

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

Niklas Arajärvi

KOIVUN JA ERÄIDEN TROOPPISTEN SULFAATTIMASSOJEN
JAUHATUKSEN VAIKUTUS NIIDEN PAPERITEKNISIIN OMINAISUUKSIIN

Insinöörityö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

ARAJÄRVI, NIKLAS	Koivun ja eräiden trooppisten sulfaattimassojen jauhatuksen vaikutus niiden paperitekniisiin ominaisuuksiin
Insinööriyö	44 sivua ja 38 liitesivu
Työn ohjaaja	TkL Kauko Mononen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Huhtikuu 2010	
Avainsanat	trooppiset sellut, eukalyptus, akasia, bambu, koivu, sellun jauhatus, paperitekniset ominaisuudet

Tämän insinööriyön tavoitteena on vertailla erilaisista trooppisista kasveista valmistettuja massoja keskenään. Lisäksi niitä vertaillaan suomalaiseen koivumassaan. Eri raaka-ainelajien biologisiin ominaisuuksiin luotiin myös katsaus. Insinööriyössä tutkittiin jauhatusajan vaikutusta näytearkkien paperitekniisiin ominaisuuksiin ja tutkittiin niiden yhteyttä tilastollisesti.

Kokeellinen osuus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen paperitekniikan laboratoriossa keväällä 2009. Mittaukset suoritettiin SCAN-standardimenetelmien mukaan kalibroiduilla laitteilla.

Tutkimuksessa ei aseteltu massoja absoluuttiseen paremmuusjärjestykseen, vaan niistä pyrittiin löytämään vahvuuksia ja heikkouksia toisiinsa nähden.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Forest Products Marketing

ARAJÄRVI, NIKLAS The Effect of Beating on Birch and Some Tropical Sulphate Pulps

Bachelor`s thesis 44 pages and 38 pages appendices

Supervisor Kauko Mononen, LicSc (Tech.)

Commissioned by Kymenlaakso University of Applied Sciences

April 2010

Keywords tropical pulps, eucalyptus, acacia, bamboo, birch, pulp beating, paper technology

This bachelor`s thesis compares pulps made from different tropical species with each other and also to Finnish birch pulp. The biological characteristics of these different raw materials are also investigated. The main focus of this study is the analysis of the effects of pulp beating on the characteristics pertaining to paper technology of sample sheets and a statistical analysis of the results.

The tests were carried out at the paper technology laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences. The tests were performed according to SCAN-standards with calibrated measuring devices.

The various pulps are not discussed in an order suggesting the superiority of any of these. Instead, they are discussed in a manner that facilitates the comparison of their strengths and weaknesses.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta	7
1.2	Työn tavoitteet	7
2	TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS	8
3	LAJIT	9
3.1	Yleistä	9
3.2	Koivu	9
3.3	Eukalyptus	10
3.4	Akasia	11
3.5	Bambu	12
4	KEMIALLISET MASSAT	14
4.1	Yleistä	14
4.2	Sulfaattimenetelmä	15
4.3	Sellun jauhatus	15
5	NÄYTEARKIT	17
5.1	Jauhatus	17
5.2	Jauhatusasteen mittaus	17
5.3	Näytearkkien valmistus	18
5.4	Märkäpuristus ja kuivaus	18
6	ARKKIEN TESTAUS LABORATORIOSSA	19
6.1	Yleistä	19
6.2	Laboratorio-olosuhteet	19
6.3	Neliömassa	19
6.4	Tiheys ja bulkki	19
6.5	Valkoisuus	20
6.6	Opasiteetti	20
6.7	Kiilto	21
6.8	Ilmanläpäisevyys	21

6.9	Karheus	21
6.10	Vetolujuus	22
6.11	Repäisyjuuus	22
6.12	Kosteus	23
6.13	Tuhka	24
6.14	Kuitunäytteen mikroskopointi	24
7	TYÖN SIDOSRYHMÄT	25
8	TYÖMENETELMÄT	25
8.1	Kirjallisuus	25
8.2	Laboratoriotutkimukset	26
8.3	Taulukointi ja tilastolaskenta	26
8.4	Tulosten luotettavuus	26
9	TUTKIMUKSEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	27
9.1	Jauhatusaste	27
9.2	Mekaaninen kestävyys	29
9.2.1	Vetoindeksi	29
9.2.2	Repäisyindeksi	30
9.3	Pinnan laatu	31
9.3.1	Karheus	31
9.3.2	Ilmanläpäisevyys	32
9.4	Optiset ominaisuudet	33
9.4.1	Vaaleus	33
9.4.2	Opasiteetti	34
9.4.3	Kiilto	34
9.5	Kuitunäytteet	35
9.6	Virhearviointi	37
9.6.1	Virheet	37
9.6.2	Karkeat virheet	37
9.6.3	Systemaattiset virheet	37
9.6.4	Tilastolliset virheet	37
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
10.1	Paperi, raaka-aineidensa summa	38

10.2	Soveltuvuus	38
	10.2.1 Hienopaperit	38
	10.2.2 Kartongit	39
	10.2.3 Pehmopaperit	39
10.3	Ekologiset tekijät	39
10.4	Tulevaisuuden näkymät	41

LIITTEET

Liite 1.	Mittauspöytäkirjat
Liite 2.	Optiset ominaisuudet
Liite 3.	Kuitupreparaattikuvat

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Paperi- ja kartonkituotteet ovat raaka-aineidensa summa. Raaka-aineiden ominaisuudet ja jalostamisprosessin laajuus vaikuttavat suoraan myös lopputuotteen ominaisuuksiin ja hintaan. Suomen paperiteollisuuden kilpailukyky on joutunut vuoden 2006 jälkeen suurennuslasin alle, ja käynnissä on laaja rakennemuutos. Suomi ei voi enää kilpailla halvalla bulkkituotannolla, vaan sen on panostettava korkeaan laatuun. Tällöin raaka-aineiden ominaisuudet ja laatu nousevat erityisen tärkeään asemaan. Suomessa on perinteisesti tuotettu lyhytkuituisen sellun tarpeeseen koivusulfaattia ja koikeilumielessä haapasulfaattia. Globalisaatio on kuitenkin avannut mahdollisuuden käyttää myös muista puu- ja kasvilajeista tuotettuja lyhytkuituisia paaliselluja. Erityisesti trooppisessa ilmastossa nopeasti kasvavat lajit, kuten esimerkiksi eukalyptus, ovat hintansa ja ominaisuuksiensa ansiosta nousseet suureen suosioon. Työn tarkoituksena onkin kartoittaa trooppisten lyhytkuituisten massojen ominaisuuksia ja vertailla niitä toisiinsa sekä suomalaiseseen vastineeseen.

Insinööriytyöhön valittiin kolme puuperäistä sellua, joihin käytetyt puulajit olivat akasia, eukalyptus ja koivu. Mukaan otettiin myös ruohoperäinen, lyhytkuituisen tavoin käyttäytyvä bambusellu. (1, s. 63; 2, s. 115.) Työ muodostui kolmesta osasta. Ensimmäisessä osassa paalisellut jauhettiin sulpuksi ja sulpusta valmistettiin näytearkit. Toisessa osassa mitattiin kuivien näytearkkien ominaisuudet laboratoriossa. Viimeisessä osassa tulokset kirjattiin ja niitä tarkasteltiin tilastollisesti. Tuloksia vertailtiin myös keskenään ja arvioitiin niiden luotettavuutta.

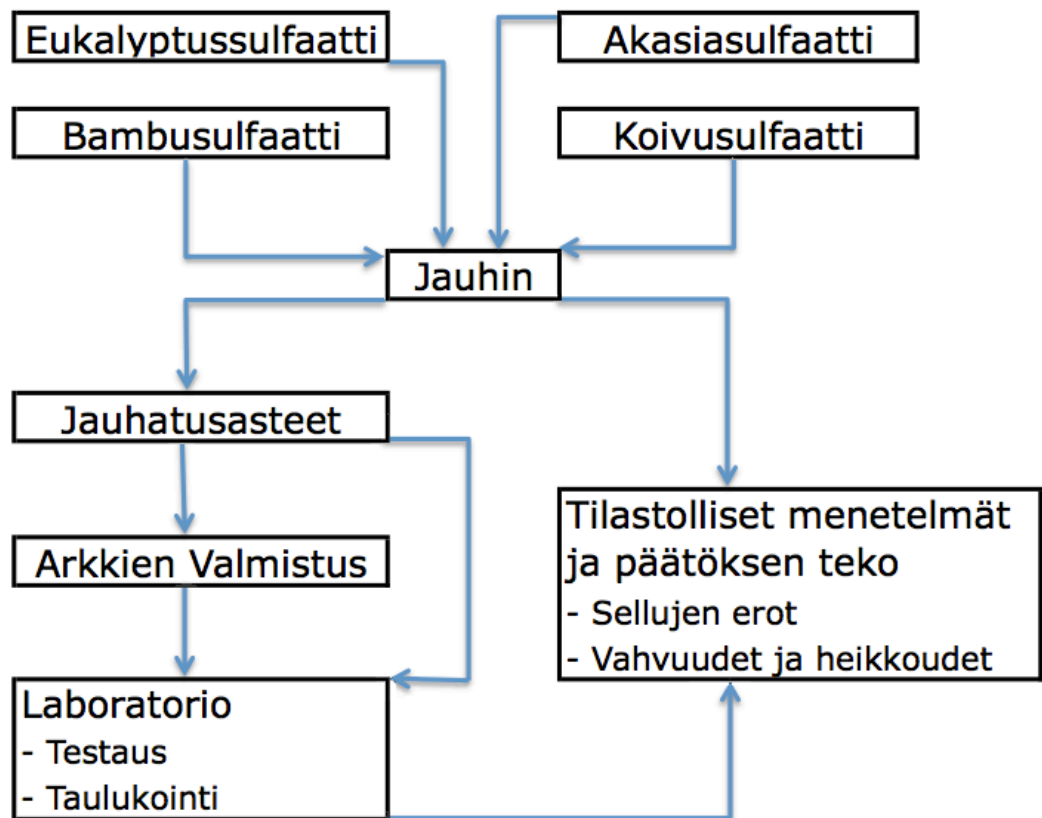
1.2 Työn tavoitteet

Tutkimuksella pyritään selvittämään neljästä eri raaka-aineesta valmistettujen sellujen jauhatuksen, mekaanisen kestävyuden, pinnan laadun ja optisten ominaisuuksien erot. Tarkoituksena on myös vertailla tuloksia keskenään ja pyrkiä löytämään testattavien sellujen vahvuudet ja heikkoudet toisiinsa nähden. Työn ohessa luodaan myös katsaus sellujen raaka-ainekasvien biologisiin ominaisuuksiin.

2 TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS

Tutkimus perustuu eri sellujen jauhatukseen. Tässä tutkimuksessa sellujen eri ominaisuuksia vertailtiin jauhatusajan funktiona. Myös joissain tapauksissa sellujen ominaisuuksia vertailtiin jauhatusasteen funktiona. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota myös raaka-ainekasvien kasvu- ja jalostusominaisuuksiin.

Kuvassa 1 on esitetty insinööriyön viitekehys kaaviona.



Kuva 1. Insinööriyön viitekehys

3 LAJIT

3.1 Yleistä

Paperitekniikan kannalta olennaista on lähinnä kuidun rakenne sekä sen dimensiot. Sellutehtaan sijoituksen kannalta taas on olennaista, mitä selluteollisuuden raaka-aineiksi soveltuvia lajeja alueella kasvaa.

Taulukko 1. Kuitujen dimensiot (1, s. 63)

Kuitulaji	Pituus, mm	Leveys, μm	Pituuden ja leveyden suhde
Koivu	1,3	25	52
Eukalyptus	1,1	20	53
Akasia	0,8	14	60
Bambu	2,7	14	193

Taulukkoon 1 on kerätty insinööriyössä tutkittujen lajien kuitujen dimensiot.

3.2 Koivu

Suomessa yleisin lehtipuusellun raaka-aine on koivu. Merkittäviä lajeja on kaksi, *Betula pendula* (kuva 2) sekä *B. pubescens*. Rauduskoivunakin tunnettu *B. pendula* on hieskoivu *B. pubescensia* huomattavasti yleisempi. Sellun valmistuksen kannalta lajilla ei ole juuri merkitystä. Suomalaisen koivun käyttö teollisuuspuuna on jokseenkin hankalaa, koska se pyrittiin hävittämään talousmetsistä menneinä vuosikymmeninä. Koska koivut kasvavat hajallaan, niiden nouto metsästä tulee kalliiksi. Venäläisen koivun ongelmana taas on poliittiset syyt, mm. puun vientitullit. *B. pendula* kasvaa noin 20 – 25 metriä korkeaksi *B. pubescensin* jäädessä noin 10 – 20 metriin. Koivumetsien kiertoaika Suomessa on noin 60 – 70 vuotta. Tämä on noin kymmenkertainen esimerkiksi eukalyptukseen verrattuna. On kuitenkin huomioitava, että tällöin koivuis-ta toivotaan myös mekaanisen metsäteollisuuden himoitsemaa tyvitukkaa, eikä pelkäs-tään kuitupuuta. (3, s. 470.)



Kuva 2. *Betula pendula* (4.)

Tässä työssä tarkasteltu koivusulfaattisellu tuli Äänekosken tehtaalta.

3.3 Eukalyptus

Eukalyptuksen suosio sellun raaka-aineena on kasvanut kasvamistaan. Useat metsäyhtiöt ovat investoineet suuriin tuotantolaitoksiin ja plantaaseihin erityisesti Etelä-Amerikassa, mutta myös muilla alueilla, joilla eukalyptus menestyy. Eukalyptuslajeista *Eucalyptus camaldulensis* (kuva 3), *E. crebra*, *E. tereticornis* ja *E. torelliana* ovat todettu parhaimmiksi hyvänlaatuisen sellun valmistuksessa. (5.) Tavallinen eukalyptuksen kiertoaika sellun tuotannossa on 7 vuotta. Tällöin puut ovat tyypillisesti 35 metrin korkuisia. (6.)

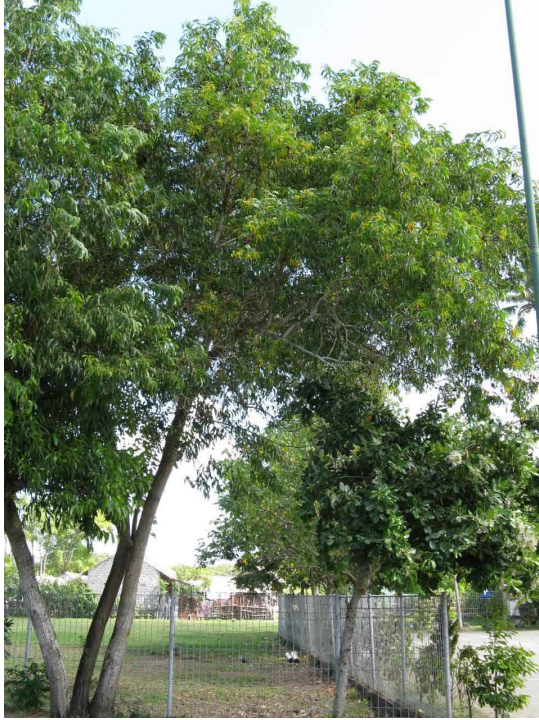


Kuva 3. *Eucalyptus camaldulensis* (7.)

Tässä työssä tarkasteltu eukalyptussulfaattisellu tuli Frey Bentoksen tehtailta.

3.4 Akasia

Eri akasialajeja on useita satoja ympäri maailmaa. Eräs sellun tuotannossa käytetty lajike on *Acacia auriculiformis* (kuva 4). Se on alunperin lähtöisin Oseaniasta, mutta se on saatu menestymään talouspuuna myös Kaakkois-Aasiassa sekä Keski-Afrikassa. *A. auriculiformis* voidaan korjata sellun tuotantoon jo 10-vuotiaana, ja sen yleinen kiertoaika Kaakkois-Aasiassa onkin 10 – 12 vuotta. (8.) *A. mangium* on myös viime vuosina kasvattanut suosiotaan sellun raaka-aineena. (2, s. 30.)



Kuva 4. *Acacia auriculiformis* (9.)

Tässä työssä tarkastellun akasiasulfaattisellun toimitti KCL, mutta sen alkuperä ei ole tarkemmin tiedossa.

3.5 Bambu

Bambu on yleinen kuitukasvi maissa, joissa puusto on riittämätön laajamittaiseen sellun tuotantoon. Tällaisia maita ovat Intia ja Kiina, jotka ovat ainoat bambusellua laajamittaisesti tuottavat maat. (10, s. 207.) Sellua valmistetaan useista eri bambulajeista, mutta parhaimman laatuiset sellut paperintuotantoon syntyvät lajeista *Bambusa vulgaris* ja *Melocanna baccifera*. (11.) Bambu on hyvä raaka-aine siinä mielessä, että se kasvaa todella nopeasti. Ongelmaksi muodostuukin sen jalostaminen. Bambu on ontto kasvi, ja sellun tuotantoa ajatellen kasvin seinämät olisi hyvä saada jalostettua mahdollisimman paksuiksi. Valtaosa bambuista kuitenkin lisääntyy suvullisesti hyvin harvoin, esimerkiksi *M. baccifera* kukkii ja tuottaa hedelmän 40 – 47 vuoden sykleissä. *B. vulgaris*in on todettu kukkineen vain muutaman kerran viimeisen parin sadan vuoden aikana. *B. vulgaris* saattaa tosin kukkia satunnaisesti sadekausien alussa, mutta kukinta on näissä tapauksissa todettu steriiliksi. Kukinta aiheuttaa myös itse kasvin kuoleman joka raaka-aineen saatavuuden kannalta olisi katastrofi. (10, s. 207.)

Bambusa vulgaris (kuva 5) on kenties laajimmalle levinnyt bambulaji. Se viihtyy lähes kaikkialla trooppisessa sekä subtrooppisessa ilmastossa. Alueellinen leviäminen tapahtuu pääsääntöisesti juurakon kautta, mutta uusille alueille se on levinnyt istutettujen pistokkaiden kautta. Kiinassa tämä bambulajike on tärkeimpiä sellun tuotannossa. *B. vulgaris* kasvaa noin 20 metriä korkeaksi, tyven läpimitta on noin 10 cm ja seinämä noin 2 cm paksu. (12.)



Kuva 5. *Bambusa vulgaris* (13.)

Melocanna baccifera esiintyy luontaisena Koillis-Intiassa. Esiintymät ovat siellä niin laajat, että sitä hyödynnetään alueen sellun tuotannossa eniten. *M. baccifera* kasvaa 10 – 20 metriä korkeaksi, ja sen tyviläpimitta on noin 7 cm. (14.)

Kirjallisuudessa esitellään bambusellun tuotantoon lähinnä sulfaattimenetelmää. Ennen sellun keittoa bambu voidaan joko hakettaa tai murskata säleiksi. Säleistä valmistetussa sellussa kuidut ovat pidempiä, mutta keittokemikaalien imeytyminen on vaikeammin hallittavissa, joten sellun tikkuisuudesta syntyy ongelmia. (15.)

Tässä työssä käytetystä bambusellusta heräsi mikroskooppikuvien perusteella epäily, että se saattaisi olla sulfiittisellua. Koska bambusellun alkuperä ei toimittajaa (KCL) lukuun ottamatta ole tiedossa, on todettava, että sulfiittiselluille ominaiset hienoainepitoisuudet sekä nopea jauhatusteen kasvu ovat ominaisia myös ruohokasveista tuotetuille sulfaattiselluille. (2, s. 31, 115.) Ainoa sulfiittisellua vuonna 2008 tuottanut Aasian maa oli FAO:n tilastojen mukaan Intia. Tilastoissa ei kuitenkaan eroteltu sulfiittisellun raaka-aineiden alkuperää. Tämä 22 500 tonnin tuotanto voi siis olla peräisin suuresta kirjosta eri puista ja/tai ruohokasveja. (16.)

4 KEMIALLISET MASSAT

4.1 Yleistä

Paperituotannon raaka-aineena käytetyt massat voidaan jakaa mekaanisiin, kemimekaanisiin ja kemiallisiin massoihin. Kemialliset massat voidaan jakaa edelleen pitkäkuituiseen tai lyhytkuituiseen, valkaistuun ja valkaisemattomaan sekä tuotantoprosessinsa perusteella sulfaatti- tai sulfiittiselluihin. (2, s. 31 – 34.)

Kemiallisten massojen valmistukseen käytetyt sulfaatti- ja sulfiittimenetelmät kehitettiin 1800-luvun puolivälissä. Sulfaattimenetelmä on syrjäyttänyt täysin sulfiittimenetelmän Suomessa, vaikka maailmalla toimiikin vielä sulfiittimenetelmällä toimivia tehtaita. Kemiallisten massojen valmistus perustuu raaka-ainekasvin kuidutukseen siten, että kemikaalit ja lämpö liuottavat selluloosakuituja sitovan ligniinin. Olemassa olevat menetelmät eivät ole selektiivisiä. Tämä tarkoittaa, että myös hemiselluloosa liukenee, jolloin kokonaissaanto tippuu noin 50 %:iin. Hienopapereissa käytetyt sellut valkaistaan lopuksi ja niistä pyritään poistamaan jo arkistointikelpoisuuden vuoksi jäännösligniini (2, s. 31, 32.)

Lyhytkuituista sellua käytetään etenkin hienopapereiden tuotannossa, koska se antaa hyvän formaation. (2, s. 32.) Tämä tarkoittaa tasaista arkkia ja hyviä pain ominaisuuksia. Sellua valmistetaan keittämällä puuta kemikaaliliuoksessa, jolloin selluloosakuituja sitova ligniini liukenee keittoliuokseen. Keittoprosesseista yleisin on emäksinen sulfaattikeitto. Siitä on tullut suosittu, koska keittokemikaalit voidaan ottaa talteen toisin kuin happamassa sulfiittiprosessissa. (17, s. 75.)

4.2 Sulfaattimenetelmä

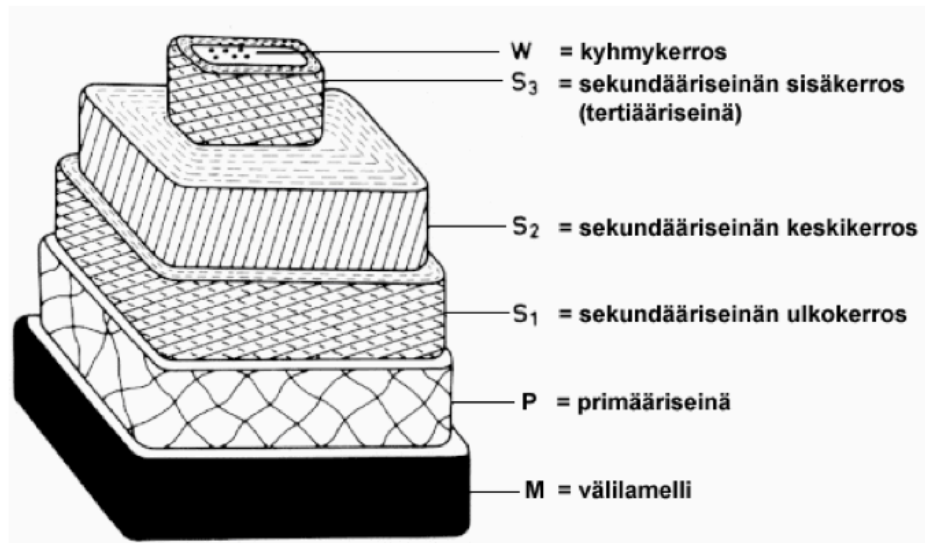
Sulfaattimenetelmän suosio perustuu pitkälti mahdollisuuteen kierrättää keittokemikaalit sekä prosessin pienempään ympäristönkuormitukseen. Keittoprosessissa käytetään vahvasti alkalista liuosta, jolla pyritään vaikuttamaan erityisesti puusolun välilamelliin ja sekundaariseinämään. (17, s. 75.)

Ennen keittoa puuaines kuoritaan ja haketetaan, minkä jälkeen se ohjataan joko erä tai jatkuvatoimiseen vuokeittimeen. Keittoaika ja -lämpötila määräytyvät halutun ligniinipitoisuuden mukaan. Keittoprosessit alkavat hakkeen lämmityksellä, mutta keittotavan mukaan siihen lisätään ensin joko musta- tai valkolipeää. (17, s. 75.)

4.3 Sellun jauhatus

Sellun jauhatusprosessissa pyritään muokkaamaan kuituja jauhinterien välissä siten, että niiden sitoutumiskyky saadaan aktivoitua. Sellun jauhatus lisää taten lujutta ja sileyttä, mutta toisaalta huonontaa optisia ominaisuuksia. Jauhamisprosessin edetessä vaikutukset tunkeutuvat yhä syvemmälle kuituun. (2, s. 113.)

Kuvassa 6 näkyy puukuitu ja sen eri kerrokset.



Kuva 6. Puukuidun rakenne (17, s. 77.)

Sellun jauhatuksen primäärivaikutukset voidaan jakaa kuuteen enemmän tai vähemmän toisiaan seuraaviin mekanismeihin joista osa on toivottuja, osa ei.

1. Kuitujen ulkoinen fibrillaatio on toivottu ilmiö, jossa kuidun ulkokerrokset osittain irtoavat ja haiventuvat. Tämä edistää kuitujen välistä sitoutumista haiventen parhaimman ulottuvuuden ja pienemmän jäykkyyden vuoksi. Primääriseinän on kuitenkin tässä tapauksessa poistuttava.
2. Sisäisessä fibrillaatiossa vesi tunkeutuu kuituseinämien väliin ja notkistaa kuidun. Myös tässä on edellytyksenä primääriseinän poistuminen ja S-1 seinämän osittainen rikkoutuminen. Kuitujen notkistuminen edesauttaa niiden lommahtamista kaasaan. Tällöin kuitujen väliset kontaktipinnat kasvavat tehden kuitujen välisistä sidoksista lujemmat.
3. Kuidun suoruus muuttuu jauhatusvoimien vaikutuksesta. Tämä aiheuttaa joko kuidun suoristumisen matalassa sakeudessa tai kähertymisen suuressa.
4. Kuitujen katkeilu ja keskipituuden lyheneminen ei tavallisesti ole toivottua. Etenkään tässä työssä ilmiöstä ei ole hyötyä, koska sellut ovat muutenkin lyhytkuituisia.

5. Hienoaineen syntyminen vahvistaa kuitujen sidoksia asettumalla liima-aineen tavoin kuitujen risteyskohtiin.
6. Kuidun liukeneminen osittain tai kokonaan ei ole sulfaattisellussa varsinainen ongelma, sillä liukenevat osat ovat jo poistuneet keittovaiheessa. Liukeneminen on lähinnä mekaanisen massan jauhamisen ilmiö sekä ongelma. (2, s. 113, 114.)

5 NÄYTEARKIT

5.1 Jauhatus

Jauhatus suoritettiin SCAN-C 25:76:n mukaisella Valley-hollanterilla. (18, s. 19.) Massamäärä jauhatuksessa oli 360 g uunikuivaksi laskettuna, jolloin massan sakeus hollanterissa oli 15,7 g/l. Massan jauhatuksessa terätukin pyörimisnopeus oli vakio. Alaterää kuormitettiin 6,1 kg:n painoilla. Ennen jauhatusta selluarkkeja liotettiin kylmässä vedessä vähintään 4 tuntia. Tämän jälkeen hollanterin allas täytettiin lämpötilaltaan 20-celsiusasteisella vedellä siten, että veden ja massan kokonaistilavuudeksi saatiin 23 dm³. Liotetut selluarkit revittiin pieniksi kappaleiksi ja lisättiin hollanteriin. Tämän jälkeen hollanteri käynnistettiin ja sekuntikello laitettiin laskemaan aikaa.

Massanäytteet otettiin 5, 20, 40 ja 60 minuutin kohdalla jokaisesta massalajista. Tosin testiarkkien valmistuksessa 60 minuuttia jauhettu bambusellu hylättiin, koska se oli ylijauhautunut ja tukki testiarkkien muottikoneen viiran.

5.2 Jauhatusasteen mittaus

Jauhatusaste eli SR-luku mitattiin standardin SCAN-C 19:65:n mukaisella kalibroidulla Shopper-Riegler-laitteella. (18, s. 22.) Massan SR-luku muodostuu sitä suuremmaksi, mitä hitaammin massa suotautuu laitteen läpi. Mittaus suoritettiin siten, että esikasteltuun Shopper-Riegler-laitteeseen kaadettiin 1 litra huolellisesti sekoitettua sakeudeltaan 2 g/l sulppua. SR-asteikolla varustettu mittalasi laitettiin laitteen sivuputken alle. Sulkukartion pidätinvipu laukaistiin 5 sekuntia sulpun kaatamisen jälkeen.

