

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi/paperi- ja kartonkituotteiden markkinointi

Ville Virtanen

SULFAATTIMASSOJEN KÄYTTÖ PAINOPAPERIEN VALMISTUKSESSA

Opinnäytetyö 2011

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

VIRTANEN, VILLE PONTUS

Seosmassojen käyttö painopapereitten valmistuksessa

Opinnäytetyö

33 sivua ja 24 liitesivua

Työn ohjaaja

Kauko Mononen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2011

Avainsanat

seosmassa, mäntymassa, koivumassa, eukalyptusmassa

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia erilaisten puulajien sellumassoista valmistettujen paperiarkkien vaikutusta painopapereitten valmistuksessa. Puulajit olivat koivu, mänty ja eukalyptus. Työssä verrataan eri seosmassojen vaikutusta toisiinsa ja sitä, kuinka ne vaikuttavat painopaperin valmistuksessa paperin ominaisuuksiin. Työn tärkeimpänä tutkimuskohteena oli jauhatusajan vaikutus näytearkkien paperitekniisiin ominaisuuksiin. Arkkeja jauhettiin viiden, kahdenkymmenen, neljäkymmenen sekä kuudenkymmenen minuutin välein.

Paperiarkkien valmistaminen suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteen laboratoriossa keväällä 2010. Arkkien työstämisessä käytettiin standardeja ja ainoastaan kalibroituja mittalaitteita.

Tutkimusten tarkoituksena ei ollut löytää paperiominaisuuksiltaan parasta seosmassaa, sillä jokaisella massalla on omat vahvuutensa. Tarkoituksena oli tutkia ja vertailla eri massojen ominaisuuksia ja niiden eroja.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Forest Products Marketing

VIRTANEN, VILLE PONTUS

Comparing Paper Technical Properties of  
Tropical, Birch- based and Pine- based Pulps  
33 pages and 24 pages appendices

Bachelor's Thesis

Supervisor

Kauko Mononen, LicSc

Commissioned by

Kymenlaakso University of Applied Sciences

May 2011

Keywords

birch, eucalyptus, pine, paper technical  
properties

The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the properties of different sulphate pulps. The three species examined and compared to each other were Birch, Pine and Eucalyptus. Sample sheets were made from these three species in order to test the properties in a paper laboratory. The most essential target was to investigate how the beating time of pulp affects technical properties of the paper.

All tests were carried out in the paper laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences during spring 2010. The tested pulps were refined in times of five, twenty, forty and sixty minutes. After refining I processed the pulp into sheets the properties of which I investigated.

The purpose of this Bachelor's thesis was not to find the supreme pulp but to find the differences of these pulps. According to the results of this thesis, in most cases it is necessary to combine the properties of different tree species in order to get the best possible end product.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1.	JOHDANTO .....	6
1.1.	Työn tausta .....	6
1.2.	Työn tavoitteet .....	6
2.	TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS .....	7
3.	TYÖN SIDOSRYHMÄT .....	7
4.	TYÖMENETELMÄT .....	8
4.1.	Kirjallisuus .....	8
4.2.	Taulukointi .....	8
4.3.	Tulosten luotettavuus ja hajonta .....	8
4.4.	Kemialliset massat .....	9
4.5.	Sulfaattimenetelmä .....	9
5.	PUULAJIT .....	10
5.1.	Yleistä .....	10
5.2.	Koivu .....	11
5.3.	Mänty .....	12
5.4.	Eukalyptus .....	13
6.	NÄYTEARKKIEN VALMISTUS .....	14
6.1.	Jauhituksen vaikutus eri kuidun jauhatusmekanismeihin .....	14
6.2.	Jauhatusta .....	15
6.3.	Jauhatusaste .....	16
6.4.	Arkki valmistus .....	16
6.5.	Laboratoriotutkimukset .....	17
7.	LABORATORIOTESTAUS .....	17
7.1.	Neliömassa .....	17
7.2.	Paksuus, tiheys ja bulkki .....	18
7.3.	Kosteus .....	18
7.4.	Tuhkapitoisuus .....	19

7.5.	Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö .....	20
7.6.	Repäisylujuus .....	20
7.7.	Karheus .....	21
7.8.	Ilmanläpäisevyys.....	21
7.9.	ISO- vaaleus .....	21
7.10.	Opasiteetti .....	21
7.11.	Valonsironta- ja valonabsorptiokerroin .....	22
7.12.	Kiilto .....	22
8.	TYÖN TULOKSET .....	22
8.1.	Neliömassa .....	22
8.2.	Paksuus.....	23
8.3.	Tiheys.....	24
8.4.	Kosteus.....	25
8.5.	Vetolujuus .....	26
8.6.	Repäisylujuus .....	28
8.7.	Karheus .....	29
8.8.	Ilmanläpäisevyys.....	30
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA PAPERITUOTANNON TULEVAISUUS.....	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET .....	33

# 1. JOHDANTO

## 1.1. Työn tausta

Paperiteollisuus muuttuu jatkuvasti. Koko ajan etsitään uusien tuotteiden mahdollisuuksia ja tuotteiden kysyntää. Tuotteiden täytyy kehittyä, jotta paperin kulutus ja kysyntä kasvaisivat. Koska ihmiset työskentelevät paljon internetin ja sähköpostin välityksellä, paperin kehittyminen on hyvinkin tärkeää paperiteollisuuden ylläpitämiseksi. Suomi ei voi enää kilpailla halvalla bulkkituotannolla, vaan sen on panostettava yhä korkeampaan laatuun. Tällöin raaka-aineiden ominaisuudet ja jalostamisprosessin laajuus nousevat erityisen tärkeään asemaan. Suomen suurin haaste on paperiteollisuuden siirtyminen yhä enemmän lämpimimpiin maihin halvan raaka-aineen perässä.

Opinnäytetyöni jakautui useampaan osaan. Ensimmäisessä osassa sulfaattimenetelmällä valmistetut massat jauhettiin ja puristettiin koe-arkkeiksi. Toisessa osassa valmiita koe-arkkeja työstettiin koulun laboratoriossa. Kolmannessa osassa koe-arkkien työstettyjä ominaisuuksia verrattiin keskenään ja arvioitiin niiden luotettavuutta.

## 1.2. Työn tavoitteet

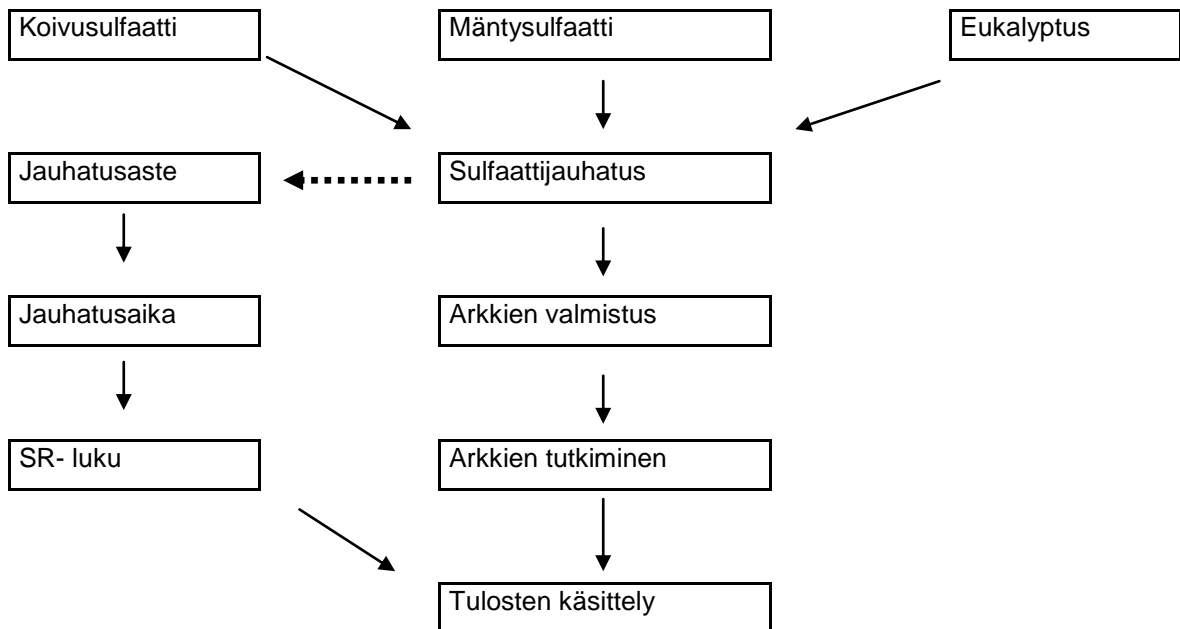
Työn tavoitteina oli tutkia kolmen puulajin sulfaattimassoista valmistettujen näytearkkien paperitekniisiä ominaisuuksia suhteessa niiden jauhatusaikoihin ja lisäksi vertailla tuloksia keskenään. Puulajit olivat koivu, mänty sekä eukalyptus. Koivunäytteet olivat peräisin UPM Kymmene Oy:n Kuusankosken tehtailta, mäntynäytteet olivat UPM Kymmene Oy:n Kaukaan tehtailta ja eukalyptusnäytteet olivat UPM Kymmene Oy:n Frey Bentosin tehtailta Uruguaysta.

Työstettäviä massoja minulla oli yhteensä kolme kappaletta, joista jokaisesta jauhatusajasta otin kuusi näytettä. Näytteiden jakautuessa neljään eri jauhatusaikaan tein yhteensä 72 kpl työstettäviä näytearkkeja. Kaikilla massoilla oli 5 min, 20 min, 40 min ja 60 min jauhatusajat. Lisäksi jokaisella massalla oli jauhatuskuormana 4,70 kg. Jauhatusaikojen perusteella tutkin mahdollisen jauhatusajan vaikutusta näytekappaleiden paperitekniisiin ominaisuuksiin, esimerkiksi veto- ja repäisylujuuteen.

Työn tarkoituksena ei ollut löytää paperiominaisuuksiltaan parasta seosmassaa, sillä jokaisella massalla on omat vahvuutensa.

## 2. TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS

Työssä tutkittiin kolmea eri sulfaattimassa. Tutkittavina puulajeina ovat kotimaisten koivun ja männyn lisäksi trooppinen eukalyptus. Tutkimukset perustuvat näiden kolmen puulajin massojen sekä toistensa seosmassojen vertailuun eri jauhatusajan funktiona. Opinnäytetyöni viitekehys on kuvattuna kuvassa 1.



Kuva 1. Opinnäytetyön viitekehys

## 3. TYÖN SIDOSRYHMÄT

Tämän insinöörityön toimeksiantajana toimii Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ja työn ohjaavana opettajana toimii tekniikan lisensiaatti Kauko Mononen.

## 4. TYÖMENETELMÄT

### 4.1. Kirjallisuus

Työssäni olen käyttänyt hyväksi alan kirjallisuutta, internetiä sekä opinnoissani tekemiäni ja saamiani muistiinpanoja.

### 4.2. Taulukointi

Arkkien työstämisestä ja testaamisesta saadut tulokset taulukoin MS Excel- ohjelmalla. Kyseisen ohjelman avulla esitin saadut tulokset myös graafisten taulukoiden ja kaavioiden avulla.

### 4.3. Tulosten luotettavuus ja hajonta

Laboratoriotulosten seurannassa esiintyvät virheet koostuvat yleisimmin lukuisista eri osatekijöistä. Tällaisilla mittausvirheillä tarkoitetaan havainnoitavan suureen todellisen arvon ja mitatun arvon välistä eroa. Kyseinen virhe jaotellaan yleisesti karkeaan, systemaattiseen ja satunnaiseen virheeseen. (12.) Moni vaihe, kuten arkkien valmistus ja testikappaleiden leikkaus suoritettiin käsin, mikä toi mukaan myös inhimillisen virheen mahdollisuuden. Mittausvirheitä pyrittiin minimoimaan kalibroimalla mittalaitteet ennen jokaisen näytearkin tuloksien mittaamista.

1. Karkea mittausvirhe. Tällainen virhe tapahtuu jos mitta- asteikko luetaan väärin, mittauslaitteessa havaitaan toimintahäiriö tai tietojen tallentamisessa tapahtuu virhe.
2. Systemaattinen mittausvirhe. Virhe, joka muodostuu mahdollisesti käytetyistä mittauslaitteista ja mittausmenetelmistä.
3. Satunnainen mittausvirhe. Tällä tarkoitetaan tilastollista mittausvirhettä, joka on aina läsnä tulosten mittauksessa. Inhimilliset virheet ovat satunnaisten virheiden taustalla.

Teollisuudessa, kuten kaikessa muussakin on tarkoituksena kaikin keinoin vähentää mittausvirheitä. Automatisoimalla voidaan vähentää inhimillisten virheiden määrää. Virhemarginaalit mittauslaitteiden ympärillä laboratoriomittauksissa ovat 5 – 8 % määrissä.



