa. Olosuhteista riippuvia virheitä pyrittiin minimoimaan käsittelemällä kaikki näytteet täysin samalla tavalla, peräkkäisinä päivinä, yksi laji per päivä.

Virheitä mittauksissa tuskin pystyttiin eliminoimaan kokonaan mutta niiden vaikutus saatiin niin pieneksi, että se niiden vaikutus tutkimuksen lopputulokseen on mitätön. Paras tapa parantaa luotettavuutta olisi kasvattaa otoskokoa.

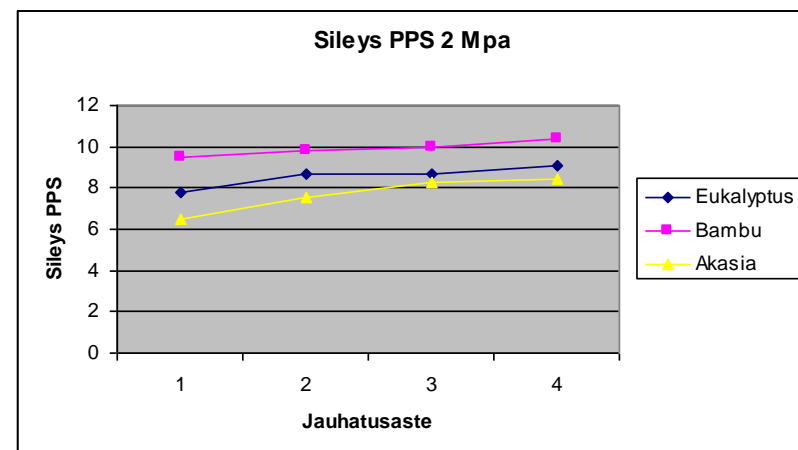
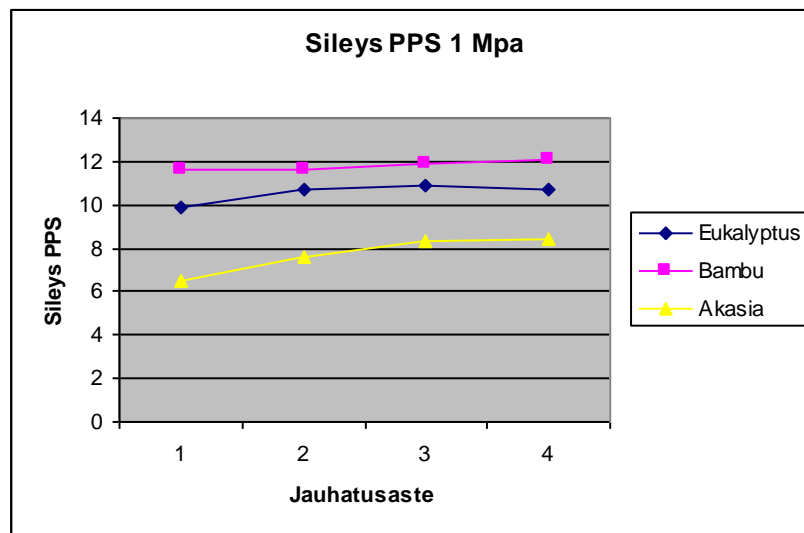
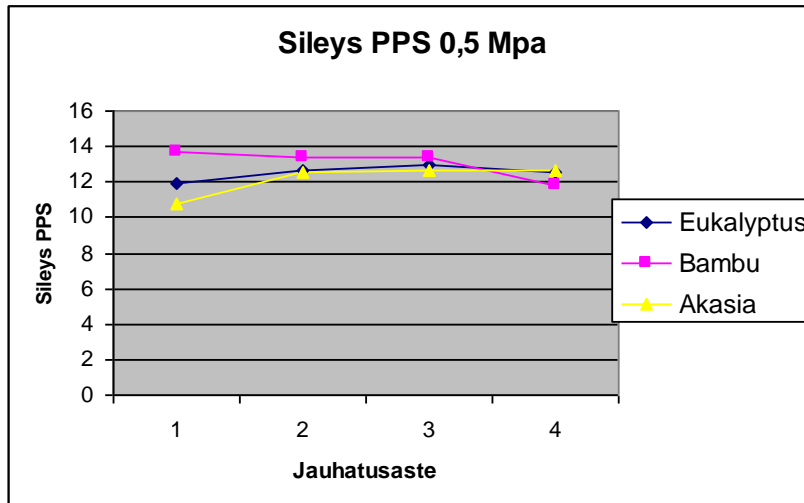
## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikki tutkitut massan tuottivat hyvälaatuisia näytearkkeja. Voidaan kuitenkin todeta, että bambu ja eukalyptus osoittautuivat ominaisuuksiltaan hiukan paremmiksi kuin akasia. Erityisesti jauhatukseen vaadittu energia oli näillä kahdella lajilla selvästi pienempi kuin akasialla. Huonosti jauhautuva akasia tuotti myös paksumpia ja lujuusominaisuuksiltaan heikompia arkkeja. Korkeamman Schopper-Riegler-luvun saavuttaneet eukalyptus ja bambu erottautuivat myös edukseen tutkittaessa näytteiden sileyttä ja painettavuutta.

Tutkimus siis osoittaa, että kaikki tutkitut lajit soveltuvatkin paperin tuotantoon mutta eukalyptuksella ja bambulla prosessointi tulee huomattavasti halvemmaksi massan helpomman jauhautumisen ansiosta. Tästä syystä valittaessa lyhytkuituisen massan lähde onkin syytä ottaa tarkasti huomioon ympäristön asettamat rajoitteet ja taloudelliset näkökohdat. Voi olla olemassa olosuhteita jossa akasian kasvatus olisi parempi ratkaisu, jos jossain ympäristössä olisi esimerkiksi paljon halpaa akasiaa saatavilla. Pääsääntöisesti nykyisessä plantaasikasvatuksessa tulisi kuitenkin turvautua paremmin toimiviin ja edullisiin lajeihin. Varsinkin eukalyptus onkin hyvästä syystä useiden suurten sellutehtaiden pääasiallinen raaka-aineen lähde.

## LÄHTEET

1. Isotalo K. 1996 Puu ja sellukemia,  
Opetushallitus. Helsinki
2. Mononen. K 2002 eri sellulaatujen lujuusvertailu Luentomonisteet
3. Mononen. K 2004 Työkirja märkä- ja kuivalaboratoriomäärittämissä varten Luentomonisteet
4. Parpala. K 1979 Paperin valmistus WSOY
5. <http://www.herbarium.usu.edu/treatments/Bambuseae.htm> 15.5.2010.
6. <http://www.bamboo-bag.com/bamboofabric.html> 15.5.2010.
7. <http://www.anbg.gov.au/acacia/> 15.5.2010.
8. <http://asgap.org.au/eucalypt.html> 15.5.2010.



## Liite 2.

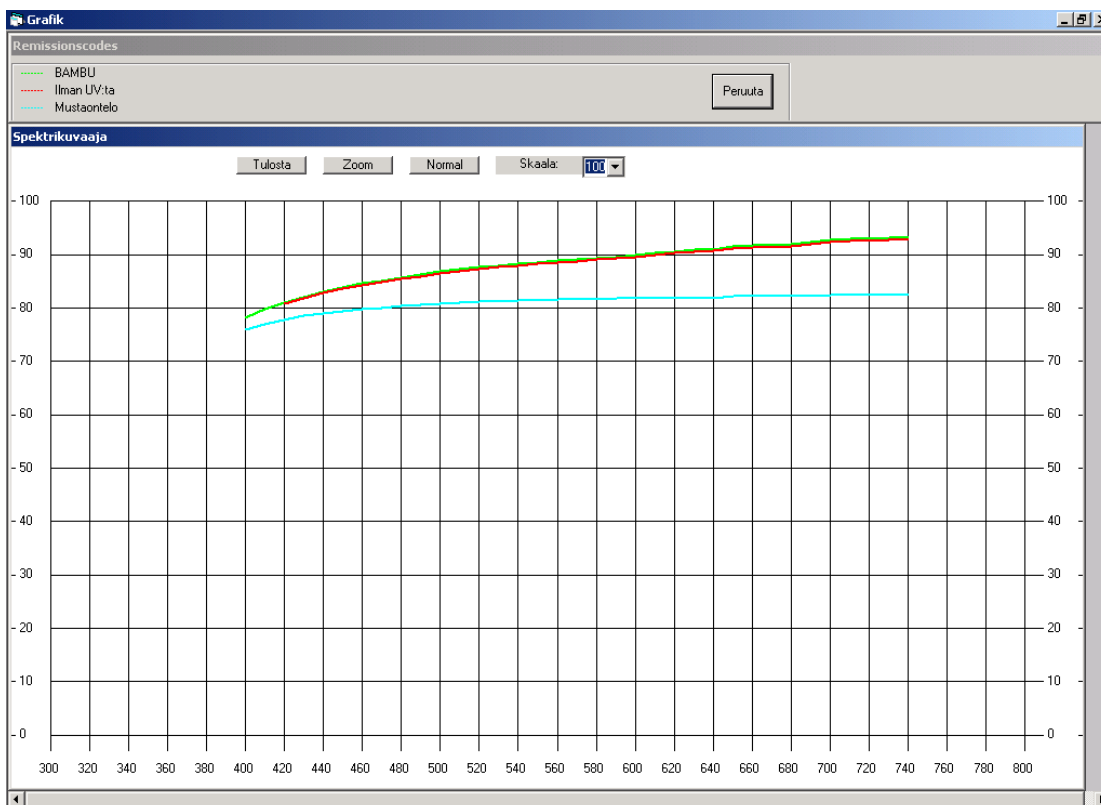
Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Bambu 5 min.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BAMB  
 Näyteste/rolla: 5 min  
 Puoli (YP/AP):  
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	83,92	82,30	84,95	1,03
Arvo Y D65	88,44	86,45	89,58	1,20
Arvo Z D65	89,96	88,97	90,56	0,65
Arvo L* D65	95,35	94,50	95,82	0,51
Arvo a* D65	0,13	-0,03	0,66	0,26
Arvo b* D65	3,39	2,63	3,79	0,45
Valkoisuus CIE + UV	73,05	72,34	74,43	0,86
Valkoisuus CIE - UV	72,67	71,86	74,16	0,91
R457 UV:n kanssa	84,25	83,32	84,81	0,61
R457 ilman UV:tä	83,90	83,00	84,47	0,61
hallitseva aallonpituus	576,5	575,6	580,5	1,9
Ärsykepuhtaus	3,32	2,70	3,73	0,40
Sirontakerroin	40,57	32,72	45,88	4,83
Absorptiokerroin	0,29	0,24	0,33	0,03
Opasiteetti	91,80	88,71	93,31	1,68