Kun veden valuminen oli tyrehtynyt laitteen sivuputkesta, luettiin SR-luku SR-mittalasin asteikolta yhden yksikön tarkkuudella.

5.3 Näytearkkien valmistus

Näytearkit valmistettiin SCAN-C 26:n mukaisella laitteistolla (19, s. 29 – 32.) Arkkien pinta-alaksi muodostui $0,026 \text{ m}^2$ ja sivujen pituudeksi 162 mm. Arkkien valmistus alkoi siten, että vesiventtiili avattiin ja arkkimuotti täytettiin vedellä. Tämän jälkeen veteen kaadettiin 150 ml valmista sulppua ja käynnistettiin laitteiston paineilmalla toimiva sulpun sekoitusvaihe. Tämän jälkeen arkkimuotin pohjaventtiili avattiin, jolloin laitteen viiralle muodostui näytearkki, ja odotettiin vielä 5 sekuntia. Tämän jälkeen näytearkin päälle laitettiin imupaperiarkkeja ja sitä puristettiin viiraa vasten stanssilla. Näin valmistetut arkit pinottiin pinoamiskehikkoon siten, että pohjalla oli muovilaatta, jonka päälle laitettiin 3 imupaperiarkkia, massa-arkki ja taas 3 imupaperiarkkia. Kun kaikkia tiettyä näytelajia edustavia näytearkkeja oli pinottu tarvittava määrä jauhatusteensa mukaan, pinon päälle laitettiin vielä yksi muovilaatta. Kun kaikista jauhatusteista oli valmistettu näytearkit ja ne oli pinottu, oli märkäpuristuksen vuoro.

5.4 Märkäpuristus ja kuivaus

Ladotuista näytearkeista pyrittiin puristamaan mahdollisimman paljon vettä pois Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion hydraulisella puristimella. Puristus suoritettiin siten, että näytearkkipino muovilevyineen asetettiin puristinlevyjen väliin ja siihen kohdistettiin 5 minuutin ajan 400 kPa:n paine. (18, s. 49.)

Märkäpuristuksen jälkeen näytearkit kuivattiin kuivatuspelleillä. Näytearkit levitettiin kuivauspelleille jauhatusteittain ja niihin jätettiin yhdet imupaperit arkin molemmin puolin. Tämän jälkeen arkkien annettiin kuivua muutaman päivän laboratorion standardoidussa ilmastossa.

6 ARKKIEN TESTAUS LABORATORIOSSA

6.1 Yleistä

Selluarkkien testaukseen käytettiin SCAN-C 28:76-standardimenetelmää. (19, s. 32.) Kustakin lajista ja jauhatusteesta valmistettiin kuusi varsinaista testiarkkia sekä muutamia vara-arkkeja. Näytearkit testattiin järjestyksessä, jossa edellinen testaus ei vaikuttanut seuraavan testin tulokseen.

6.2 Laboratorio-olosuhteet

Mittaukset suoritettiin vakio-olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus oli 50 % ± 2 % sekä lämpötila $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

6.3 Neliömassa

Näytearkkien sivujen pituudet mitattiin ja ne punnittiin neliömassan määrittystä varten. Neliömassa (g/m^2) määritettiin laskemalla kaavan 1 mukaan.

$$W = \frac{10\,000\,m}{A},$$

jossa

W = neliömassa, g/m^2

m = massa, g

A = pinta-ala, cm^2 .

(1)

6.4 Tiheys ja bulkki

Näytearkkien paksuus mitattiin kalibroidulla tarkkuusmikrometrillä tiheyden ja bulkin selvittämiseksi. Paperin tiheys (kg/m^3) määritettiin laskemalla kaavan 2 mukaan.

$$X = \frac{1000 w}{t},$$

jossa

$$\begin{aligned} X &= \text{tiheys, kg/m}^3 \\ w &= \text{neliömassa, g/m}^2 \\ t &= \text{paksuus, } \mu\text{m.} \end{aligned} \quad (2)$$

Bulkki on tiheyden käänteisarvo. Bulkki (cm^3/g) määritettiin laskemalla kaavan 3 mukaan.

$$X_2 = \frac{t}{w},$$

jossa

$$\begin{aligned} X_2 &= \text{bulkki, cm}^3/\text{g}^2 \\ t &= \text{paksuus, } \mu\text{m} \\ w &= \text{neliömassa, g/m}^2. \end{aligned} \quad (3)$$

6.5 Valkoisuus

Näytearkkien hajasiniheijastusluku eli valkoisuus mitattiin Minoltan valmistamalla spektrofotometrillä. Vaaleus on tuotteen loppukäytön kannalta erityisen tärkeää, koska se vaikuttaa painopinnan kontrastiin ja tätä kautta luettavuuteen. Puuvapaissa paperilaaduissa tosin käytetään paljon erilaisia lisäaineita ja pinnoitteita, joten pelkän sellun vaaleus ei ole ainoa merkittävä tekijä (12, s. 174). Näytearkkien vaaleus ilmoitettiin ISO-vaaleutena (ISO-%).

6.6 Opasiteetti

Näytearkkien opasiteetti mitattiin myös Minoltan valmistamalla spektrofotometrillä. Opasiteetilla tarkoitetaan mustaa taustaa vasten määritetyn yksittäisen paperiarkin va-

lonheijastusluvun (R_0) suhdetta saman paperin Y-arvoon (R_∞), eli luminanssiin. Opasiteetti on lopputuotteen luettavuuden kannalta siis erittäin tärkeä tekijä, sillä se kuvaa paperin kykyä estää sen alla olevalle paperille tehdyn painatuksen läpinäkyvyys. Opasiteetti voidaan määrittää laskemalla kaavan 4 mukaan.

$$X = \frac{R_0}{R_\infty} \times 100 ,$$

jossa

X = opasiteetti, %

R_0 = valonheijastusluku, %

R_∞ = Y-arvo, % . (4)

6.7 Kiilto

Näytearkkien kiilto mitattiin Hunterin valmistamalla mittarilla, joka mittaa valonsäteen heijastusarvon mittauskulman funktiona. Mittausgeometriaksi valittiin $75^\circ/75^\circ$, mikä tarkoittaa, että heijastus mitataan yhdensuuntaisella valolla, jonka tulo- ja havaitsemiskulma olivat 75° .

6.8 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyydellä tarkoitetaan sitä ilmamäärää, jonka 150 mm wp:n paine-ero saa aikaan 10 cm² suuruisen pinta-alan läpi. Mittauksessa käytettiin Bendtsen-mittaria. Näytearkkien ilmanläpäisevyys esitettiin muodossa ml/min.

6.9 Karheus

Karheudella tarkoitetaan sitä ilman virtaamaa, joka virtaa näytearkin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron vallitessa. Mittauksessa käytettiin Bendtsen-mittaria ja karheus esitettiin muodossa ml/min.

6.10 Vetolujuus

Vetolujuus ja venymä ovat paperiteknikassa yleisimmät mitattavat ominaisuudet. Vetolujuus mitattiin Lorenz-Wettre-vetolujuusmittarilla, jolloin tuloksia saatiin sekä vetolujuudesta, murtovenymästä että murtotyöstä. Vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormitusta minkä testiliuska kestää murtumatta sitä pinnan suuntaisesti vedettäessä. Murtovenymällä tarkoitetaan suurimman kuormituksen hetkellä saavutettua pituuden lisäyksen suhdetta alkuperäiseen pituuteen.

Vetolujuuksia verrattaessa on hyvä poistaa neliöpainon vaihtelun aiheuttamat erot laskemalla vetoindeksi. Vetoindeksi (Nm/g) määritettiin laskemalla kaavan 5 mukaan.

$$Y = \frac{1000 X}{w},$$

jossa

Y = vetoindeksi, Nm/g

X = vetolujuus, kN/m

W = neliömassa, g/m². (5)

6.11 Repäisylujuus

Repäisylujuus on merkittävä tekijä paperiteknikassa, koska se on keskeisessä asemassa sekä paperi- että painokoneen ajettavuudessa. Repäisylujuus testattiin Elmendorf-tyyppisellä mittauslaitteella tekemällä ensin näytekappaleisiin alkuviihko ja suorittamalla heilahduskoe.

Kuten vetolujuuksissakin repäisylujuuksista lasketaan repäisyindeksi, jotta saadaan poistetuksi neliöpainon vaihtelun aiheuttamat erot. Repäisyindeksi (mNm^2/g) määritettiin laskemalla kaavan 6 mukaan.

$$X = \frac{a}{w},$$

jossa

$$\begin{aligned} X &= \text{repäisyindeksi, mNm}^2/\text{g} \\ a &= \text{repäisylujuus, mN} \\ w &= \text{neliömassa, g/m}^2. \end{aligned} \quad (6)$$

6.12 Kosteus

Näytearkkien kosteudella on suuri merkitys etenkin lujuusominaisuuksiin. Näytearkkien kosteus määritettiin vertaamalla arkin painoa ennen ja jälkeen sen kuivaamisen. Näytearki kuivattiin kosteusanalyssaattorilla, joka lämmitti näytettä $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ lämpötilassa, kunnes se oli absoluuttisen kuiva. Kosteusprosentti määritettiin erikseen laskemalla kaavan 7 mukaan.

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100,$$

jossa

$$\begin{aligned} X &= \text{kosteus, \%} \\ m_1 &= \text{paino alussa, g} \\ m_2 &= \text{paino lopussa, g.} \end{aligned} \quad (7)$$

6.13 Tuhka

Tuhka kuvaa näytteen epäorgaanisen materiaalin määrää. Tuhkan määritettiin punnitsemalla näytearki ennen tuhkaamista ja punnitsemalla poltetusta näytearkista syntynyt tuhka. Näytearki tuhkattiin 925°C:in lämpötilassa. Tuhkaprocentti voidaan määrittää laskemalla kaavan 8 mukaan.

$$X = \frac{m_a - m_t}{m_a} \times 100 ,$$

jossa

X = tuhka, %

m_a = näytearkin paino, g

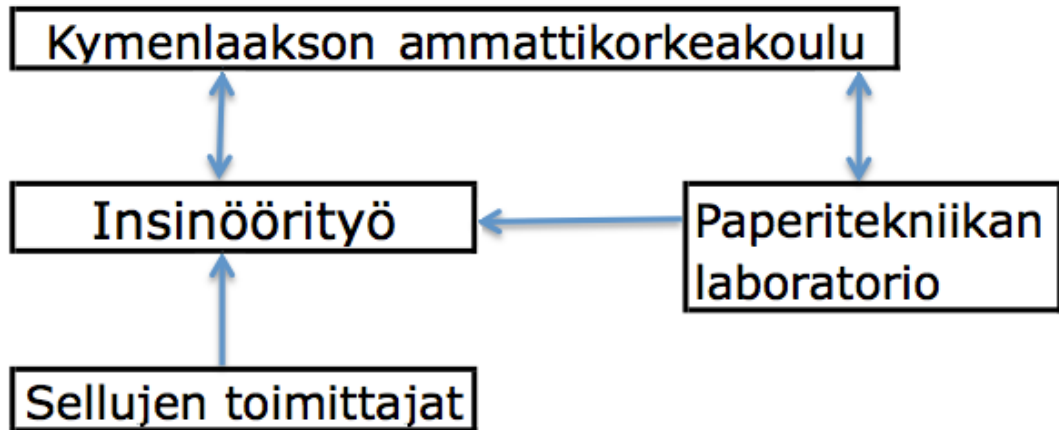
m_t = tuhkan paino, g. (8)

6.14 Kuitunäytteen mikroskopointi

Näytearkkien valmistukseen käytetystä sulpusta otettiin myös näytteet mikroskopointia varten. Tarkoituksena oli seurata, miten jauhatustasteen kasvu näkyy yksittäisen kuidun pinnassa. Preparaatit värjättiin Graffit-C-reagenssilla erottelukyvyyn helpottamiseksi. Näytteet analysoitiin 100-kertaisella suurennoksella Leica-stereomikroskoopilla ja niistä otettiin valokuvat.

7 TYÖN SIDOSRYHMÄT

Kuvassa 7 esitetään insinööriyön sidosryhmät kaaviona



Kuva 7. Insinööriyön sidosryhmät

Insinööriyön kokeellinen osuus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperitekniikan laboratoriossa, Metsolan kampuksella. Työllä ei ollut ulkoista toimeksiantajaa, joten työhön liittyvät sellujen toimittajat kuuluvat sidosryhmiin vain tavaran toimittajana. Kuvaan 7 on kuvattu sidosryhmät ja niiden vuorovaikutus-suhteet.

8 TYÖMENETELMÄT

8.1 Kirjallisuus

Insinööriyötä varten tutustuttiin paperitekniikkaa, biologiaa, metsän hoitoa sekä tilastotiedettä käsittelevään kirjallisuuteen, joista osaa käytettiin lähdekirjallisuutena. Myös laboratoriokokeiden virheettömään suoritukseen tutustuttiin käyttäen eri lähteitä. Työssä tutkituista sellujen raaka-aineista vain koivu on ollut perinteisesti merkittävä Suomessa. Etenkin akasian ja bambun suhteen jouduttiin turvautumaan Internet-lähteisiin, koska kirjalliset lähteet ovat harvoja.

8.2 Laboratoriotutkimukset

Laboratoriossa kerättiin informaatiota näytteiden paperiteknisistä ominaisuuksista standardoiduilla kokeilla.

8.3 Taulukointi ja tilastolaskenta

Laboratoriokokeista saadut tulokset taulukoitiin MS Excel-tietokoneohjelmalla. Samalla ohjelmalla tutkittiin selitettävää muuttujaa (y) sellun jauhatusajan (x) funktiona ja esitettiin tulokset graafisesti kaaviossa. Kaavion hajontakuviioon istutettiin regressiosuorat kullekin sellutyypille ja laskettiin selityskertoimet korrelaatiokertoimista (20). Regressiosuoria tutkimalla oli mahdollista löytää optimaalinen jauhatusaika kullekin sellutyypille sekä tutkia päätöksen luotettavuutta selityskertoimesta.

8.4 Tulosten luotettavuus

Tulosten luotettavuus on usean eri tekijän summa. Mahdolliset mittausvirheet voidaan jakaa karkeisiin virheisiin, systemaattisiin virheisiin sekä tilastollisiin virheisiin. (20.) Moni vaihe, kuten näytearkkien valmistus ja testikappaleiden leikkaus suoritettiin käsin, mikä toi kuvaan myös inhimillisen virheen mahdollisuuden.

Työssä virheiden vaikutukset pyrittiin minimoimaan useammalla eri keinolla:

1. Näytearkit valmistettiin huolellisesti. Mikäli valmistusvirhe huomattiin, valmistettiin uusi näytearkkierä.
2. Kaikki laboratorion mittarit olivat huollettuja sekä kalibroituja.
3. Näytekokoksi valittiin 6, jolloin standardivirhe saatiin stabiloitua. Pienellä näytekoolla tosin tilastollisen virheen vaikutus kasvaa.

4. Tuloksille laskettiin aritmeettinen keskiarvo. Useassa mittauksessa laskettiin myös keskihajonta kuvaamaan, kuinka lähelle tulokset ovat osuneet keskiarvoa. Tulosten kannalta ihanteena on pieni keskihajonta.
5. Tulosten maksimi- ja minimiarvot tarkastettiin niiden skaalan toteamiseksi.

Joissain tapauksissa bambuselluarkeista saatuihin tilastollisiin tuloksiin on suhtauduttava kriittisesti. Kyseisestä sellulajista pystyttiin valmistamaan arkit vain kolmesta eri jauhatuksesta neljän sijaan. Tämä johtuu siitä, että 60 minuutin jauhatuksen jälkeen bambusellu oli niin ylijauhaantunutta, ettei siitä kyetty valmistamaan näytearkkeja.

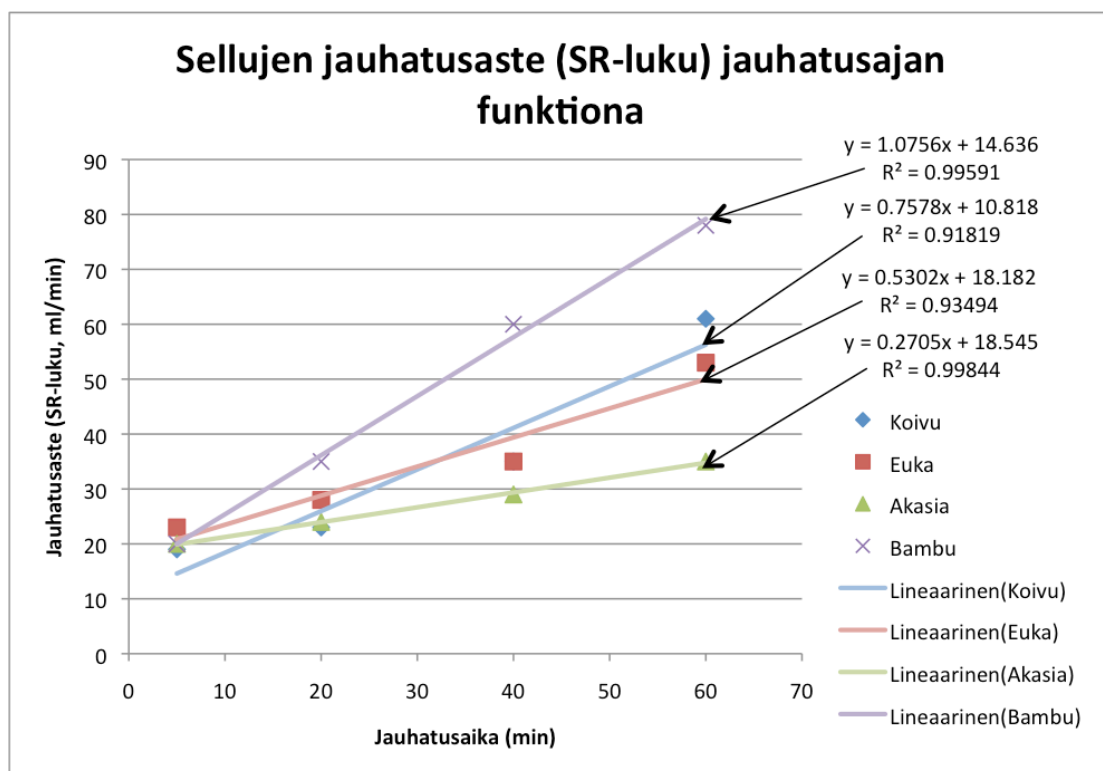
9 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Suomalaisen paperiteollisuuden kannalta merkittävin raaka-aine on koivu. Siksi on luontevaa vertailla muiden sellulajien tuloksia ensisijaisesti siihen. Kun tarkastellaan globaalina kokonaisuutena suomalais-omisteista paperiteollisuutta, merkittäväksi lajiksi nousee myös eukalyptus. Eri sellulaatujen vertailu on siis luontevaa painottaa koivu- ja eukalyptusselluihin. Akasia- ja bambusellut tuovat lisää kirjoa sellujen ominaisuuksien vertailuun.

Paperiteollisuuden kannalta merkittävin lujuusominaisuuksien ja optisten ominaisuuksien tasapaino sijoittuu 20 – 40 SR-asteen välille. (21, s. 434.) Vaikkakin eri jauhatusajoilla, jokaisesta sellunäytteestä onnistuttiin saamaan tulokseksi 35 SR-astetta. Siksi joitain sellujen välisiä ominaisuuksia tutkittiin myös tätä jauhatusastetta silmällä pitäen.

9.1 Jauhatusaste

Jauhatusaste vaikuttaa lähes kaikkiin selluarkista mitattaviin ominaisuuksiin tuhkaa ja kosteutta lukuun ottamatta. Viimeksi mainitut ovat vakioita kussakin näyte-erässä. Jauhatusaste on helposti ohjattavissa haluttuun suuntaan.



Kuva 8. Eri sellulaatujen jauhatusasteet jauhatusajan funktiona

Kuvasta 8 voimme todeta bambun jauhautuvan kaikkein nopeimmin ja akasian kaikkein hitaimmin. Eukalyptuksen ja koivun välillä ero on pieni, mutta koivu jauhautuu näistä hieman nopeammin. Kaikista selityskertoimista näemme, että jauhatusaste on selitettävissä jauhatusajalla, parhaimmillaan jopa 99,8-prosenttisesti.

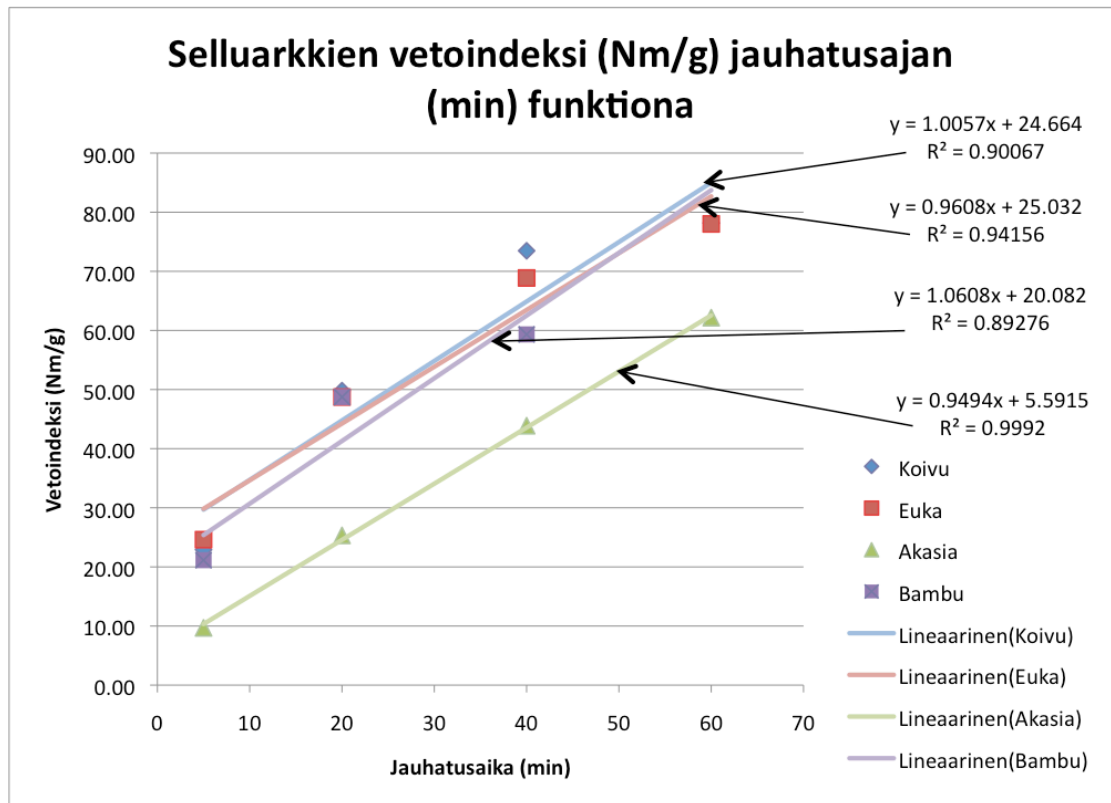
Koivun ja eukalyptuksen jauhettavuuden erot ovat melko pienet. Mikäli paperilaatu vaatii vain kevyttä jauhatusta, on eukalyptus, koska se jauhautuu alussa nopeammin. 40 minuutin jauhatuksen jälkeen ovat näiden jauhatusteet kuitenkin jo identtiset, eli 35 SR-astetta. Bambu jauhautuu sellulaaduista kaikkein nopeimmin ja saavuttaa 35 SR-astetta jo 20 minuutin jauhatuksen jälkeen. Akasia jauhautuu hitaimmin ja saavuttaa 35 SR-astetta vasta 60 minuutin jauhatuksen jälkeen.

Jauhautuvuudella on erittäin suuri merkitys teollisuuden energian kulutukseen. Bambua käyttämällä saa kaksinkertaiset säästöt koivuun ja eukalyptukseen nähden sekä kolminkertaiset akasiaan verrattuna. Bambun nopea jauhautuminen johtuu ohuista soluseinäistä sekä korkeasta hemiselluloosapitoisuudesta. (10, s. 180.)

9.2 Mekaaninen kestävyys

9.2.1 Vetoindeksi

Selluja käytetään paperin valmistuksessa antamaan lujuutta ja kestävyyttä. Tässä työssä testatut sellulajit olivat kaikki lyhytkuituisia, eivätkä saavuta samanlaisia lujuusarvoja kuin esimerkiksi pitkäkuituiset havusellut (2, s. 77.)



Kuva 9. Eri selluarkkien vetoindeksi jauhatusaajan funktiona

Kuvasta 9 voimme todeta, että sellujen vetoindeksi kasvaa jauhatusaajan myötä, akasialla lähes lineaarisesti. Kulmakertoimista voimme päätellä, ettei vetoindeksin kehityksen nopeus ole niinkään kiinni sellulajista. Sellulajin luontaisella vetoindeksillä puolestaan on merkitystä vetoindeksin kehityksen alkupisteen vuoksi. Akasialla oli huomattavasti muita heikompi vetoindeksi.

Vetoindeksiä voidaan tutkia myös jauhatusasteen ollessa kaikilla sellulaaduilla vakio.

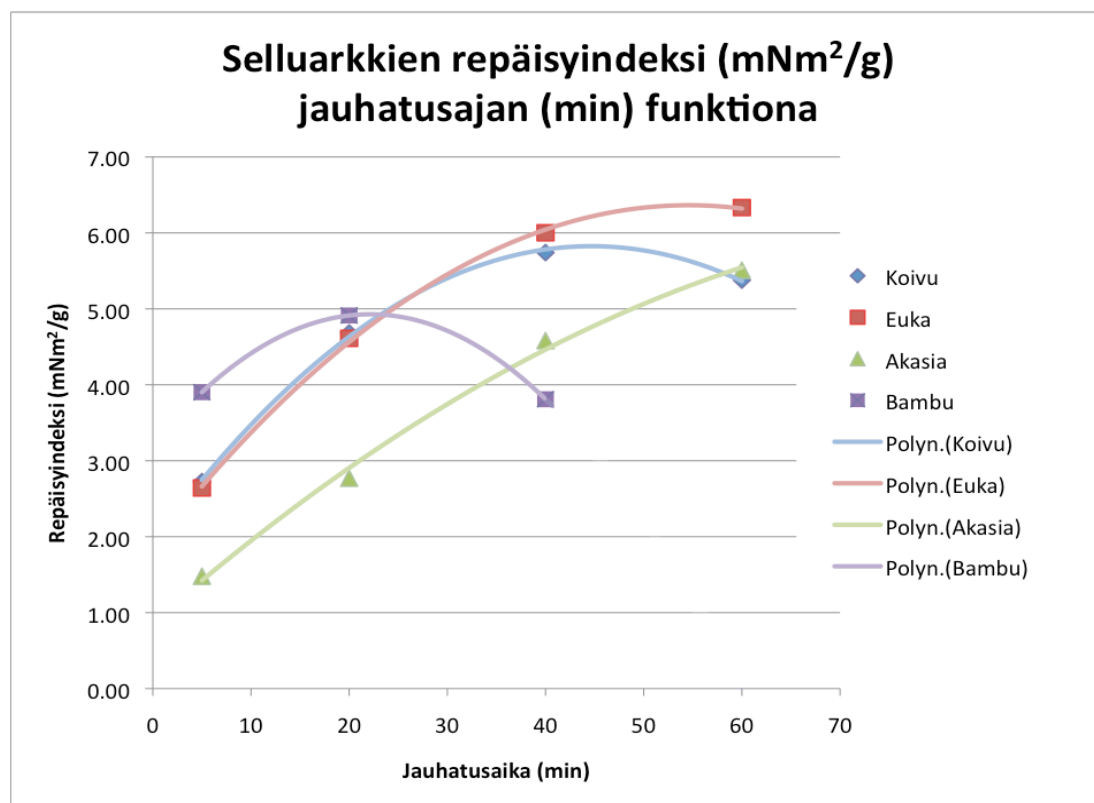
Taulukko 2. Sellulaatujen vetoindeksit jauhatusteen ollessa vakio

	Koivu	Eukalyptus	Akasia	Bambu
SR-luku	35	35	35	35
Jauhatusaika (min)	40	40	60	20
Vetoindeksi (Nm/g)	73,47	68,87	62,16	48,73

Taulukosta 2 näemme, että koivulla on kaikkein suurin vetoindeksi. Akasia on koivua ja eukalyptusta selvästi heikompi, ja bambun on ruohokasvina kaikkein heikoin.

9.2.2 Repäisyindeksi

Repäisylujuus käyttäytyy jauhatuksessa toisin kuin vetolujuus. Tämä erilainen käyttäytyminen johtuu siitä että kuidut vaurioituvat ja katkeilevat jauhatuksen edistytessä. (21, s. 87.)