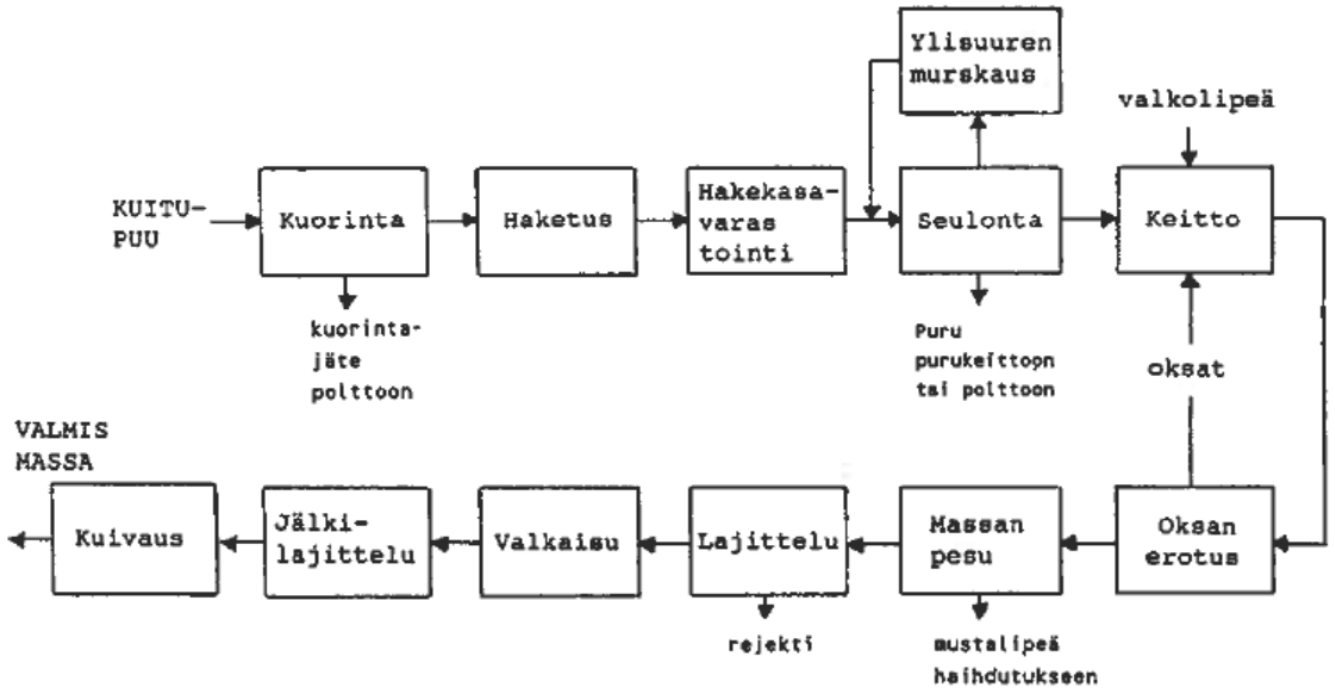
#### 4.4. Kemialliset massat

Paperituotannon raaka-aineena käytetyt massat voidaan jakaa mekaanisiin, kemimekaanisiin ja kemiallisiin massoihin. Kemialliset massat jakautuvat vielä pitkäkuituiseen tai lyhytkuituiseen, valkaistuun ja valkaisemattomaan sekä tuotantoprosessinsa perusteella sulfaatti- tai sulfiittiselluihin. Mekaanisen massan valmistuksessa puu kuidutetaan täysin mekaanisesti. Kemiallisen massan valmistuksessa puu kuidutetaan lämmön ja kemikaalien avulla. Voidaan sanoa, että mekaanisten massojen raaka- aineeksi soveltuvat parhaiten vaaleat, pehmeät ja kevyet puulajit. Mekaanisen massan kuidutuksen saanto on 90 - 97 %, kun taas kemiallisen massan keittosaanto n. 50 %. Valkaisu pienentää saantoa edelleen. (7, s. 30 – 34.)

#### 4.5. Sulfaattimenetelmä

Sulfaattimenetelmällä tarkoitetaan menetelmää, jossa puuhakkeista tehdään valmista sellumassaa valkolipeän avulla korkeissa lämpötiloissa keittämällä. Massa keitetään voimakkaasti alkalisessa liuoksessa n. 170 – 180 °C:n lämpötilassa. Keitolla yritetään heikentää puun kuitujen välisiä sidoksia ligniinin ja hemiselluloosan liuetessa kemiallisten reaktioiden kautta keittonesteen kemikaalien kanssa. (1, s. 74.) Keittokemikaaleina käytetään valkolipeää, joka muodostuu natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (NaHS) seoksesta. Natriumhydroksidi poistaa ligniiniä ja natriumsulfidi nopeuttaa keittoreaktiota ja vähentää selluloosan irtonamista.

Keitto tapahtuu voimakkaasti alkalisessa liuoksessa, jossa poistetaan n. 170 – 180 °C:n lämpötilassa osittain puukuituja sitova ligniini, joka sijaitsee puusolun välilamellisissa ja sekundaarisoinnissa (Kuva 2). Tämän jälkeen helposti irronnut kuitu ja keitosta saatu tumma kuitumassa ovat valmiita pestäviksi ja jatkokäsittelyä varten.



Kuva 2. Sulfaattisellutehtaan lohkokaavio ilman kemikaalikiertoa (2, s. 56.)

## 5. PUULAJIT

### 5.1. Yleistä

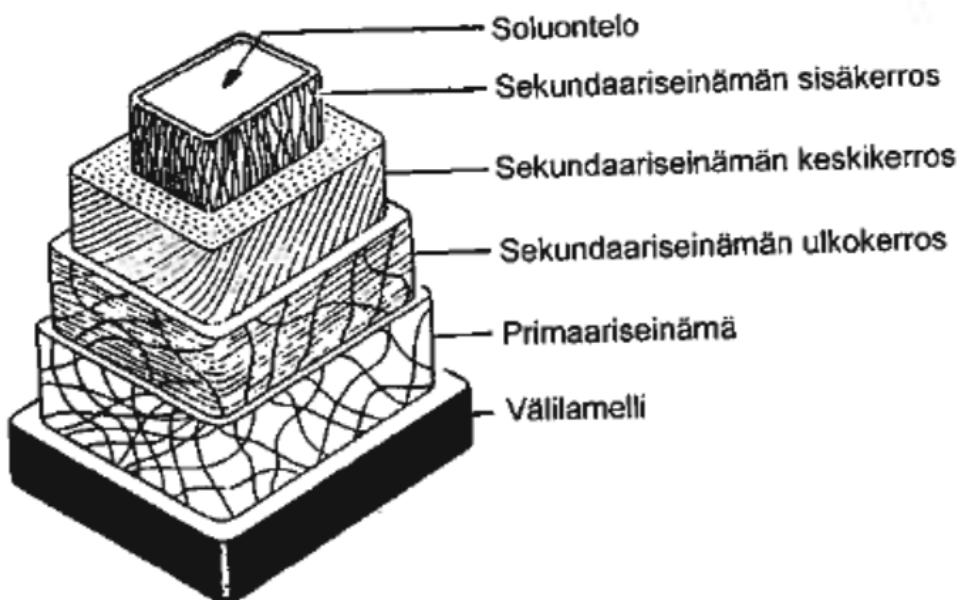
Puu kostuu muodoiltaan ja tehtäviltään erilaisista pitkulaisista soluista. Nämä solut ovat nimeltään kuituja. Puukuidun tärkeimpinä ainesosina ovat kuituja sitova ligniini sekä soluseinämän paksuuntuessa sisäpinnalle kertyvät selluloosa ja hemiselluloosa. (2, s. 13.)

Paperitekniiikan kannalta olennaista on kuidun rakenne sekä sen dimensiot. Taulukosta 1 nähdään työstettyjen puulajimassojen dimensiot.

Puulaji	Pituus, mm	Leveys, $\mu\text{m}$
Koivu	0,9 – 1,3	25 – 30
Mänty	3,0	25 – 35
Eukalyptus	0,75 – 1,1	16 - 20

Taulukko 1. Puukuitujen dimensiot

Soluseinässä erotetaan seuraavat kerrokset: välilamelli, primääriseinä, sekundaariseinän ulko-, keski-, ja sisäkerrokset sekä kyhmykerros. Kuvassa 3 näkyvät puukuitu ja sen soluseinän eri kerrokset.



Kuva 3. Soluseinän rakenne (8, s. 96.)

## 5.2. Koivu

Koivuja (*Betula*) esiintyy laajasti koko Euroopassa. Suomessa koivua kasvaa aina Lappiin asti. Koivulajeista yleisimmät Suomessa kasvavat ovat hieskoivu, *Betula pubescens* (kuva 4) ja rauduskoivu, *Betula pendula*. Hieskoivu kasvaa 10 - 20 metriin, kun vastaavasti rauduskoivu voi kasvaa jopa 20 – 25 metriin. Koivu on Suomen yleisimmin käytetty lehtipuusellun raaka-aine. Koivumetsien kiertoaika Suomessa on n. 60 – 70 vuotta, kun koivusellun suurimmalla kilpailijalla

eukalyptuksella kiertoaika on kymmenkertaisesti lyhyempi. Eukalyptuksen ja koivun kilpailussa on huomioitava myös, että koivusta toivotaan myös mekaanisen metsäteollisuuden himoitsemia tyvitukkia, eikä pelkästään kuitupuuta. (11, s. 470.)



Kuva 4. Hieskoivu (*Betula pubescens*)

### 5.3. Mänty

Mäntylajeista (*Pinus sylvestris*) Suomessa kasvaa vain yksi laji luonnonvaraisena. Suomen metsien puustosta 44 % on mäntyä. Kuusen ohella mänty on Suomen tärkein metsäpuulaji. (Kuva 5.)

Mänty kasvaa kuivissa ja tuoreissa kangasmetsissä, ja sille on tärkeämpää riittävä valon saanti kuin kasvupaikan ravinteikkaus. Rehevimmillä alueilla kasvu jää heikkolaatuiseksi, ja tällöin mänty häviää laatukilpailussa lehtipuille. Mänty on ikivihreä, jonka runko on juuresta tummanruskea ja ylempänä punertavanruskea. Sen tyviosa on oksatonta. Mänty kasvaa lähes 40 metriä korkeaksi, ja se elää satojen vuosien ikäiseksi. Puuaines on melko kovaa ja väriltään tasaista. (3.)

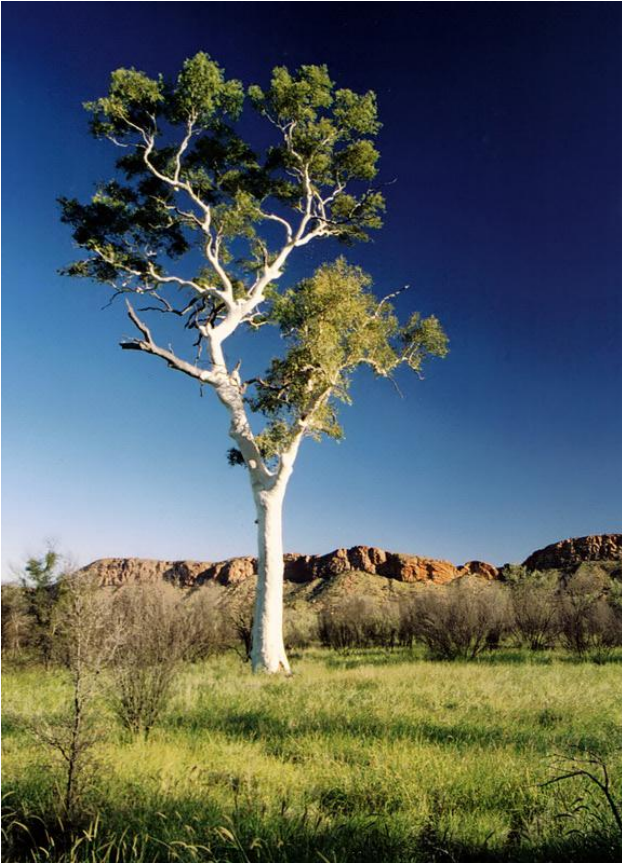


Kuva 5. Mänty (*Pinus sylvestris*)

#### **5.4. Eukalyptus**

Eukalyptuksen (kuva 6.) suosio sellun raaka- aineena on kasvanut vuosi vuodelta. Eukalyptusmassa on kotimaisen koivun suurin kilpailija. Suurimpana syynä on eukalyptuksen erittäin nopea kasvuvauhti koivuun verrattuna. Se voi saavuttaa korjuukelpoisuuden jo seitsemän vuoden iässä. Tällöin puut ovat tyypillisesti 35 metrin korkuisia. Koivuun verrattuna eukalyptuksella on paljon suurempi saanto sen suuren selluloosapitoisuuden ansioista. Eukalyptusta viljellään yleisimmin Aasiassa, Etelä-Euroopassa, Etelä- Amerikassa ja Australiassa. (7, s. 30.)

Markkinoilla olevien eukalyptustuotteiden puu tulee istutusmetsistä (10.).



Kuva 6. Eukalyptus (*Eucalyptus*)

## 6. NÄYTEARKKIEN VALMISTUS

### 6.1. Jauhatuksen vaikutus eri kuidun jauhatusmekanismeihin

Jauhatus vaikuttaa kaikkiin paperiteknisiin ominaisuuksiin. Jauhatuksessa kuituja muokataan niin, että niiden sitoutumiskyky saadaan aktivoitua.

Sellun jauhatuksen primäärivaikutukset voidaan jakaa kuuteen eri mekanismiin:

1. Ulkoinen fibrillaatio. Tällä tarkoitetaan kuidun ulkokerrosten osittaista irtoamista ja haivenemista.
2. Sisäinen fibrillaatio. Tämä tarkoittaa veden tunkeutumista kuituseinämän lamellin väliin ja siitä johtuvaa kuidun notkistumista.

3. Kuidun seinämän tasaisuuden muutokset. Jauhatusvoimien vaikutuksesta kuitujen suoruus vaihtelee sakeuden mukaan.
4. Kuitujen katkeileminen ja keskikuitupituuden lyheneminen. Tämä ei yleensä ole toivottua, sillä luonnosta saadaan jo valmiina lyhytkuituista. Lyhyempi keskikuitupituus huonontaa etenkin repäisylujuutta, mutta parantaa formaatiota, sileyttä, kiiltoa ja rainan tiiveyttä.
5. Hienoaineen syntyminen. Tällä tarkoitetaan kuitujen ja kuituseinämän osasten jauhautumista pieniksi partikkeleiksi. Hienoaine edistää kuitusidosten syntymistä ja vahvistaa rakennetta.
6. Kuidun ainesosien liukeneminen. Tämä ei ole toivottua. Saantotappion lisäksi liuenneet ja kolloidiset aineet häiritsevät paperin valmistusta ja ovat ongelma jätevesissä. ( 7, s. 113 – 114.)

## **6.2. Jauhatus**

Näytteet valmistettiin jauhamalla 360 g kuivattuja selluarkkeja. Arkkeja liotettiin vedessä yön yli. Seuraavana päivänä arkit jauhettiin laboratorion standardimenetelmän SCAN-C 25:76 mukaisella Valley-Hollanterilla. Selluarkit hajotettiin hollanteriin ja laitteeseen lisättiin 23 litraa vettä. Tällä saatiin jauhettavan massan sakeudeksi 15,7 g/l. Jauhatuskäytössä käytettiin 4 600 g:n kuormitusta koko jauhatuksen ajan. Käytännössä laite toimii siten, että massan ollessa hollanterissa laitteen terätukki pyörii alaterän avulla ja saa massan pyörimään painon määräämällä nopeudella. Mitä painavampi paino on, sitä suurempi pyörimisnopeus Valley-hollanterilla on. Terätukin pyörittäessä massaa, massasta otettiin näytteet viiden, kahdenkymmenen, neljäkymmenen ja kuudenkymmenen minuutin välein, testattiin SR- luku ja otettiin näytteet arkin valmistukseen. Kunkin massan jauhatus kesti yhteensä kuusikymmentä minuuttia. Toimenpiteet toistettiin identtisinä kaikilla puulajeilla tilastollisen vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi. Jokaisen puulajin jauhatuksen välillä Valley-Hollanterin kaukalo tyhjennettiin sulfaatin jäämistä ja puhdistettiin huuhtelemalla. Jokaisesta jauhatusnäytteestä valmistettiin kuusi näytearkkia. Näin jokaista puulajia kohden saatiin 24 arkkiä, eli yhteensä 72 arkkiä.