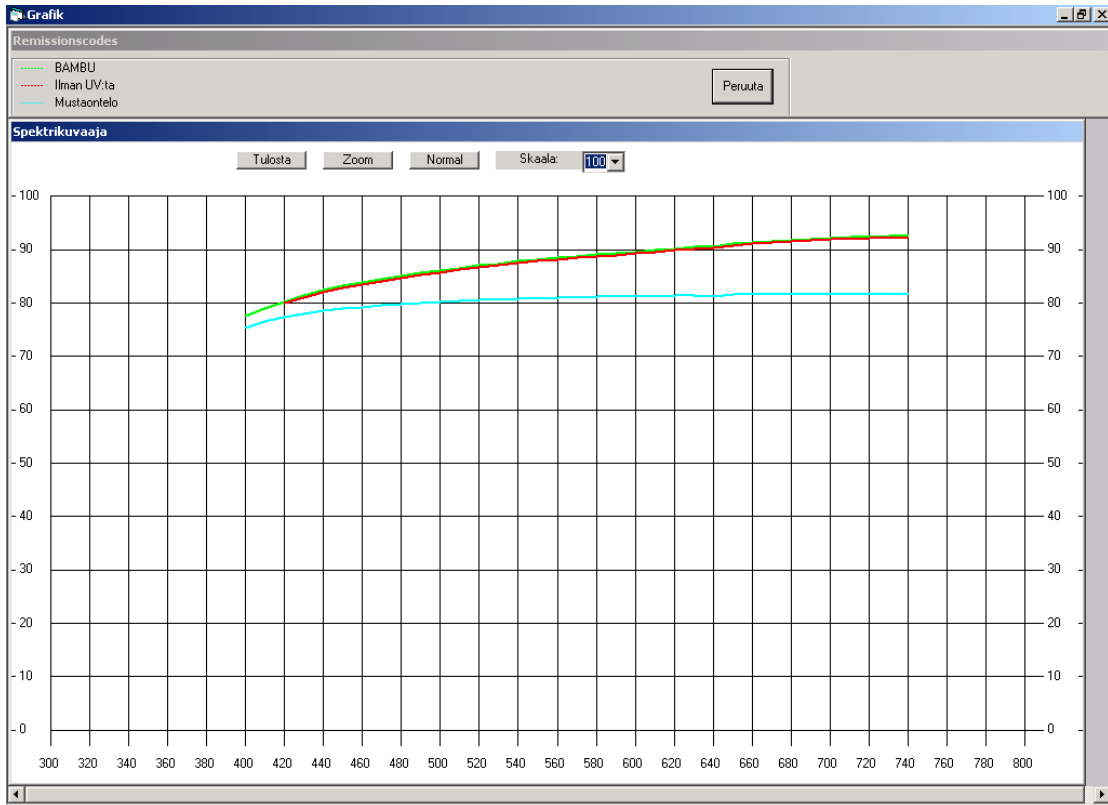
6 Aseta nippu  
 6 Mustaontelo  
 seuraava näyte  
 R% kuvaaja  
 Tulosta  
 ASCII Output  
 Tallenna  
 Tietokannasta  
 Peruuta



## Liite 3.

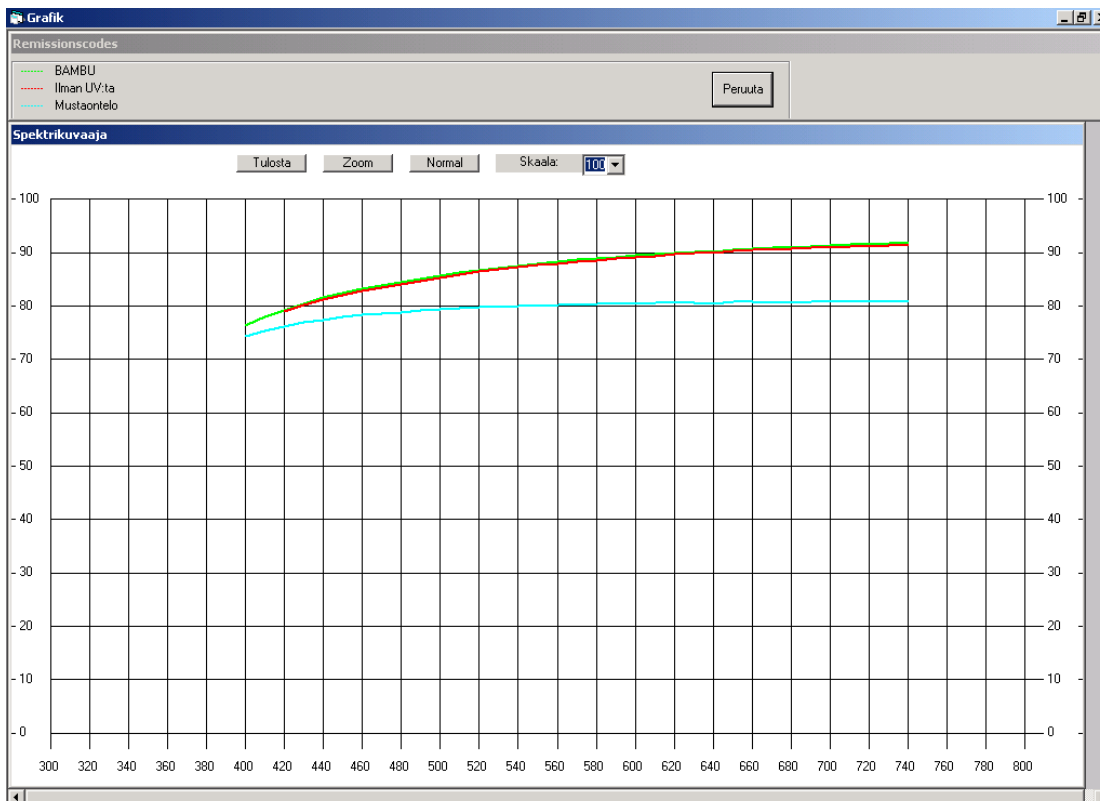
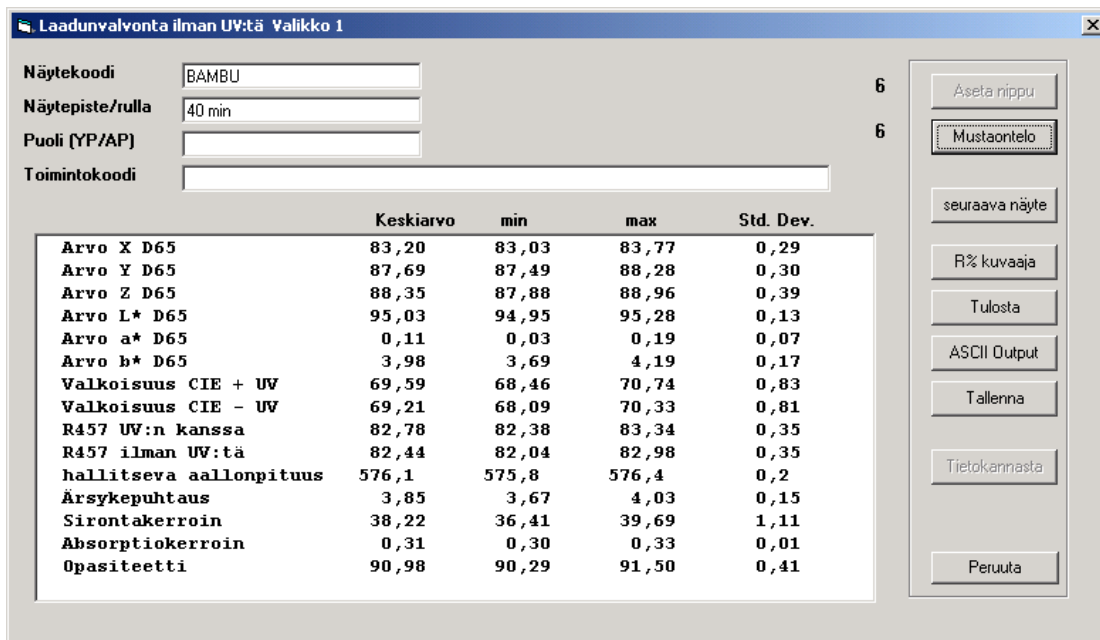
Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Bambu 20 min.