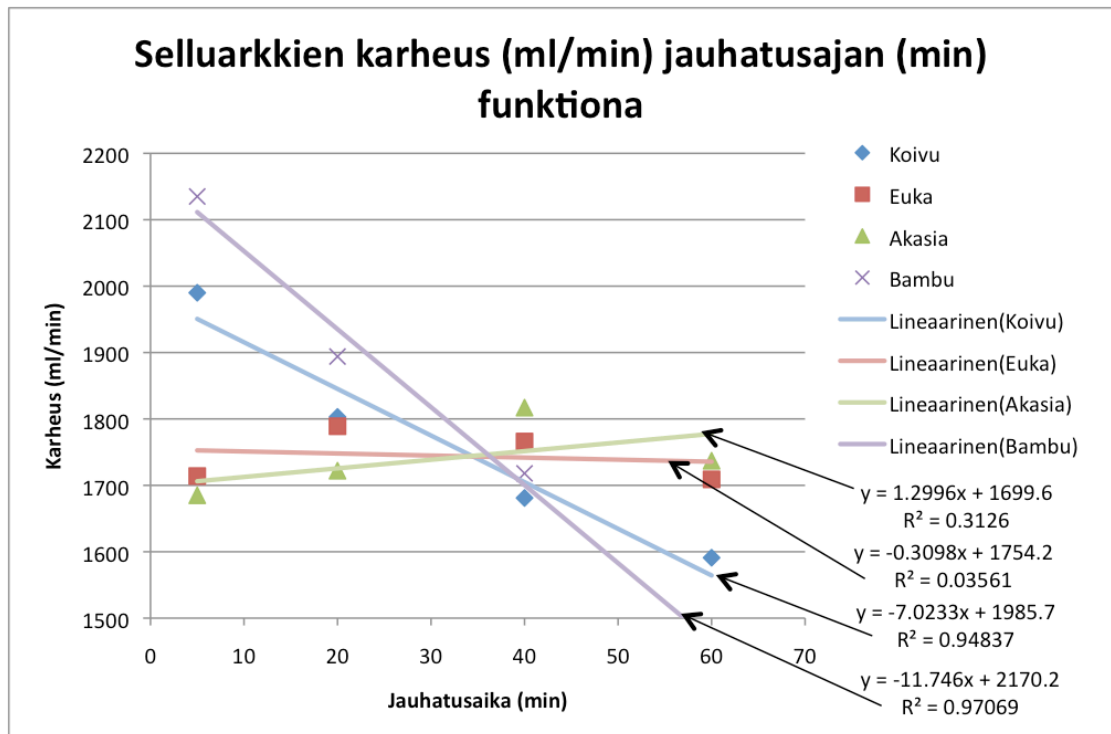
Kuva 10. Selluarkkien repäisyindeksi jauhatusajan funktiona

Kuvasta 10 näemme, ettei repäisyindeksin muutos ole lineaarista. Se kasvaa ensin kaikilla sellulaaduilla, mutta kääntyy myöhemmin laskuun. Tämä johtuu kuitujen fibrillaatiosta, jossa ne voivat muodostaa useampia vetysidoksia keskenään. Myöhemmin kuituvaurioiden kasvaessa kehitys kääntyy toiseen suuntaan. Kun vertaamme tuloksia SR-luvun kasvuun, huomaamme, että mitä nopeammin sellulaji jauhautuu, sitä nopeammin myös repäisyindeksi kääntyy laskuun. Paperiteknisesti bambu on tässä tapauksessa heikoin, sillä se ei missään vaiheessa saavuta koivun ja eukalyptuksen tasoisia repäisyjuusominaisuuksia. Akasia taas vaatisi samalle tasolle päästäkseen kannattamattoman pitkän jauhatusajan.

9.3 Pinnan laatu

9.3.1 Karheus

Valmiin tuotteen karheuteen vaikuttavat monet tekijät aina päällystysaineista kalanterointiin. Itse sellulaadulla on huomattavasti pienempi merkitys.

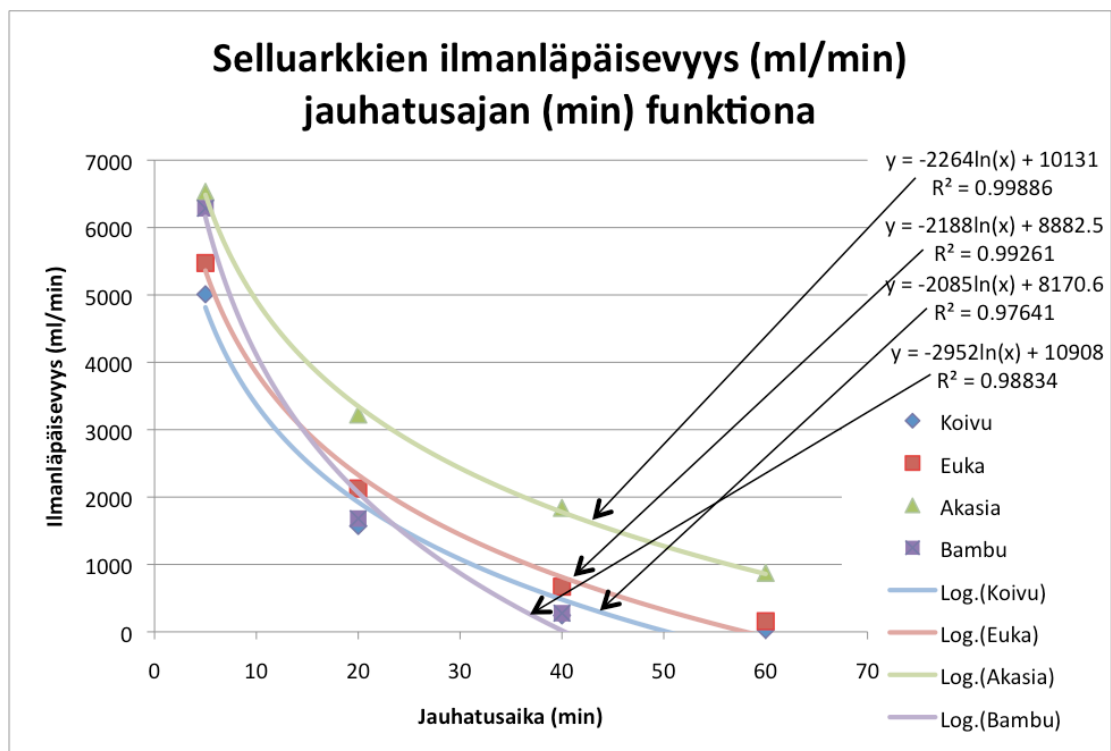


Kuva 11. Selluarkkien karheus jauhatusajan funktiona

Kuvasta 11 näkyy, että selluuarkeista saadut karheustulokset olivat kirjavia. Bambu- ja koivunäytteet viittaisivat karheuden ja jauhatustason olevan vahvasti riippuvaisia toisistaan, kun taas akasian ja eukalyptuksen antamista tuloksista ei voi oikeastaan vetää minkäänlaista johtopäätöstä. Akasialla tosin keskihajonta kasvaa kaksinkertaiseksi 40 min jauhatuksen jälkeen. Kyseessä voi olla karkea virhe. Näytearkkien pinnan topografialla ei tosin ole niin suurta paperiteknistä merkitystä, koska kalanteroinnilla on lopputuotteen painettavuuden kannalta huomattavasti suurempi merkitys. (1, s. 102.)

9.3.2 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäiseväisyys eli huokoisuus kuvaa arkin tiiveyttä. Täten se kuvaa hyvin myös näytearkin bulkkia.



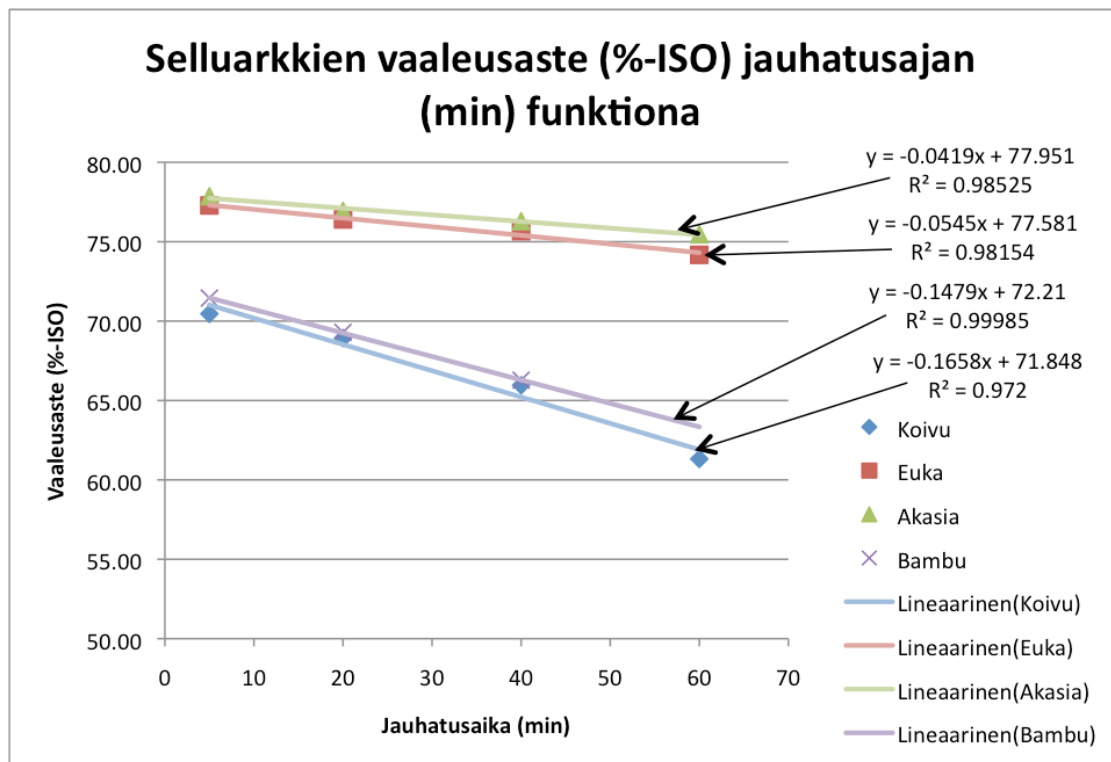
Kuva 12. Selluarkkien ilmanläpäisevyys jauhatusaajan funktiona

Jauhatuksella on voimakas vaikutus arkin huokoisuuteen. Kuvasta 12 näkyy, ettei tiivistyminen ole lineaarista. Se on heti jauhatuksen alussa nopeaa, mutta hidastuu loppua kohden. Tulosten perusteella akasia säilyttää bulkkinsa parhaiten, kun taas bambu menettää sen todella nopeasti.

9.4 Optiset ominaisuudet

9.4.1 Vaaleus

Vaaleus on hienopaperituotteiden kannalta varmasti tärkein ominaisuus loppukäyttöä ajatellen. Jauhatus laskee sellun vaaleutta, mutta se ei ole kriittinen. Tämä johtuu siitä, että lopputuotteen vaaleuteen vaikuttavat huomattavasti enemmän sellun keittovaiheen valkaisu prosessit, paperin päällystysaineet sekä optisten kirkasteiden mahdollinen käyttö (22, s. 68.)

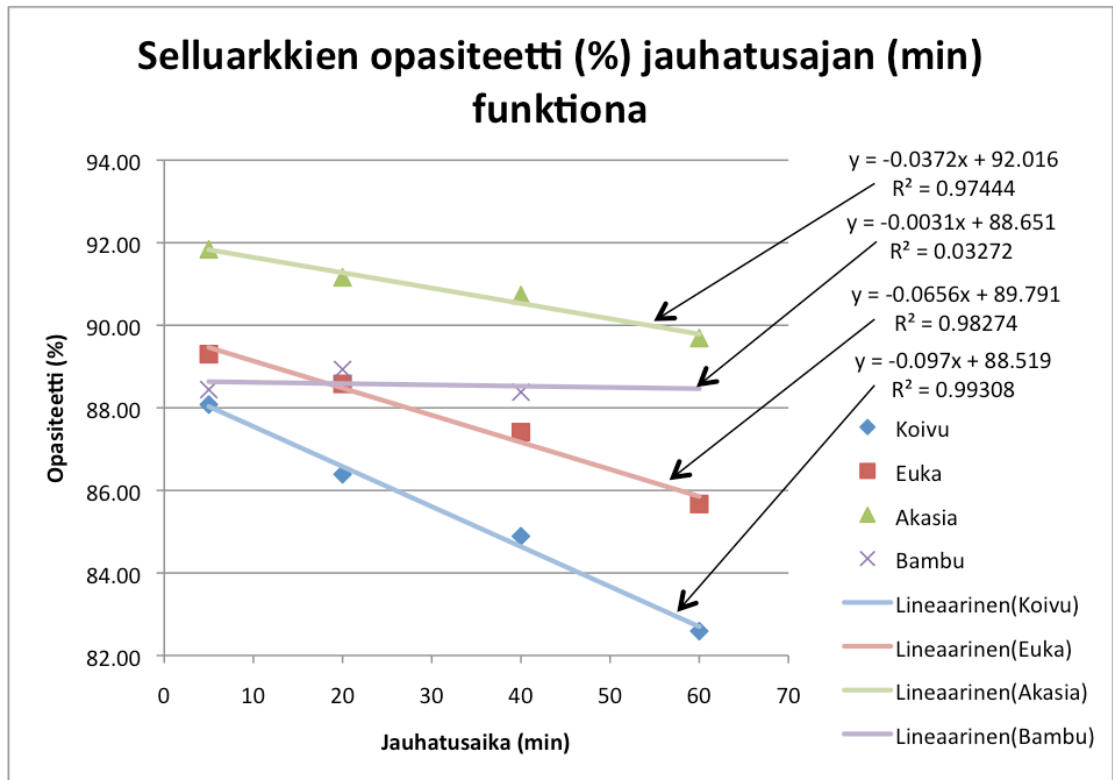


Kuva 13. Selluarkkien vaaleus jauhatusajan funktiona

Kuvasta 13 voimme todeta, että jo valmistusvaiheessa akasia- ja eukalyptussellut on valkaistu huomattavasti korkeammalle vaaleusasteelle. Ne myös säilyttävät vaaleuttaan paremmin koivu- ja bambuselluihin nähden jauhatuksen edetessä. Selityskertoimista voimme todeta vaaleuden laskun olevan lähes täysin riippuvainen jauhuksesta.

9.4.2 Opasiteetti

Jauhatus laskee selluarkkien opasiteettiä. Mutta kuten vaaleudessakin, hienopapereissa suurempi vaikutus on paperin päällystysaineilla. (22, s. 68.)

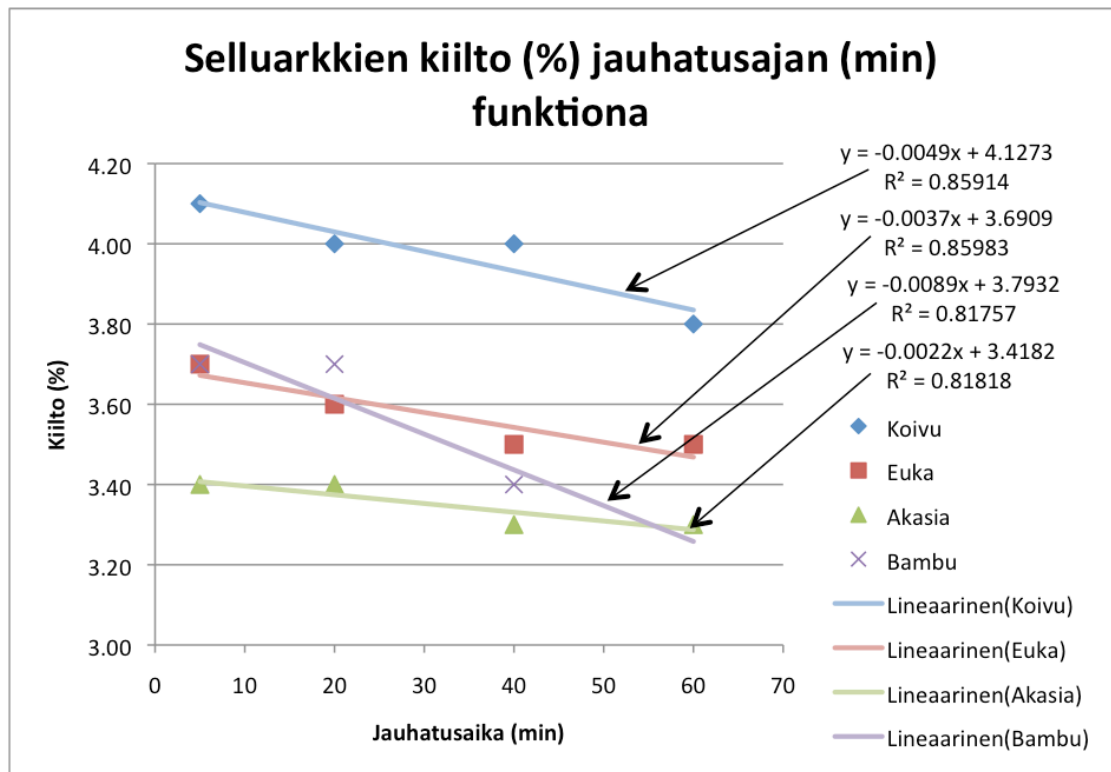


Kuva 14. Selluarkkien opasiteetti jauhatusajan funktiona

Kuvasta 14 voimme todeta, että akasiasellusta valmistetuilla arkeilla oli paras opasiteetti. Tämä johtuu siitä, että akasialla on huomattavan suuri kuitujen lukumäärä painoyksikköä kohden. (2, s.30.) Koivusta valmistetuilla selluarkeilla taas oli kaikista huonoin opasiteetti. Bambuselluarkkien opasiteettituloksiin pitää suhtautua kriittisesti etenkin, kun vertaa sen selityskerrointa puusellujen vastaaviin.

9.4.3 Kiilto

Jauhatus laskee selluarkkien kiiltoa. Kuten myös vaaleuteen ja opasiteettiin, loppuotteen kiiltoon vaikuttaa huomattavasti enemmän päällystysaineet. (22, s. 68.)



Kuva 15. Selluarkkien kiilto jauhatusajan funktiona

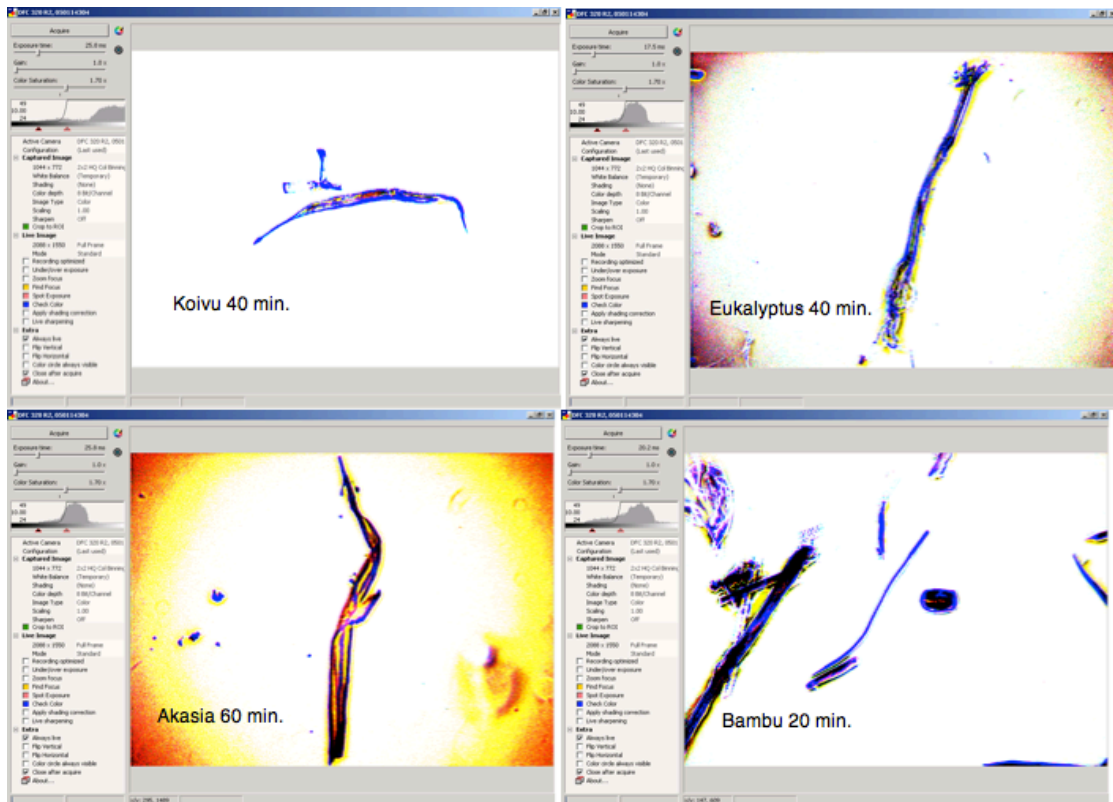
Kuvasta 15 voimme todeta, että koivusellusta saa kiiltävimmät arkit, kun taas akasia-sellusta himmeimmät. Kulmakertoimista päätellen kiillon lasku on hyvin pitkälti samanlaista puuselluilla. Bambusellu puolestaan näyttäisi menettävän kiiltoaan huomattavasti nopeammin jauhatuksen edistyessä.

9.5 Kuitunäytteet

Sellunäytteiden jauhatuksen edistyminen näkyy selvästi kuitupreparaateista. Kuten aikaisemmin todettiin, heräsi epäily, että bambusellu olisi mahdollisesti sulfiittimenetelmällä valmistettu suuren hienoainepitoisuutensa vuoksi. Kuitenkin suuri hienoainepitoisuus on ominaista myös ruohokasveista valmistetuilla sulfaattiselluilla, joten tästä ei voida saada absoluuttista varmuutta. (2, s. 31, 115.) Toinen sulfaattimenetelmän puolesta puhuva ominaisuus on väri, jonka kuitupreparaatti sai Graffit-C-reagenssista. (19, s. 13.) Sulfiittimassat saavat siitä ruskehtavan tai vaaleansinisen värin. Bambupreparaatti on kuitenkin sulfaattiselluille ominainen, voimakkaan sininen. Samaisesta syystä akasiasellua voisi luulla sulfiittiselluksi. Jauhautumisominaisuuksia ajatellen, akasiapreparaatin värimaailma johtunee enemmänkin mikroskoopin asetuk-

sista. Akasiapreparaattien kuvissa esiintyvä voimakas corona-ilmio puhuu tämän puolesta.

Eri sellulajien kuitupreparaatteja on mielenkiintoista tutkailla myös vaiheessa, jossa ne kaikki saavuttivat SR-luvun 35.



Kuva 16. Eri sellulaatujen kuitupreparaatit SR-luvussa 35

Kuvassa 16 preparaatit on järjestetty sen mukaan, kuinka suuren vetoindeksin ne saavuttivat (Taulukko 2). Näytteistä koivu ja akasia ovat kähertyneet huomattavasti. Eukalyptuksessa ja bambussa puolestaan näkyy voimakas fibrillaatio. Bambupreparaatista näkyy lisäksi suuri hienoainepitoisuus.

9.6 Virhearviointi

9.6.1 Virheet

Poikkeavuudet testituloksissa voivat johtua itse testikappaleesta tai virheestä, yhden tai useamman summasta. Erilaisten virheiden riskit pyrittiin tiedostamaan, tunnistamaan ja mahdollisuuksien mukaan poistamaan.

9.6.2 Karkeat virheet

Karkea virhe syntyy esimerkiksi, jos mitta-asteikko luetaan väärin, mittauslaitteeseen tulle häiriö tai tietojen tallennuksessa tapahtuu virhe. Karkeaa virhettä voidaan etsiä esimerkiksi vertailemalla keskihajontoja.

Tässä työssä pyrittiin löytämään selitys poikkeuksellisille mittaustuloksille. Yksi tällainen löytyi akasian karheusmittauksista, joissa keskihajonta nousi huomattavasti yhdelle poikkeukselliselle mittaustulokselle.

9.6.3 Systemaattiset virheet

Systemaattinen virhe tarkoittaa virhettä joka johtuu käytetyistä mittalaitteista tai mittausmenetelmistä. Systemaattista virhettä pyrittiin välttämään mittalaitteiden säännöllisellä kalibroinnilla sekä huollolla. Systemaattista virhettä ei voitu todeta työssä.

9.6.4 Tilastolliset virheet

Satunnainen eli tilastollinen virhe on mittauksissa aina riskinä. Se olisi mahdollista minimoida mahdollisimman suurella otoskoolla, mutta tämän työn kannalta ei ollut mielekästä pyrkiä siihen.

Tiettyjä poikkeamia etenkin bambuselluarkkien kohdalla oli tosin odotettavissa, koska toisin kuin muissa lajeissa, siitä kyettiin valmistamaan arkit vain kolmesta eri jauhausasteesta neljän sijaan.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Paperi, raaka-aineidensa summa

Selluilla on erittäin suuri merkitys paperin valmistuksessa. Harvemmin kuitenkaan käytetään vain yhtä komponenttia. Pitkäkuituisia havuselluja käytetään antamaan lujutta, kun taas lyhytkuituiset sellut parantavat sekä optisia että painatusominaisuuksia. Nämä jälkimmäiset ominaisuudet paranevat vielä entisestään, kun paperi päällystetään esimerkiksi kalsiumkarbonaatilla ja/tai muilla lisäaineilla. Lisäksi paperin ominaisuuksia voidaan säätää eri käsittelyillä, kuten kalanteroinnilla. Tästä syystä tämän tutkimuksen tulokset eivät suoraan kerro, minkälaisen lopputuotteen mistäkin sellusta saa aikaiseksi. Sen sijaan se antaa osviittaa lopputuote- ja prosessianalyysien tekoa varten, jotta lopputuotteen kannalta osataan valita oikeat ja oikein käsitellyt massat parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi, sekä valmistajan että asiakkaan näkökulmasta. (2, s 76; 15, s. 383.)

10.2 Soveltuvuus

10.2.1 Hienopaperit

Päällystämättömiin hienopapereihin käytetään tavallisesti 20 – 80 % lyhytkuituista sellua. Tavoitteena on hyvä painettavuus, joten ne myös konekalanteroidaan ja niissä on lisäksi 5 – 25 % täyteaineita. Haluttuja ominaisuuksia ovat siis sekä pintalujuus, painettavuus että optiset ominaisuudet. (23, s. 36.) Akasiasellusta löytyy kevyellä jauhatuksella sekä hyvä sileys että hyvä opasiteetti ja vaaleus muihin selluihin verrattuna. Akasiasellun korkea huokoisuus voi tosin haitata painettavuutta. Koivusellun huokoisuus laskee alhaiselle tasolle keskivahvalla jauhatuksella. Tällöin myös lujuusominaisuudet ovat huomattavasti paremmat mikäli halutaan käyttää vähemmän pitkäkuitui-

sia selluja. Myös ajettavuus paranee pintalujuuden kasvaessa. Näiden välistä löytyy hyvänä kompromissiratkaisuna keskivahvasti jauhettu eukalyptussellu, jossa on melko hyvät painatus-, lujuus- ja optiset ominaisuudet.

Päällystetyissä hienopapereissa käytetään vähemmän lyhytkuituista sellua. Päällysteet vaikuttavat optisiin ominaisuuksiin enemmän, ja tuote superkalanteroidaan sileyden saavuttamiseksi. Haluttu ominaisuus on tällöin bulkki. Akasiasellusta löytyy kevyellä jauhatuksella paras bulkki, ja sen lisäksi se myös säilyttää bulkkinsa parhaiten jauhatuksen edetessä. (23, s. 38)

10.2.2 Kartongit

Taivekartonki koostuu useasta kerroksesta. Bulkki on mahdollista saavuttaa mekaanisilla massoilla sisemmissä kerroksissa, mutta lujuus- ja painatusominaisuuksien pitää tulla pintakerroksesta. (24, s. 58, 59.) Parhaat lujuusominaisuudet löytyy keskivahvasti jauhetusta koivusellusta, mutta kun painatus- ja optiset ominaisuudet otetaan huomioon, parhaimmaksi vaihtoehdoksi nousee keskivahvasti jauhettu eukalyptussellu. Eukalyptussellun ominaisuudet soveltuvat erinomaisesti myös elintarvikekartonkeihin, joissa varsinaista kerrostusta ei ole.

10.2.3 Pehmopaperit

Pehmopapereissa käytetään tavallisesti uusiomassaa, kemimekaanista massaa ja lyhytkuituista sellua. Haluttuja ominaisuuksia ovat lujuus ja pehmeys. (23, s. 79, 80.) Bambusellussa on sekä hyvät lujuusominaisuudet että hyvä bulkki kevyehköllä jauhatuksella. Tästä syystä se sopii parhaiten pehmopaperien valmistukseen.