### 6.3. Jauhatusaste

Jokaisesta näytteestä mitattiin ja otettiin ylös standardin SCAN-C 19:65 mukaisesti kalibroidulla Schopper-Rieglerillä jauhatusaste eli SR-luku, joka kertoo massan suotautumisnopeuden arvon. Mitä hitaammin massa suotautuu, sitä suuremmaksi SR-luku kasvaa. Mittaus suoritettiin siten, että esikasteltuun Schopper-Riegler-laitteeseen kaadettiin litra huolellisesti sekoitettua sakeudeltaan 2 g/l sulppua. Mitta-asteikolla varustettu mittalasi asetettiin laitteen sivuputken alle. Sulkukartion vipu vapautettiin sulpun kaatamisen jälkeen, joten vesi valuu laitteen läpi ja sivuputken kautta mittalasiin. Valumisen loputtua mittalasista luettiin SR- luku yhden yksikön tarkkuudella. Taulukosta 2 nähdään jauhettujen massojen SR-luvut jauhatusajoittain.

Taulukko 2. Massojen jauhatusasteet jauhatusajasta riippuen.

Jauhatusaika, min	Koivu	Mänty	Eukalyptus
5	17 °SR	16 °SR	20 °SR
20	23 °SR	18 °SR	24 °SR
40	41 °SR	30 °SR	35 °SR
60	70 °SR	50 °SR	51 °SR

### 6.4. Arkkien valmistus

Arkit valmistettiin SCAN-C 26:n mukaisella laitteistolla, joka mikseroi tarkasti mitatun näytteen veteen ja suodatti sen tämän jälkeen laitteessa olleen viiran läpi. Arkkimuotissa olevan viiran pinta-ala oli n. 0,026 m<sup>2</sup>.

Arkkien valmistuksessa on hyvin tärkeää, että arkkimuotti sekä viira ovat hyvin puhdistettuja. Arkkimuotin viemäriventtiili suljettiin ja vesiventtiili avattiin. Muotti täytettiin vedellä puoleen väliin asti, ja siihen sekoitettiin 150 ml näytesulppua, minkä jälkeen muotti täytettiin melkein täyteen vedellä. Sekoituksen jälkeen pohjaventtiili avattiin ja vesi poistui arkkimuotista. Veden poistuttua arkkimuotin yläosa kaadettiin auki, ja viiralle oli muodostunut sen läpi kulkeneen veden mukana paperiarkki. Arkin päälle laitettiin kuivia imukartonkeja, jotka puristettiin viiraa vasten



stanssin avulla tarkoituksena poistaa viiralta ylimääräinen vesi. Tämän jälkeen arkki otettiin muotista ja aseteltiin uusien kuivien kartonkien väliin ja muiden näytearkkien pinnoon.

Valmiit näytearkkipinot puristettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion hydraulikka- puristimella, jotta kaikki ylimääräinen vesi saataisiin arkeista pois. Puristus suoritettiin siten, että näytearkkipino asetettiin puristinlevyjen väliin ja siihen kohdistettiin viiden minuutin ajan 400 kPa:n paine. Puristuksen jälkeen näytearkit numeroitiin, levitettiin kuivatuspelleille ja arkin molemmin puolin vielä laitettiin imupaperit. Tämän jälkeen kuivatuspellit ripustettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratorioon, jossa arkkien annettiin kuivua muutama päivä laboratorion standardoidussa ilmastossa.

## **6.5. Laboratoriotutkimukset**

Insinööriyön kaikki laboratoriotutkimukset suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun Metsolan toimipisteessä kevään 2010 aikana. Paperilaboratoriotutkimuksissa tutkittiin arkkien jauhatuksien ja muodostumisen jälkeen arkkien neliömassa, paksuus, tiheys, kosteus, tuhka, vetolujuus, murtovenymä, repäisylujuus, karheus, ilmanläpäisevyys, ISO- vaaleus, opasiteetti, valonsironta- ja valonabsorptiokerroin, kiilto ja SR-luvut. Tutkimukset tehtiin standardien mukaisilla ja kalibroiduilla mittauslaitteilla niiden käyttöohjeita noudattamalla.

## **7. LABORATORIOTESTAUS**

### **7.1. Neliömassa**

Neliömassalla tarkoitetaan näytteen pinta-alayksikön massaa ilmaistuna  $\text{g/m}^2$  (7, s. 78.). Näyte mitattiin siten, että näyte pidettiin ilmastoidussa tilassa koko määrittämisen ajan. Ilmastoinnin jälkeen näytteestä leikattiin 360 gramman testikappale. Tämä punnittiin 0,2 %:n tarkkuudella. Neliömassa lasketaan kaavasta 1.

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

jossa

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

$m$  = testikappaleen massa, g

$A$  = testikappaleen pinta-ala,  $\text{cm}^2$ . (1)

## 7.2. Paksuus, tiheys ja bulkki

Arkien paksuuden mittaamisessa käytettiin kalibroitua tarkkuusmikrometriä, joka antoi paksuuden 0,01g:n tarkkuudella. Tarkkuusmikrometrissä mittauksen aikana käytetty paine oli 100 kPa. Jokainen arkki mitattiin erikseen. Tiheys on arkin neliömassa suhteessa paksuuteen, ja sen perusyksikkö on  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Bulkki vastaavasti on tiheyden käänteisluku jonka perusyksikkö on  $\text{cm}^3/\text{g}$ . (7, s. 83.) Tiheys lasketaan kaavasta 2.

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

jossa

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

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

$t$  = paksuus,  $\mu\text{m}$ . (2)

## 7.3. Kosteus

Arkin kosteuspitoisuus määritellään näytteen painohäviönä. Arkki kuivattiin kosteusanalysointilaitteella vakiopainoon, lämpötilassa  $105\ \text{°C} \pm 2\ \text{°C}$ . Tulos ilmoitetaan prosentteina kostean näytteen painosta. Määrityksessä tuli käyttää noin 2 – 3 g painoltaan olevia näytteitä, jotta laitteiden tarkkuus riittäisi luotettaviin tuloksiin. Testikappale asetettiin kannelliseen mittalaitteeseen, joka toimi automaattisesti ja ilmaisi kosteuden näytölle kokeen loputtua.

Näytekappale kuivattiin vakiopainoon ja poikkeuksena muista testeistä tämä mittaus toistettiin vain kerran jokaisesta jauhatusajan määräämästä arkista. Vertailukohtana mitattiin näytteen alku- ja vakiopaino myös vaa'alla, joista kosteusprosentti laskettiin manuaalisesti kaavalla 3.

$$r = (a - b / a - c) * 100$$

jossa

r = näytteen kosteuspitoisuusprosentti

a = astian, kannen ja näytteen paino ennen kuivausprosessia grammoina

b = astian, kannen ja näytteen paino kuivausprosessin jälkeen grammoina

c = astian ja kannen paino grammoina. (3)

#### 7.4. Tuhkapitoisuus

Tuhkapitoisuudella tarkoitetaan sitä painoa, joka sillä on 925 °C, ± 25 °C:n lämpötilassa tapahtuneen täydellisen polton jälkeen. Tuhkapitoisuus ilmoitetaan prosentteina kuivan painosta. Tuhkapitoisuus ei anna täysin oikeaa kuvaa epäorgaanisten aineiden määrästä, koska eräiden aineiden paino muuttuu hehkutuksen aikana.

Tuhkapitoisuuden määrittämisessä näyte asetettiin upokkaaseen, jonka jälkeen mitattiin paino ennen polttoa. Tämän jälkeen näyte poltettiin korkeassa lämmössä ja poltosta jäänyt tuhka karistettiin takaisin upokkaaseen. Sitten tuhkan ja upokkaan paino mitattiin uudelleen. Saatujen mitta-arvojen avulla laskettiin näytteiden tuhkapitoisuus kaavalla 4.

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

jossa

X = näytteen tuhkapitoisuus

a = tuhkan paino, g

m = kuivatetun näytteen paino, g. (4)

Mittaus toistettiin kerran.

### **7.5. Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö**

Vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormitusta, jonka näytteestä leikattu 15 mm:n levyinen liuska kestää murtumatta sitä pinnansuuntaisesti vedettäessä. Venymällä tarkoitetaan liuskan maksimivoiman hetkellä saavuttaman pituudenlisäyksen suhdetta liuskan alkuperäiseen pituuteen. Määrittystä varten leikattiin kuusi näyteliuskaa. Suuntaa ei arkeista tarvinnut huomioida, sillä arkeilla ei ole selvää kuituorientaatiota.

Koestuksessa käytettiin SCAN-P-standardin mukaisesti varustettua ja kalibroitua Lorenz-Wetretvetolujuusmittaria. Mittari tulostaa vetolujuuden, venymän ja murtotyön. Koestus toistettiin kuudella kappaleella.

Vetoindeksi lasketaan jakamalla vetolujuus neliömassalla.

### **7.6. Repäisylujuus**

Arkin repäisylujuus on se keskimääräinen työ, joka tarvitaan tietynpituisen repeämän aikaansaamiseen näytteeseen tehdystä alkuleikkauksesta alkaen. Mittaus toistettiin kuusi kertaa, kerran jokaiselle arkille. Arkin suuntaa ei tarvinnut erotella, sillä niillä ei ollut selkeää kuituorientaatiota.

Mittaus tehtiin SCAN-P II:73-standardin mukaan Elmendorf-tyyppisellä repäisylujuusmittarilla. Näyte asetettiin mittarin pidikkeeseen, tehtiin alkuviilto ja vapautettiin heiluri. Heilurin vapaan heilahduksen jälkeen se lukittiin takaisin yläasentoon. Saadut tulokset kirjattiin muistini. Repäisyindeksi saadaan kaavasta 5.

$$X = a/w,$$

jossa

$X$  = repäisyindeksi,  $\text{mNm}^2/\text{g}$

$a$  = repäisylujuus,  $\text{mN}$

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

(5)

## 7.7. Karheus

Arkin karheus määritettiin mittaamalla ilman virtaamana arkin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron vallitessa. Karheus määritettiin Bendtsen -mittarilla ja SCAN-P 21:67 – standardimenetelmällä.

Mittaus aloitettiin kalibroimalla mittauslaite. Testiarkki asetettiin mittausta varten lasilevyn päälle. Tämän jälkeen näytteen päälle asetettiin karheusmittapää, joka suoritti mittaustoimenpiteen. Mittaus toistettiin 6 kertaa. (6, s. 62.)

## 7.8. Ilmanläpäisevyys

Näytteen ilmanläpäisevyydellä tarkoitetaan sitä ilman tilavuusvirtaa, jonka 150 mm wp:n paine-ero saa aikaan 10  $\text{cm}^2$  pinta-alan läpi. Mittauksessa käytettiin Bendtsen-mittaria ja SCAN-P 21:67-standardimenetelmää. Jokainen arkki mitattiin ja kirjattiin tulokset ylös.

## 7.9. ISO- vaaleus

Arkin vaaleus eli heijastinluku mitattiin Minolta-spektrofotometrillä. Vaaleus mitattiin useamman näytearkin pinosta, jotta pinon läpi menevän valon osuus voidaan katsoa nolaksi. Mittaus toistettiin kuusi kertaa näytearkkipinon eri kohdista. Näin saatu vaaleus ilmoitetaan ISO-vaaleusarvona. Vaaleus on tärkeää lopputuotteelle, koska se vaikuttaa painopinnan kontrastiin ja näin ollen luettavuuteen.

## 7.10. Opasiteetti

Arkin opasiteetti on mustaa taustaa vasten määritetyn yksittäisen arkin valonheijastusluvun suhde saman arkin Y-arvoon, joka kuvaa paperin heijastusta koko spektrin alueella (7, s. 101.). Opasiteetti kuvaa massan kykyä estää sen takana olevan painatuksen läpinäkymistä. Mittaus suoritettiin Minolta-spektrifotometrillä mustaontelomittauksena. (Liite 2.)

### **7.11. Valonsironta- ja valonabsorptiokerroin**

Arkeista mitatut valonsironta- ja absorptiokerroin kuvaavat yhdessä paperin neliömassan kanssa yksikäsitteisesti paperin heijastus- ja sidontakykyä silloin, kun neliömassa on hyvin pieni (7, s. 101 - 102.), (Liite 2).

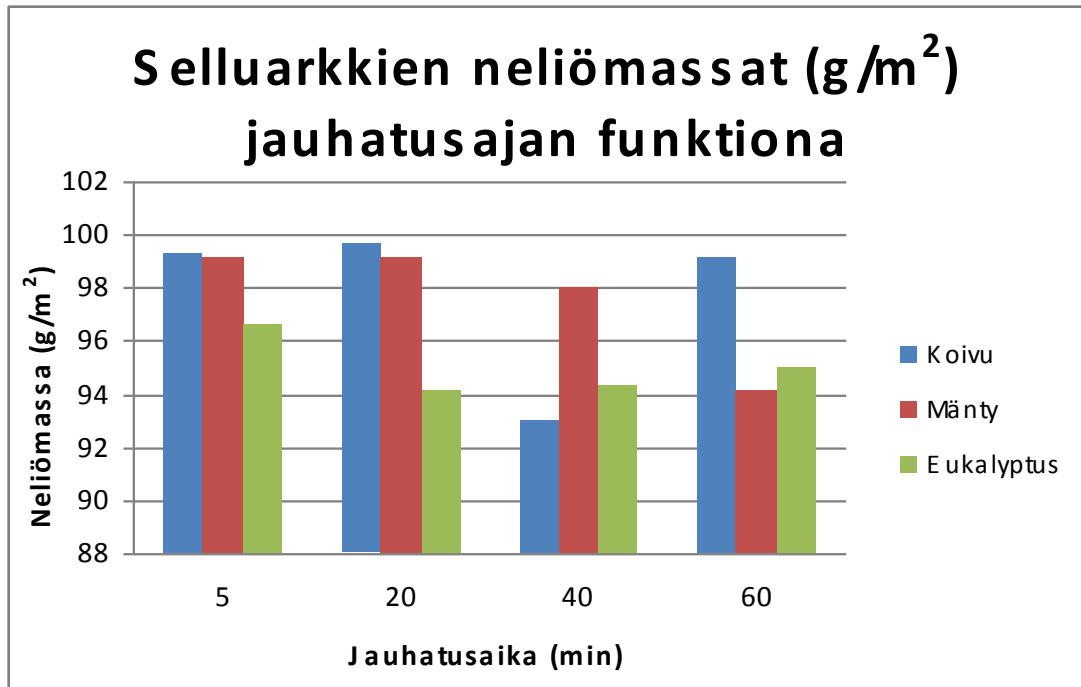
### **7.12. Kiilto**

Kiillon mittauksessa käytettiin Zehnter-kiiltomittaria  $75^{\circ}/75^{\circ}$ -mittausgeometrialla. Laitteessa mitattiin arkin heijastus yhdensuuntaisella valolla, kun valon tulokulma ja havaitsemiskulma ovat  $75^{\circ}$ . Mittaus suoritettiin jokaisesta kuudesta näytearkista.