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	83,50	82,90	84,29	0,54
Arvo Y D65	87,96	87,24	88,79	0,58
Arvo Z D65	89,14	88,44	89,63	0,43
Arvo L* D65	95,14	94,84	95,49	0,24
Arvo a* D65	0,21	0,12	0,35	0,08
Arvo b* D65	3,62	3,31	3,93	0,20
Valkoisuus CIE + UV	71,53	70,91	72,41	0,63
Valkoisuus CIE - UV	71,16	70,53	72,06	0,64
R457 UV:n kanssa	83,49	82,80	83,95	0,41
R457 ilman UV:tä	83,14	82,46	83,60	0,41
hallitseva aallonpituus	576,7	576,3	577,3	0,3
Ärsykepuhtaus	3,59	3,27	3,86	0,19
Sirontakerroin	43,44	42,06	45,74	1,31
Absorptiokerroin	0,34	0,33	0,36	0,01
Opasiteetti	91,65	91,21	92,32	0,39



Liite 4.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Bambu 40 min.





## Liite 5.

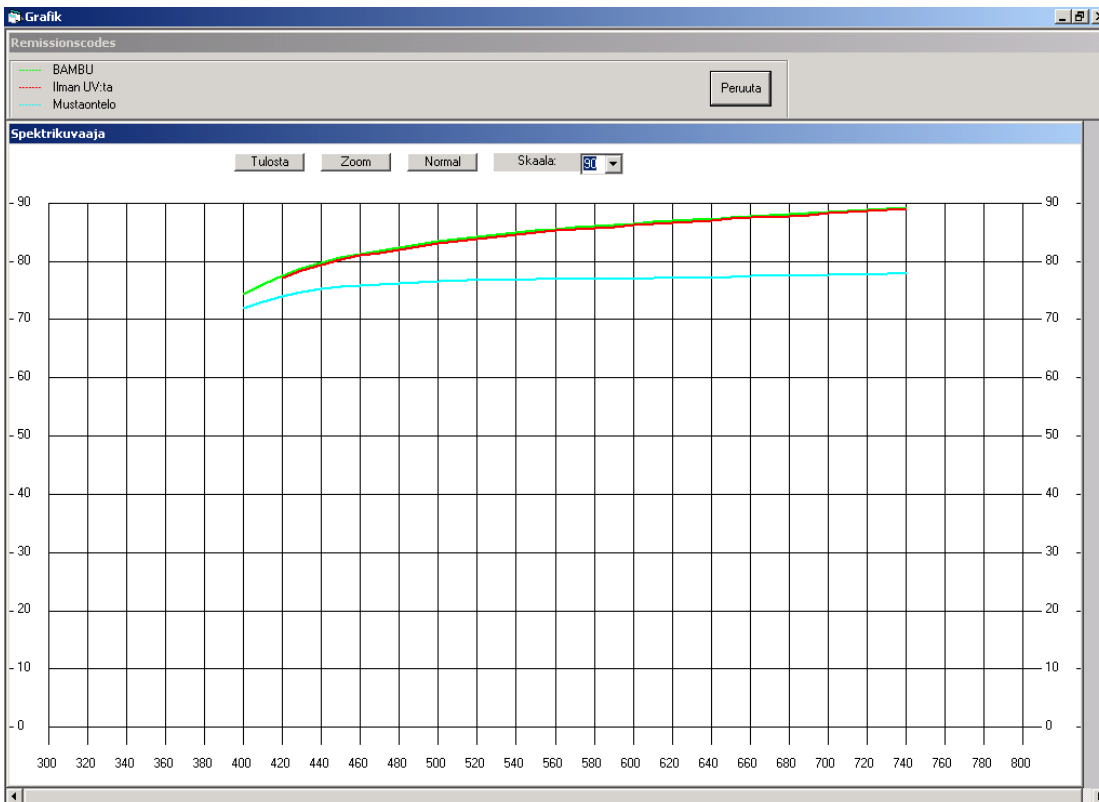
Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Bambu 60 min

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BAMBU  
 Näytepiste/rulla: 60 min  
 Puoli (YP/AP):  
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	80,67	73,02	82,91	3,83
Arvo Y D65	85,05	77,10	87,35	3,98
Arvo Z D65	86,36	82,54	87,68	1,93
Arvo L* D65	93,91	90,37	94,89	1,76
Arvo a* D65	0,06	-0,16	0,17	0,13
Arvo b* D65	3,46	0,14	4,43	1,64
Valkoisuus CIE + UV	69,15	66,71	76,37	3,53
Valkoisuus CIE - UV	68,77	66,32	75,93	3,53
R457 UV:n kanssa	80,90	77,18	82,16	1,88
R457 ilman UV:tä	80,57	76,83	81,81	1,88
hallitseva aallonpituus	576,0	575,7	577,6	0,7
Ärsykepuhtaus	3,35	0,03	4,30	1,65
Sirontakerroin	32,36	20,23	38,15	6,90
Absorptiokerroin	0,41	0,26	0,48	0,09
Opasiteetti	90,15	81,32	92,52	4,34

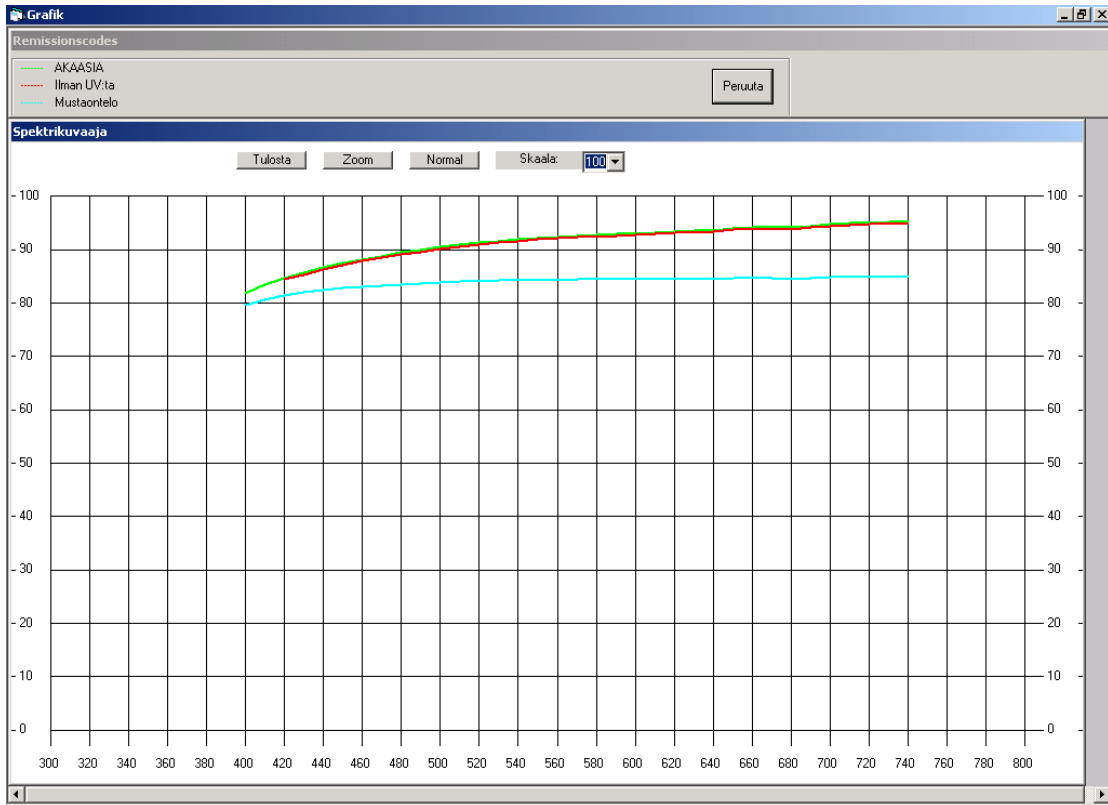
6 Aseta nippu  
 6 Mustaontelo  
 seuraava näyte  
 R% kuvaaja  
 Tulosta  
 ASCII Output  
 Tallenna  
 Tietokannasta  
 Peruuta



## Liite 6.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Akasia 5 min

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,01	86,34	87,56	0,46
Arvo Y D65	91,88	91,13	92,47	0,49
Arvo Z D65	93,79	92,32	94,45	0,77
Arvo L* D65	96,77	96,46	97,01	0,20
Arvo a* D65	-0,20	-0,25	-0,11	0,05
Arvo b* D65	3,21	3,00	3,68	0,25
Valkoisuus CIE + UV	77,48	74,59	78,51	1,44
Valkoisuus CIE - UV	77,05	74,39	78,04	1,35
R457 UV:n kanssa	87,82	86,50	88,43	0,69
R457 ilman UV:tä	87,48	86,19	88,09	0,69
hallitseva aallonpituus	574,8	574,5	575,2	0,3
Ärsykepuhtaus	3,07	2,81	3,47	0,24
Sirontakerroin	54,74	48,60	57,73	3,31
Absorptiokerroin	0,19	0,16	0,20	0,01
Opasiteetti	91,46	89,93	92,09	0,79



Liite 7.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Akasia 20 min.