10.3 Ekologiset tekijät

Ympäristökysymyksiin on viime vuosina kiinnitetty erityisen paljon huomiota. Erityisesti eukalyptusplantaasit ovat olleet voimakkaan kritiikin kohteena. Nykyään asiakkaat ovat valmiita maksamaan enemmän ekologisesti tuotetusta paperista ja ympäris-

tökysymysten laiminlyönti voi johtaa yrityksen kannalta pahimmillaan boikotteihin. Siksi raaka-ainetuotannon ja varsinaisen tuotannon ympäristövaikutuksiin on hyvä kiinnittää huomiota. Suuret yritykset tavallisesti sertifioivat sekä tuotantolaitoksensa että plantaasinsa ympäristösertifikaatein. Eräs näistä on ISO 14000-sertifikaattisarja. (24, s. 276.)

Suomalaisen koivusellun raaka-aine on peräisin pääsääntöisesti talousmetsistä. Koska boreaalisen vyöhykkeen metsät ovat luonnostaan homogeenisiä, eivät nämä talousmetsät ole ekologisesti kovin haitallisia ainakaan maaperävaikutustensa suhteen. Toinen seikka on tietysti vaikutukset lajikirjoon, koska talousmetsissä on huomattavan vähän lahoppuuta. Suomalaiset metsät ovat pääsääntöisesti PEFC-metsäsertifikaatilla sertifioituja. (25, s. 69.) Jauhatusasteen kehityksen suhteen koivu oli tutkituista massojen keskikastia. Energian kulutus taas on suoraan verrannollinen jauhatuksen intensiteettiin.

Eukalyptus tulee maailman paperiteollisuuden käyttöön lähes yksinomaan plantaaseilta. Koko maailman plantaasi- ja talousmetsäalasta 8 % on eukalyptusta. (10, s. 123.) Luonnostaan näillä alueilla kasvaisi trooppista tai subtrooppista sekametsää. Täten plantaasit vaikuttavat hyvin negatiivisesti alueen luonnolliseen lajikirjoon. Eukalyptus käyttää huomattavasti vettä kasvaessaan, ja sillä on näin maaperän vesikiertoon vaikuttava ominaisuus. Myös puiden tehokasvatus kasvikirjoltaan homogeenisessä ympäristössä kuluttaa maaperän ravinteita. Jauhatusasteen kehityksen suhteen eukalyptus on hyvin lähellä koivua. Sen käyttö Suomessa tosin kuluttaa enemmän energiaa kuin koivu, koska se pitää rahdata hyvinkin kaukaa tehtaalle.

Akasiaa on saatavilla sekä luontaisista metsiköistä että plantaaseilta. Koko maailman plantaasi- ja talousmetsäalasta 5 % on akasiaa. (10, s. 123.) Alueilla, jossa se kasvaa luontaisena, eivät ekologiset haittavaikutukset ole kovinkaan mittavia. Jauhatusasteen kehitys on akasiasellulla erittäin hidasta ja energiaa kuluttavaa. Kun tähän lisätään rahtauksen aiheuttamat energiakulut, sen käyttö on huomattavan kallista ja epäekologista.

Sellun valmistuksen kannalta merkittävät bambulajit kasvavat luontaisesti suurina kasvikirjoltaan homogeenisinä metsikköinä. Tässä mielessä bambujen käyttö raaka-

aineena on melko ekologista. Bambusellun jauhatustasteen kasvu on myös erittäin nopeaa, joten tämän vaiheen energian kulutuskin pysyy aisoissa. Epäekologista tämän sellutyypin käytössä on lähinnä rahtaukseen kuluva energia.

10.4 Tulevaisuuden näkymät

Eri lyhytkuituisten sellujen käyttösuhteet tulevaisuudessa riippuvat hyvin pitkälti siitä, minne uusia tehtaita rakennetaan. Tähän puolestaan vaikuttavat suuret tai kasvavat markkinat. Esimerkiksi kasvavien markkinoiden Intiassa ja Kiinassa, joissa luonnostaan on suuret bambuvarat, voisi olettaa bambusellun käytön lisääntyvän voimakkaasti. Kaakkois-Aasian kasvaville markkinoille on puolestaan saatavilla sekä eukalyptusettä akasiasellua. Etelä-Amerikassa hyvin viihtyvän eukalyptuksen kysyntä puolestaan kasvaa paikallisten markkinoiden myötä, mutta etenkin myös ulkomaisten investointien kautta vientiselluna. Myös Venäjällä on kasvavat markkinat sekä huomattavat koivuvarannot. (3, s. 490; 26, s. 33.)

Suomessa paperiteollisuuden suhteen tilannetta on tarkasteltava hieman eri kulmasta. Metsäteollisuuden rakennemuutoksen vuoksi sellun kokonaistarve varmasti pienenee huomattavasti. Sellujen käyttösuhteet sitä vastoin varmasti muuttuvat. Suurimpana syynä tähän voidaan pitää Venäjän puutulleja, jotka tekevät koivusta suhteettoman kalliin raaka-aineen. Investointeja ollaankin tehty ulkomaille ja etenkin Etelä-Amerikkaan. Sieltä tulee Suomeen valtavia määriä eukalyptuksesta valmistettua paalisellua. Koska eukalyptussellu on myös soveliaain laji hienopaperin valmistukseen, sen asema suurimpana tuontiselluna tuskin horjuu, sillä bambu- ja akasiasellun käyttö jää hyvin marginaaliseksi.

LÄHTEET

1. Niskanen, K. 2008. Paper Physic. Paper Engineers' Association. Helsinki.
2. Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2003. Paperin ja kartongin valmistus. Opetushallitus, Helsinki.
3. Hyvämäki, T. (toim.). 2002. Tapion taskukirja. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Helsinki.
4. http://www.bioresurs.uu.se/myller/skog/skog_bild/bjork.jpg
10.5.2010.
5. <http://www.sfprd.com/avfp.html>
27.9.2009.
6. http://www.aracruz.com.br/show_prd.do?act=stcNews&menu=true&id=442&lastRoot=234&lang=1
27.9.2009.
7. <http://www.biocrawler.com/w/images/0/01/>
10.5.2010.
8. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Acacia_auriculiformis.html
27.9.2009.
9. <http://www.mangrovecentre.or.id/Gambar/Asosiasi%20Mangrove%20MIC/Tree/Acacia-auriculiformis.jpg>
10.5.2010.
10. Kellomäki, S. 2009. Forest Resources and Sustainable Management. Paper Engineers' Association. Helsinki.

11. <http://www.midatlanticbamboo.com/bamboo-info/bamboo-intro.htm>
27.9.2009.
12. <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?fr=1&sts=&lang=EN&si=1399>
10.5.2010.
13. <http://www.bambooweb.info/images/bamboo/Bambusa.sp.nana.jpg>
10.5.2010.
14. <http://www.kew.org/data/grasses-db/www/imp06238.htm>
10.5.2010.
15. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004779755/en>
27.9.2009.
16. <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>
3.4.2010.
17. Seppälä, M. (toim.). 2005. Paperimassan valmistus. Opetushallitus. Helsinki.
18. Levin, J.-E. Söderhjelm, 1999. L. Pulp and Paper Testing. Fapet OY. Helsinki.
19. Aaltonen, P. 1986. Kuituraaka-aineen ja Paperin Testausmenetelmiä. Otatieto. Espoo.
20. Peltonen, P. 2009. Tilastollisen päättelyn perusteet-luentomonisteet. Helsingin yliopisto.
21. Arjas, A. (toim.). 1983. Paperin valmistus III, Osa 1. Suomen paperi-insinöörien yhdistys r.y. Helsinki.
22. Alén, R. 2007. Papermaking Chemistry. Paper Engineers' Association. Helsinki.

23. Paulapuro, H. 2000. Paper and Board Grades. Fapet OY. Helsinki.
24. Dahl, O. 2008. Environmental Management and Control. Paper Engineers' Association. Helsinki.
25. Diesen, M. 2007. Economics of the Pulp and Paper Industry. Paper Engineers' Association. Helsinki.

Näyte: Koivu 5 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	99	103	107	103	107	104		99	107
Paksuus	um	208	195	197	199	192	208	200		192	208
Tiheys	kg/m ³	513	508	522	536	536	513	521		508	536
Bulkki	cm ³ /g	1,95	1,97	1,91	1,87	1,87	1,95	1,92		1,87	1,97
Vaaleus	%							70,46	0,30		
Opasiteetti	%							88,08	0,46		
Kiilto	%	3,8	4,2	4,4	4,0	3,9	4,1	4,1	0,22	3,8	4,4
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,51	12,41	12,42	11,59	11,75	12,76	12,30	0,37	11,75	12,76
	1 Mpa	10,11	10,15	10,27	10,11	9,65	9,79	10,01	0,24	9,65	10,27
	2 Mpa	7,86	7,91	8,10	7,53	7,59	8,00	7,83	0,23	7,53	8,10
Karheus, Bendtsen	ml/min	2281	2189	2151	1469	2035	1813	1990	301,6	1469	2281
Ilmanläpäisevyys	ml/min	4986	5038	5038	5014	5128	4716	5010	161,1	4716	5128
Vetolujuus	kN/m	2,409	2,206	2,491	2,320	2,409	2,483	2,386	0,108	2,206	2,409
Vetoindeksi	Nm/g	22,58	22,27	24,21	21,75	23,41	23,27	22,91		22,27	23,41
Venymä	%	1,52	1,30	1,48	1,05	1,29	1,80	1,41	0,26	1,05	1,80
Murtotyö	J/m ²	24,23	18,56	25,19	15,64	20,34	30,45	22,40	5,30	15,64	30,45
Repäisy- lujuus	mN	249	284	284	286	296	304	284		249	304
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	2,33	2,87	2,76	2,68	2,88	2,85	2,73		2,33	2,88
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,10	5,43	4,71	4,50	5,07	4,00	4,80		4,00	5,10

Näyte: Koivu 20 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	103	107	103	107	103	107	105		103	107
Paksuus	um	165	173	171	180	177	177	174		165	180
Tiheys	kg/m ³	624	617	602	593	581	603	603		581	624
Bulkki	cm ³ /g	1,60	1,62	1,66	1,69	1,72	1,66	1,66		1,60	1,72
Vaaleus	%							68,93	0,39		
Opasiteetti	%							86,39	0,54		
Kiilto	%	4,0	3,8	4,2	3,9	3,9	4,2	4,0	0,17	3,8	4,2
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,24	12,97	12,30	12,70	12,89	12,83	12,65	0,31	12,24	12,97
	1 Mpa	10,48	11,06	10,61	11,10	10,86	11,34	10,91	0,32	10,48	11,34
	2 Mpa	8,57	8,96	8,70	9,12	8,60	9,01	8,83	0,23	8,57	9,12
Karheus, Bendtsen	ml/min	1841	1783	1653	1734	1502	2304	1803	272,3	1502	2304
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1779	1542	1613	1512	1553	1425	1571	119,1	1425	1779
Vetolujuus	kN/m	5,242	5,193	4,681	5,584	5,210	5,413	5,220	0,304	4,681	5,413
Vetoindeksi	Nm/g	50,95	48,67	45,50	52,34	50,64	50,74	49,82		45,50	52,34
Venymä	%	2,71	2,76	2,41	3,07	2,80	3,04	2,80	0,24	2,41	3,07
Murtotyö	J/m ²	98,42	100,4	77,79	119,9	100,9	116,3	102,3	15,03	77,79	119,9
Repäisy- lujuus	mN	521	486	515	461	470	491	491		461	521
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	5,06	4,56	5,01	4,32	4,57	4,60	4,68		4,32	5,06
Tuhka	%	0	0	0	0,25	0	0,24	0,08		0	0,25
Kosteus	%	5,53	4,70	4,96	4,92	5,06	4,92	5,02		4,70	5,53

Näyte: Koivu 40 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	107	111	107	103	107	107		103	111
Paksuus	um	159	152	166	156	153	157	157		152	166
Tiheys	kg/m ³	671	702	666	684	672	680	679		666	702
Bulkki	cm ³ /g	1,49	1,42	1,50	1,46	1,49	1,47	1,47		1,42	1,49
Vaaleus	%							65,96	0,43		
Opasiteetti	%							84,89	0,63		
Kiilto	%	4,0	4,0	4,1	4,1	3,6	3,9	4,0	0,19	3,6	4,1
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,70	12,76	13,00	12,48	12,93	12,16	12,67	0,31	12,16	13,00
	1 Mpa	11,28	10,95	11,70	11,38	11,18	11,14	11,27	0,26	10,95	11,70
	2 Mpa	9,67	9,26	9,96	9,63	9,13	9,33	9,50	0,31	9,13	9,96
Karheus, Bendtsen	ml/min	1833	1801	1635	1666	1454	1699	1681	135,2	1454	1833
Ilmanläpäisevyys	ml/min	234,1	227,9	229,7	247,8	273,0	249,1	243,6	17,0	227,9	273
Vetolujuus	kN/m	7,888	7,733	7,904	7,619	7,847	8,042	7,839	0,147	7,619	8,042
Vetoindeksi	Nm/g	73,93	72,48	71,53	71,41	76,27	75,38	73,47		71,41	76,27
Venymä	%	3,80	3,63	3,13	3,09	3,60	3,91	3,53	0,34	3,09	3,91
Murtotyö	J/m ²	207,3	191,1	171,8	163,5	197,7	217,0	191,4	20,54	171,8	217,0
Repäisy- lujuus	mN	652	636	616	606	596	569	613		569	652
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	6,11	5,96	5,58	5,68	5,79	5,33	5,74		5,33	6,11
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	4,89	4,91	4,84	4,72	4,80	5,35	4,92		4,72	5,35

Näyte: Koivu 60 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	111	107	111	107	111	111	109		107	111
Paksuus	um	130	133	133	134	134	136	133		130	136
Tiheys	kg/m ³	850	802	831	796	825	813	819		796	850
Bulkki	cm ³ /g	1,18	1,25	1,20	1,26	1,21	1,23	1,22		1,12	1,25
Vaaleus	%							61,32	0,43		
Opasiteetti	%							82,59	0,24		
Kiilto	%	4,1	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	0,15	3,7	4,1
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,47	13,04	12,86	12,77	12,54	14,24	12,99	0,65	12,47	14,24
	1 Mpa	11,05	12,22	11,49	11,43	11,31	10,99	11,41	0,44	10,99	12,22
	2 Mpa	9,52	9,45	9,66	9,87	9,70	9,44	9,61	0,17	9,44	9,87
Karheus, Bendtsen	ml/min	1433	1471	1705	1762	1730	1448	1591	155,8	1762	1433
Ilmanläpäisevyys	ml/min	28,4	31,9	26,8	27,7	30,7	28,8	29,1	1,9	26,8	31,9
Vetolujuus	kN/m	8,840	8,254	8,254	8,303	9,174	8,409	8,539	0,382	8,254	9,174
Vetoindeksi	Nm/g	80,00	77,36	74,70	77,82	83,02	76,10	78,17		74,70	83,02
Venymä	%	3,74	4,93	2,82	3,14	3,65	3,28	3,59	0,73	2,82	4,93
Murtotyö	J/m ²	230,7	280,8	163,1	185,0	235,8	189,6	214,2	43,0	163,1	280,8
Repäisy- lujuus	mN	610	537	658	626	559	535	588		537	658
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	5,52	5,03	5,96	5,87	5,06	4,84	5,38		4,84	5,96
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,37	4,97	5,22	5,74	5,15	5,21	5,25		4,97	5,74

Näyte: Eukalyptus 5 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	103	103	103	107	103	107	104		103	107
Paksuus	um	222	217	212	225	213	231	220		212	231
Tiheys	kg/m ³	463	474	485	474	483	462	474		462	483
Bulkki	cm ³ /g	2,16	2,11	2,06	2,11	2,07	2,17	2,11		2,06	2,17
Vaaleus	%							77,28	0,32		
Opasiteetti	%							89,30	0,37		
Kiilto	%	4,0	3,8	3,7	3,6	3,6	3,7	3,7	0,15	3,6	4,0
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,94	11,61	11,79	11,82	11,68	12,82	11,96	0,44	11,61	12,82
	1 Mpa	10,14	9,91	9,37	9,89	9,87	10,75	9,99	0,45	9,37	10,75
	2 Mpa	7,61	7,53	7,50	7,61	7,63	8,02	7,65	0,19	7,50	8,02
Karheus, Bendtsen	ml/min	1892	1486	1749	1729	1680	1747	1714	132,1	1892	1486
		5458	5448	5492	5410	5626	5414	5474	80,2	5410	5626
Ilmanläpäisevyys	ml/min	5458	5448	5492	5410	5626	5414	5474	80,2	5410	5626
Vetolujuus	kN/m	2,580	2,369	2,401	2,540	2,670	2,816	2,563	0,168	2,369	2,816
Vetoindeksi	Nm/g	25,08	23,03	23,34	23,81	25,95	26,39	24,61		23,03	26,39
Venymä	%	2,13	1,61	1,55	1,55	1,87	2,63	1,89	0,43	1,55	2,63
Murtotyö	J/m ²	39,81	26,28	26,06	27,44	34,75	54,45	34,80	11,08	26,06	54,45
Repäisy- lujuus	mN	290	313	263	269	276	240	275		240	313
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	2,82	3,04	2,56	2,52	2,68	2,25	2,64		2,25	3,04
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	4,68	4,99	5,33	4,68	4,72	5,41	4,97		4,68	5,41

Näyte: Eukalyptus 20 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	111	111	107	107	111	107	109		107	111
Paksuus	um	198	196	190	200	195	197	196		190	200
Tiheys	kg/m ³	558	564	562	533	567	542	554		533	564
Bulkki	cm ³ /g	1,79	1,77	1,78	1,87	1,76	1,85	1,81		1,76	1,87
Vaaleus	%							76,40	0,26		
Opasiteetti	%							88,58	0,25		
Kiilto	%	3,7	3,5	3,5	3,4	3,7	3,8	3,6	0,15	3,4	3,8
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,93	12,47	12,36	12,60	12,89	12,83	12,68	0,24	12,36	12,93
	1 Mpa	10,94	10,62	10,69	10,74	10,59	10,42	10,67	0,17	10,42	10,94
	2 Mpa	8,88	8,57	8,42	8,38	8,18	8,55	8,49	0,23	8,18	8,88
Karheus, Bendtsen	ml/min	1857	1795	1866	1746	1569	1905	1789	122	1569	1905
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1964	2109	2144	2102	2203	2247	2128	97,9	1964	2247
Vetolujuus	kN/m	5,429	5,381	5,340	5,381	4,998	5,226	5,292	0,160	4,998	5,429
Vetoindeksi	Nm/g	49,13	48,70	50,05	50,44	45,23	48,98	48,73		45,23	50,05
Venymä	%	2,95	3,36	3,61	2,97	3,21	3,49	3,27	0,27	2,95	3,61
Murtotyö	J/m ²	115,5	131,3	139,5	115,6	116,0	132,0	125,0	10,59	115,5	139,5
Repäisy- lujuus	mN	472	529	557	555	434	458	501		434	557
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	4,27	4,79	5,22	5,20	3,93	4,29	4,61		3,93	5,22
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,04	5,00	5,49	4,76	5,23	5,16	5,11		4,76	5,49

Näyte: Eukalyptus 40 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	111	107	107	107	107	107	107		107	111
Paksuus	um	180	178	172	175	172	173	175		172	180
Tiheys	kg/m ³	614	599	620	610	620	617	613		599	620
Bulkki	cm ³ /g	1,63	1,67	1,61	1,64	1,61	1,62	1,63		1,61	1,67
Vaaleus	%							75,66	0,35		
Opasiteetti	%							87,41	0,36		
Kiilto	%	3,7	3,5	3,6	3,4	3,5	3,3	3,5	0,14	3,3	3,7
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,59	13,50	11,70	12,80	12,42	13,11	12,69	0,62	11,70	13,50
	1 Mpa	10,74	11,84	9,94	11,65	10,47	11,14	10,96	0,72	9,94	11,84
	2 Mpa	8,85	9,14	8,35	9,13	8,74	9,29	8,92	0,35	8,74	9,29
Karheus, Bendtsen	ml/min	1852	1988	1424	1891	1558	1882	1766	221,9	1424	1988
Ilmanläpäisevyys	ml/min	693	683	684	672	651	640	670	20,7	640	693
Vetolujuus	kN/m	7,700	7,293	7,448	7,147	7,725	7,041	7,392	0,283	7,041	7,725
Vetoindeksi	Nm/g	69,68	68,36	69,81	66,99	72,41	65,99	68,87		65,99	72,41
Venymä	%	3,71	4,90	4,23	4,43	4,69	3,74	4,28	0,49	3,71	4,90
Murtotyö	J/m ²	200,3	243,2	219,6	221,2	252,3	188,2	220,8	24,42	188,2	252,3
Repäisy- lujuus	mN	644	662	676	662	646	575	644		575	676
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	5,83	6,21	6,34	6,21	6,06	5,39	6,00		5,39	6,34
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,54	5,87	5,96	5,62	5,46	5,58	5,67		5,46	5,96

Näyte: Eukalyptus 60 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	111	107	111	111	107	109		107	111
Paksuus	um	154	160	154	157	157	150	155		150	160
Tiheys	kg/m ³	693	691	693	704	704	711	699		691	711
Bulkki	cm ³ /g	1,44	1,45	1,44	1,42	1,42	1,41	1,43		1,41	1,45
Vaaleus	%							74,17	0,27		
Opasiteetti	%							85,67	0,44		
Kiilto	%	3,2	3,5	3,8	3,7	3,6	3,3	3,5	0,23	3,2	3,8
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,66	12,86	12,07	12,80	12,83	11,92	12,52	0,42	12,86	11,92
	1 Mpa	10,88	10,69	10,79	11,12	11,20	10,82	10,88	0,23	10,69	11,20
	2 Mpa	9,17	9,19	8,59	9,72	9,26	8,63	9,09	0,42	8,59	9,72
Karheus, Bendtsen	ml/min	1683	1864	1918	1811	1698	1274	1709	229,7	1274	1918
Ilmanläpäisevyys	ml/min	165,7	156,4	166,9	145,6	148,4	162,7	157,6	9	166,9	145,6
Vetolujuus	kN/m	7,896	8,262	8,246	9,003	9,133	8,295	8,472	0,485	7,896	9,133
Vetoindeksi	Nm/g	74,01	74,77	77,29	81,47	82,65	77,75	78,01		74,01	82,65
Venymä	%	3,61	3,85	3,45	4,15	4,08	3,85	3,83	0,27	3,61	4,15
Murtotyö	J/m ²	203,7	227,3	201,3	264,7	266,7	228,7	232,1	28,45	201,3	266,7
Repäisy- lujuus	mN	662	658	704	680	670	753	688		658	753
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	6,21	5,96	6,60	6,15	6,06	7,06	6,33		5,96	7,06
Tuhka	%	0,25	0	0	0	0	0	0,04		0	0,25
Kosteus	%	5,09	5,44	5,54	5,22	5,17	4,92	5,23		4,92	5,54

Näyte: Akasia 5 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	99	107	114	107	103	106		99	114
Paksuus	um	252	241	263	256	251	260	254		241	263
Tiheys	kg/m ³	423	411	406	447	425	396	418		396	447
Bulkki	cm ³ /g	2,36	2,43	2,47	2,24	2,35	2,53	2,40		2,24	2,53
Vaaleus	%							77,86	0,35		
Opasiteetti	%							91,84	0,4		
Kiilto	%	3,3	3,3	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	0,08	3,3	3,5
Sileys, PPS	0,5 Mpa	10,95	10,71	11,17	10,37	11,03	11,70	10,9	0,31	10,71	11,70
	1 Mpa	8,49	8,25	8,65	8,47	8,76	8,45	8,51	0,18	8,25	8,76
	2 Mpa	6,56	6,51	6,50	6,50	6,66	6,57	6,55	0,06	6,50	6,66
Karheus, Bendtsen	ml/min	1761	1781	1419	1527	1720	1903	1685	178,7	1419	1903
Ilmanläpäisevyys	ml/min	6506	6640	6432	6424	6520	6532	6530	70,6	6426	6640
Vetolujuus	kN/m	0,904	1,074	0,944	1,164	0,920	1,156	1,027	0,119	0,904	1,156
Vetoindeksi	Nm/g	8,47	10,84	8,85	10,18	8,62	11,24	9,68		8,47	11,24
Venymä	%	0,98	1,16	0,95	1,10	0,94	1,22	1,06	0,12	0,94	1,22
Murtotyö	J/m ²	5,21	7,84	5,45	8,17	5,14	9,12	6,82	1,76	5,14	9,12
Repäisy- lujuus	mN	151	195	157	130	176	132	157		130	195
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	1,42	1,97	1,47	1,14	1,65	1,28	1,48		1,14	1,97
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,71	5,34	4,69	7,33	5,54	6,93	5,92		4,69	7,33

Näyte: Akasia 20 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	103	107	111	107	107	107	107		103	111
Paksuus	um	218	216	230	229	217	221	222		216	230
Tiheys	kg/m ³	489	512	464	483	509	483	490		464	509
Bulkki	cm ³ /g	2,04	1,95	2,16	2,07	1,96	2,07	2,04		1,95	2,16
Vaaleus	%							76,94	0,49		
Opasiteetti	%							91,16	0,17		
Kiilto	%	3,4	3,5	3,4	3,3	3,5	3,4	3,4	0,08	3,3	3,5
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,37	12,03	12,39	12,34	11,57	11,48	11,86	0,45	11,37	12,39
	1 Mpa	9,50	9,43	10,07	10,07	9,65	9,39	9,68	0,31	9,39	10,07
	2 Mpa	7,20	7,23	7,53	7,26	7,21	6,87	7,22	0,21	6,87	7,53
Karheus, Bendtsen	ml/min	1419	1765	1930	1915	1732	1572	1722	198,4	1419	1930
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3159	3178	3182	3252	3243	3335	3225	65,6	3335	3159
Vetolujuus	kN/m	2,540	2,987	2,466	2,564	2,816	2,841	2,702	0,207	2,466	2,987
Vetoindeksi	Nm/g	24,69	28,00	22,32	24,03	26,39	26,63	25,33		22,32	28,00
Venymä	%	1,35	1,85	1,30	1,51	1,80	1,94	1,63	0,27	1,30	1,94
Murtotyö	J/m ²	22,97	39,09	21,72	26,27	35,58	39,44	30,85	8,13	21,72	39,44
Repäisy- lujuus	mN	255	356	278	307	247	330	296		247	356
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	2,48	3,34	2,52	2,88	2,32	3,09	2,77		2,32	3,34
Tuhka	%	0	0	0	0	0,25	0	0,04		0	0,25
Kosteus	%	6,00	4,85	5,59	5,02	6,24	5,28	5,50		4,85	6,24

Näyte: Akasia 40 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	111	107	111	111	107	109		107	111
Paksuus	um	201	197	203	194	195	193	197		193	203
Tiheys	kg/m ³	531	561	526	570	567	553	551		526	570
Bulkki	cm ³ /g	1,88	1,78	1,90	1,76	1,76	1,81	1,82		1,76	1,90
Vaaleus	%							76,29	0,14		
Opasiteetti	%							90,73	0,22		
Kiilto	%	3,3	3,3	3,4	3,2	3,5	3,2	3,3	0,12	3,2	3,5
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,01	11,92	12,90	12,22	12,33	11,97	12,39	0,46	11,92	13,01
	1 Mpa	11,26	10,33	10,93	10,28	10,66	10,31	10,63	0,40	10,28	11,26
	2 Mpa	8,75	7,93	8,22	8,33	8,52	7,88	8,27	0,34	7,88	8,75
Karheus, Bendtsen	ml/min	2217	1440	2046	1494	2067	1635	1817	333	1440	2217
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1869	1806	1887	1821	1819	1840	1840	31,8	1806	1869
Vetolujuus	kN/m	4,974	4,225	4,917	5,128	4,957	4,387	4,765	0,366	4,225	5,128
Vetoindeksi	Nm/g	46,62	38,24	44,50	46,41	46,46	41,12	43,88		38,24	46,62
Venymä	%	2,78	2,10	2,97	3,64	3,32	2,98	2,96	0,52	2,10	3,64
Murtotyö	J/m ²	99,52	62,15	106,6	137,2	119,1	94,84	103,2	25,24	62,15	119,1
Repäisy- lujuus	mN	467	522	471	538	536	451	498		451	538
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	4,38	4,72	4,26	4,87	5,02	4,23	4,58		4,23	5,02
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,65	6,25	6,68	6,02	6,16	5,58	6,06		5,58	6,68