## **8. TYÖN TULOKSET**

### **8.1. Neliömassa**

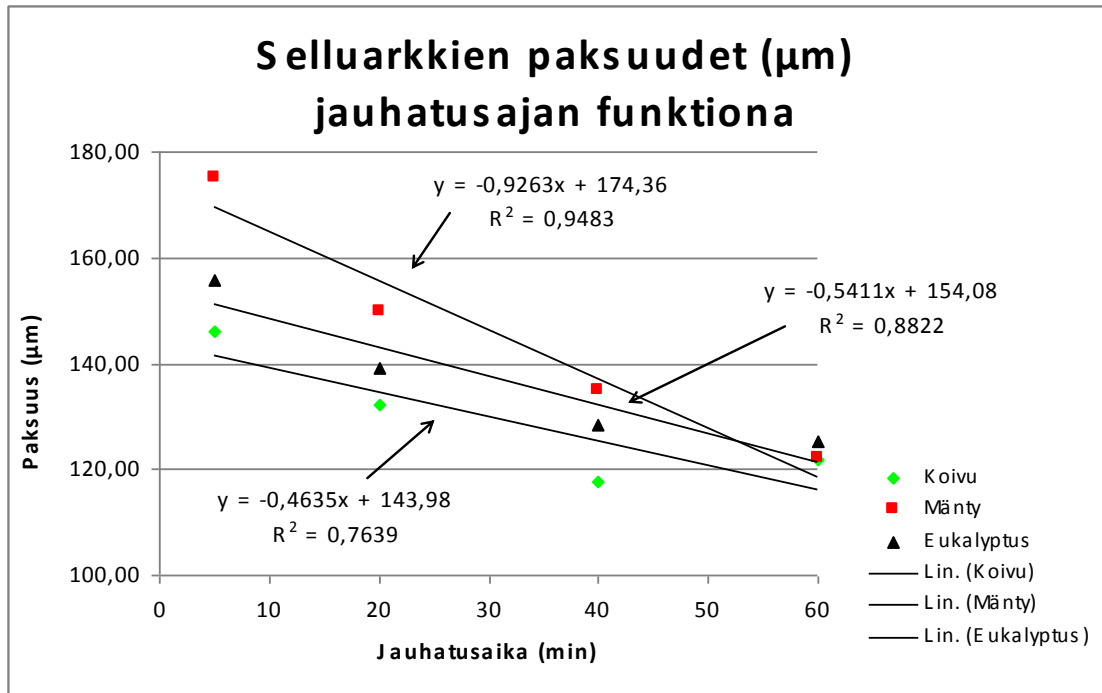
Kuvasta 7 nähdään, että jauhatustaso vaikuttaa hieman arkkien neliömassoihin. Koivussa neliömassa laskee suuresti 20 minuutin sekä 40 minuutin välillä, mutta tunnin jauhatuksella neliömassa nousee taas samoihin lukemiin. Männyn neliömassa näyttää laskevan hitusen kunnes 40 minuutin ja tunnin välissä tapahtuu suurempi oheneminen. Eukalyptuksen neliömassa näyttää pysyvän vakiona koko jauhatustajan pieniä muutoksia lukuun ottamatta.



Kuva 7. Eri massojen neliömassat jauhatusajan funktiona

## 8.2. Paksuus

Työstettävistä puulajimassoista mitattaessa paksuudet jauhatusajanfunktiona huomataan, että jokaisen puulajin kohdalla paksuus ohenee sitä enemmän, mitä pidempään massaa jauhetaan. Poikkeuksen tekee koivu, jonka paksuuden keskiarvo hiukan nousee 40 minuutin ja tunnin välillä.

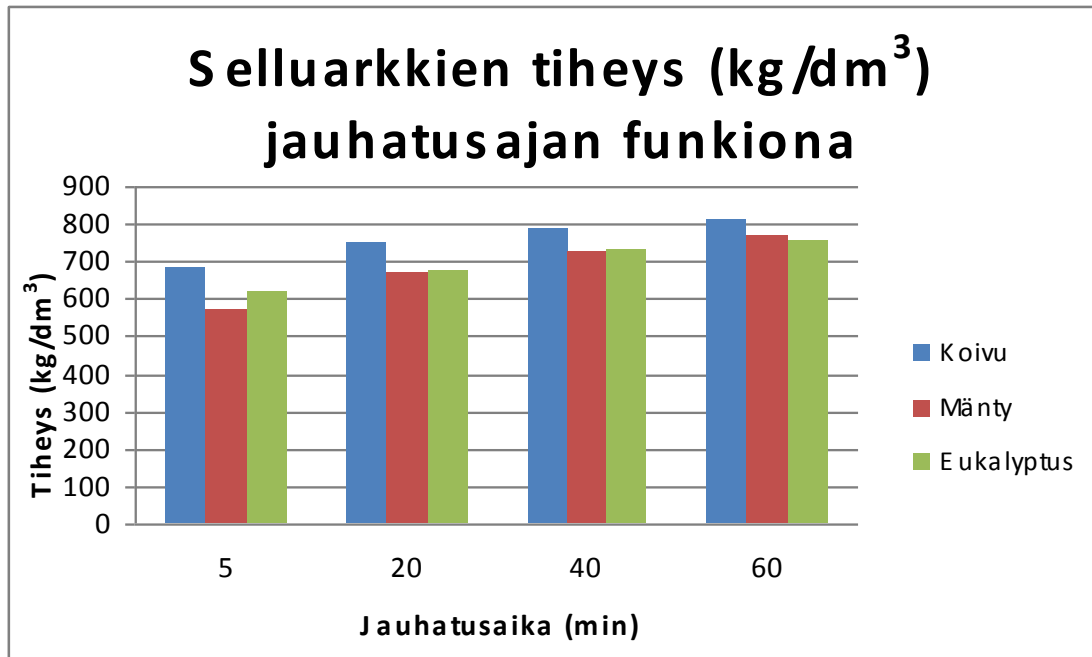


Kuva 8. Puulajimassojen paksuudet jauhatusajan funktiona

### 8.3. Tiheys

Kuvasta 9 näkyy testattujen puumassojen tiheys jauhatusajan funktiona. Koivu on mäntyä ja eukalyptusta tiheämpi joka asteella. Jokaisen puumassan tiheys kasvaa lineaarisesti jauhatusajan pidetessä.



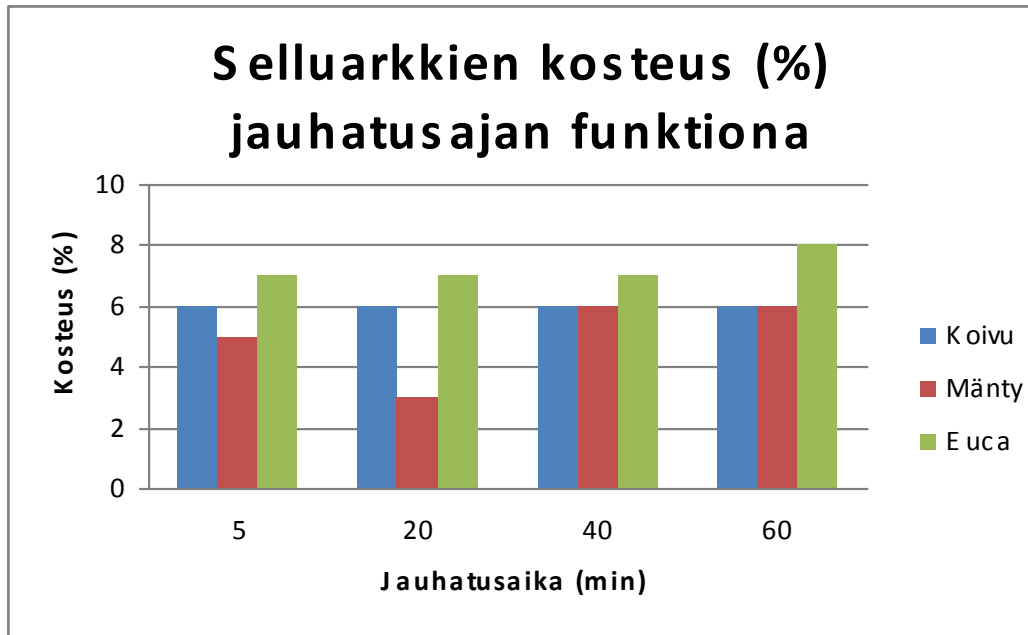


Kuva 9. Massojen tiheys jauhatusajan funktiona

Kesäpuun osuus vaikuttaa kuitupuun tiheyteen. Mitä enemmän paksuseinäistä kesäkuukuitua puu sisältää sitä suurempi on sen tilavuuspaino. Tällä on suuri merkitys massateollisuudelle, koska asiakas ostaa puuta tilavuuden perusteella. Paperin valmistukseen ohutseinäinen kevätkuitupuuhautuu helposti antaen hyvän tiheyden arkille. Vastaavasti kesäpuukuitu antaa hyvän imukyvyn sekä hyvän repeytymislujouden haluttaessa (2, s. 14).

#### 8.4. Kosteus

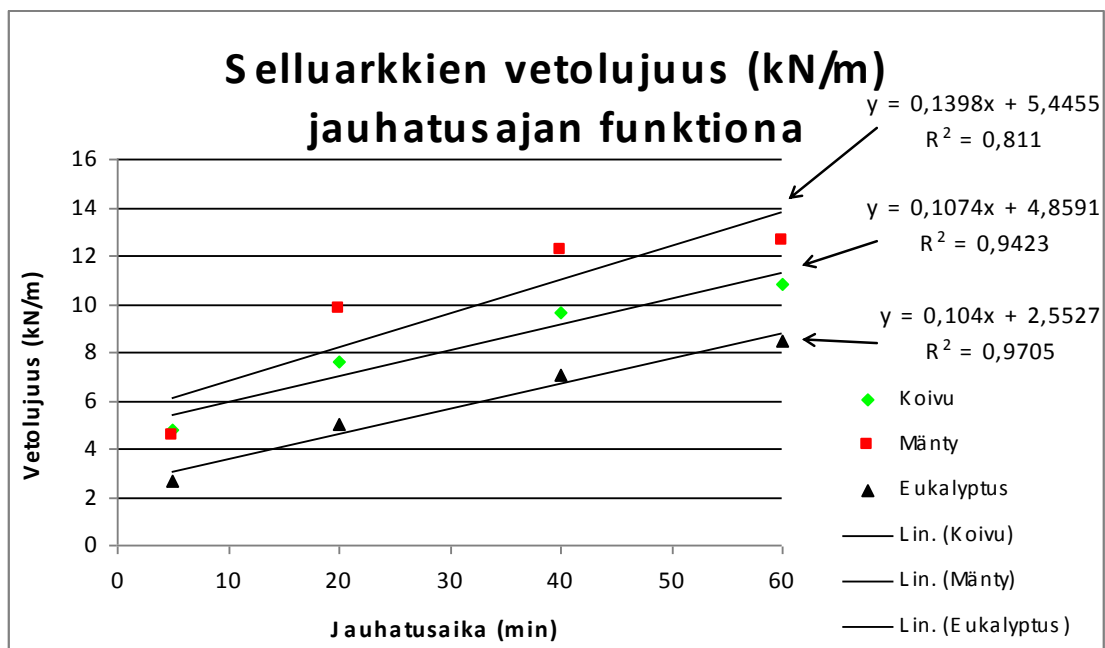
Kuva 10 esittää valmiiden arkien kosteuspitoisuuden jauhatusajoittain. Kuvasta nähdään, että eukalyptus on puulajeista kostein, kun taas koivu ja mänty ovat kosteudeltaan melko samanlaisia. Lisäksi jokaisella puulajilla kosteus pysyy melko tasaisena jauhatusajasta riippumatta.



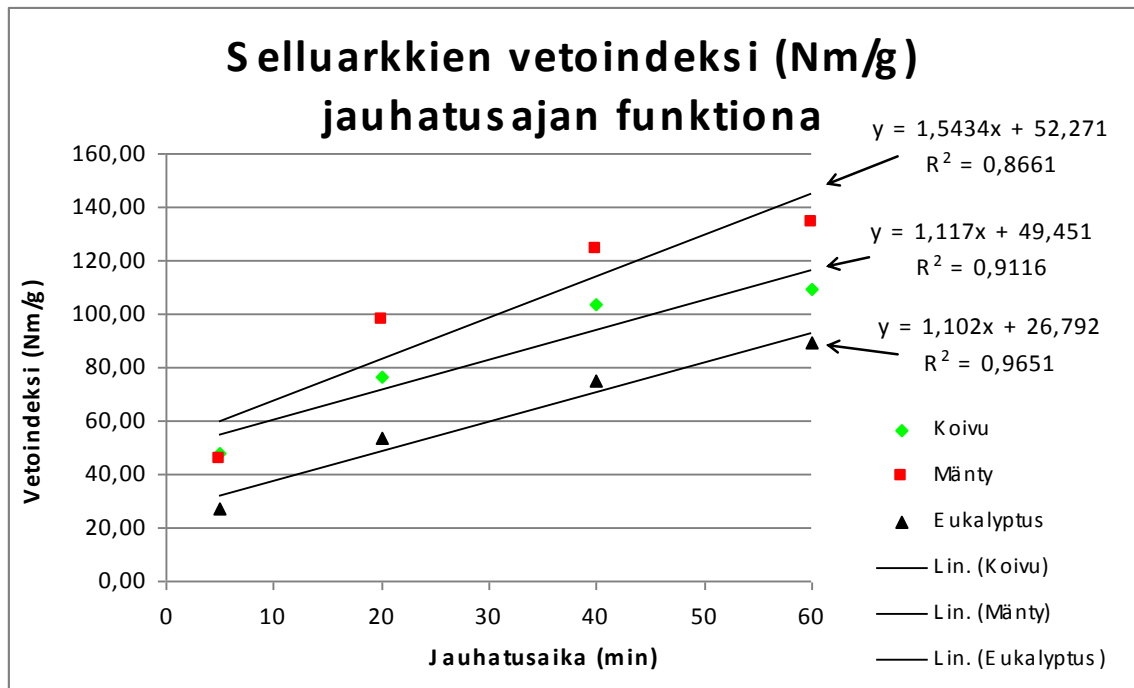
Kuva 10. Selluarkkien kosteusprosentti jauhatusajan funktiona

## 8.5. Vetolujuus

Kuvassa 11 näkyy, että puumassojen vetolujuus paranee lineaarisesti jauhatusajan kasvaessa. Männyllä lujuuden kasvu näyttää tasaantuvan 40 minuutin ja tunnin välillä.