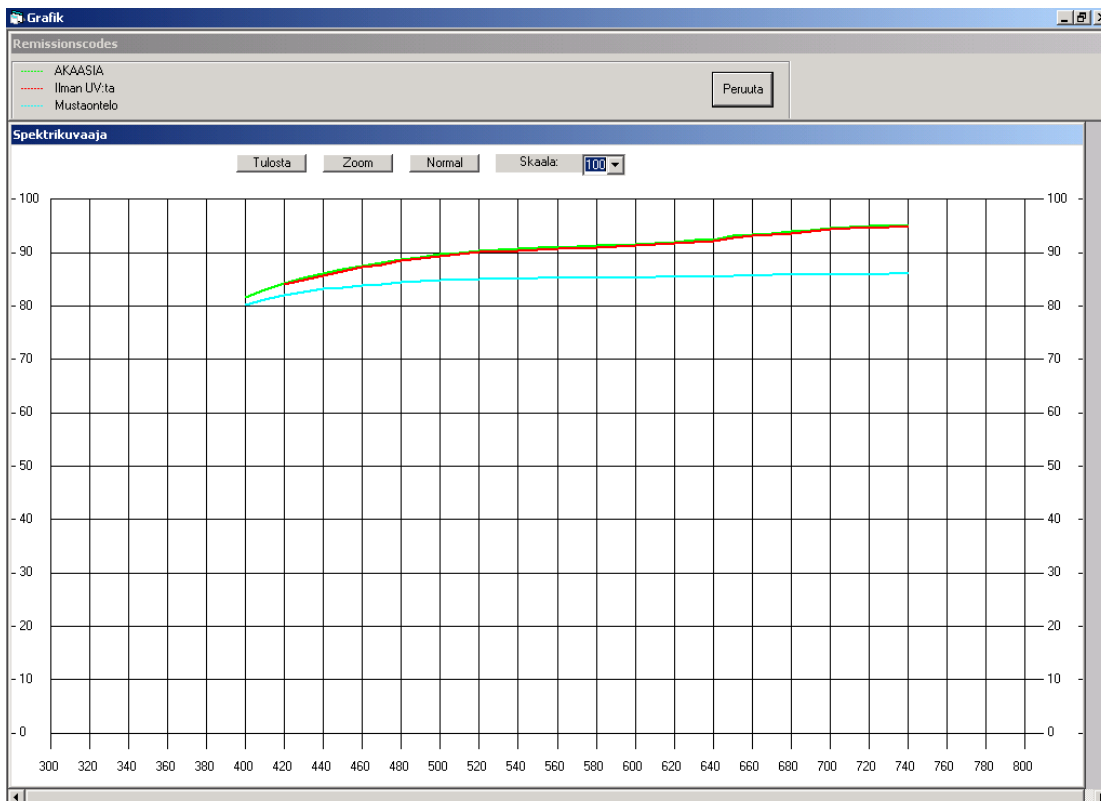
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA  
 Näytepiste/rulla: 20 min  
 Puoli (YP/AP):  
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,86	83,92	87,01	1,12
Arvo Y D65	90,68	88,64	91,89	1,17
Arvo Z D65	93,18	91,61	94,05	0,88
Arvo L* D65	96,28	95,43	96,77	0,49
Arvo a* D65	-0,20	-0,25	-0,15	0,04
Arvo b* D65	2,77	2,39	3,04	0,25
Valkoisuus CIE + UV	78,19	77,79	78,67	0,31
Valkoisuus CIE - UV	77,82	77,51	78,27	0,28
R457 UV:n kanssa	87,23	85,75	88,05	0,83
R457 ilman UV:tä	86,91	85,48	87,68	0,80
hallitseva aallonpituus	574,9	574,5	575,1	0,2
Ärsykepuhtaus	2,64	2,27	2,89	0,25
Sirontakerroin	59,04	51,33	126,43	30,76
Absorptiokerroin	0,27	0,24	0,58	0,14
Opasiteetti	93,71	92,14	98,81	2,60

6  
6

Aseta nippu  
 Mustaontelo  
 seuraava näyte  
 R% kuvaaja  
 Tulosta  
 ASCII Output  
 Tallenna  
 Tietokannasta  
 Peruuta



## Liite 8.

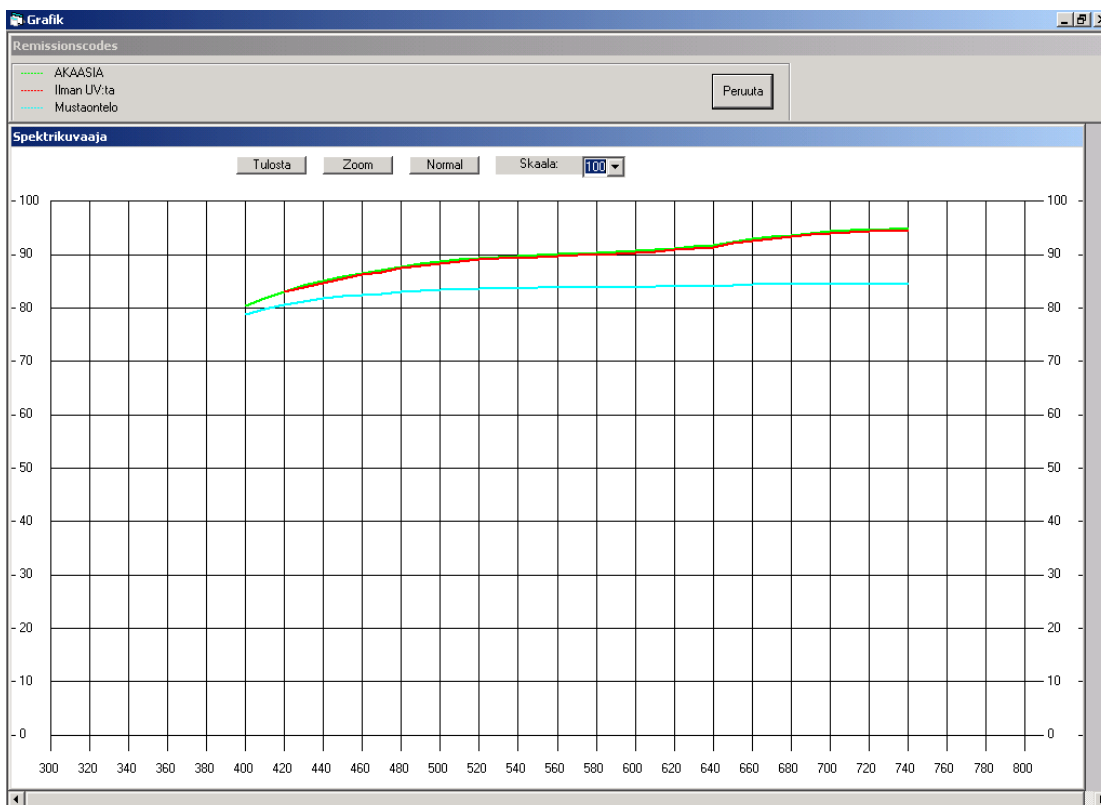
Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Akasia 40 min.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA  
 Näytepiste/rulla: 40 min  
 Puoli (YP/AP):  
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,01	81,20	86,54	2,04
Arvo Y D65	89,77	85,76	91,32	2,13
Arvo Z D65	92,08	89,14	93,23	1,51
Arvo L* D65	95,90	94,21	96,54	0,89
Arvo a* D65	-0,18	-0,24	-0,08	0,06
Arvo b* D65	2,88	2,01	3,38	0,51
Valkoisuus CIE + UV	76,76	76,01	77,53	0,51
Valkoisuus CIE - UV	76,39	75,67	77,33	0,53
R457 UV:n kanssa	86,21	83,48	87,29	1,41
R457 ilman UV:tä	85,88	83,18	86,91	1,39
hallitseva aallonpituus	575,1	574,7	575,6	0,3
Ärsykepuhtaus	2,68	1,88	3,17	0,49
Sirontakerroin	52,98	41,53	61,54	7,30
Absorptiokerroin	0,30	0,23	0,35	0,04
Opasiteetti	93,07	89,94	94,65	1,72

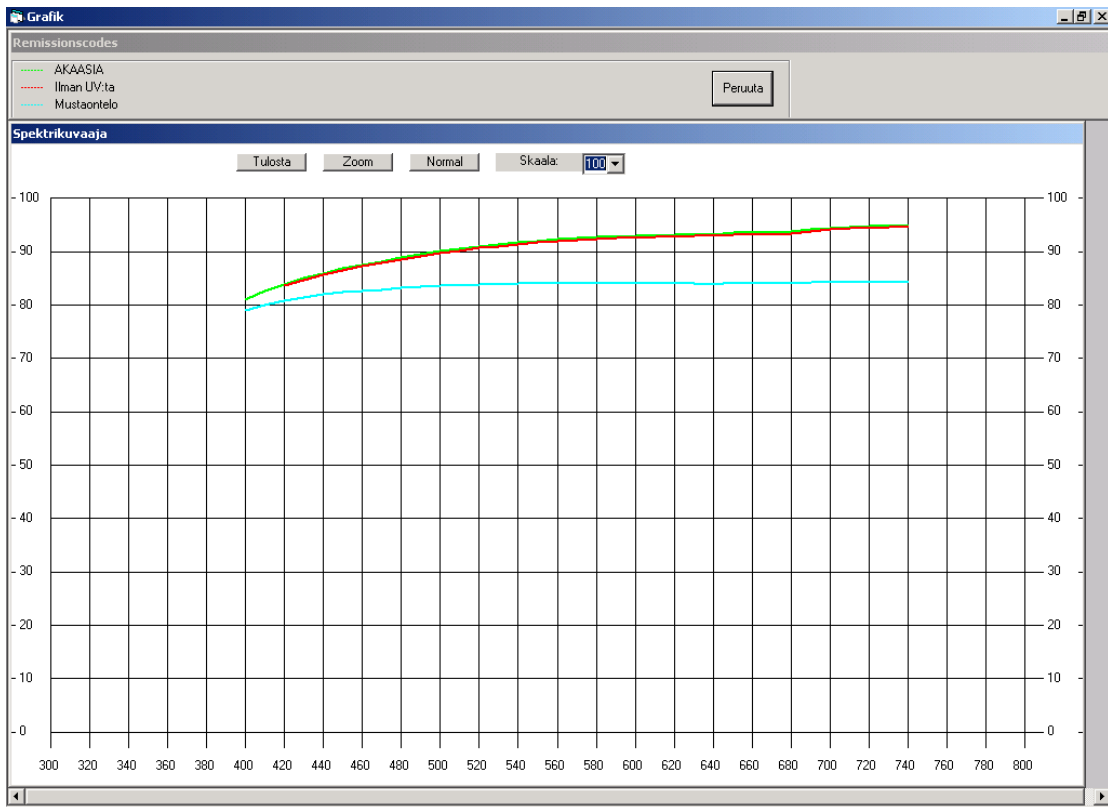
6 Aseta nippu  
 6 Mustaontelo  
 seuraava näyte  
 R% kuvaaja  
 Tulosta  
 ASCII Output  
 Tallenna  
 Tietokannasta  
 Peruuta