Näyte: Akasia 60 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	107	107	107	103	107	106		103	107
Paksuus	um	182	178	178	174	180	176	178		174	182
Tiheys	kg/m ³	586	599	599	613	572	606	596		572	613
Bulkki	cm ³ /g	1,71	1,67	1,67	1,63	1,75	1,65	1,68		1,63	1,75
Vaaleus	%							75,47	0,24		
Opasiteetti	%							89,69	0,15		
Kiilto	%	3,2	3,3	3,4	3,1	3,2	3,3	3,3	0,10	3,1	3,4
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,45	12,67	13,04	12,57	12,70	12,84	12,71	0,21	12,45	13,04
	1 Mpa	10,48	10,99	11,05	10,79	11,05	11,32	10,95	0,28	10,48	11,32
	2 Mpa	8,65	8,86	8,58	8,32	8,70	8,76	8,64	0,18	8,32	8,86
Karheus, Bendtsen	ml/min	1693	1689	1886	1438	1719	1997	1737	191,8	1438	1997
Ilmanläpäisevyys	ml/min	858	896	874	865	883	872	875	13,6	858	896
Vetolujuus	kN/m	6,732	6,699	6,952	6,243	6,422	6,504	6,592	0,252	6,243	6,952
Vetoindeksi	Nm/g	63,10	62,79	65,16	58,51	62,42	60,96	62,16		58,51	65,16
Venymä	%	3,56	3,89	3,68	3,19	3,43	3,44	3,53	0,24	3,19	3,89
Murtotyö	J/m ²	170,6	186,4	184,0	143,0	159,7	159,8	167,3	16,49	143,0	186,4
Repäisy- lujuus	mN	596	578	604	576	627	524	584		524	627
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	5,59	5,42	5,66	5,40	6,09	4,91	5,51		4,91	6,09
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,68	5,82	4,72	5,71	5,89	6,29	5,69		4,72	6,29

Näyte: Bambu 5 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	95	95	99	95	103	103	98		95	103
Paksuus	um	245	230	235	220	232	236	233		220	245
Tiheys	kg/m ³	389	414	422	433	443	436	423		389	443
Bulkki	cm ³ /g	2,57	2,41	2,37	2,31	2,26	2,29	2,37		2,26	2,57
Vaaleus	%							71,45	0,28		
Opasiteetti	%							88,44	0,49		
Kiilto	%	3,7	3,8	3,7	3,7	3,7	3,8	3,7	0,05	3,7	3,8
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,11	12,83	13,15	12,70	12,86	12,76	12,90	0,18	12,70	13,15
	1 Mpa	10,90	10,95	10,95	10,95	10,88	11,12	10,96	0,08	10,88	11,12
	2 Mpa	8,87	9,13	8,94	8,96	9,14	8,76	8,97	0,15	8,76	9,14
Karheus, Bendtsen	ml/min	2075	2116	2353	1993	2213	2062	2135	129	1993	2353
Ilmanläpäisevyys	ml/min	6562	6458	6242	6320	6098	6042	6286	202	6042	6562
Vetolujuus	kN/m	1,945	2,198	2,068	2,084	2,125	2,068	2,081	0,082	1,945	2,198
Vetoindeksi	Nm/g	20,42	23,07	20,87	21,88	20,66	20,10	21,14		20,10	23,07
Venymä	%	1,86	1,91	1,49	1,92	1,45	1,35	1,66	0,26	1,35	1,92
Murtotyö	J/m ²	25,93	30,83	21,69	29,19	21,48	19,11	24,7	4,69	19,11	30,83
Repäisy- lujuus	mN	368	401	380	391	378	387	384		368	401
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	3,86	4,21	3,84	4,11	3,67	3,76	3,90		3,67	4,21
Tuhka	%	0	0	0	0,24	0	0	0,04		0	0,24
Kosteus	%	5,80	5,83	6,27	5,57	5,69	5,56	5,79		5,56	6,27

Näyte: Bambu 20 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	95	103	107	107	107	107	104		95	107
Paksuus	um	191	196	198	207	201	205	200		191	207
Tiheys	kg/m ³	499	525	539	515	531	520	522		499	539
Bulkki	cm ³ /g	2,01	1,91	1,86	1,94	1,88	1,92	1,92		1,86	2,01
Vaaleus	%							69,29	0,71		
Opasiteetti	%							88,93	0,44		
Kiilto	%	3,6	3,6	3,8	3,7	3,6	3,7	3,7	0,08	3,6	3,8
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,66	12,42	12,86	13,04	12,70	12,97	12,77	0,23	12,42	13,04
	1 Mpa	11,01	11,45	11,12	10,90	11,51	11,16	11,19	0,24	10,90	11,51
	2 Mpa	9,06	9,48	9,10	9,46	9,50	9,69	9,38	0,25	9,06	9,69
Karheus, Bendtsen	ml/min	1779	1920	1790	2036	1794	2148	1894	146,7	1779	2036
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1828	1668	1618	1684	1632	1659	1681	75,6	1618	1828
Vetolujuus	kN/m	5,193	4,729	4,835	5,307	5,283	5,104	5,075	0,24	4,729	5,307
Vetoindeksi	Nm/g	54,51	45,97	45,32	49,74	49,52	47,84	48,73		45,32	54,51
Venymä	%	3,07	3,06	3,04	2,62	3,25	3,24	3,05	0,23	2,62	3,25
Murtotyö	J/m ²	113,6	104,7	104,8	99,92	124,6	120,9	111,4	9,88	99,92	124,6
Repäisy- lujuus	mN	521	517	565	518	513	436	512		436	565
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	5,47	5,03	5,30	4,86	4,81	4,09	4,91		4,09	5,47
Tuhka	%	0	0	0,23	0	0,24	0	0,08		0	0,24
Kosteus	%	5,47	5,84	6,07	5,73	5,19	5,71	5,67		5,19	6,07

Näyte: Bambu 40 min

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s	min.	max.
Neliömassa	g/m ²	107	107	107	107	107	107	107		107	107
Paksuus	um	178	177	171	183	185	181	179		171	185
Tiheys	kg/m ³	599	603	624	583	577	589	596		577	624
Bulkki	cm ³ /g	1,67	1,66	1,60	1,72	1,73	1,70	1,68		1,60	1,73
Vaaleus	%							66,28	0,71		
Opasiteetti	%							88,38	0,28		
Kiilto	%	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	3,8	3,4	0,23	3,2	3,8
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,08	12,87	13,04	13,01	12,94	12,97	12,98	0,08	12,87	13,08
	1 Mpa	11,52	11,61	11,50	11,92	11,59	12,05	11,70	0,23	11,50	12,05
	2 Mpa	10,19	9,94	9,81	10,10	10,28	10,04	10,06	0,17	9,81	10,28
Karheus, Bendtsen	ml/min	1977	1652	1458	1761	1760	1699	1718	169,2	1458	1977
Ilmanläpäisevyys	ml/min	294,9	270,3	256,9	282,0	259,2	295,7	276,5	17,1	256,9	295,7
Vetolujuus	kN/m	6,585	6,602	6,146	5,975	6,447	6,227	6,330	0,25	5,975	6,602
Vetoindeksi	Nm/g	61,72	61,88	57,61	56,00	60,43	58,37	59,33		56,00	61,88
Venymä	%	2,99	2,90	2,63	1,84	3,32	2,65	2,72	0,50	1,84	3,32
Murtotyö	J/m ²	143,4	138,8	116,5	77,71	157,7	117,4	125,2	28,11	77,71	157,7
Repäisy- lujuus	mN	393	403	432	436	411	364	407		364	436
Repäisy- indeksi	mNm ² /g	3,68	3,78	4,05	4,09	3,85	3,41	3,81		3,41	4,09
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Kosteus	%	5,10	5,43	4,71	4,50	5,07	4,00	4,80		4,00	5,43

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BIRCH 5 MIN

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,59	85,30	85,83	0,23
Arvo Y D65	90,34	90,01	90,60	0,25
Arvo Z D65	90,58	90,20	90,79	0,25
Arvo L* D65	96,14	96,00	96,25	0,11
Arvo a* D65	-0,12	-0,14	-0,08	0,02
Arvo b* D65	4,32	4,23	4,36	0,05
Valkoisuus CIE + UV	70,86	70,38	71,21	0,30
Valkoisuus CIE - UV	70,46	69,97	70,81	0,30
R457 UV:n kanssa	84,94	84,57	85,14	0,24
R457 ilman UV:tä	84,61	84,25	84,83	0,24
hallitseva aallonpituus	575,2	575,1	575,4	0,1
Ärsykepuhtaus	4,10	3,99	4,16	0,06
Sirontakerroin	41,07	39,19	42,79	1,20
Absorptiokerroin	0,20	0,19	0,21	0,01
Opasiteetti	88,08	87,34	88,70	0,46

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

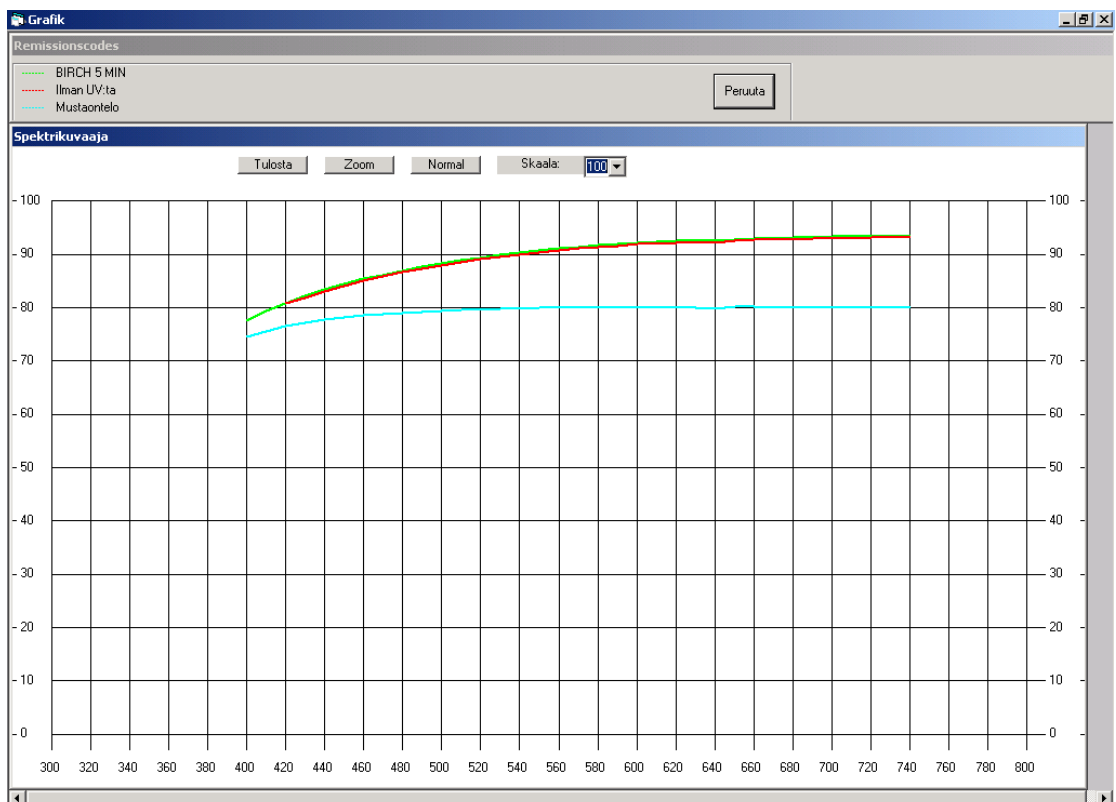
ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 2/1. Koivuselluarkin (jauhatusaika 5 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/2. Koivuselluarkin (jauhatusaika 5 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BIRCH 20 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

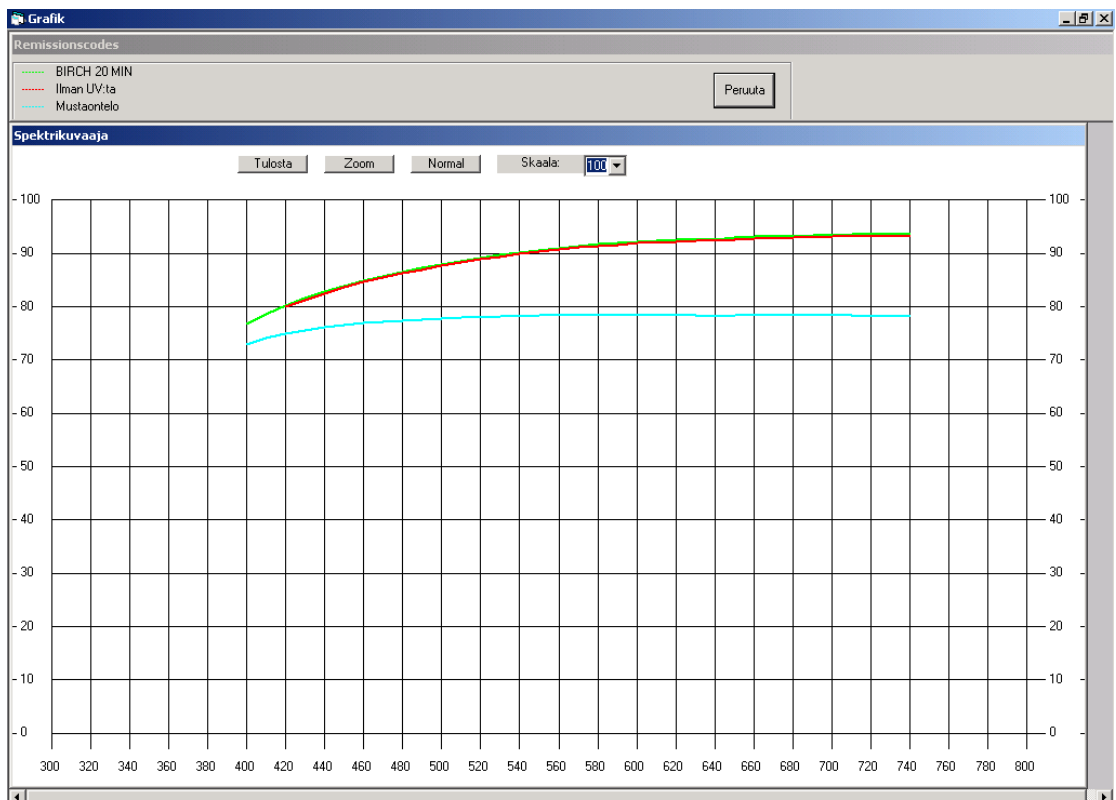
Tallenna

Tietokannasta

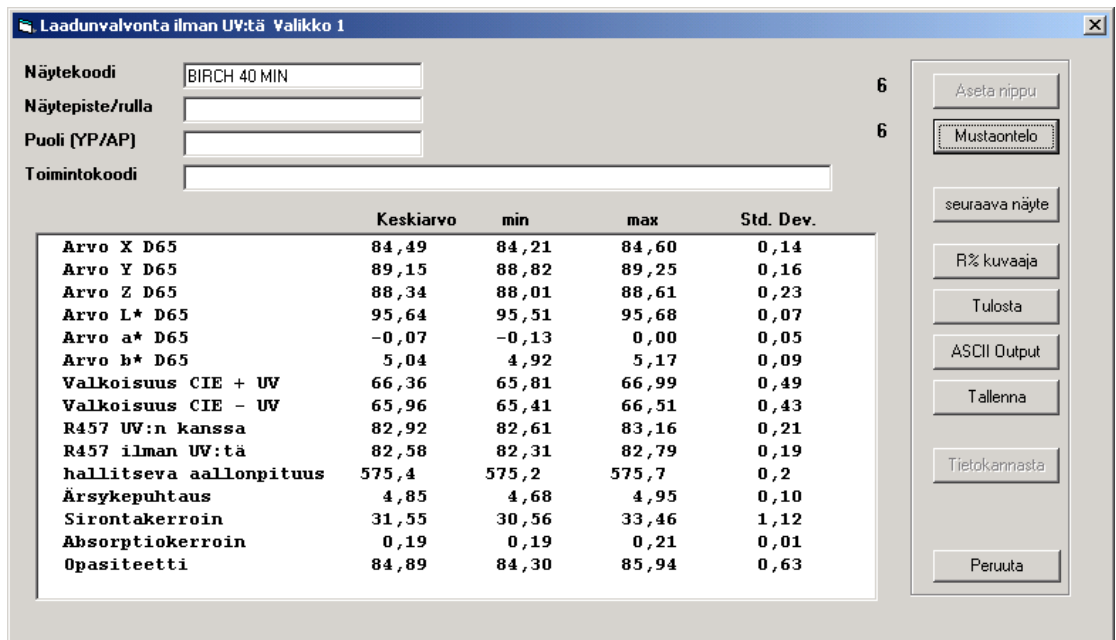
Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,48	85,11	85,70	0,20
Arvo Y D65	90,21	89,77	90,44	0,24
Arvo Z D65	90,00	89,49	90,31	0,28
Arvo L* D65	96,08	95,90	96,18	0,10
Arvo a* D65	-0,09	-0,13	0,00	0,04
Arvo b* D65	4,63	4,58	4,68	0,05
Valkoisuus CIE + UV	69,33	68,66	69,81	0,41
Valkoisuus CIE - UV	68,93	68,29	69,37	0,39
R457 UV:n kanssa	84,43	83,95	84,71	0,26
R457 ilman UV:tä	84,09	83,63	84,37	0,26
hallitseva aallonpituus	575,3	575,2	575,7	0,2
Ärsykepuhtaus	4,42	4,33	4,56	0,08
Sirontakerroin	36,48	34,77	37,66	1,16
Absorptiokerroin	0,18	0,17	0,19	0,01
Opasiteetti	86,39	85,57	86,92	0,54

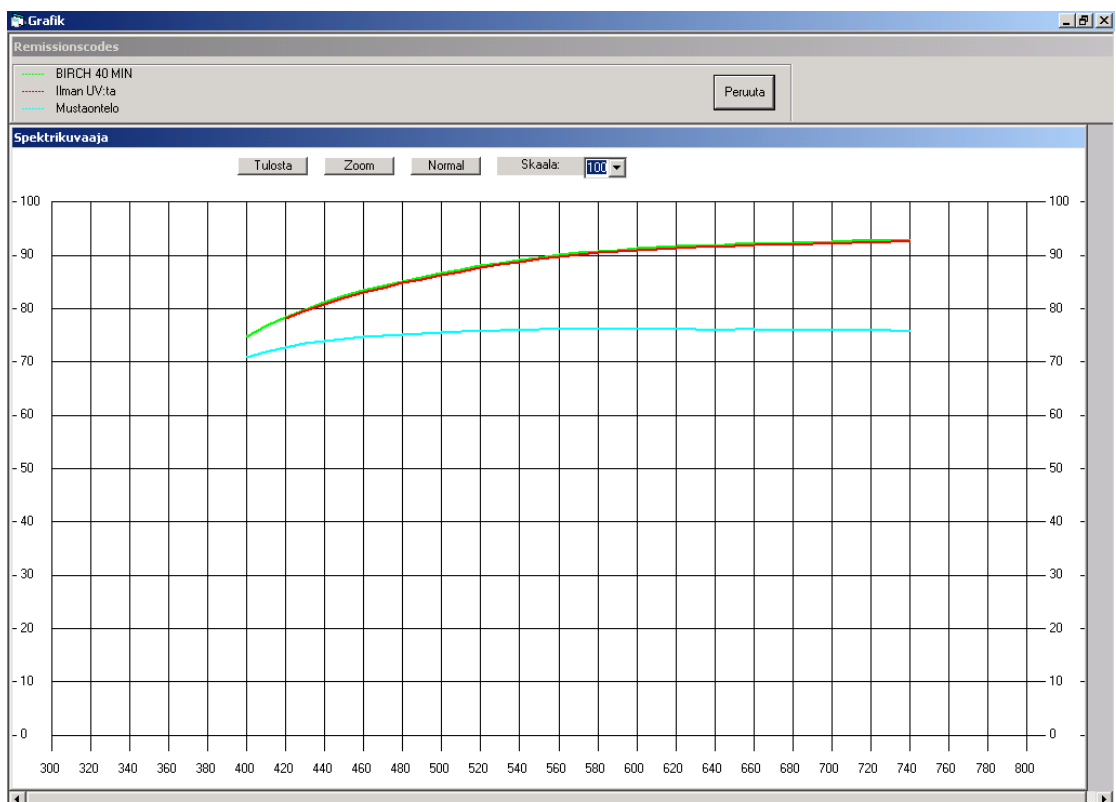
Kuva 2/3. Koivuselluarkin (jauhatusaika 20 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/4. Koivuselluarkin (jauhatusaika 20 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009



Kuva 2/5. Koivuselluarkin (jauhatusaika 40 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/6. Koivuselluarkin (jauhatusaika 40 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BIRCH 60 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

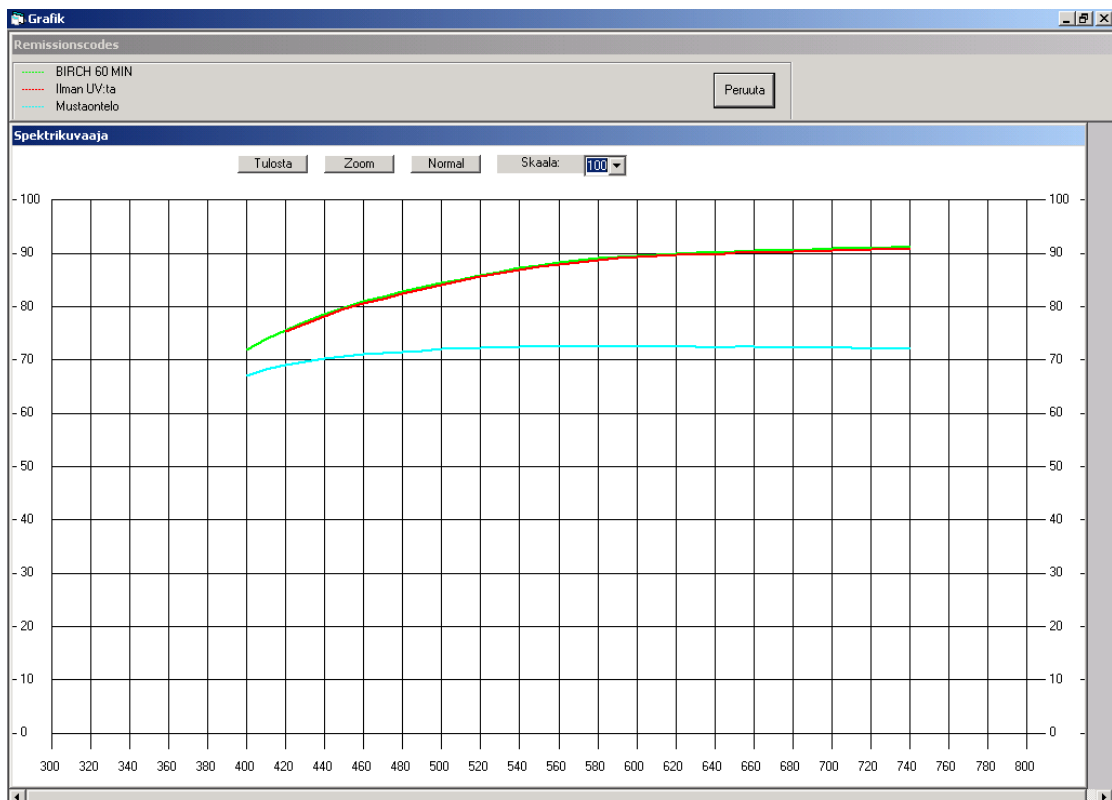
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	82,69	82,35	82,93	0,21
Arvo Y D65	87,23	86,84	87,49	0,23
Arvo Z D65	85,63	85,34	85,99	0,24
Arvo L* D65	94,84	94,67	94,95	0,10
Arvo a* D65	-0,03	-0,09	0,03	0,05
Arvo b* D65	5,59	5,49	5,72	0,09
Valkoisuus CIE + UV	61,79	61,21	62,38	0,45
Valkoisuus CIE - UV	61,32	60,79	61,88	0,43
R457 UV:n kanssa	80,43	80,15	80,75	0,22
R457 ilman UV:tä	80,07	79,80	80,40	0,22
hallitseva aallonpituus	575,5	575,3	575,6	0,1
Ärsykepuhtaus	5,45	5,36	5,53	0,07
Sirontakerroin	25,72	25,30	26,06	0,30
Absorptiokerroin	0,22	0,22	0,23	0,00
Opasiteetti	82,59	82,25	82,86	0,24

Kuva 2/7. Koivuselluarkin (jauhatusaika 60 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/8. Koivuselluarkin (jauhatusaika 60 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA 5 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

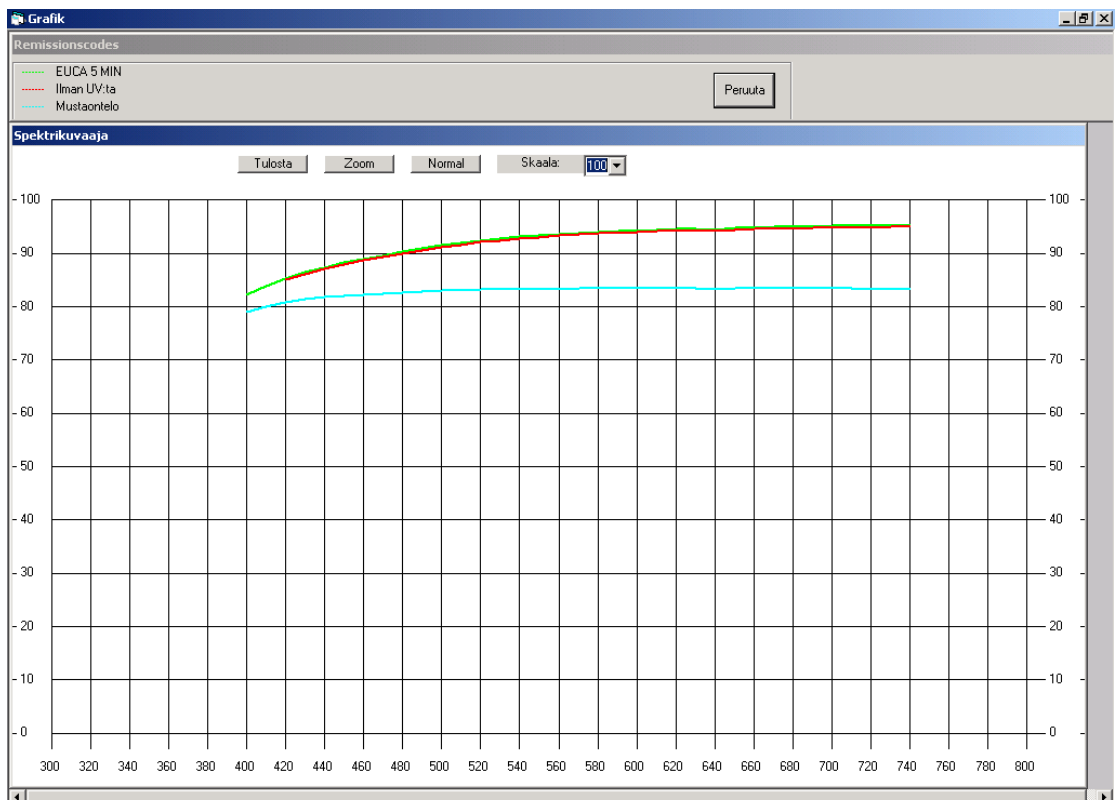
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	88,03	88,01	88,09	0,03
Arvo Y D65	93,02	93,00	93,07	0,03
Arvo Z D65	94,65	94,46	94,80	0,12
Arvo L* D65	97,23	97,23	97,26	0,01
Arvo a* D65	-0,29	-0,31	-0,26	0,02
Arvo b* D65	3,43	3,31	3,55	0,08
Valkoisuus CIE + UV	77,71	77,16	78,22	0,34
Valkoisuus CIE - UV	77,28	76,85	77,82	0,32
R457 UV:n kanssa	88,64	88,48	88,78	0,10
R457 ilman UV:tä	88,29	88,18	88,42	0,08
hallitseva aallonpituus	574,3	574,2	574,5	0,1
Ärsykepuhtaus	3,18	3,06	3,29	0,08
Sirontakerroin	50,63	49,18	52,47	1,38
Absorptiokerroin	0,12	0,12	0,13	0,00
Opasiteetti	89,30	88,90	89,77	0,37

Kuva 2/9. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 5 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/10. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 5 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA 20 MIN