Kuva 11. Massojen vetolujuus jauhatusajan funktiona



Kuva 12. Massojen vetoindeksi jauhatusajan funktiona

Kuvista 11 ja 12 nähdään, että sekä vetolujuus että vetoindeksi ovat hyvin samanlaiset joka puulajilla molemmissa taulukoissa.

Puulaji	Koivu	Mänty	Eukalyptus
Jauhatusaika min	30	30	30
Vetoindeksi Nm/g	90	100	60

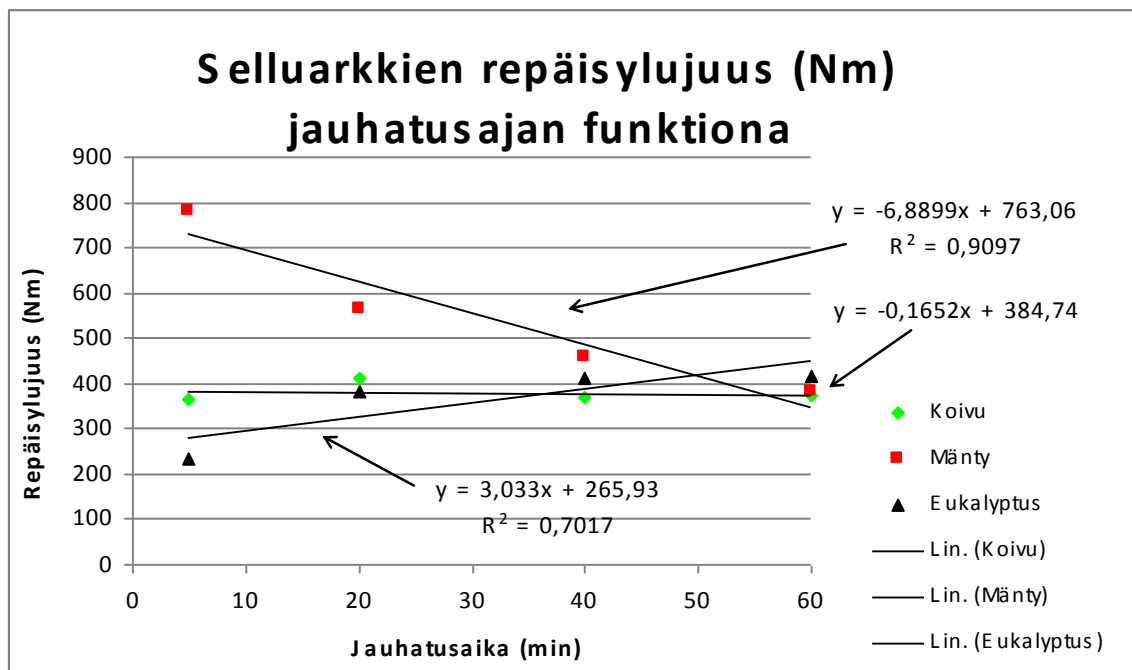
Taulukko 3. Erisulfaattien vetoindeksit jauhatusajan ollessa 30 min

Taulukosta 3 nähdään, minkälainen vetoindeksi (Nm/g) eri puulajeilla on, kun jauhatusaika on 30 min. Koivulla saavutetaan vetoindeksi n. 90 Nm/g. Männyllä vastaavalla ajalla saavutetaan n. 11 % parempi indeksi, kun taas eukalyptuksella indeksi on 33 % heikompi kuin koivulla. Jos eukalyptuksen vetolujuusindeksi haluttaisiin koivun 30 minuutin tasolle, sitä tulisi jauhaa n. 60 minuuttia ja siihen kuluisi melkoisesti jauhatusenergiaa. Männyllä koivun vetoindeksilujuustaso 90

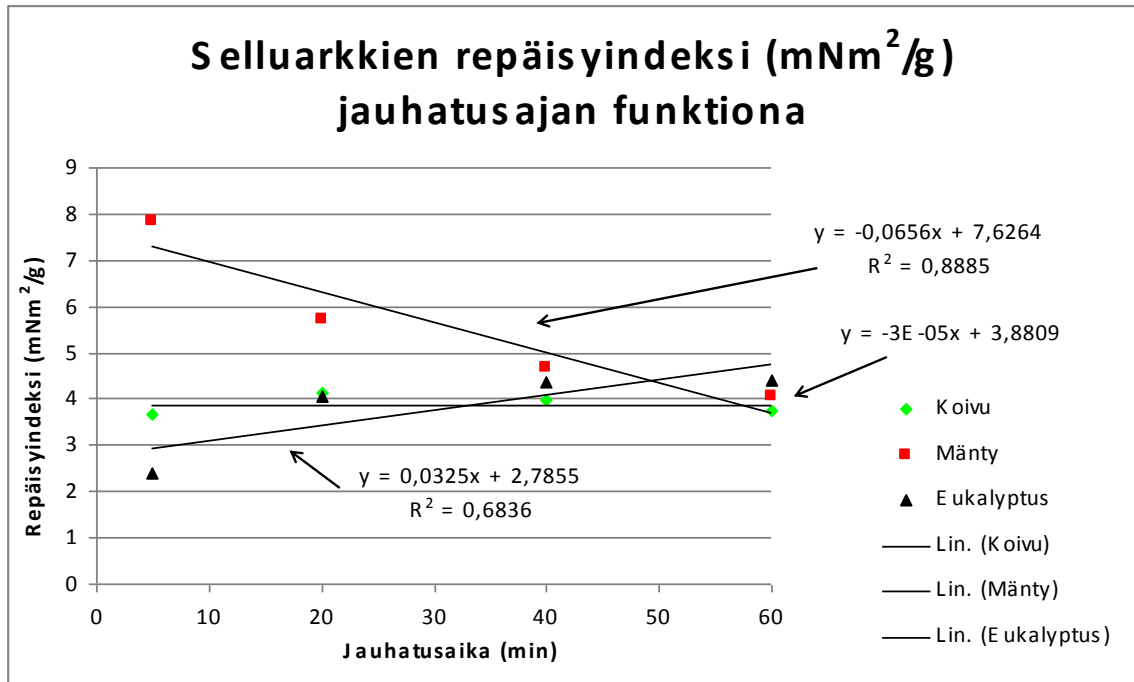
Nm/g saavutetaan jo 20 minuutin jauhatuksella, eli tästä voidaan tehdä johtopäätös, että pitkät kuidut ja lyhyet kuidut on syytä jauhaa tehtaalla eri linjoilla.

## 8.6. Repäisylujuus

Kuvasta 13 nähdään, että koivulla ja eukalyptuksella repäisylujuus pysyy melko vakiona riippumatta jauhatusajasta. Vastaavasti männällä on lyhyessä jauhatusajassa vahvempi repäisylujuus kuin pidemmässä jauhatusajassa. Männen lujuusominaisuus heikkenee sitä enemmän, mitä pidempään sitä jauhetaan. Lasku johtuu yleensä kuitujen katkeilusta jauhatusajan kasvaessa.



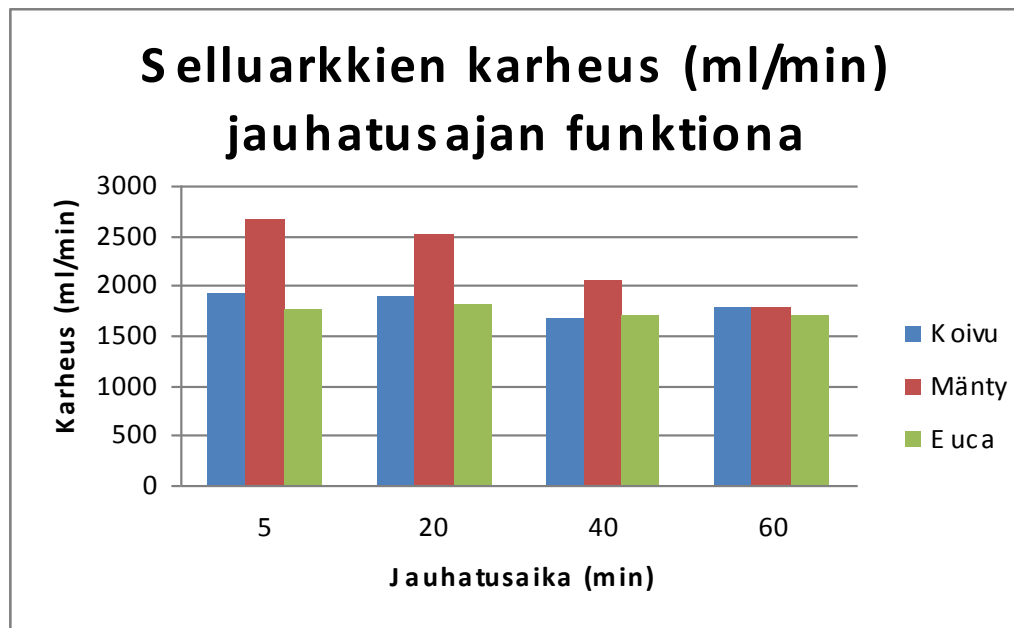
Kuva 13. Massojen repäisylujuus jauhatusajan funktiona



Kuva 14. Massojen repäisyindeksi jauhatusajan funktiona

## 8.7. Karheus

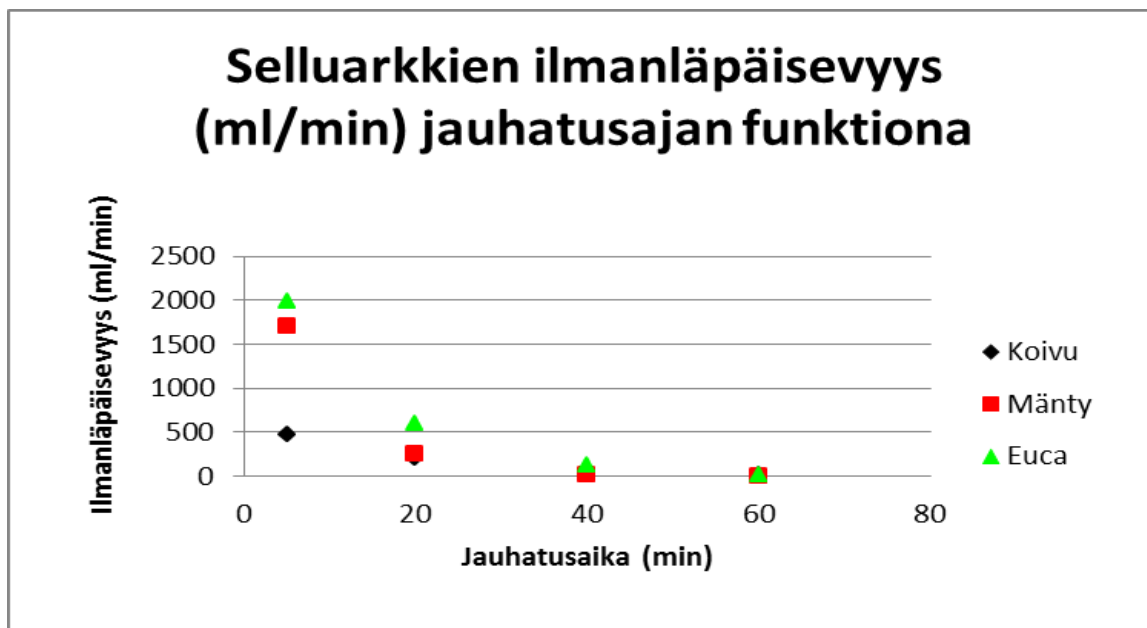
Kuvasta 15 näkyy, ettei jauhatusajalla ole suurta vaikutusta paperiarkkien sileyteen. Ainoastaan männyn sileyts käärsii joka mittauskerran jälkeen.



Kuva 15. Massojen karheus ( $\text{ml}/\text{min}$ ) jauhatusajan funktiona

## 8.8. Ilmanläpäisevyys

Kuvasta 16 nähdään kuinka jokaisesta puulajista valmistetun näytearkin ilmanläpäisevyys heikkenee sitä enemmän, mitä pidempään massoja jauhettiin. Jauhatusajalla on siis selvästi vaikutusta ilmanläpäisevyyteen. Männyllä ja eukalyptuksella lasku on aluksi hyvin nopeaa, mutta se tasaantuu 40 minuutin kohdalla.



Kuva 16. Massojen ilmanläpäisevyys (ml/min) jauhatusajan funktiona

## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET JA PAPERITUOTANNON TULEVAISUUS

Tutkittavista puulajeista jokainen soveltuu paperiteollisuuden käyttöön massan komponenttina, sillä harvoin paperinvalmistuksessa käytetään vain yhtä komponenttia. Pitkäkuituisia havupuita sekä lyhytkuituisia lehtipuita käytetään yleisesti paperin- ja kartonginvalmistuksessa. Pitkäkuituisia havuselluja käytetään antamaan lujuutta, kun taas lyhytkuituiset sellut parantavat sekä optisia ominaisuuksia sekä painatusominaisuuksia. Kyseiset ominaisuudet paranevat vielä entisestään, kun paperi päällystetään esimerkiksi kalsiumkarbonaatilla ja/tai muilla lisäaineilla. Ei ole olemassa yhtä puulajia tai menetelmää, jolla saavutetaan sekä optiset että mekaaniset ominaisuudet erinomaisesti, vaan on käytettävä eri puulajien yhdistelmiä. Jokainen paperi- ja kartonkilaji vaatii oman kuitukoostumuksen, täyteaineen, liimauksen ja lisäaineet. Myös massanvalmistusmenetelmällä on suuri vaikutus massan ominaisuuksiin.

Insinööriyön tulokset eivät suoraan kerro, minkälaisen lopputuotteen kustakin sellusta saa aikaiseksi. Sen sijaan tämä työ 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. (7, s. 75.)

Massateollisuuden tulevaisuus riippuu paljon siitä, tehdäänkö paperia tulevaisuudessa enemmän mekaanisesta vai kemiallisesta massasta ja minne uusia paperitehtaita rakennetaan. Tehtaiden sijoittamiseen vaikuttavat suuret ja kasvavat markkinat. Intian ja Kiinan suurien bambuvarojen käytön voidaan olettaa lisääntyvät tulevaisuudessa. Etelä- Amerikkaan sijoitetaan uusia sellutehtaita eukalyptusvarojen myötä, ja eukalyptus onkin noussut tulevaisuuden lisääntyväksi tuontituotteeksi Eurooppaan ja Suomeen.