## Liite 9.

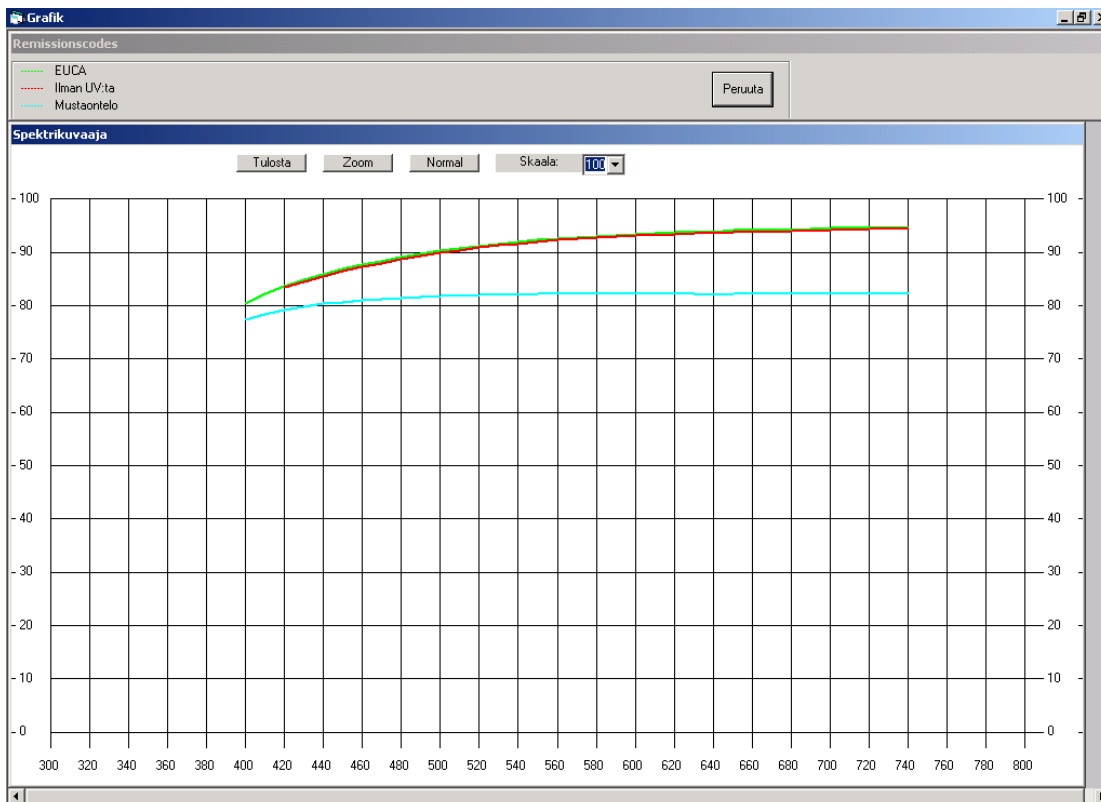
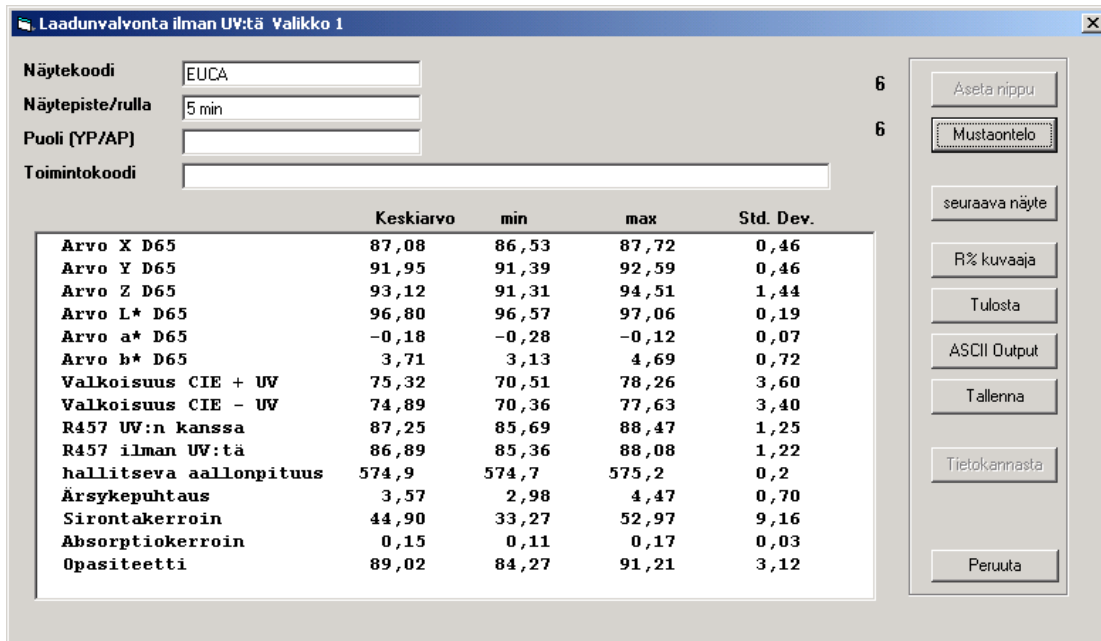
Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Akasia 60 min.

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,74	85,76	87,11	0,50
Arvo Y D65	91,62	90,75	91,90	0,44
Arvo Z D65	93,12	92,77	93,32	0,23
Arvo L* D65	96,66	96,31	96,78	0,18
Arvo a* D65	-0,23	-0,53	-0,04	0,16
Arvo b* D65	3,48	3,11	3,76	0,21
Valkoisuus CIE + UV	75,99	74,95	76,74	0,59
Valkoisuus CIE - UV	75,59	74,61	76,36	0,57
R457 UV:n kanssa	87,20	86,88	87,40	0,22
R457 ilman UV:tä	86,87	86,57	87,07	0,21
hallitseva aallonpituus	574,6	572,9	575,5	0,9
Ärsykepuhtaus	3,30	2,91	3,64	0,24
Sirontakerroin	52,29	47,93	55,54	2,67
Absorptiokerroin	0,19	0,17	0,20	0,01
Opasiteetti	91,39	90,28	92,12	0,65



Liite 10.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Eukalyptus 5 min.

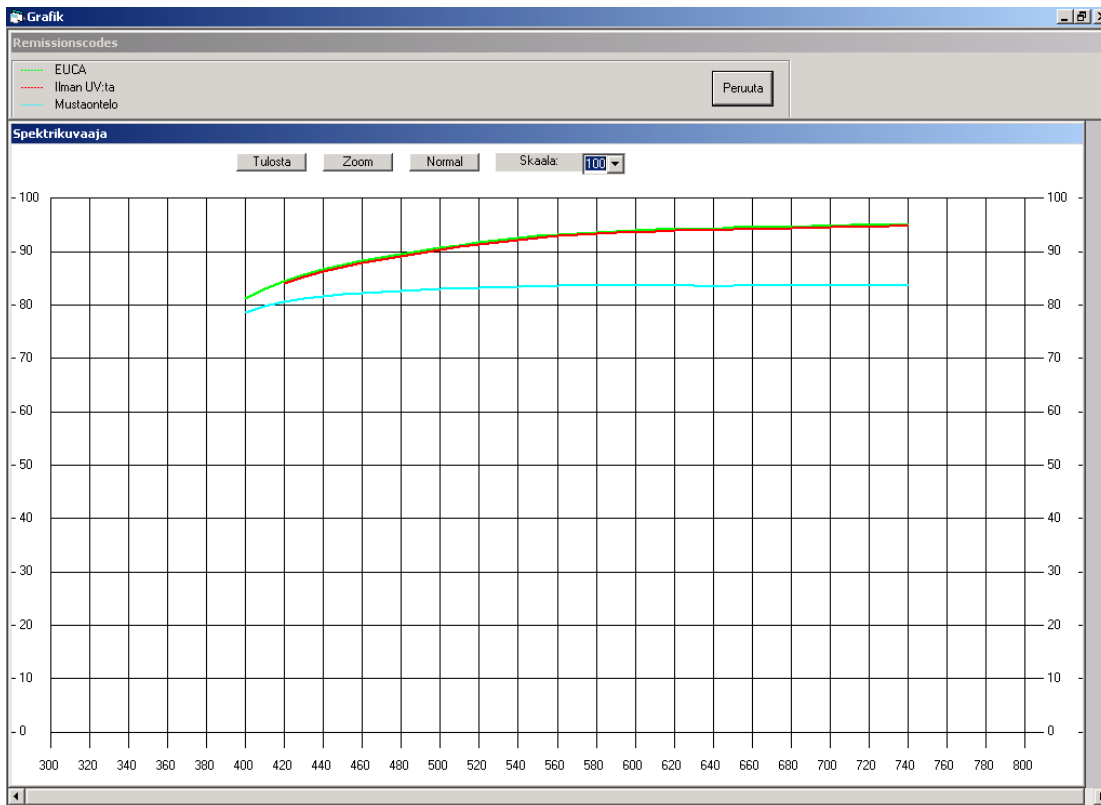




Liite 11.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Eukalyptus 20 min.