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

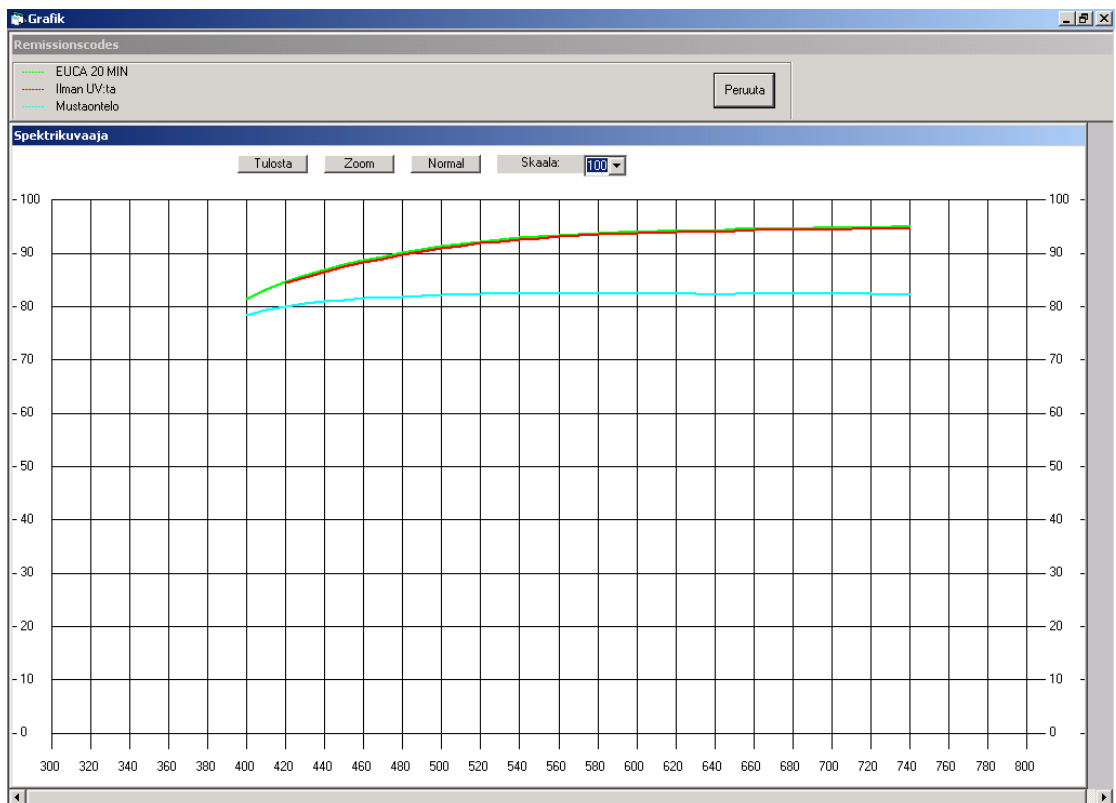
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,77	87,68	87,84	0,07
Arvo Y D65	92,77	92,69	92,86	0,07
Arvo Z D65	94,19	94,06	94,30	0,10
Arvo L* D65	97,13	97,10	97,17	0,03
Arvo a* D65	-0,35	-0,39	-0,28	0,04
Arvo b* D65	3,56	3,48	3,66	0,06
Valkoisuus CIE + UV	76,84	76,40	77,15	0,26
Valkoisuus CIE - UV	76,40	76,03	76,73	0,26
R457 UV:n kanssa	88,24	88,12	88,34	0,09
R457 ilman UV:tä	87,89	87,77	87,98	0,09
hallitseva aallonpituus	574,1	573,9	574,4	0,1
Ärsykepuhtaus	3,26	3,24	3,35	0,04
Sirontakerroin	45,29	44,37	46,27	0,80
Absorptiokerroin	0,12	0,12	0,12	0,00
Opasiteetti	88,58	88,28	88,88	0,25

Kuva 2/11. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 20 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/12. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 20 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA 40 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

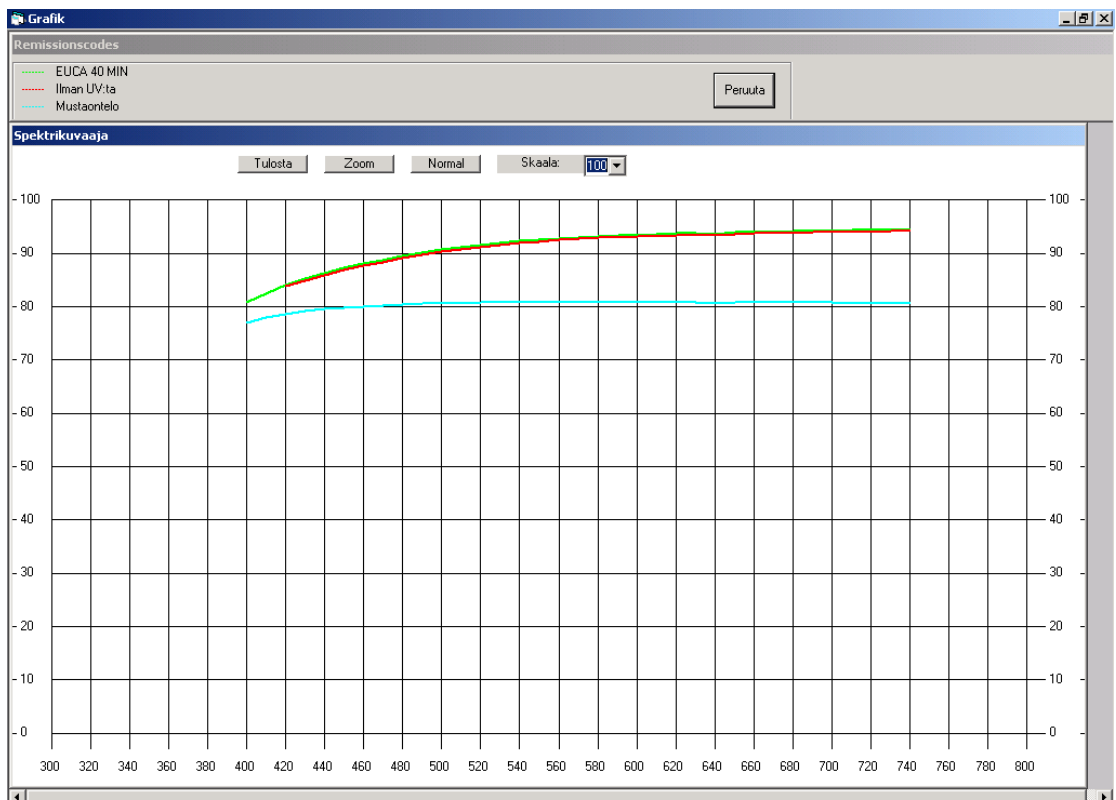
Tallenna

Tietokannasta

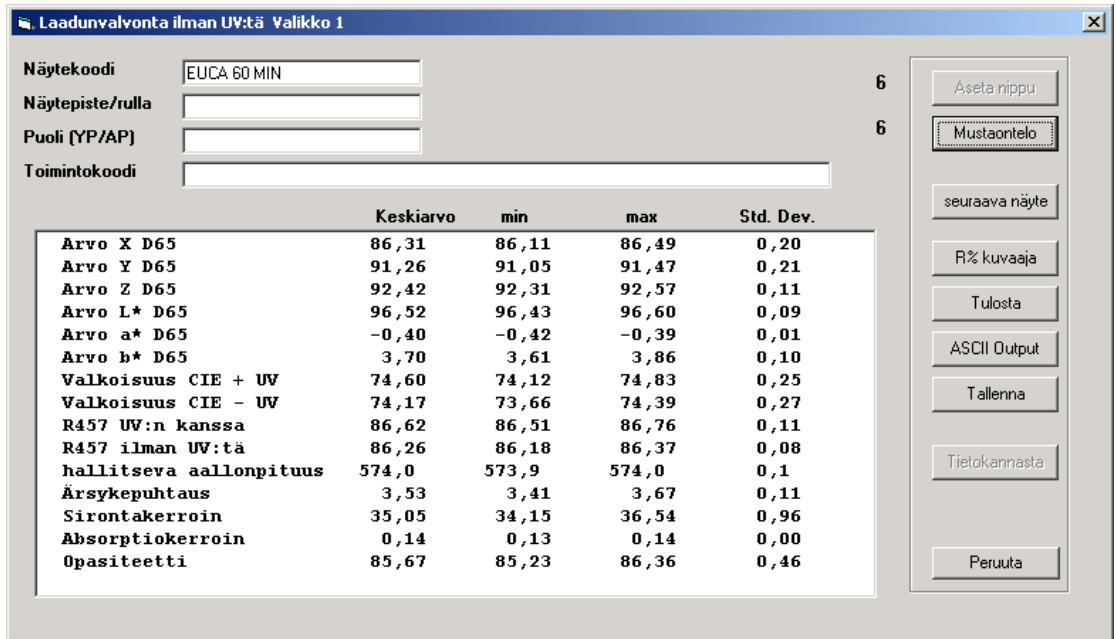
Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,22	87,08	87,36	0,09
Arvo Y D65	92,18	92,02	92,35	0,12
Arvo Z D65	93,54	93,41	93,75	0,13
Arvo L* D65	96,89	96,83	96,96	0,05
Arvo a* D65	-0,33	-0,39	-0,25	0,05
Arvo b* D65	3,59	3,43	3,66	0,09
Valkoisuus CIE + UV	76,11	75,74	76,66	0,35
Valkoisuus CIE - UV	75,66	75,22	76,20	0,35
R457 UV:n kanssa	87,64	87,50	87,84	0,13
R457 ilman UV:tä	87,28	87,13	87,46	0,13
hallitseva aallonpituus	574,2	574,0	574,5	0,2
Ärsykepuhtaus	3,31	3,17	3,47	0,11
Sirontakerroin	41,44	40,70	43,39	1,00
Absorptiokerroin	0,13	0,13	0,13	0,00
Opasiteetti	87,41	87,14	88,11	0,36

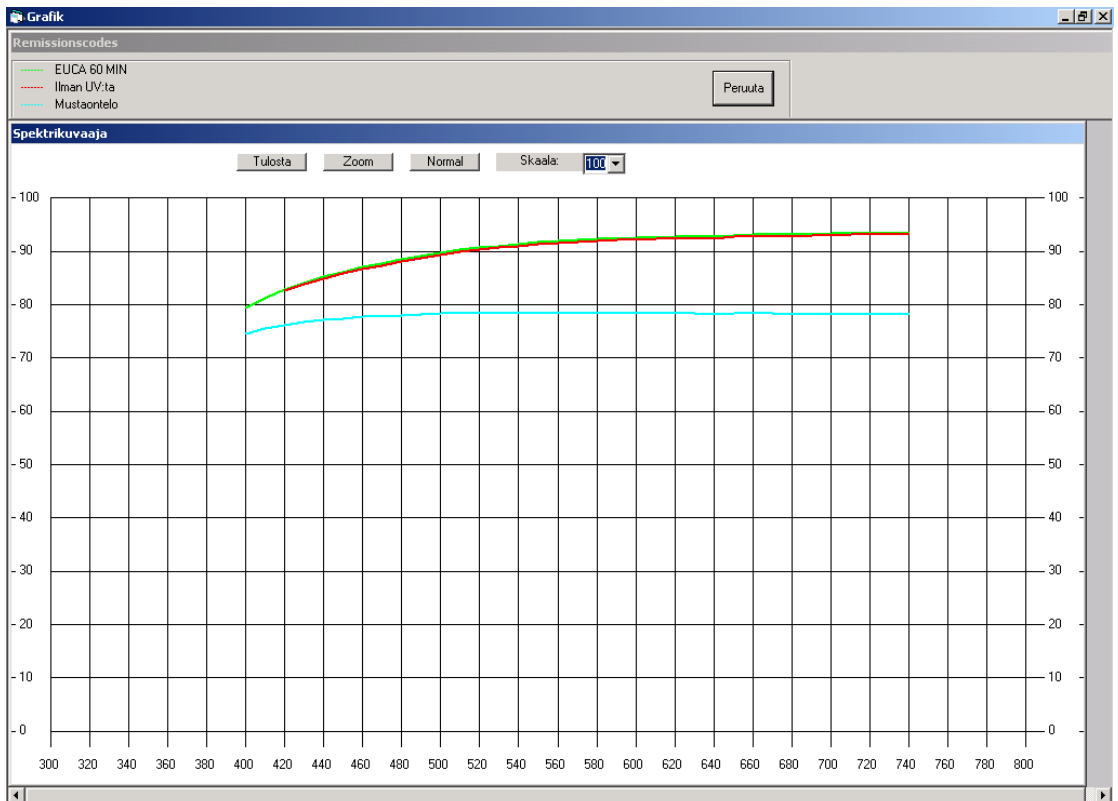
Kuva 2/13. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 40 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/14. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 40 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009



Kuva 2/15. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 60 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/16. Eukalyptusselluarkin (jauhatusaika 60 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA 5 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

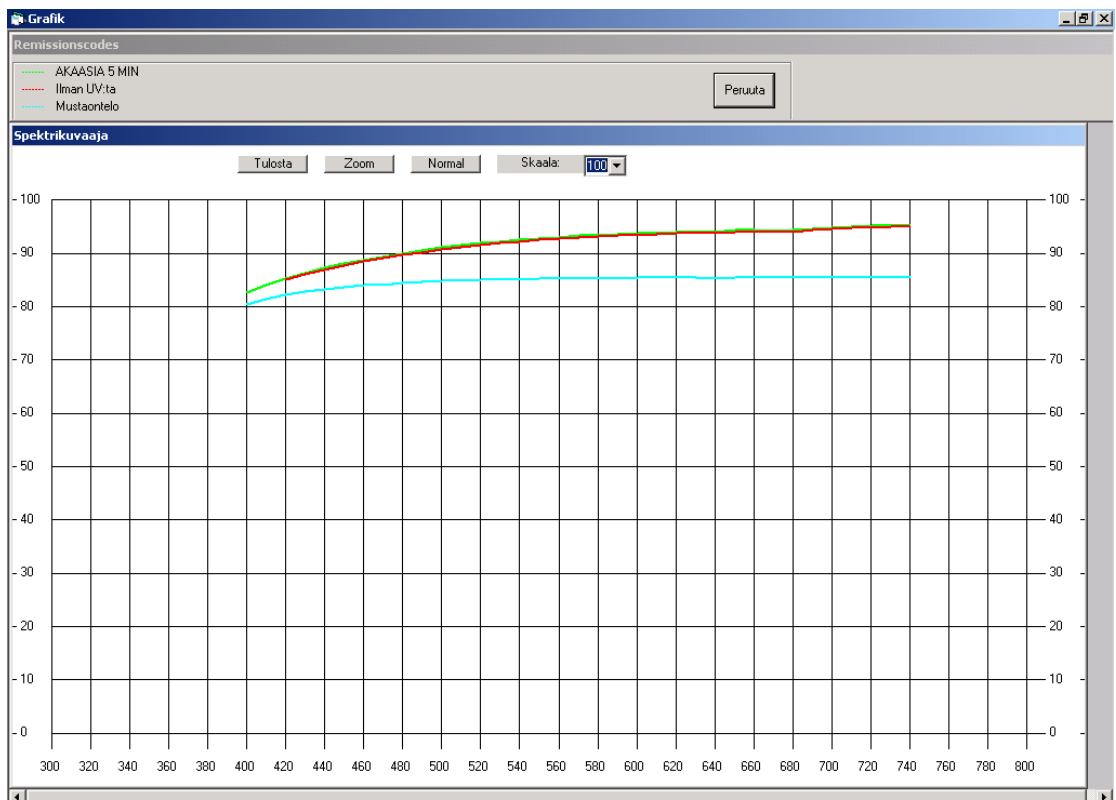
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,59	87,01	87,83	0,30
Arvo Y D65	92,50	91,82	92,75	0,35
Arvo Z D65	94,46	94,21	94,64	0,16
Arvo L* D65	97,02	96,75	97,13	0,14
Arvo a* D65	-0,20	-0,28	-0,09	0,07
Arvo b* D65	3,19	2,88	3,32	0,16
Valkoisuus CIE + UV	78,22	77,85	78,90	0,37
Valkoisuus CIE - UV	77,86	77,58	78,53	0,35
R457 UV:n kanssa	88,43	88,17	88,61	0,16
R457 ilman UV:tä	88,12	87,87	88,29	0,16
hallitseva aallonpituus	574,7	574,3	575,3	0,4
Ärsykepuhtaus	3,03	2,72	3,14	0,15
Sirontakerroin	60,23	56,95	63,02	2,06
Absorptiokerroin	0,17	0,16	0,18	0,01
Opasiteetti	91,84	91,18	92,36	0,40

Kuva 2/17. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 5 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 1.4.2009



Kuva 2/18. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 5 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 1.4.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA 20 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

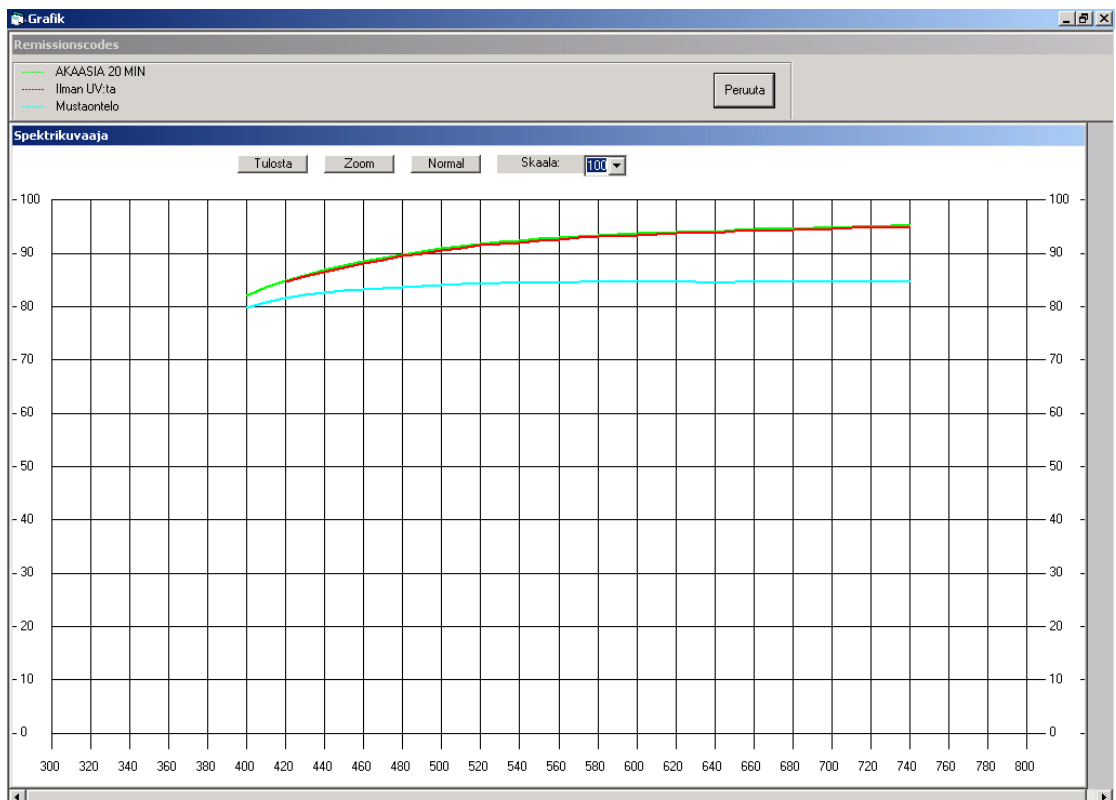
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,49	87,35	87,59	0,08
Arvo Y D65	92,39	92,23	92,49	0,09
Arvo Z D65	94,09	93,88	94,33	0,16
Arvo L* D65	96,98	96,92	97,02	0,04
Arvo a* D65	-0,18	-0,20	-0,16	0,01
Arvo b* D65	3,36	3,18	3,48	0,11
Valkoisuus CIE + UV	77,34	76,77	77,99	0,48
Valkoisuus CIE - UV	76,94	76,35	77,63	0,49
R457 UV:n kanssa	88,11	87,92	88,32	0,14
R457 ilman UV:tä	87,77	87,57	87,95	0,14
hallitseva aallonpituus	574,9	574,8	575,0	0,1
Ärsykepuhtaus	3,22	3,05	3,32	0,11
Sirontakerroin	54,98	53,84	55,89	0,78
Absorptiokerroin	0,16	0,16	0,16	0,00
Opasiteetti	91,16	90,91	91,36	0,17

Kuva 2/19. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 20 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 1.4.2009



Kuva 2/20. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 20 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 1.4.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA 40 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

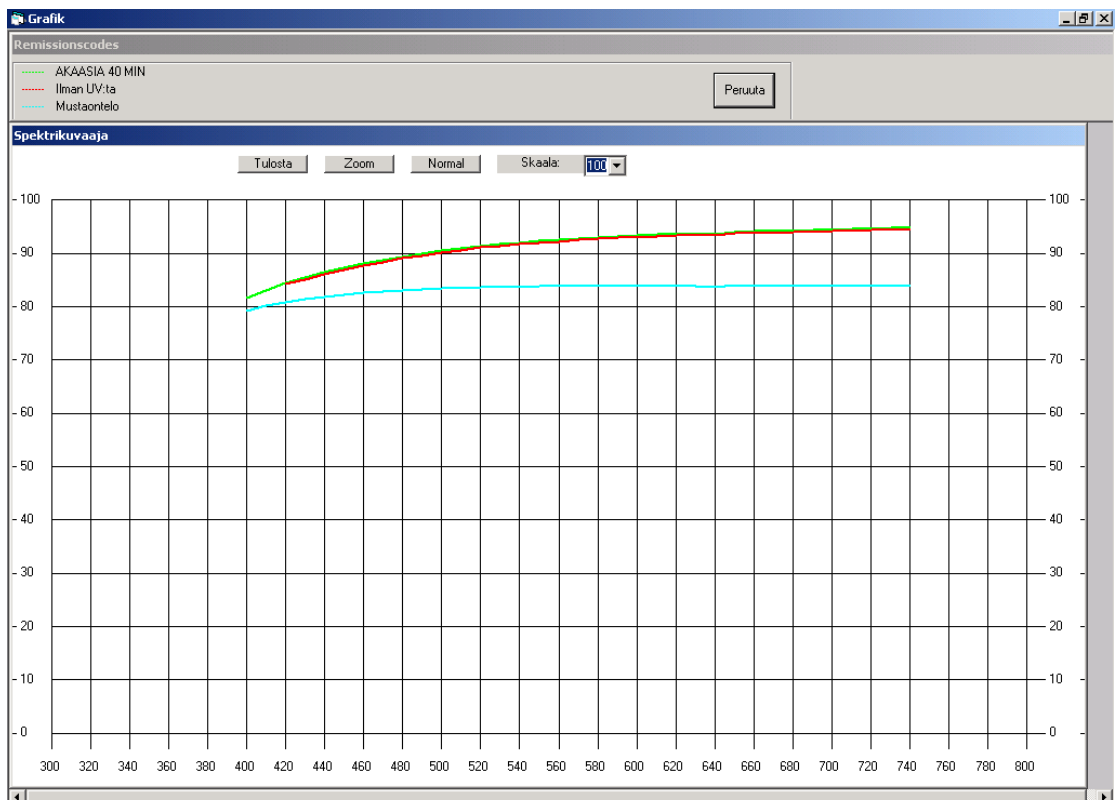
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	87,13	87,03	87,24	0,07
Arvo Y D65	92,00	91,91	92,14	0,08
Arvo Z D65	93,61	93,50	93,76	0,09
Arvo L* D65	96,82	96,78	96,88	0,03
Arvo a* D65	-0,19	-0,22	-0,17	0,02
Arvo b* D65	3,42	3,38	3,44	0,02
Valkoisuus CIE + UV	76,68	76,56	76,84	0,12
Valkoisuus CIE - UV	76,29	76,14	76,48	0,14
R457 UV:n kanssa	87,66	87,57	87,80	0,08
R457 ilman UV:tä	87,33	87,26	87,47	0,08
hallitseva aallonpituus	574,8	574,7	574,9	0,1
Ärsykepuhtaus	3,27	3,23	3,31	0,03
Sirontakerroin	51,06	49,73	52,37	0,88
Absorptiokerroin	0,17	0,16	0,17	0,00
Opasiteetti	90,73	90,39	91,05	0,22

Kuva 2/21. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 40 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 1.4.2009



Kuva 2/22. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 40 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 1.4.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA 60 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

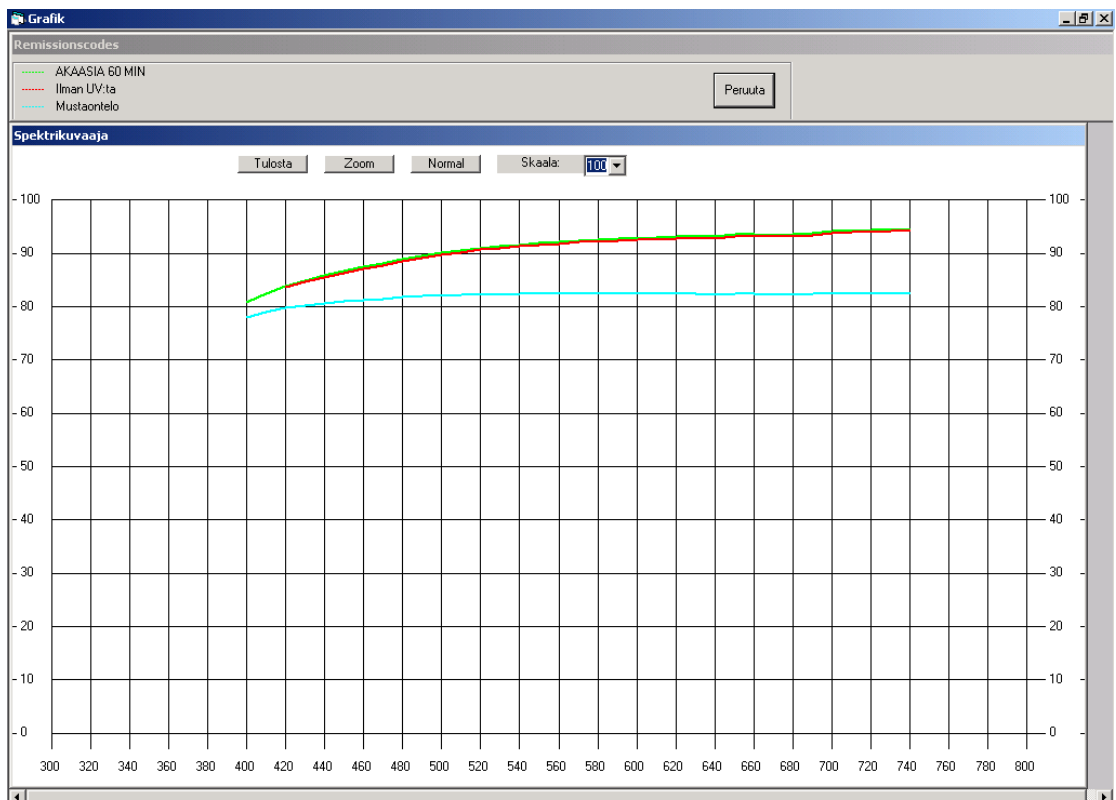
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,66	86,41	86,79	0,14
Arvo Y D65	91,56	91,31	91,70	0,15
Arvo Z D65	93,04	92,90	93,24	0,11
Arvo L* D65	96,64	96,54	96,70	0,06
Arvo a* D65	-0,28	-0,34	-0,24	0,04
Arvo b* D65	3,49	3,41	3,61	0,08
Valkoisuus CIE + UV	75,87	75,47	76,23	0,26
Valkoisuus CIE - UV	75,47	75,15	75,79	0,24
R457 UV:n kanssa	87,14	87,00	87,33	0,11
R457 ilman UV:tä	86,80	86,68	86,97	0,10
hallitseva aallonpituus	574,5	574,2	574,6	0,2
Ärsykepuhtaus	3,28	3,17	3,35	0,07
Sirontakerroin	47,04	46,46	47,77	0,50
Absorptiokerroin	0,17	0,17	0,17	0,00
Opasiteetti	89,69	89,52	89,90	0,15

Kuva 2/23. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 60 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 1.4.2009



Kuva 2/24. Akasiaselluarkin (jauhatusaika 60 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 1.4.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BAMBU 5 MIN