Suomessa paperiteollisuuden suhteen tilannetta on tarkasteltava hieman eri näkökulmasta. Metsäteollisuuden rakennemuutoksen vuoksi sellun kokonaistarve varmasti pienenee huomattavasti. Sellujen käyttösuhteiden muuttumisen suurimpana syynä voidaan pitää Venäjän puutulleja, jotka tekevät koivusta kalliin raaka-aineen. Tuontieukalyptus on varmasti tulevaisuudessa Suomen yksi merkittävimmistä sellulajeista.

## LÄHTEET

1. Seppälä, M. Paperimassan valmistus. Hakapaino Oy, Helsinki 1999.
2. Isotalo, K. Puu- ja sellukemia. Vapokustannus, Helsinki 1990.
3. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/manty.php>  
1.5.2011.
4. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/rauduskoivu.php>  
1.5.2011.
5. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/hieskoivu.php>  
1.5.2011.
6. Aaltonen, P. Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä. Otakustantamo 1986.
7. Seppälä, M. Paperin ja kartongin valmistus. Gummerrus Kirjapaino Oy 2001.
8. Kärkkäinen, M. Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus Oy 2003.
9. Jääskeläinen, A-S & Sundqvist, H. Puun rakenne ja kemia. Hakapaino Oy, Helsinki 2007.
10. <http://www.sademetsa.fi/puut/index.html#eukalyptus>  
4.5.2011.
11. Rantala, S. Tapion taskukirja. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna 2008.
12. Peltonen, P. Tilastollisen päättelyn perusteet-luentomoniste. Helsingin yliopisto 2009.