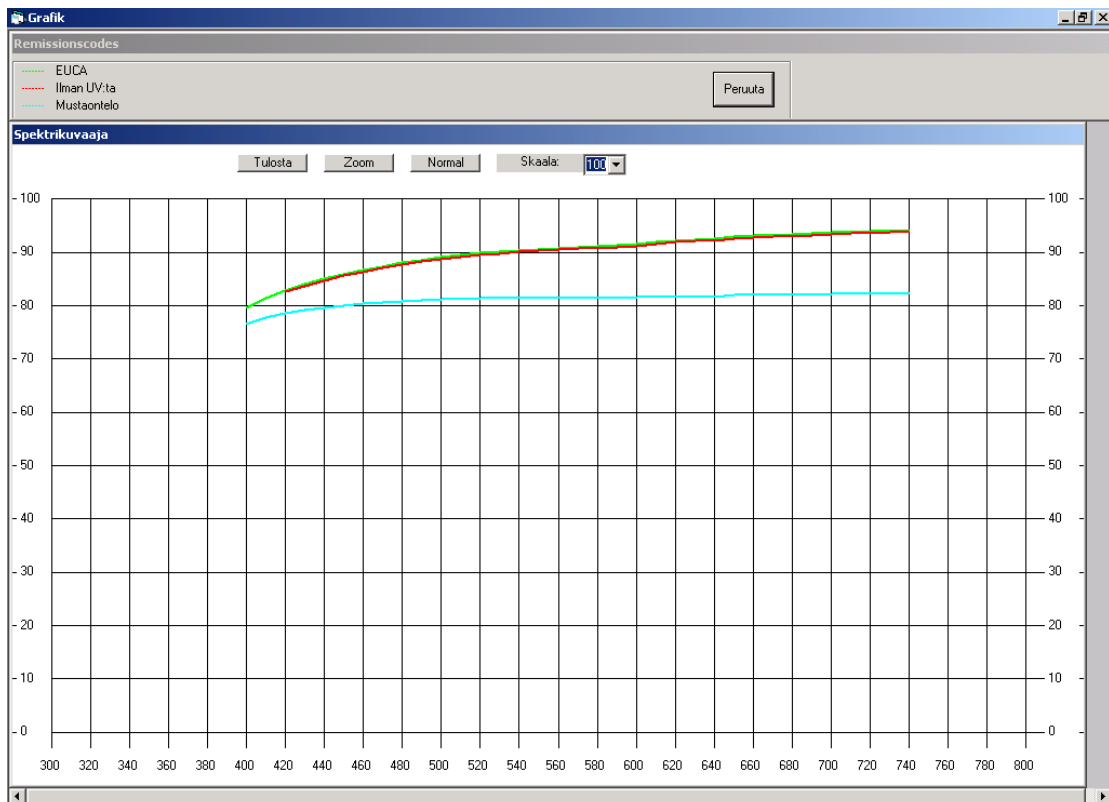
	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,62	87,17	87,84	0,24
Arvo Y D65	92,50	91,96	92,78	0,29
Arvo Z D65	93,83	92,43	94,46	0,72
Arvo L* D65	97,02	96,81	97,14	0,12
Arvo a* D65	-0,15	-0,24	-0,04	0,07
Arvo b* D65	3,62	3,39	4,20	0,29
Valkoisuus CIE + UV	76,32	73,17	77,64	1,59
Valkoisuus CIE - UV	75,83	72,88	77,00	1,49
R457 UV:n kanssa	87,88	86,63	88,46	0,65
R457 ilman UV:tä	87,51	86,29	88,06	0,63
hallitseva aallonpituus	575,0	574,6	575,4	0,3
Ärsykepuhtaus	3,49	3,19	4,00	0,29
Sirontakerroin	47,65	35,04	53,16	6,91
Absorptiokerroin	0,13	0,10	0,15	0,02
Opasiteetti	89,94	85,37	91,32	2,28



Liite 12.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Eukalyptus 40 min.

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,61	84,55	86,36	0,74
Arvo Y D65	90,40	89,26	91,20	0,80
Arvo Z D65	92,17	90,87	93,02	0,88
Arvo L* D65	96,16	95,69	96,49	0,33
Arvo a* D65	-0,18	-0,23	-0,10	0,04
Arvo b* D65	3,27	2,77	4,10	0,46
Valkoisuus CIE + UV	75,66	71,84	77,21	1,98
Valkoisuus CIE - UV	75,23	71,60	76,77	1,90
R457 UV:n kanssa	86,35	85,22	87,12	0,80
R457 ilman UV:tä	86,00	84,90	86,78	0,79
hallitseva aallonpituus	575,1	574,7	575,7	0,3
Ärsykepuhtaus	3,04	2,65	3,83	0,43
Sirontakerroin	40,77	30,75	50,68	7,65
Absorptiokerroin	0,20	0,15	0,25	0,04
Opasiteetti	89,86	85,41	92,66	2,74



Liite 13.

Optiset ominaisuudet Minolta spektrofotometrillä mitattuna. Näyte-erä Eukalyptus 60 min.

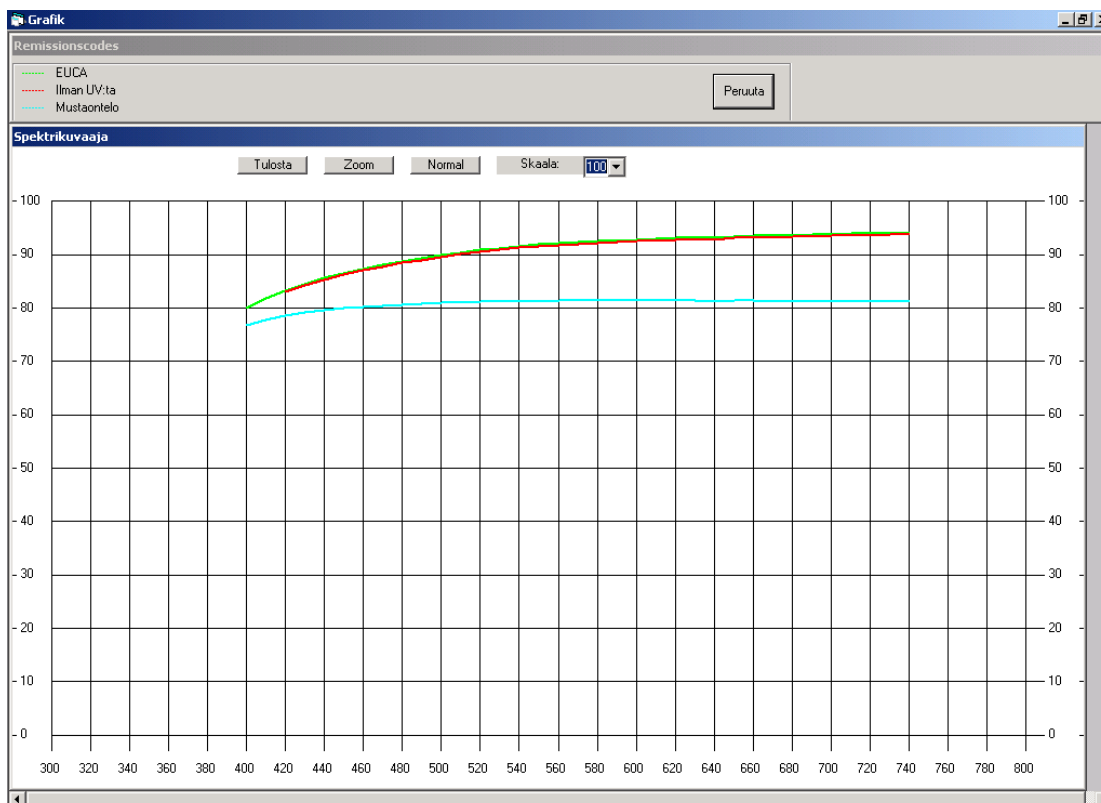
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA  
 Näytepiste/rulla: 60 min  
 Puoli (YP/AP):  
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,59	86,51	86,70	0,06
Arvo Y D65	91,49	91,42	91,61	0,07
Arvo Z D65	92,81	92,72	92,88	0,06
Arvo L* D65	96,61	96,58	96,66	0,03
Arvo a* D65	-0,29	-0,33	-0,25	0,03
Arvo b* D65	3,61	3,53	3,65	0,05
Valkoisuus CIE + UV	75,29	75,14	75,61	0,17
Valkoisuus CIE - UV	74,86	74,71	75,19	0,17
R457 UV:n kanssa	86,96	86,88	87,03	0,06
R457 ilman UV:tä	86,62	86,56	86,72	0,07
hallitseva aallonpituus	574,5	574,2	574,7	0,2
Ärsykepuhtaus	3,38	3,34	3,44	0,04
Sirontakerroin	40,29	37,58	41,84	1,65
Absorptiokerroin	0,15	0,14	0,16	0,01
Opasiteetti	88,55	87,50	89,10	0,62

6  
6

Aseta nippu  
 Mustaontelo  
 seuraava näyte  
 R% kuvaaja  
 Tulosta  
 ASCII Output  
 Tallenna  
 Tietokannasta  
 Peruuta



Liite 14.