Näytepiste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

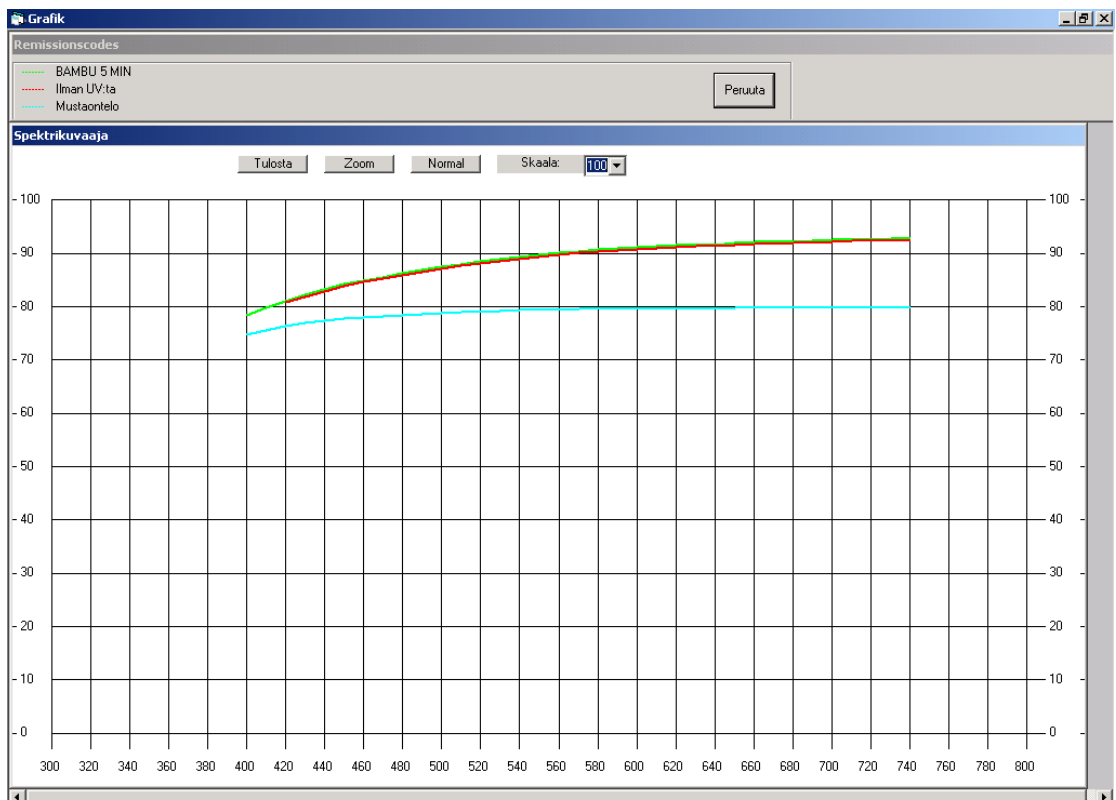
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,80	84,68	84,88	0,07
Arvo Y D65	89,41	89,27	89,51	0,08
Arvo Z D65	90,25	90,11	90,36	0,12
Arvo L* D65	95,75	95,69	95,79	0,04
Arvo a* D65	0,04	0,00	0,08	0,03
Arvo b* D65	3,89	3,79	3,97	0,06
Valkoisuus CIE + UV	71,85	71,47	72,23	0,29
Valkoisuus CIE - UV	71,45	71,11	71,86	0,28
R457 UV:n kanssa	84,55	84,41	84,65	0,11
R457 ilman UV:tä	84,21	84,08	84,31	0,10
hallitseva aallonpituus	575,8	575,7	576,0	0,1
Ärsykepuhtaus	3,82	3,70	3,91	0,08
Sirontakerroin	42,81	40,74	43,96	1,32
Absorptiokerroin	0,25	0,24	0,26	0,01
Opasiteetti	88,44	87,65	88,85	0,49

Kuva 2/25. Bambuselluarkin (jauhatusaika 5 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/26. Bambuselluarkin (jauhatusaika 5 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BAMBU 20 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

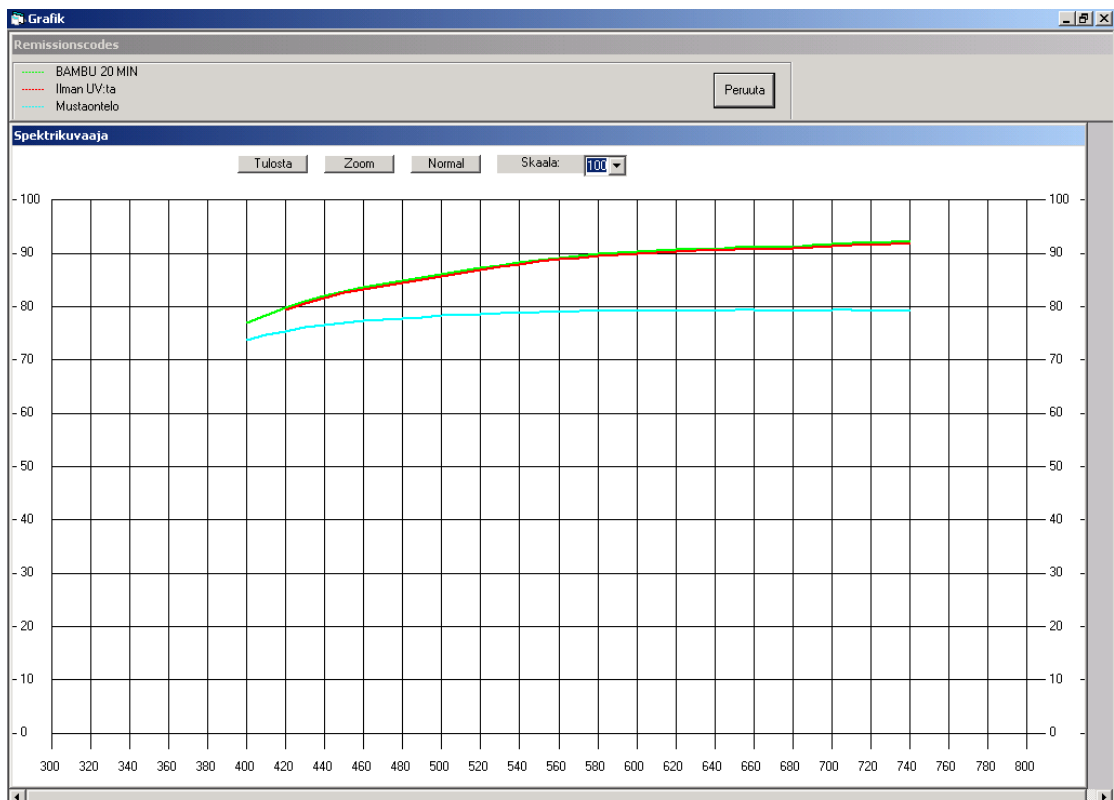
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	83,87	83,57	84,15	0,22
Arvo Y D65	88,36	87,92	88,70	0,28
Arvo Z D65	88,83	88,52	89,25	0,33
Arvo L* D65	95,31	95,13	95,45	0,12
Arvo a* D65	0,18	0,11	0,40	0,11
Arvo b* D65	4,12	3,89	4,33	0,17
Valkoisuus CIE + UV	69,67	68,69	70,34	0,75
Valkoisuus CIE - UV	69,29	68,42	70,00	0,71
R457 UV:n kanssa	83,22	82,96	83,62	0,30
R457 ilman UV:tä	82,90	82,64	83,30	0,31
hallitseva aallonpituus	576,3	576,0	577,0	0,4
Ärsykepuhtaus	4,02	3,83	4,18	0,15
Sirontakerroin	39,88	36,75	41,23	1,61
Absorptiokerroin	0,29	0,27	0,30	0,01
Opasiteetti	88,93	87,62	89,44	0,66

Kuva 2/27. Bambuselluarkin (jauhatusaika 20 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



Kuva 2/28. Bambuselluarkin (jauhatusaika 20 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: BAMBU 40 MIN

Näytepiste/rolla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

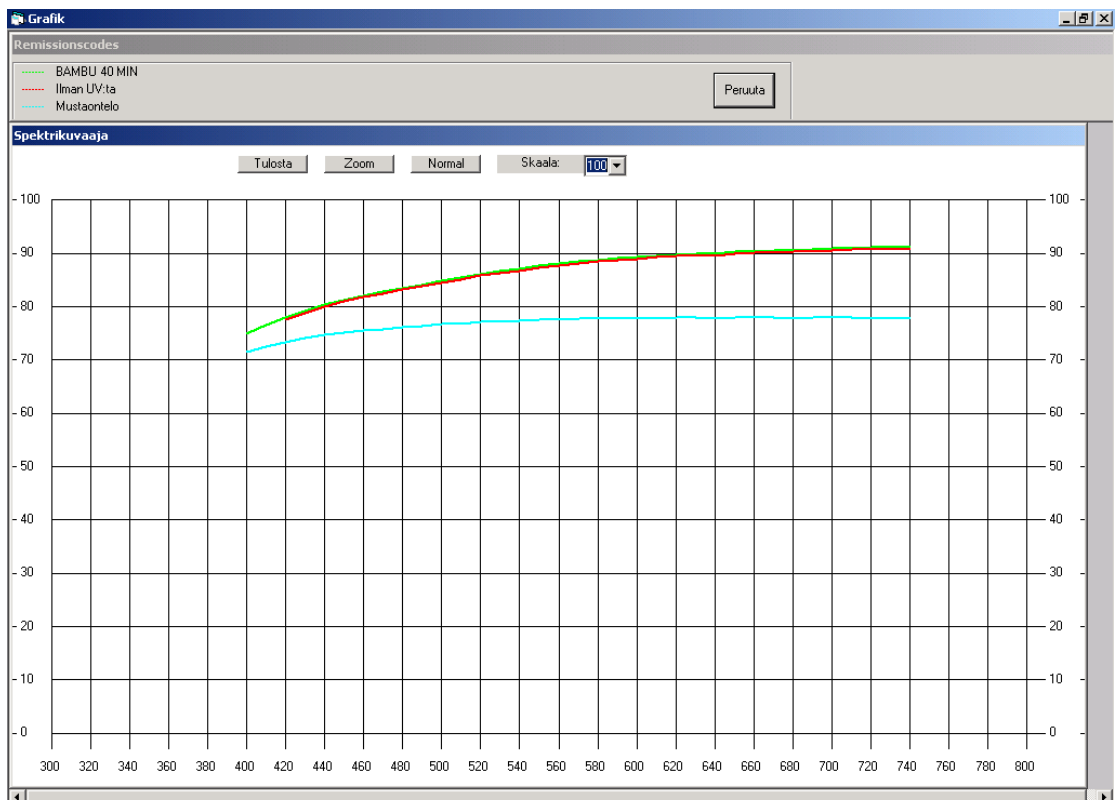
Tallenna

Tietokannasta

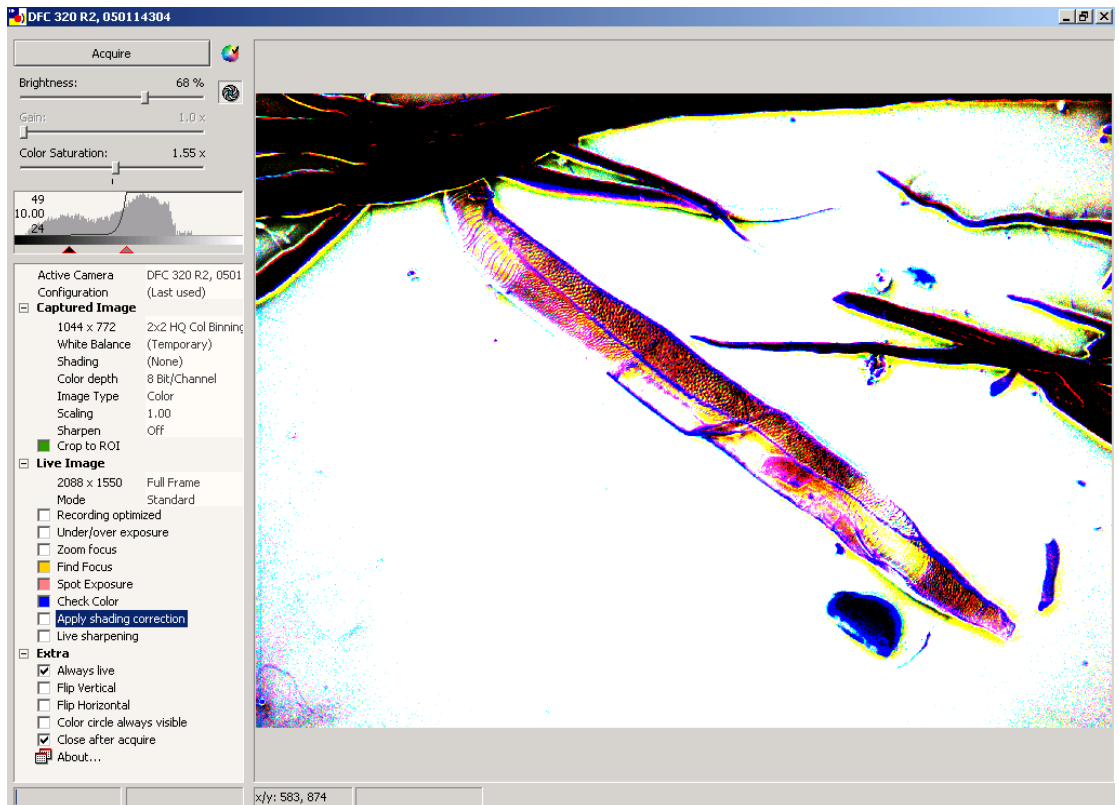
Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	82,80	82,54	82,92	0,14
Arvo Y D65	87,25	86,97	87,36	0,15
Arvo Z D65	87,13	86,56	87,36	0,32
Arvo L* D65	94,84	94,73	94,89	0,06
Arvo a* D65	0,16	0,14	0,18	0,01
Arvo b* D65	4,53	4,43	4,73	0,12
Valkoisuus CIE + UV	66,64	65,41	67,17	0,69
Valkoisuus CIE - UV	66,28	64,96	66,81	0,71
R457 UV:n kanssa	81,67	81,16	81,88	0,28
R457 ilman UV:tä	81,34	80,80	81,56	0,30
hallitseva aallonpituus	576,1	576,1	576,2	0,0
Ärsykepuhtaus	4,40	4,32	4,61	0,11
Sirontakerroin	35,81	35,30	37,03	0,63
Absorptiokerroin	0,32	0,31	0,33	0,01
Opasiteetti	88,38	88,14	88,92	0,28

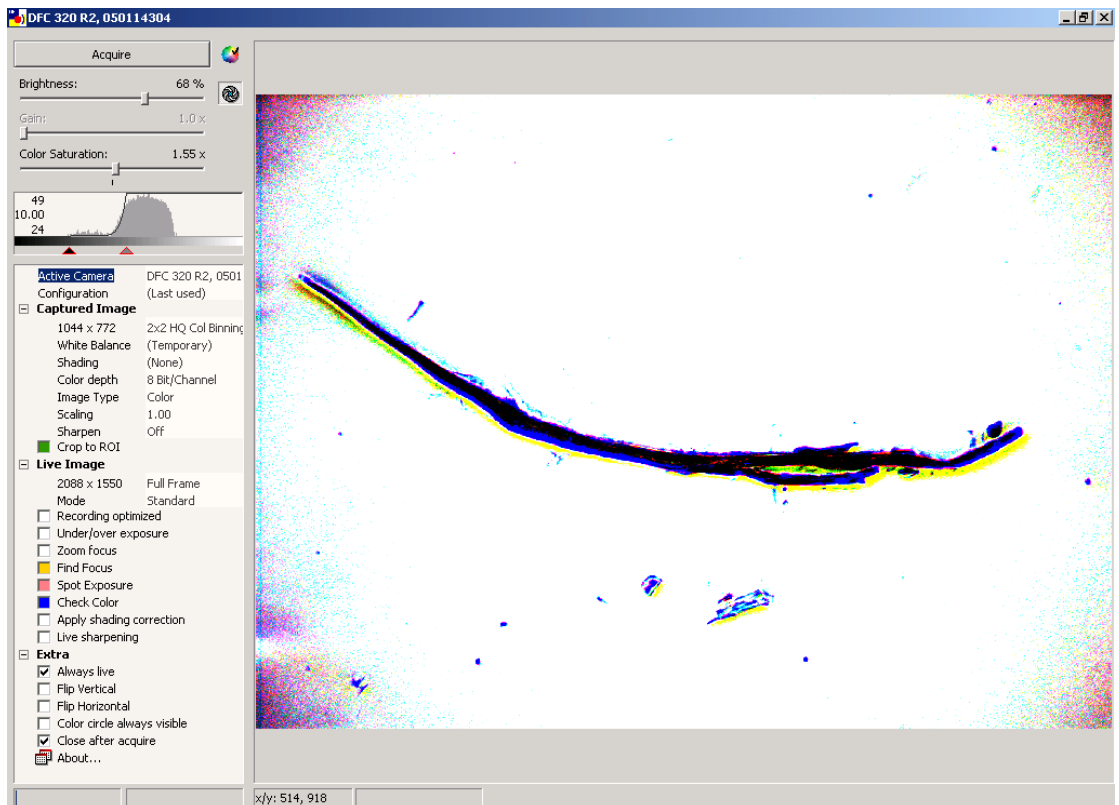
Kuva 2/29. Bambuselluarkin (jauhatusaika 40 min.) optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 12.3.2009



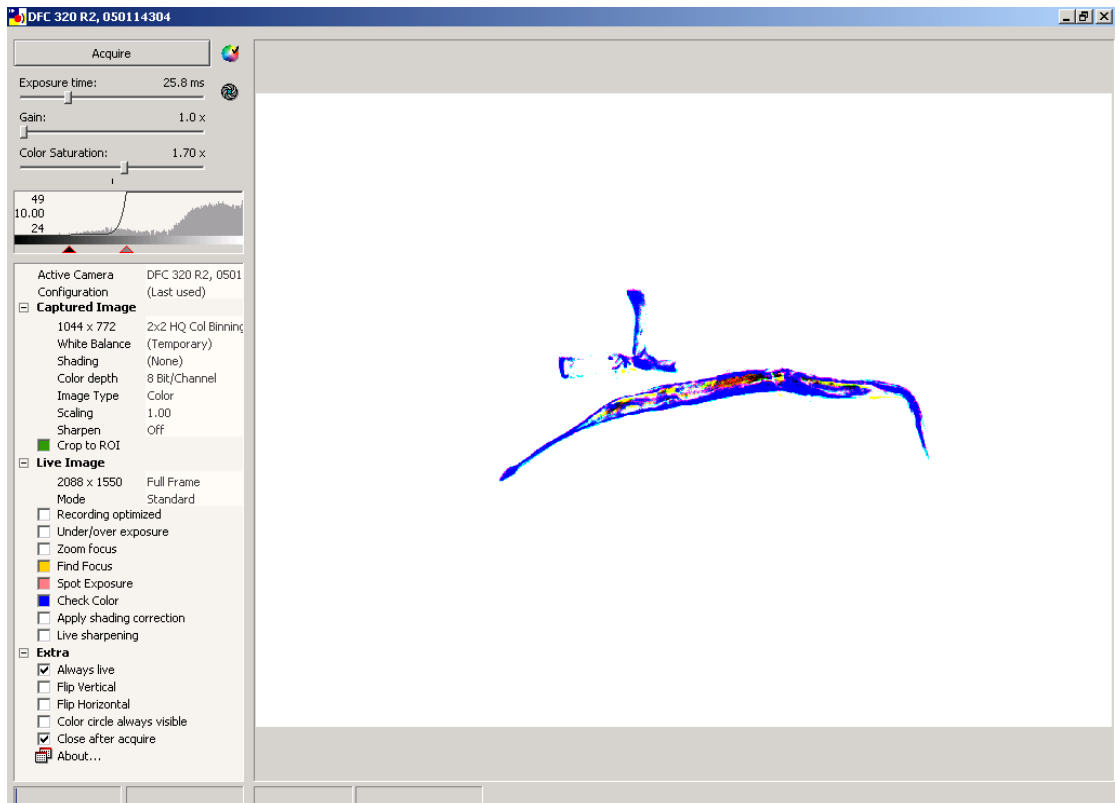
Kuva 2/30. Bambuselluarkin (jauhatusaika 40 min.) valon intensiteettijakauma mitattuna Minolta-spektrofotometrillä aallonpituusalueella 400...780 nm 12.3.2009



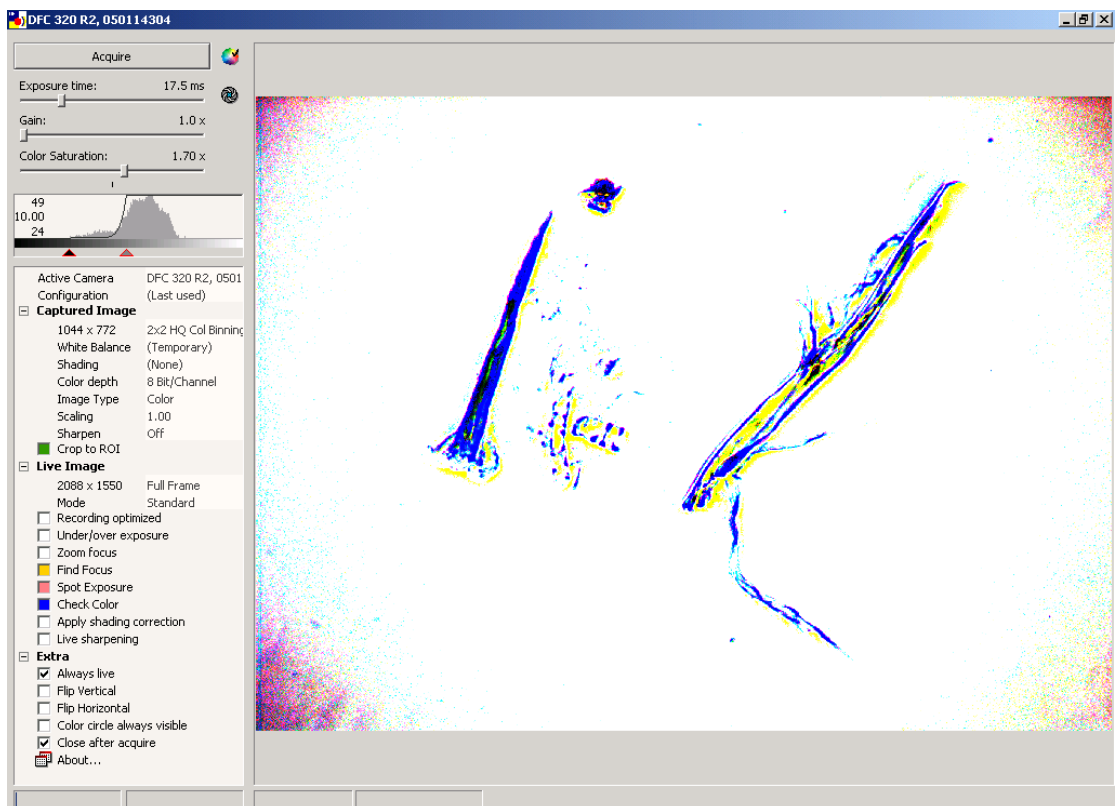
Kuva 3/1. Koivunäyte, jauhettu 5 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10



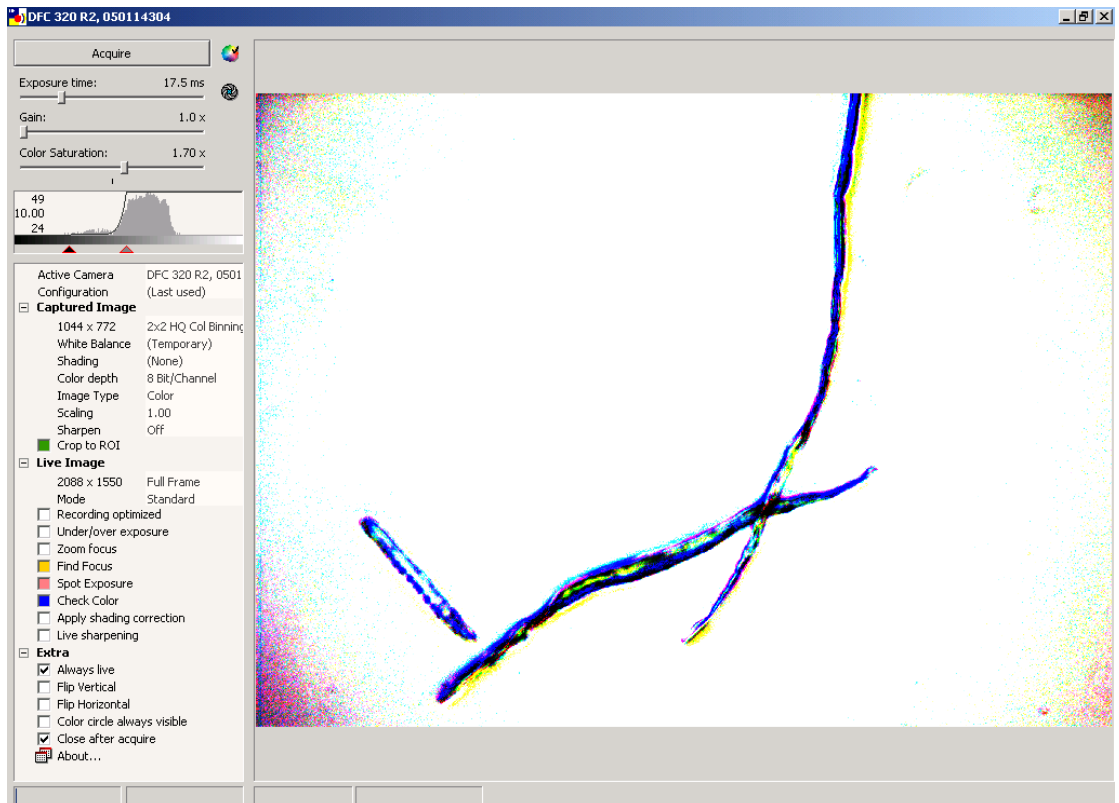
Kuva 3/2. Koivunäyte, jauhettu 20 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10



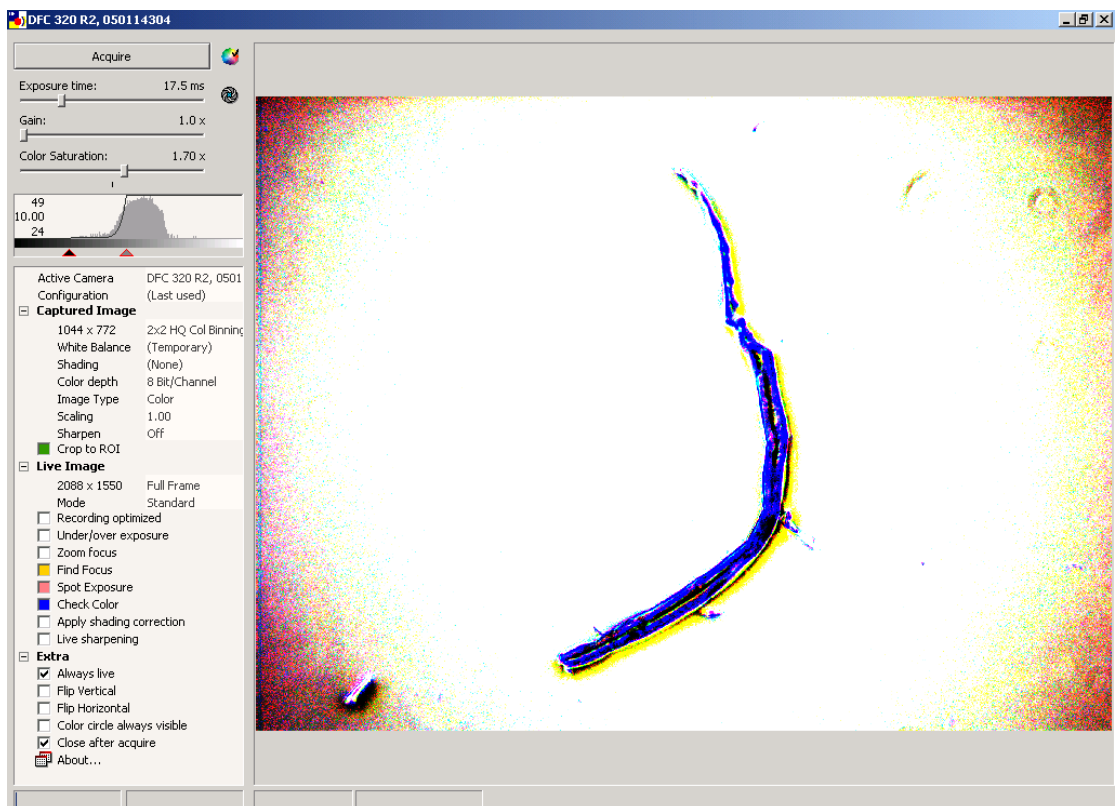
Kuva 3/3. Koivunäyte, jauhettu 40 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