## **LIITTEET**

Liite 1. Mittauspöytäkirjat

Liite 2. Minolta Spectrophotometrin tulokset



















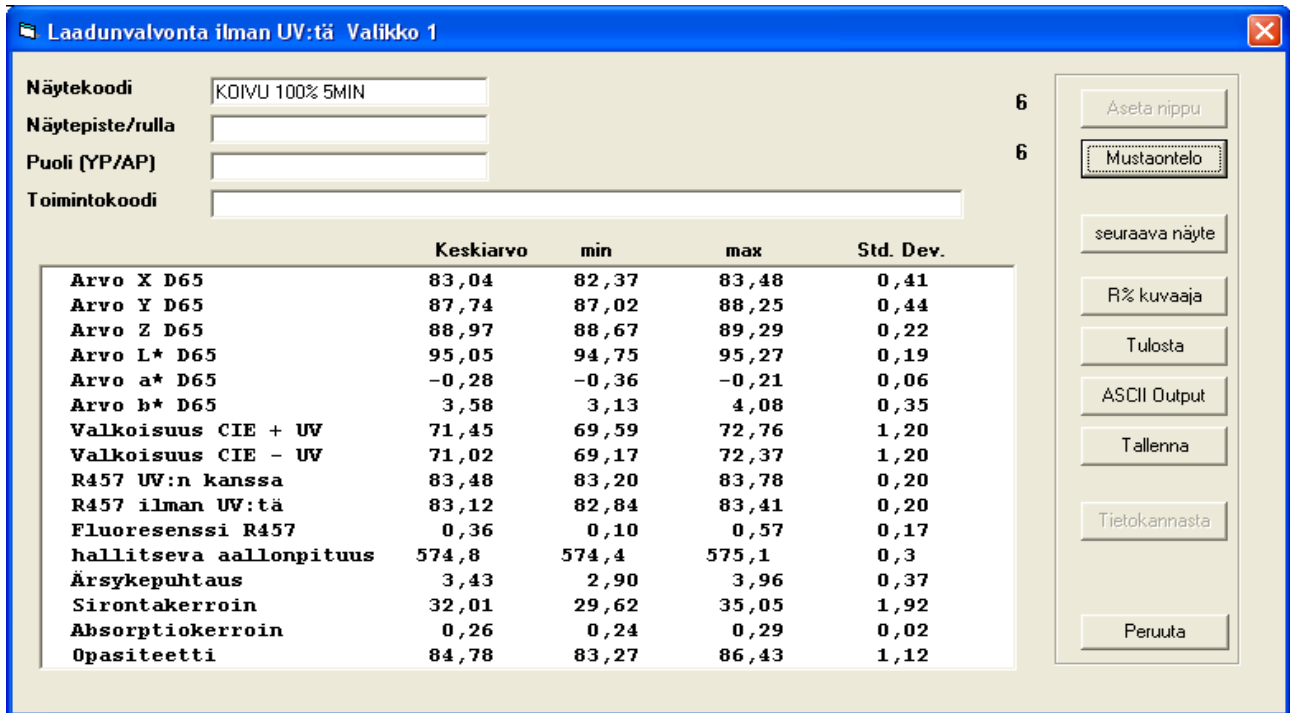




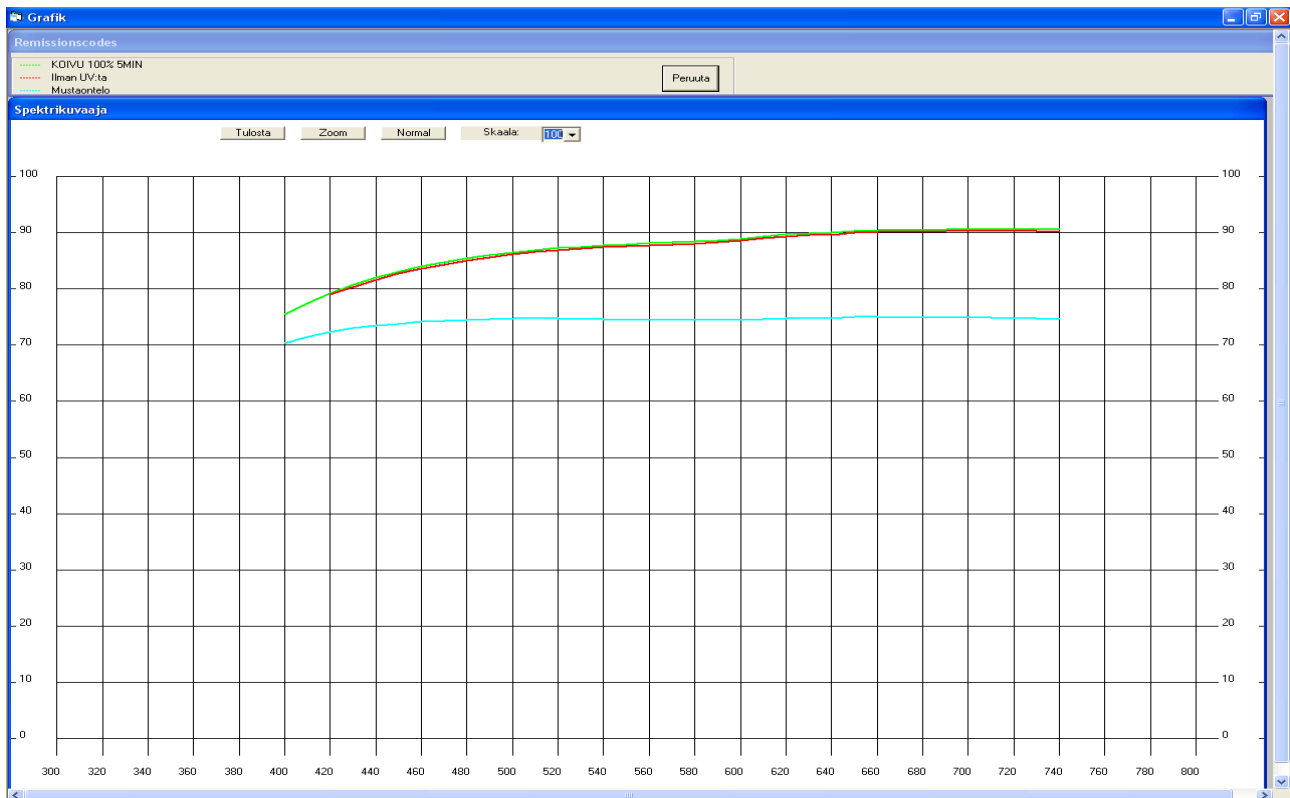


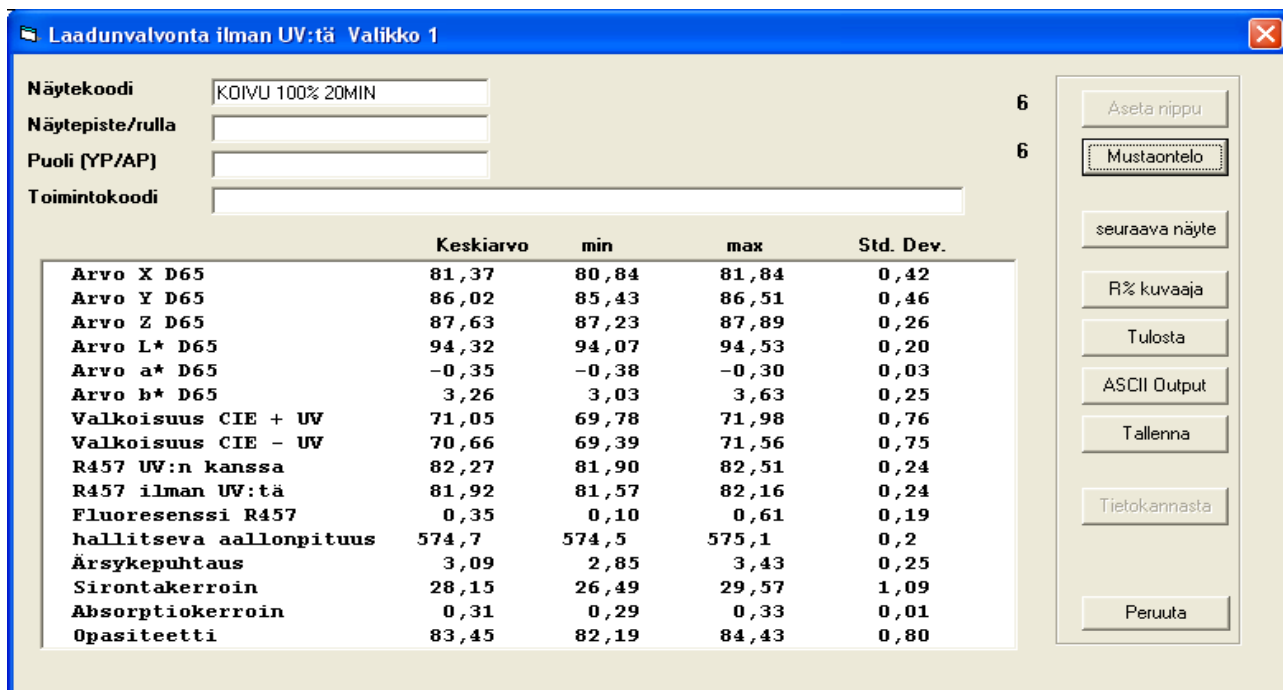


## Minolta-spektrometrillä mitatut tulokset

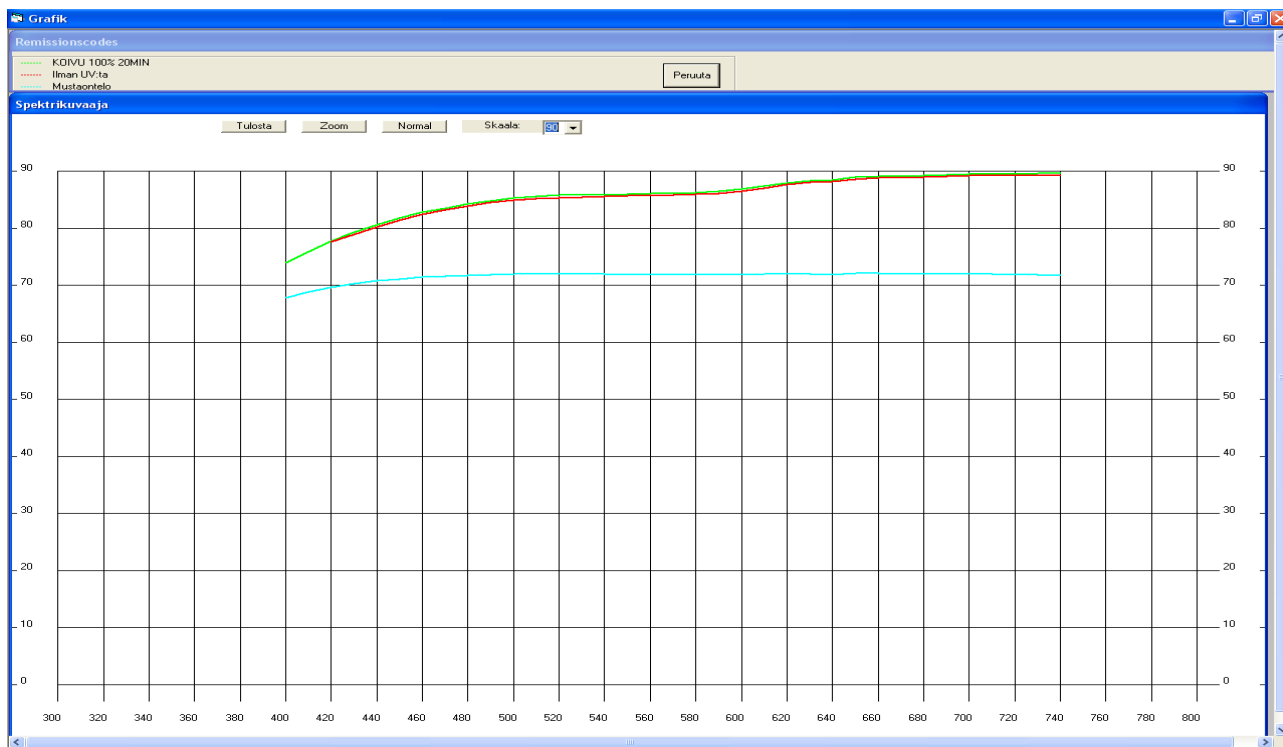


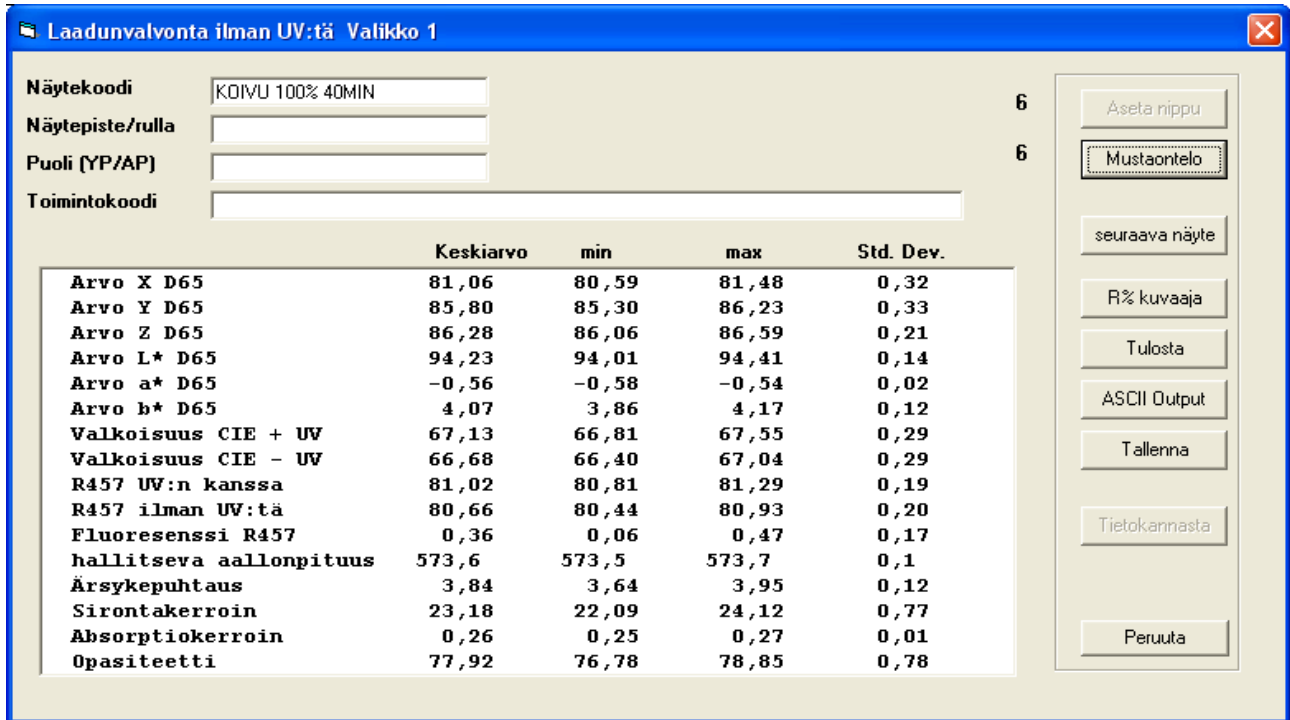
5min. jauhettu 100% koivusulfaatti Minolta Spectrophometerillä mitattuna.



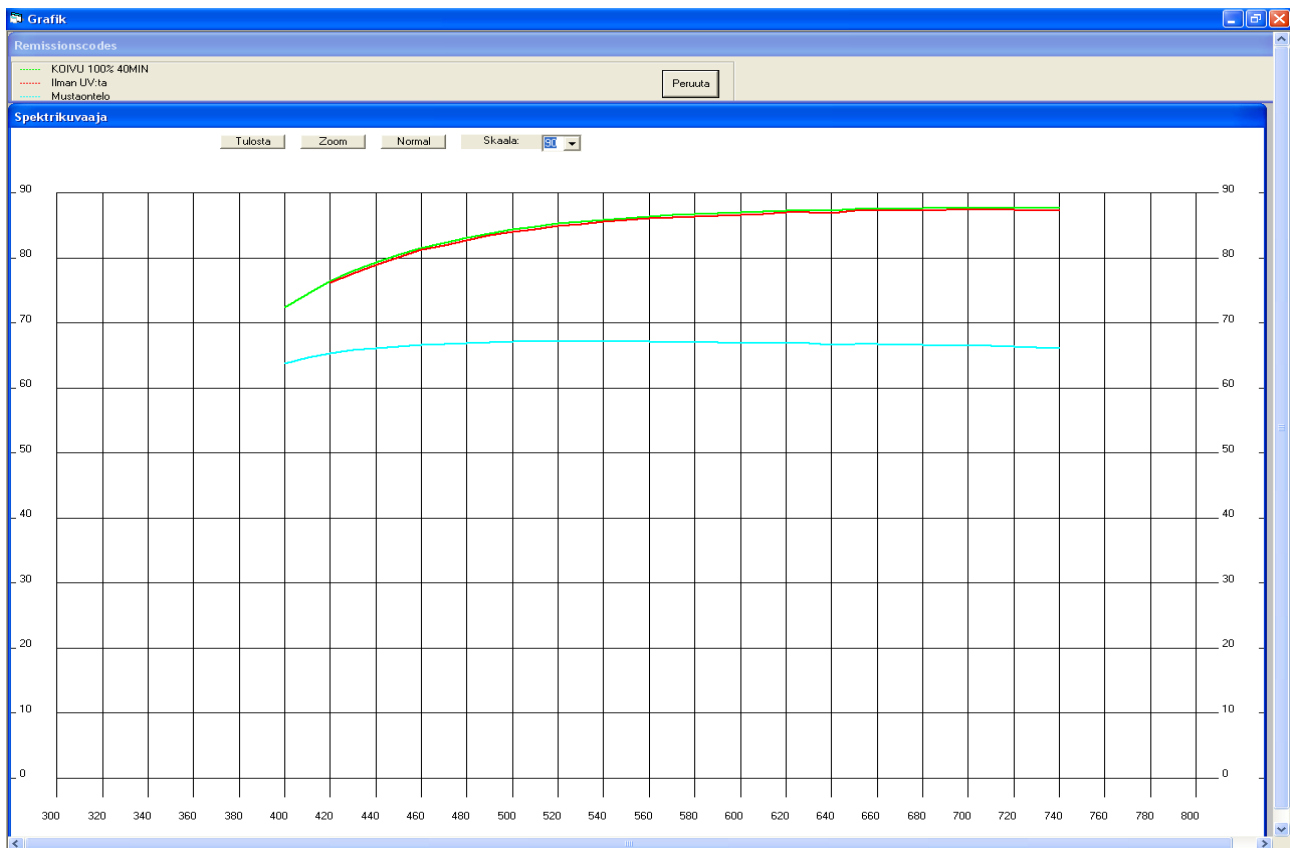


20min. jauhettu 100% koivusulfaatti Minolta Spectrophometerillä mitattuna.

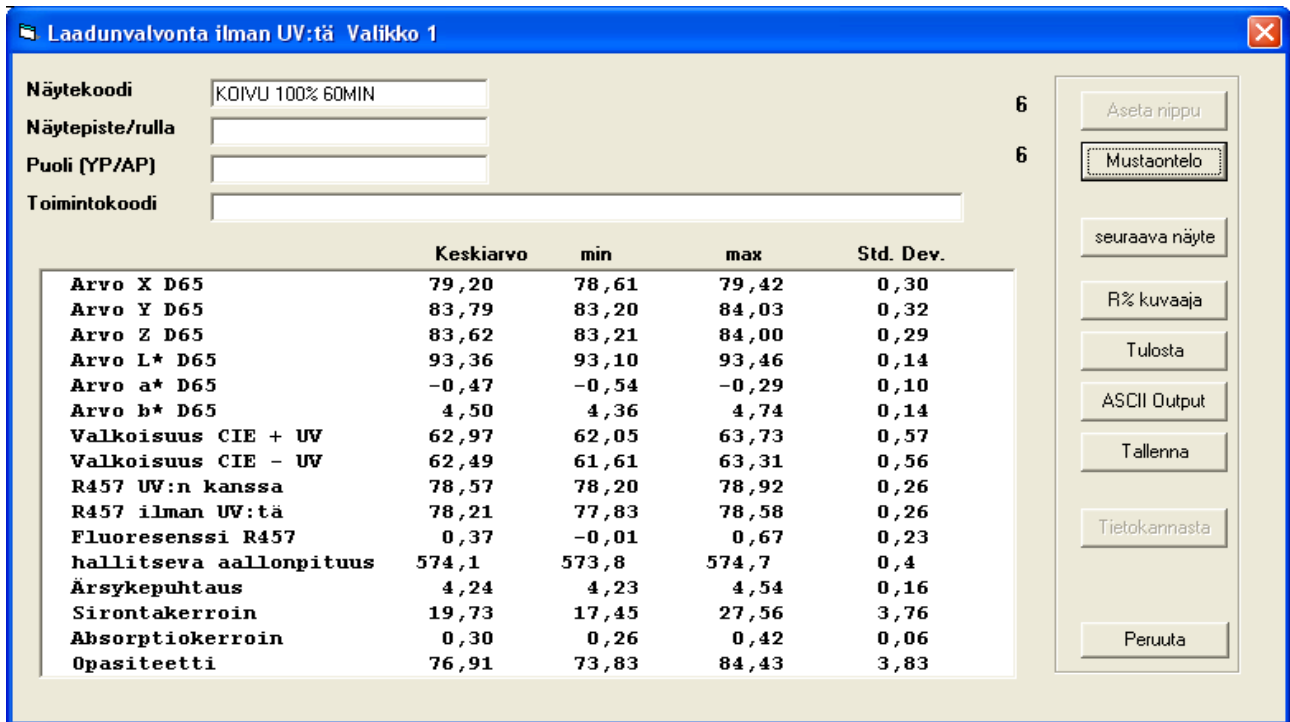




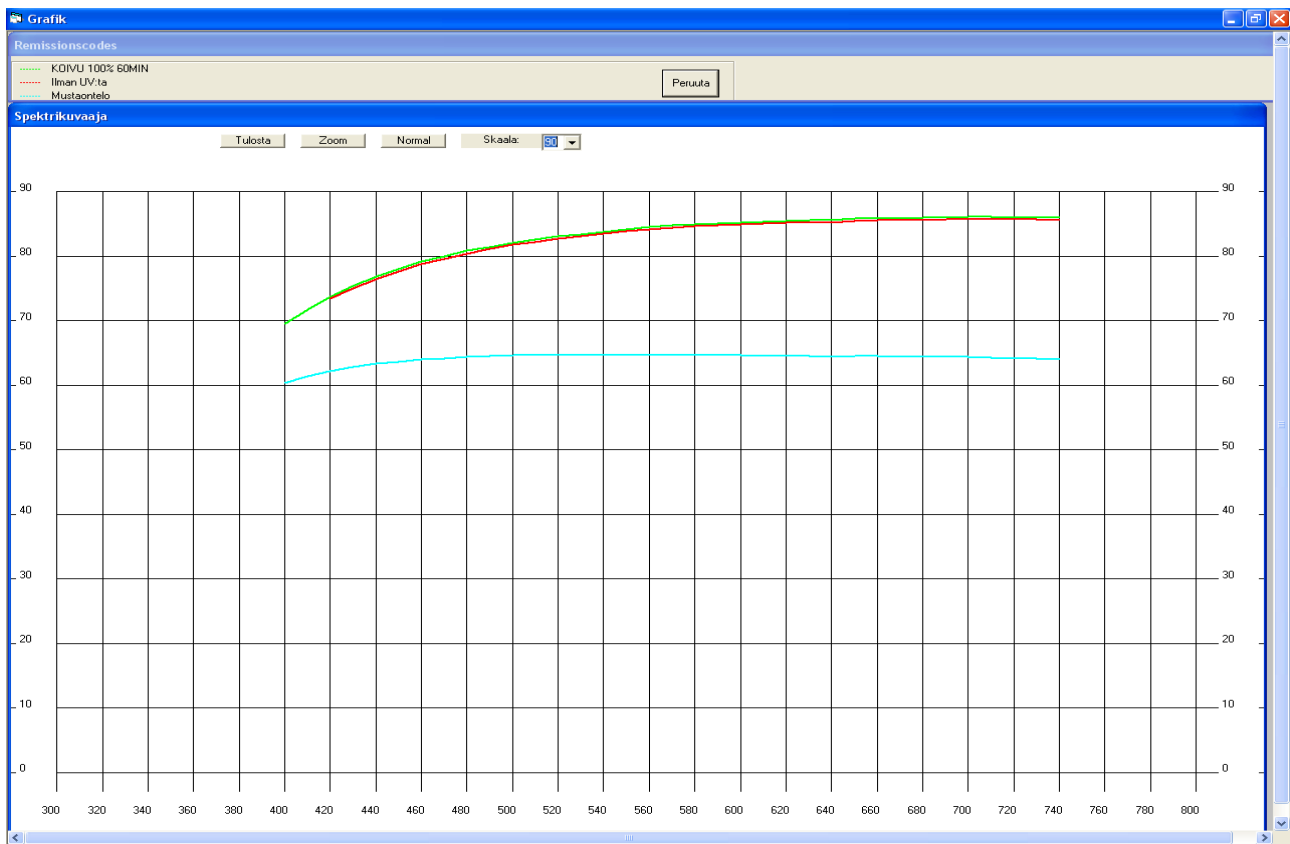
40min. jauhettu 100% koivusulfaatti Minolta Spectrophometerillä mitattuna.