**Eukalyptus 5min**

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	Keskiarvo
Paino	g	2,8	2,8	2,8	3	2,8	2,8	2,833333
Paksuus	$\mu\text{m}/\text{m}^2$	252	272	268	255	271	187	250,8333
Neliömassa	$\text{g}/\text{m}^3$	109	109	109	117	109	109	110,3333
Tiheys	$\text{kg}/\text{m}^3$	432,5397	400,7353	406,7164	458,8235	402,214	582,8877	447,3194
Bulkki	$\text{cm}/\text{m}^3$	2,311927	2,495413	2,458716	2,179487	2,486239	1,715596	2,274563
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	4,6	5,2	4,8	5,5	4,8	4,9	4,966667
Vetolujuus	kN/m	2	1,9	5,2	6,2	1,8	1,9	3,166667
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	1,8	1,9	3,2	3,1	2	2,4	2,4
TEA	J/m <sup>2</sup>	26,8	27	116	136	29	36	61,8
Repäisylujuus	N	30	29	79	93	28	29	48
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	3,6333333	3,758621	1,379747	1,258065	3,892857	3,758621	2,946874
Karheus AP	ml/min	2077	2062	3441	1974	1655	2216	2237,5
Karheus YP		2505	2281	1879	1900	2870	2162	2266,167
Ilmanläpäisevyys	ml/min	865	903	783	998	962	750	*3 2630,5
Kiilto AP	%	3,5	3,7	3,6	3,6	3,4	3,5	3,55
Schopper-Riegler		23						23
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	12,6	11,6	11,8	11,8	11,7	12,2	11,95
	1 Mpa	10,4	9,8	10,2	9,9	9,3	9,7	9,883333
	2 Mpa	7,5	7,9	7,2	8,4	7,6	7,9	7,75

### Eukalyptus 20min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	Keskiarvo
Paino	g	3	3	3,1	2,5	3	2,9	2,916667
Paksuus	$\mu\text{m}/\text{m}^2$	256	265	247	277	262	264	261,8333
Neliömassa	$\text{g}/\text{m}^3$	117	117	121	97	117	113	113,6667
Tiheys	$\text{kg}/\text{m}^3$	457,0313	441,5094	489,8785	350,1805	446,5649	428,0303	435,5325
Bulkki	$\text{cm}/\text{m}^3$	2,188034	2,264957	2,041322	2,85567	2,239316	2,336283	2,320931
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	4,8	5,2	4,7	5,6	5,3	5,1	
Vetolujuus	kN/m	3,5	1,4	1,3	4	3,9	3,7	2,966667
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	2,7	1,5	1,2	2,7	3,5	3,1	2,45

TEA	J/m <sup>2</sup>	71	13	9	81	103	87		60,66667
Repäisylujuus	N	53	21	20	60	59	56		44,83333
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	2,207547	5,571429	6,05	1,616667	1,983051	2,017857		2,535316
Karheus AP	ml/min	2057	3328	3127	2193	2089	2350		2524
Karheus YP		2204	2392	2607	2740	3201	2477		2603,5
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3295	2676	2090	2229	2130	2176	2677	4865,333
Kiilto AP	%	3,2	3,3	3,3	3,8	3,4	3,4		3,4
Schopper-Riegler		28							28
	0,5								
Sileys, PPS	Mpa	12,5	12,2	13,1	12,4	12,9	13,1	12,4	12,65714
	1 Mpa	10,9	10,9	10,6	10,4	11,1	10,6	10,5	10,71429
	2 Mpa	8,5	9,1	8,9	8,6	8,2	8,7	8,5	8,642857

Liite 15.

### Eukalyptus 40min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6		Keskiarvo
Paino	g	3,3	3,3	3,1	3	3,1	2,3		3,016667
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	228	252	224	223	231	238		232,6667
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	129	129	121	117	121	121		123
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	565,7895	511,9048	540,1786	524,6637	523,8095	508,4034		529,1249
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	1,767442	1,953488	1,85124	1,905983	1,909091	1,966942		1,892364
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0		0
Kosteus	%	5,2	5,6	5,4	5,8	5,1	5,3		5,4
Vetolujuus	kN/m	0,6	4,1	6,9	7,2	5,6	7,2		5,266667
Vetoindeksi	Nm/m								
Venymä	%	0,8	3,1	3,9	4,3	3,3	3,3	4,5	3,116667
TEA	J/m <sup>2</sup>	3,2	100	195	223	139	227		147,8667
Repäisylujuus	N	10	62	104	109	85	104		79
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	12,9	2,080645	1,163462	1,073394	1,423529	1,163462		3,300749
Karheus AP	ml/min	1813	1646	2196	1678	1652	2064		1841,5
Karheus YP	ml/min	1980	2218	1610	2407	2169	2059		2073,833
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1529	1643	1561	1695	1554	1680		1610,333
Kiilto AP	%	3,5	3,5	3,3	3,4	3,4	3,6		3,45
Schopper-Riegler		34							34
	0,5								
Sileys, PPS	Mpa	13,2	12,5	13,1	12,8	12,6	13,3		12,91667
	1 Mpa	10,3	11,5	10,9	11,3	10,5	11,1		10,93333
	2 Mpa	8,7	8,2	9,3	8,5	8,1	9,4		8,7

**Eukalyptus 60min**

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Keskiarvo</b>
Paino	g	3,1	3	2,9	3	3	2,7	2,95
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	212	275	208	204	192	198	214,8333
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	121	117	113	117	117	105	115
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	570,7547	425,4545	543,2692	573,5294	609,375	530,303	542,1143
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	1,752066	2,350427	1,840708	1,74359	1,641026	1,885714	1,868922
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,2	5,4	5,2	5,1	5,4	5,1	5,233333
Vetolujuus	kN/m	8,8	7,9	7,5	7,8	8	9,1	8,183333
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	5,2	5	4,3	5	5	5,7	5,033333
TEA	J/m <sup>2</sup>	323	285	237	285	289	367	297,6667
Repäisylujuus	N	132	119	113	117	120	137	123
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	1,090909	1,017094	1	1	1,025641	1,304762	1,073068
Karheus AP	ml/min	1707	1922	1977	1968	2009	2413	1999,333
Karheus YP	ml/min	2164	2548	1759	1856	2118	2904	2224,833
Ilmanläpäisevyys	ml/min	469	490	445	473	454	473	467,3333
Kiilto AP	%	3,1	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3
Schopper-Riegler		50						50
		0,5						
Sileys, PPS	Mpa	12,4	12,5	12,1	12,6	12,8	12,7	12,51667
	1 Mpa	10,5	10,6	10,9	10,7	10,5	10,8	10,66667
	2 Mpa	9,3	8,9	8,7	9,6	9,2	8,9	9,1

Liite 16.

**Bambu 5min**

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Keskiarvo</b>
Paino	g	3	3,2	3,5	3	2,7	3	3,066667
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	331	345	330	370	375	343	349
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	117	125	136	117	105	109	118,1667
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	353,4743	362,3188	412,1212	316,2162	280	317,7843	340,3191
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	2,82906	2,76	2,426471	3,162393	3,571429	3,146789	2,98269
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,7	5,6	5,6	5,7	5,9	5,8	5,716667
Vetolujuus	kN/m	1,1	1,3	1,1	1,5	1,3	1	1,216667

Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	0,9	1,183333
TEA	J/m <sup>2</sup>	9,8	11,3	10,4	15	12,2	7,2	10,98333
Repäisylujuus	N	17	20	16	23	20	16	18,66667
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	6,882353	6,25	8,5	5,086957	5,25	6,8125	6,463635
Karheus AP	ml/min	3314	3584	3278	2863	3567	3579	3364,167
Karheus YP		3086	3584	3084	2914	2879	3433	3163,333
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3377	3333	3300	3167	3174	3320	13114
Kiilto AP	%	3,3	3	3,6	3	3,4	3,4	3,283333
Paino		3	3,2	3,5	3	2,7	3	3,066667
Schopper-Riegler		22						22
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	13,5	13,9	14,4	13	13,5	13,7	13,66667
	1 Mpa	11,6	11,3	11,4	12	11,8	11,7	11,63333
	2 Mpa	9,3	9,7	9,6	9,5	9,2	9,5	9,466667



## Liite 17.

**Bambu 20min**

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Keskiarvo</b>
Paino	g	3	3	3,1	3	3	2,9	3
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	262	268	261	261	274	254	263,3333
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	117	117	121	117	117	113	117
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	446,5649	436,5672	463,6015	448,2759	427,0073	444,8819	444,4831
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	2,239316	2,290598	2,157025	2,230769	2,34188	2,247788	2,251229
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,8	5,6	5,5	5,6	5,4	5,7	5,6
Vetolujuus	kN/m	3,9	3,6	3,8	3,9	3,5	3,8	3,75
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	2,6	2,7	3,3	3,3	2,7	3	2,933333
TEA	J/m <sup>2</sup>	77	73	95	96	71	84	82,66667
Repäisylujuus	N	58	54	57	58	53	58	56,33333
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	2,017241	2,166667	2,122807	2,017241	2,207547	1,948276	2,079963
Karheus AP	ml/min	3125	3296	2706	2684	2750	2879	2906,667
Karheus YP	ml/min	2960	2558	3105	2412	2571	2828	2739
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3279	3561	3574	3584	3576	3540	3519
Kiilto AP	%	3,6	3,3	3,3	3,5	3,7	3,4	3,466667
Paino		3	3	3,1	3	3	2,9	3
Schopper-Riegler		37						37
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	13,3	13,6	13,8	13,1	13,3	13,1	13,36667
	1 Mpa	11,7	11,6	11,9	11,7	11,7	11,4	11,66667
	2 Mpa	9,6	9,8	9,9	10,2	9,8	9,8	9,85