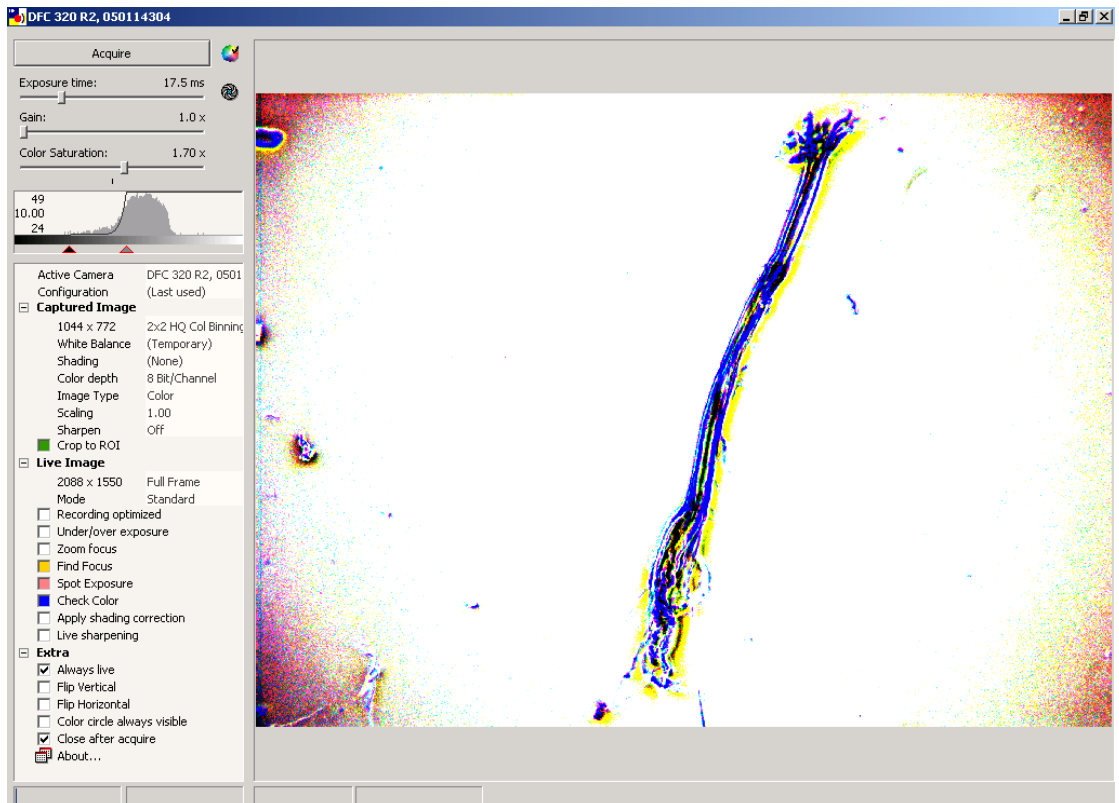
Kuva 3/4. Koivunäyte, jauhettu 60 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



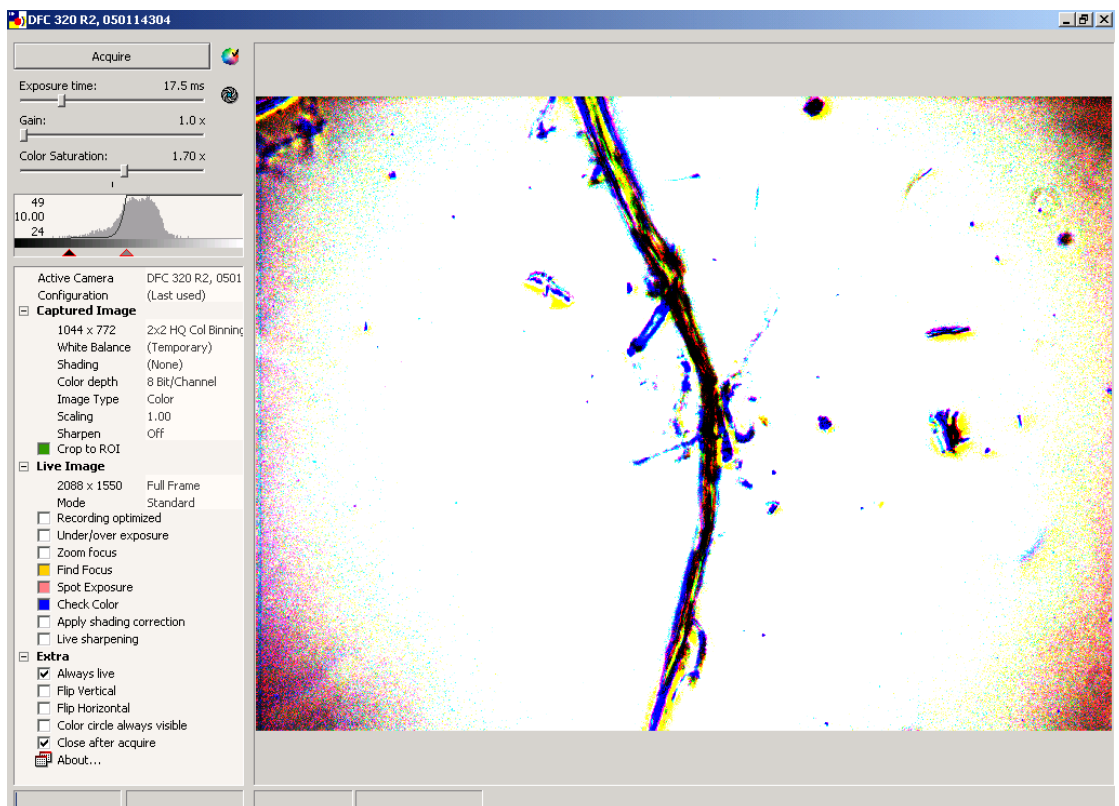
Kuva 3/5. Eukalyptusnäyte, jauhettu 5 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyä) 10 X 10



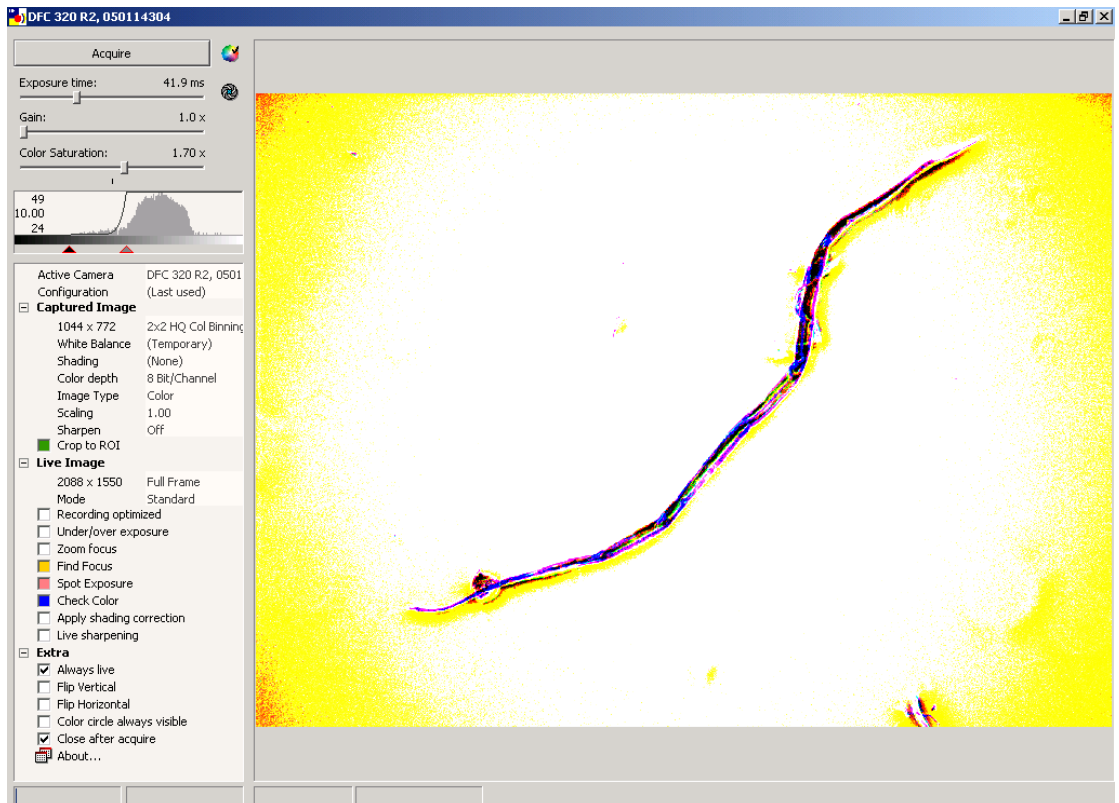
Kuva 3/6. Eukalyptusnäyte, jauhettu 20 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyä) 10 X 10



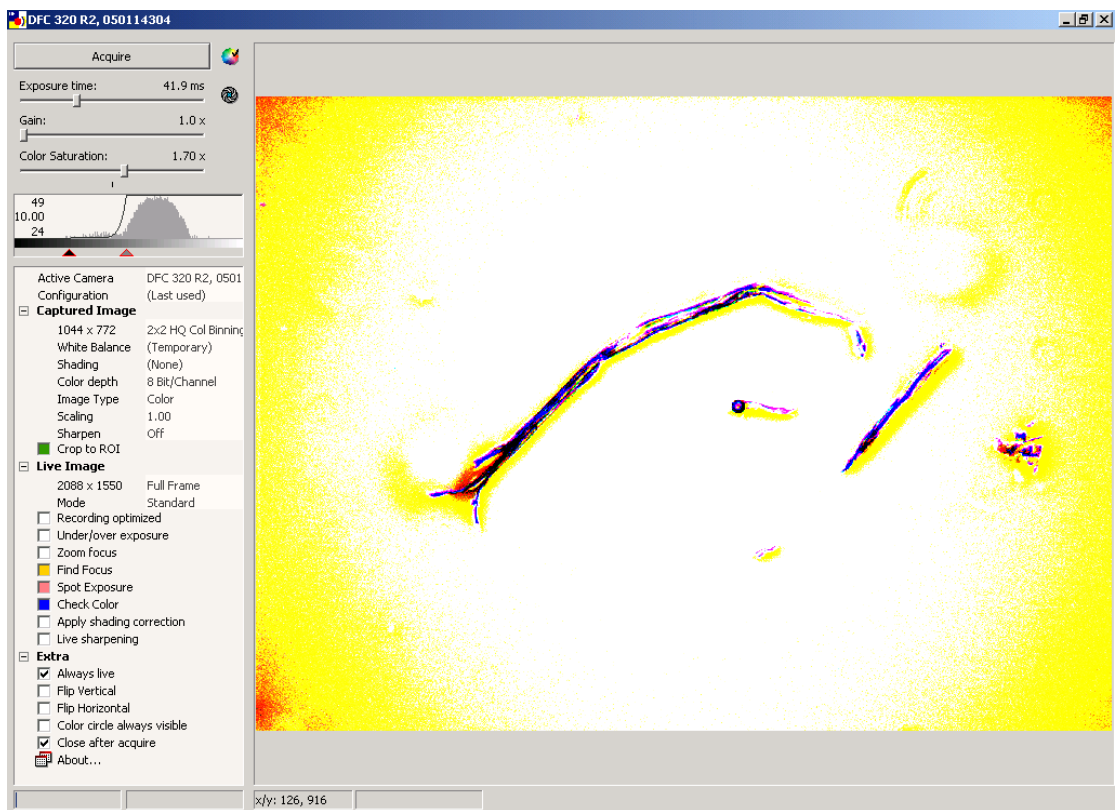
Kuva 3/7. Eukalyptusnäyte, jauhettu 40 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä) 10 X 10



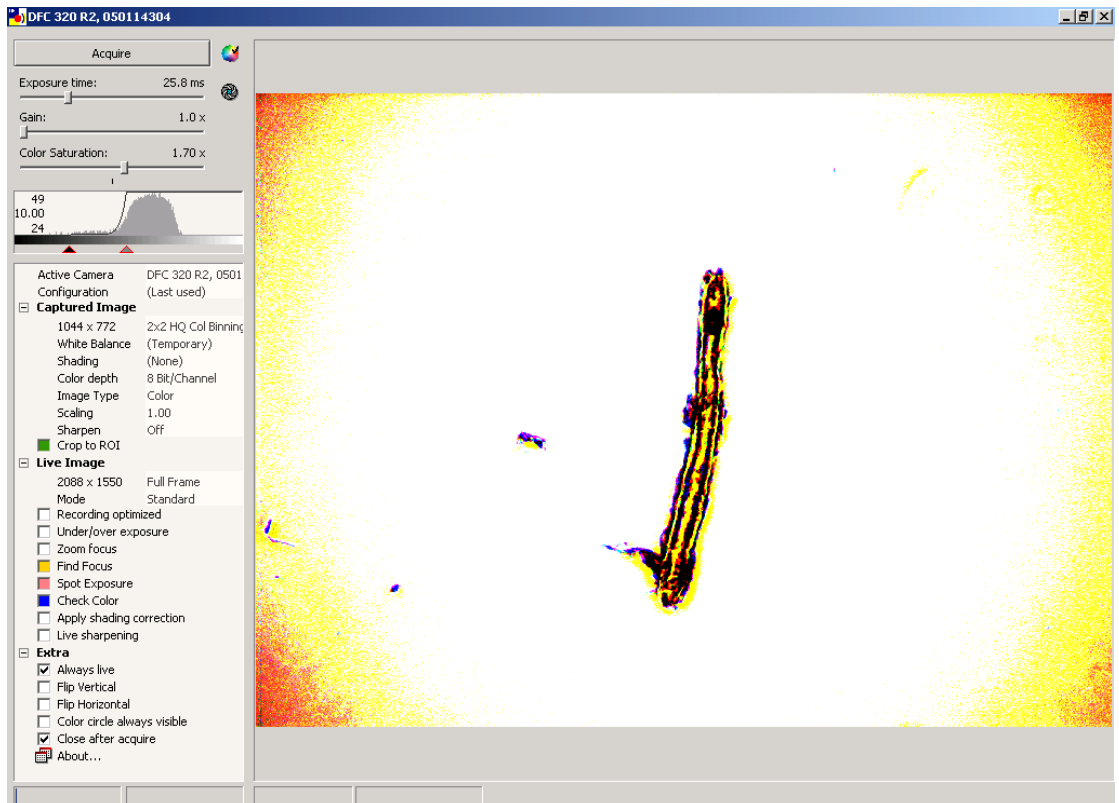
Kuva 3/8. Eukalyptusnäyte, jauhettu 60 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä) 10 X 10



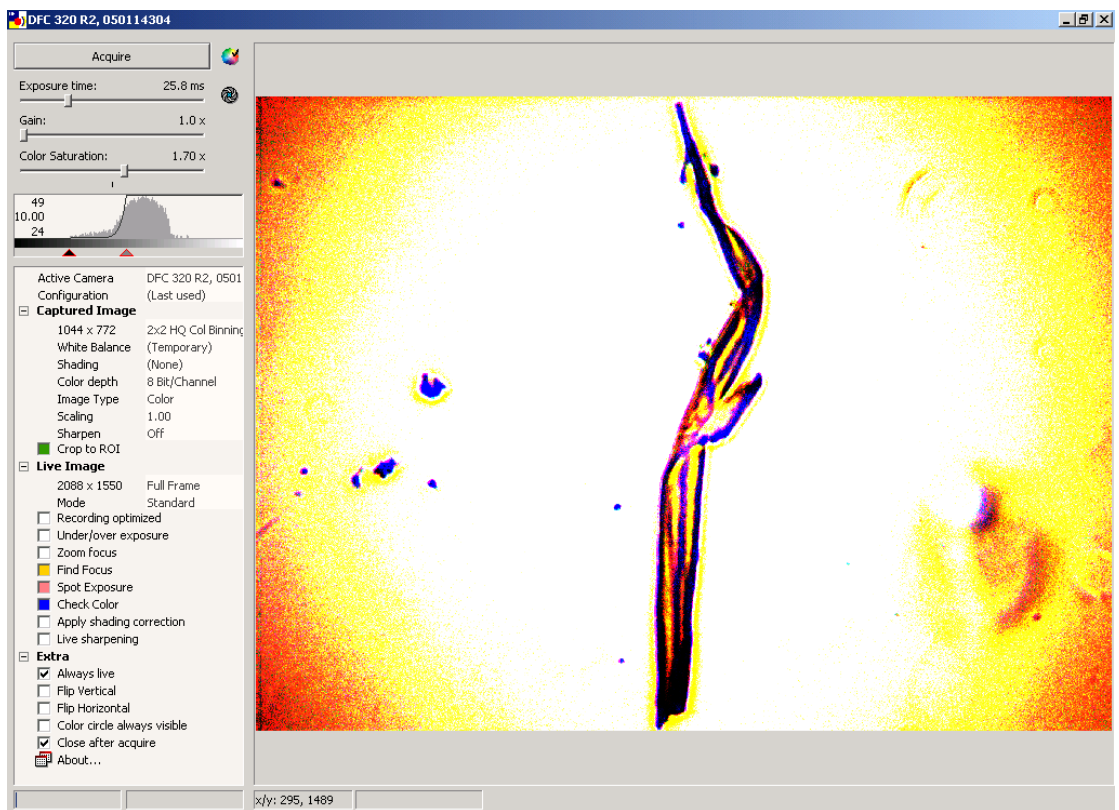
Kuva 3/9. Akasianäyte, jauhettu 5 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10



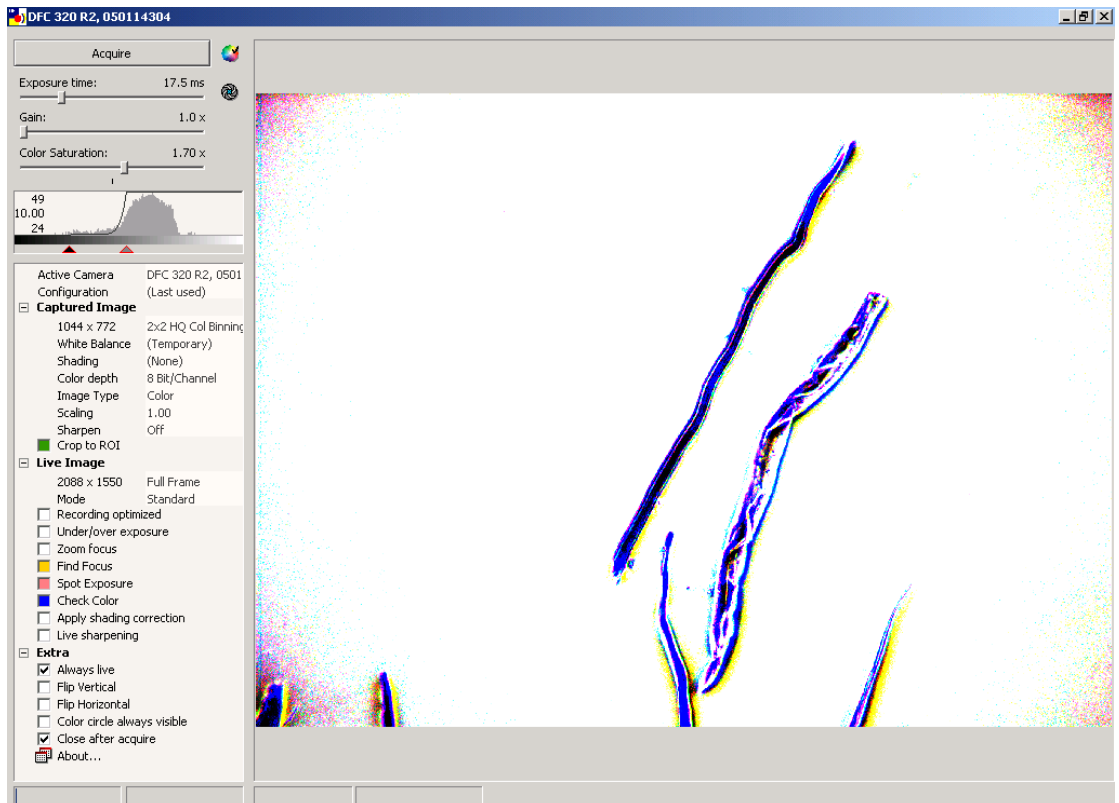
Kuva 3/10. Akasianäyte, jauhettu 20 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10



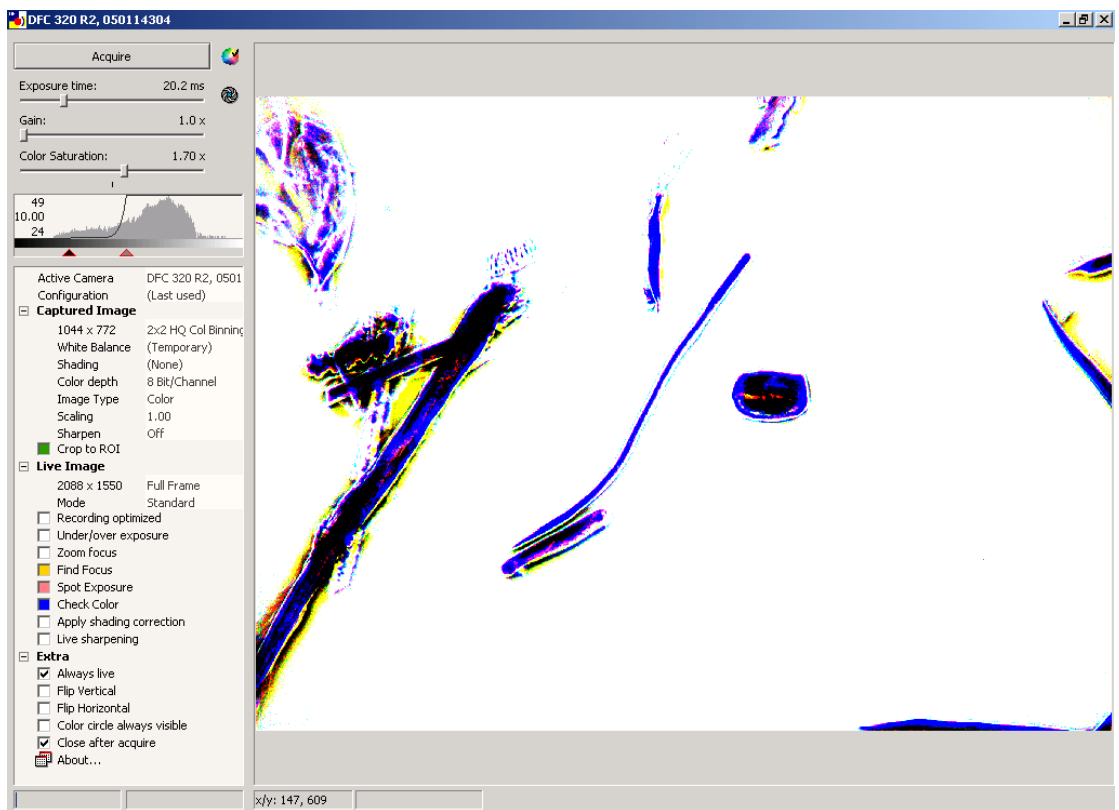
Kuva 3/11. Akasianäyte, jauhettu 40 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



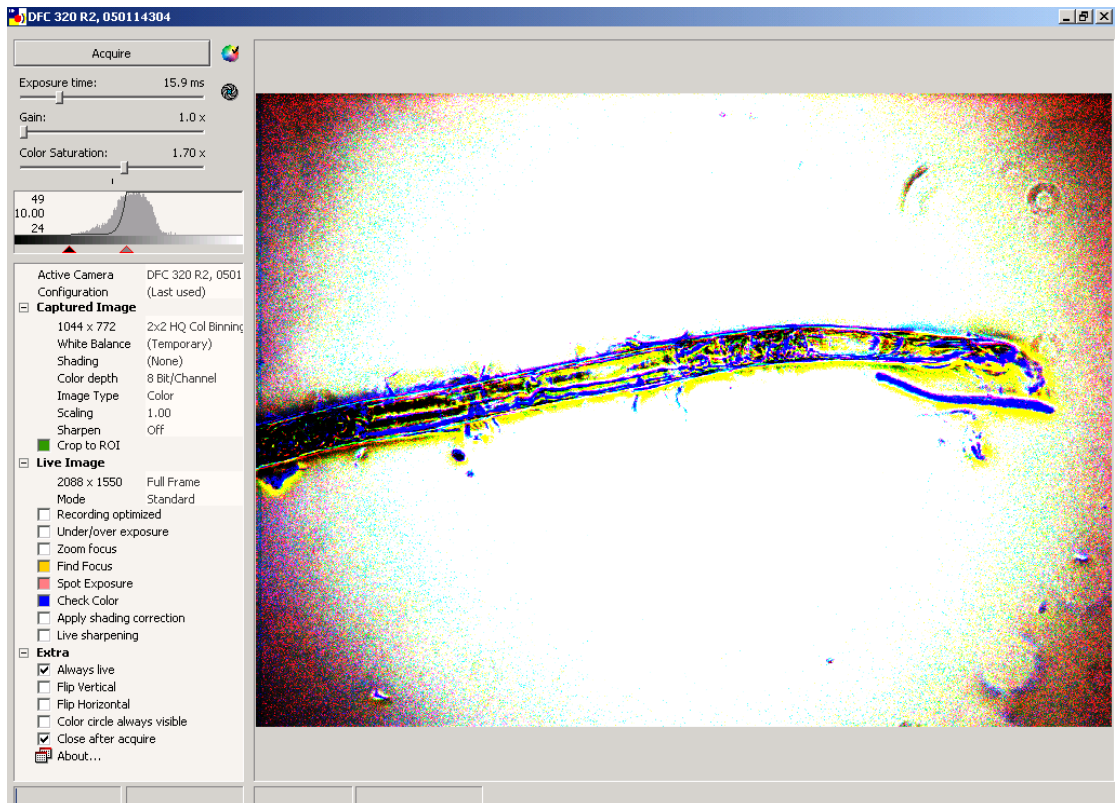
Kuva 3/12. Akasianäyte, jauhettu 60 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



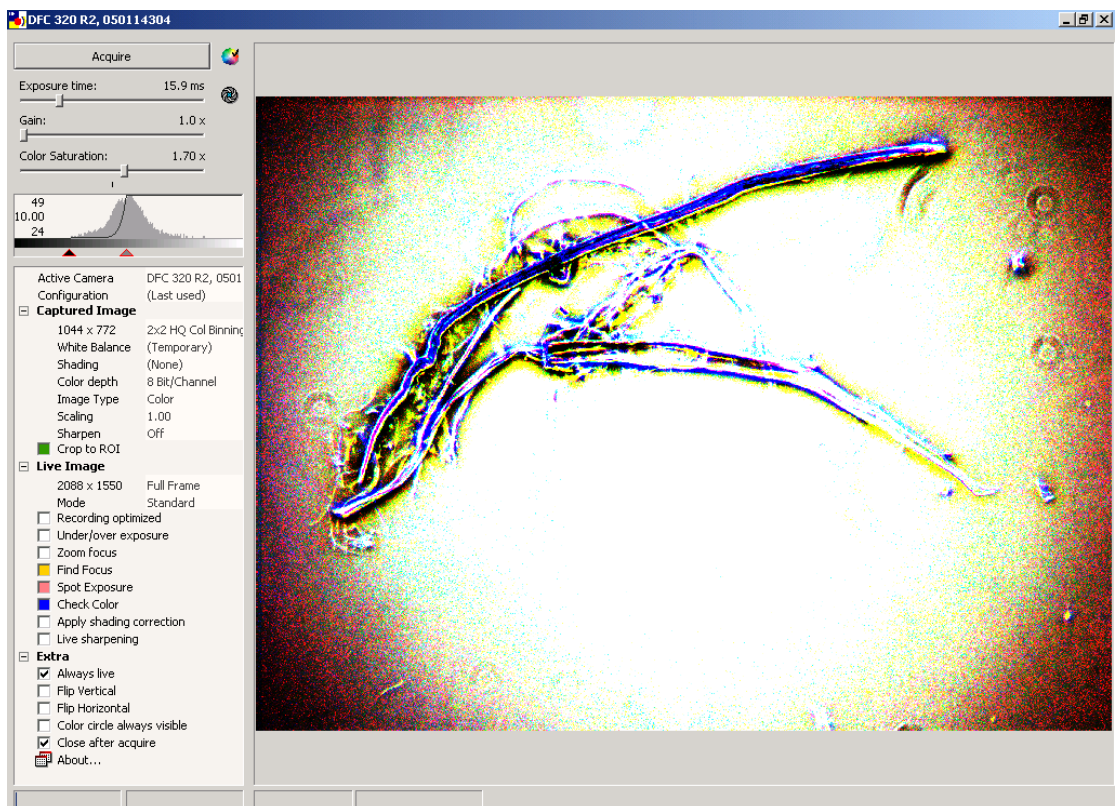
Kuva 3/13. Bambunäyte, jauhettu 5 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



Kuva 3/14. Bambunäyte, jauhettu 20 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjättyinä)
10 X 10



Kuva 3/15. Bambunäyte, jauhettu 40 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10



Kuva 3/16. Bambunäyte, jauhettu 60 minuuttia (Graffit-C-reagenssilla värjätynä)
10 X 10