## Liite 18.

**Bambu 40min**

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>		<b>Keskiarvo</b>
Paino	g	3	3	3	3	3,2	3,1		3,05
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	227	226	239	224	247	220	227	230,5
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	117	117	117	117	125	121		119
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	515,4185	517,6991	489,5397	522,3214	506,0729	550		516,8419
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	1,940171	1,931624	2,042735	1,91453	1,976	1,818182		1,937207
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0		0
Kosteus	%	5,4	5,2	5,6	5,4	5,3	5,2		5,35
Vetolujuus	kN/m	5,4	5,6	6,1	5,2	4,9	6,1	92	5,55
Vetoindeksi	Nm/m								
Venymä	%	3,3	3,9	3,8	3,1	2,4	4,5		3,5
TEA	J/m <sup>2</sup>	130	159	170	122	84	196		143,5
Repäisylujuus	N	81	85	92	79	74	92		83,83333
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	1,444444	1,376471	1,271739	1,481013	1,689189	1,315217		1,419483
Karheus AP	ml/min	2416	2793	2552	3380	2685	2779		2767,5
Karheus YP	ml/min	2072	2639	1949	3162	2331	2051		2367,333
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1295	1277	1252	1319	1330	1205		1279,667
Kiilto AP	%	3,1	3,4	3,3	3,3	3,4	3,3		3,3
Paino		3	3	3	3	3,2	3,1	3	3,05
Schopper-Riegler		56							56
	0,5								
Sileys, PPS	Mpa	13	13,1	13,6	13,1	14	13,6		13,4
	1 Mpa	12	12,5	11,5	12,1	11,5	11,5		11,85
	2 Mpa	10	9,7	10	9,7	10,5	9,9		9,966667

## Liite 19.

**Bambu 60min**

<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Keskiarvo</b>
Paino	g	3	3	3	3,1	3,2	3	3,05
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	198	231	211	198	203	203	207,3333
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	117	117	117	121	125	117	119
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	590,9091	506,4935	554,5024	611,1111	615,7635	576,3547	575,8557
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	1,692308	1,974359	1,803419	1,636364	1,624	1,735043	1,744249
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,1	4,9	4,8	5,3	5,6	5,1	5,133333
Vetolujuus	kN/m	5,6	6	5,9	5,8	6,2	5,8	5,883333
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	2,6	2,9	3,1	63,1	3,6	3,2	13,08333
TEA	J/m <sup>2</sup>	108	128	133	133	167	138	134,5
Repäisylujuus	N	84	80	89	87	94	87	86,83333
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	1,392857	1,4625	1,314607	1,390805	1,329787	1,344828	1,370441
Karheus AP	ml/min	2634	2466	2426	2557	3323	2682	2681,333
Karheus YP	ml/min	2009	1939	2277	2779	3009	2215	2371,333
Ilmanläpäisevyys	ml/min	366	333	371	328	364	364	354,3333
Kiilto AP	%	3,3	2,8	3,2	3,2	3,3	3,3	3,183333
Paino		3	3	3	3,1	3,2	3	3,05
Schopper-Riegler		72						72
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	3	13	13,5	13,4	13,3	14,9	11,85
	1 Mpa	11,5	13,1	11,9	11,5	12	12,3	12,05
	2 Mpa	10,6	10,2	9,8	10	11,8	9,7	10,35

## Liite 20.

**Akasia 5min**

								<b>Keskiarvo</b>
<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
Paino	g	2,7	2,7	2,7	3	2,6	2,9	2,766667
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	270	278	298	271	300	280	282,8333
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	105	105	105	109	101	113	106,3333
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	388,8889	377,6978	352,349	402,214	336,6667	403,5714	376,898
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	2,571429	2,647619	2,838095	2,486239	2,970297	2,477876	2,665259
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,7	5,5	5,2	5,9	6,1	5,6	5,666667
Vetolujuus	kN/m	1,7	0,797	0,602	0,936	1,04	0,854	0,988167
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	1,5	1,2	0,4	1,5	1,5	1,2	1,216667
TEA	J/m <sup>2</sup>	18	5	2	8	10	6	8,166667
Repäisyjujuus	N	25	11	9	14	15	12	14,333333
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	4,2	9,545455	11,66667	7,785714	6,733333	9,416667	8,224639
Karheus AP	ml/min	2339	2513	2374	2112	1860	1942	2190
Karheus YP	ml/min	2007	2855	2388	2451	2522	2556	2463,167
Ilmanläpäisevyys	ml/min	2975	2777	2996	2788	2548	2996	8540
Kiilto AP	%	3,2	3,4	3,5	3,1	3,2	3,6	3,333333
Schopper-Riegler		21						21
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	10,5	11,2	10,8	10,6	10,7	10,9	10,78333
	1 Mpa	8,9	8,2	8,4	8,6	8,5	8,7	8,55
	2 Mpa	6,8	6,2	6,4	6,2	6,4	6,8	6,466667

**Akasia 20min**

								<b>Keskiarvo</b>
<b>Suure</b>	<b>Mittaus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
Paino	g	2,8	2,4	2,8	2,7	3,1	2,9	2,783333
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	466	305	293	240	296	261	310,1667
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	109	94	109	105	121	113	108,5
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	233,9056	308,1967	372,0137	437,5	408,7838	432,9502	365,5583
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	4,275229	3,244681	2,688073	2,285714	2,446281	2,309735	2,874952
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,5	5,1	5,9	6,4	5,1	6,1	5,683333

Vetolujuus	kN/m	1,8	1	1,8	2,2	1,5	1,3	1,6
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	2,1	0,7	1,9	1,4	1,4	2,1	1,6
TEA	J/m <sup>2</sup>	27	4	25	34	14	13	19,5
Repäisylujuus	N	28	15	27	33	22	20	24,16667
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	3,892857	6,266667	4,037037	3,181818	5,5	5,65	4,75473
Karheus AP	ml/min	1840	1777	2345	3466	2701	2181	2385
Karheus YP	ml/min	1369	3171	3465	2382	2242	1794	2403,833
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3465	2908	3155	3931	3464	3117	6680
Kiilto AP	%	3,2	3,7	3,7	3,3	3,8	3,3	3,5
Schopper-Riegler		26						26
		0,5						
Sileys, PPS	Mpa	12,8	12,2	12,5	12,4	12,7	12,9	12,58333
	1 Mpa	10,5	10,1	10,3	9,7	9,4	10,2	10,03333
	2 Mpa	7,2	8,1	7,6	7,4	7,8	7,2	7,55

Liite 21.

**Akasia 40min**

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	Keskiarvo
Paino	g	2,7	3	3	3,1	2,8	2,9	2,916667
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	267	289	279	225	266	269	265,8333
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	105	117	117	121	109	113	113,6667
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	393,2584	404,8443	419,3548	537,7778	409,7744	420,0743	430,8474
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	2,542857	2,470085	2,384615	1,859504	2,440367	2,380531	2,346327
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,1	5,6	5,4	5,6	5,8	5,6	
Vetolujuus	kN/m	3,2	3,8	2,8	4,7	3	1,5	3,166667
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	2	3,1	1,5	2	0,7	2	1,883333
TEA	J/m <sup>2</sup>	45	87	29	6	43		42
Repäisylujuus	N	48	57	42	70	23	45	47,5
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	2,1875	2,052632	2,785714	1,728571	4,73913	2,511111	2,667443
Karheus AP	ml/min	2800	2951	2614	2477	2830	2031	2617,167
Karheus YP	ml/min	3489	2522	2583	3584	2040	3233	2908,5
Ilmanläpäisevyys	ml/min	2986	2762	3096	2897	3208	3148	3170
Kiilto AP	%	3,4	3,6	3,3	3,4	3,3	3,5	3,416667
Schopper-Riegler		27						27
		0,5						
Sileys, PPS	Mpa	12,8	12,4	12,7	12,5	13,5	11,9	12,63333

1 Mpa	10,7	10,6	11,2	10,8	10,6	10,3	10,7
2 Mpa	7,7	8,2	8,1	8,6	8,7	8,5	8,3

### Akasia 60min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	Keskiarvo
Paino	g	2,3	2,9	3	3,1	2,6	2,9	2,8
Paksuus	µm/m <sup>2</sup>	239	229	213	243	246	229	233,1667
Neliömassa	g/m <sup>3</sup>	90	113	117	121	101	113	109,1667
Tiheys	kg/m <sup>3</sup>	376,569	493,4498	549,2958	497,9424	410,5691	493,4498	470,2126
Bulkki	cm/m <sup>3</sup>	2,655556	2,026549	1,820513	2,008264	2,435644	2,026549	2,162179
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	5,9	5,6	5,3	5,8	5,5	5,7	5,633333
Vetolujuus	kN/m	4,5	4,9	4,6	4,7	4,2	5,7	4,766667
Vetoindeksi	Nm/m							
Venymä	%	3,5	3,5	3	3,3	3,4	3,4	3,35
TEA	J/m <sup>2</sup>	119	128	101	116	108	145	119,5
Repäisylujuus	N	68	74	69	71	64	86	72
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	1,323529	1,527027	1,695652	1,704225	1,578125	1,313953	1,523752
Karheus AP	ml/min	2168	2250	2674	1734	2748	1666	2206,667
Karheus YP	ml/min	2205	1678	2488	2422	2565	2609	2327,833
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1964	2312	2267	2101	2135	2194	2162,167
Kiilto AP	%	3,5	3,2	3,5	3,5	3,2	3,6	3,416667
Schopper-Riegler		34						34
	0,5							
Sileys, PPS	Mpa	12,6	12,5	12,4	12,8	12,9	12,6	12,63333
	1 Mpa	10,7	10,2	10,9	10,8	10,6	10,4	10,6
	2 Mpa	8,6	8,2	8,4	8,3	8,7	8,4	8,433333