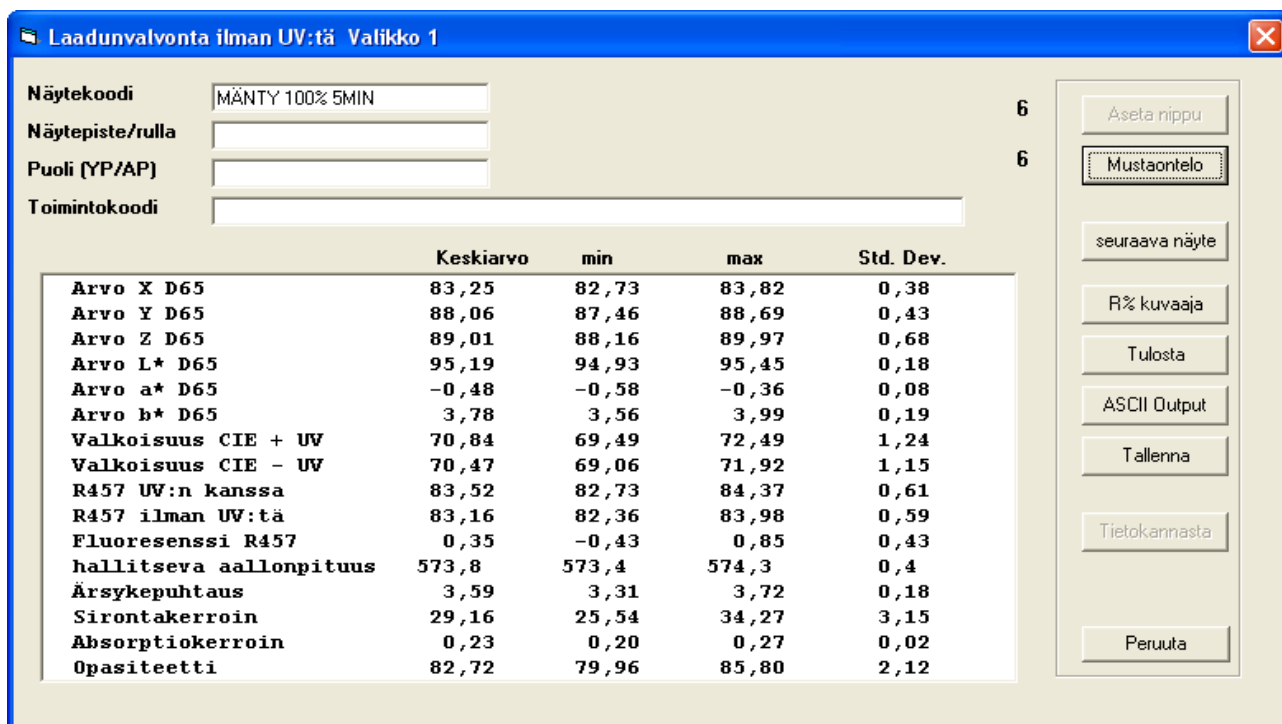




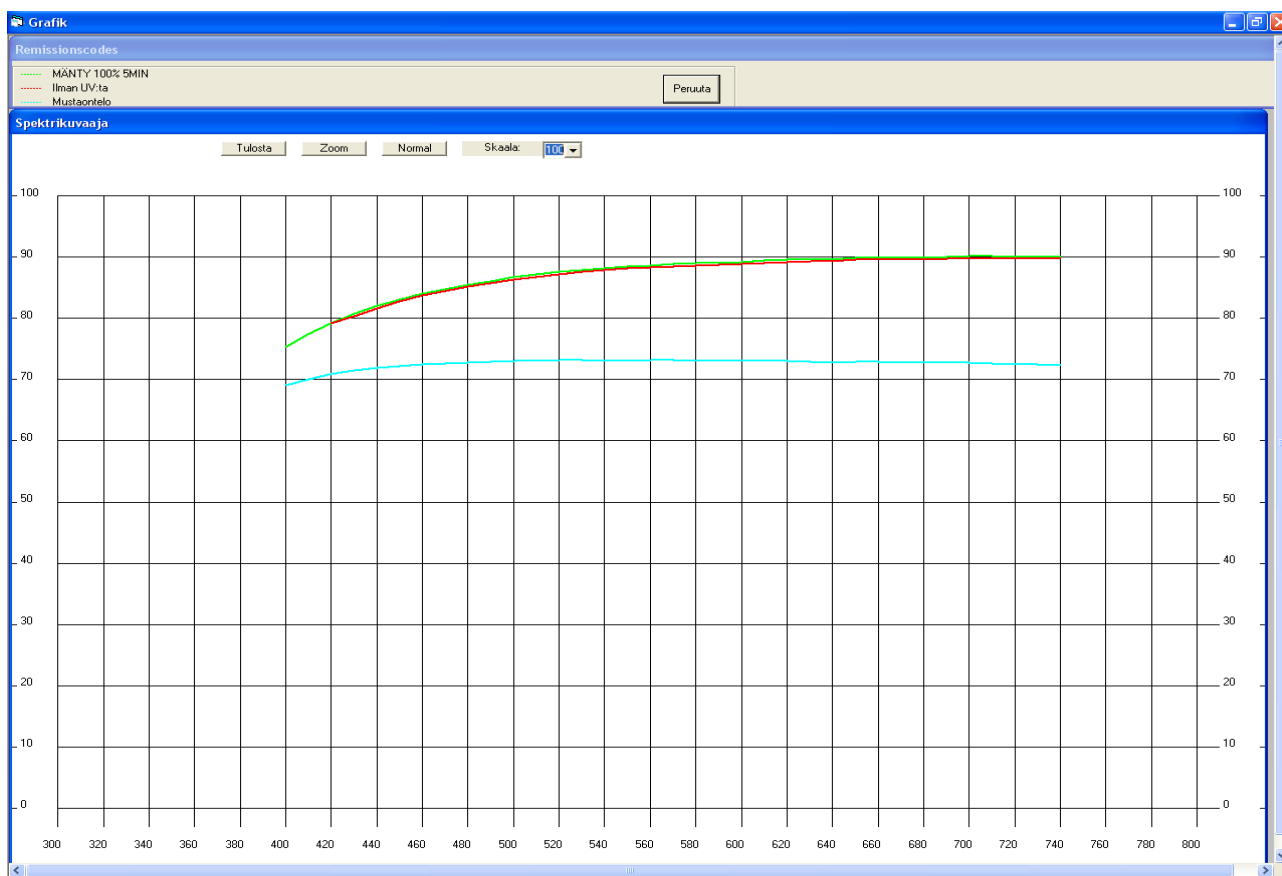


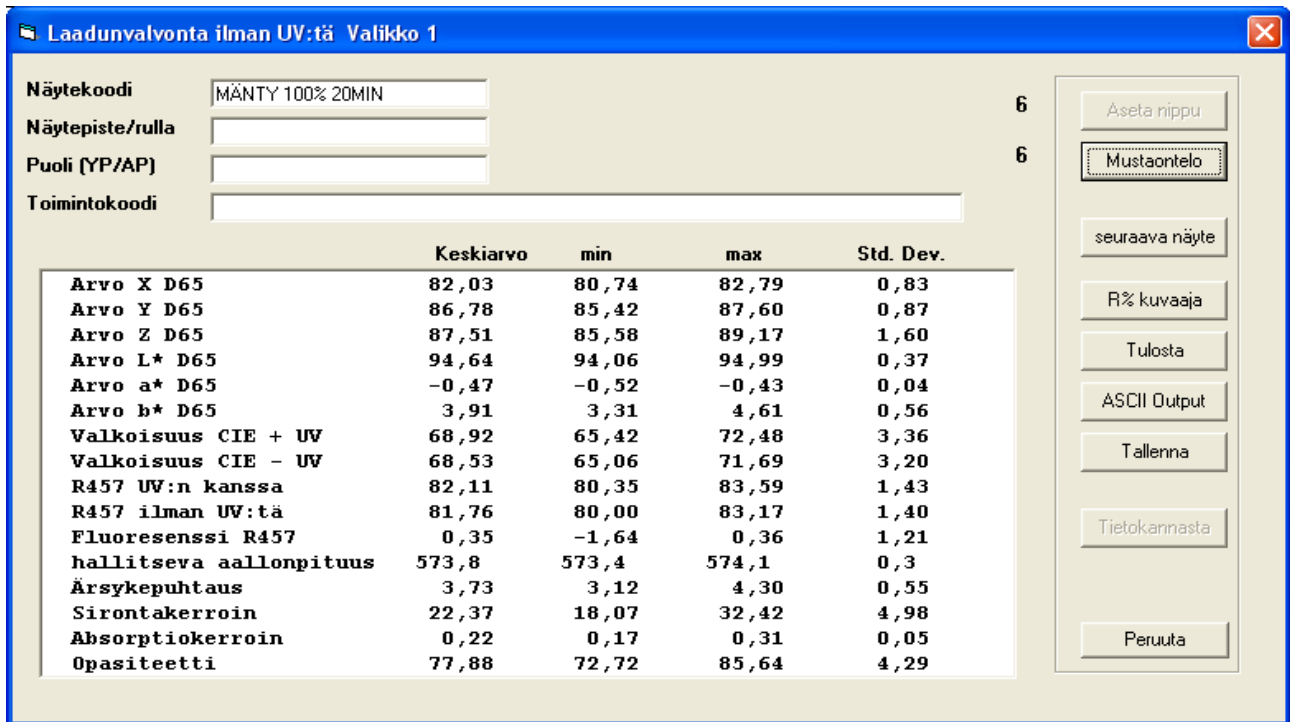
60min. jauhettu 100% koivusulfaatti Minolta Spectrophometerillä mitattuna.



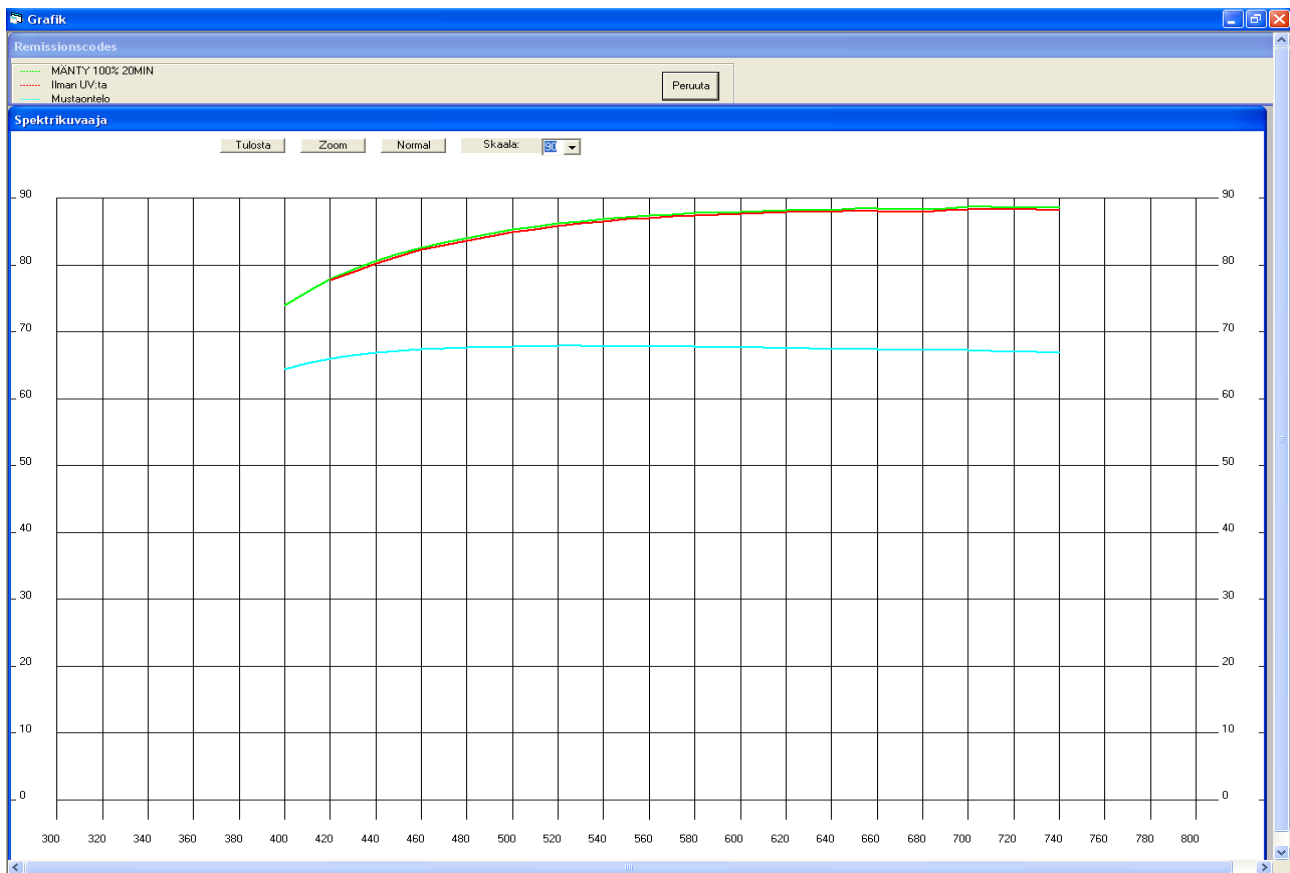


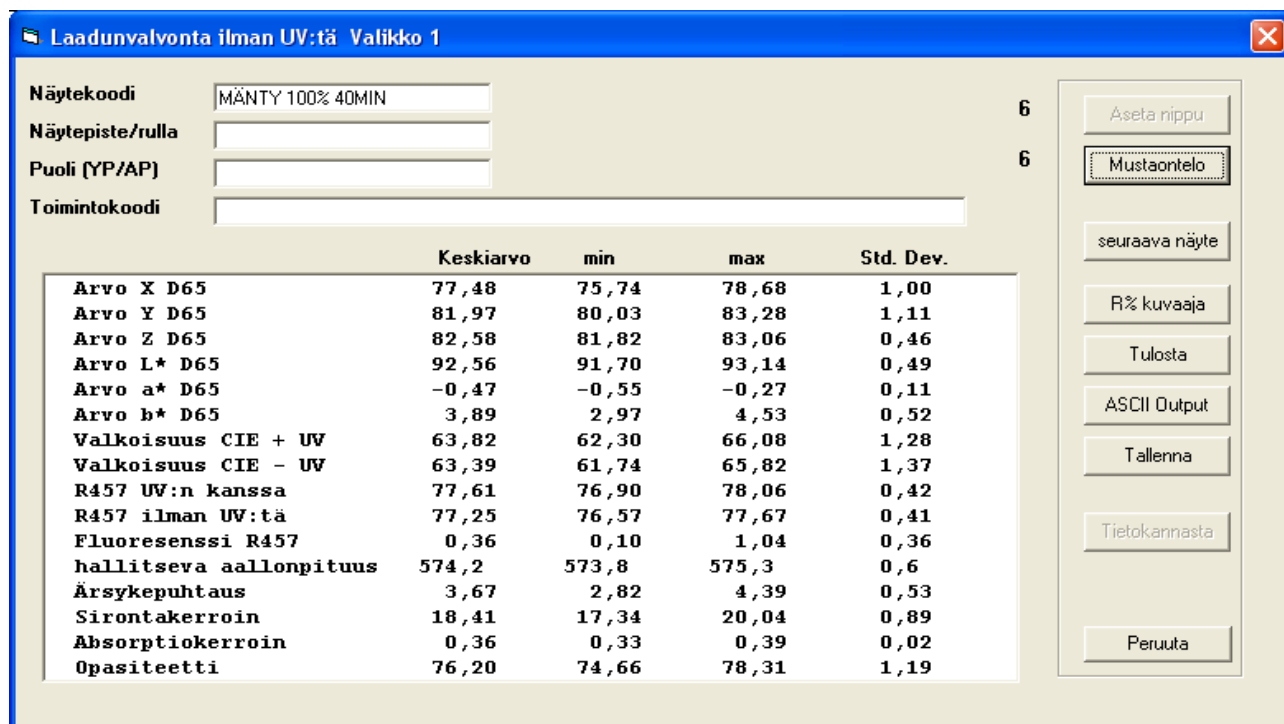
5min. jauhettu 100% mäntysulfaatti Spectrophometerillä mitattuna.



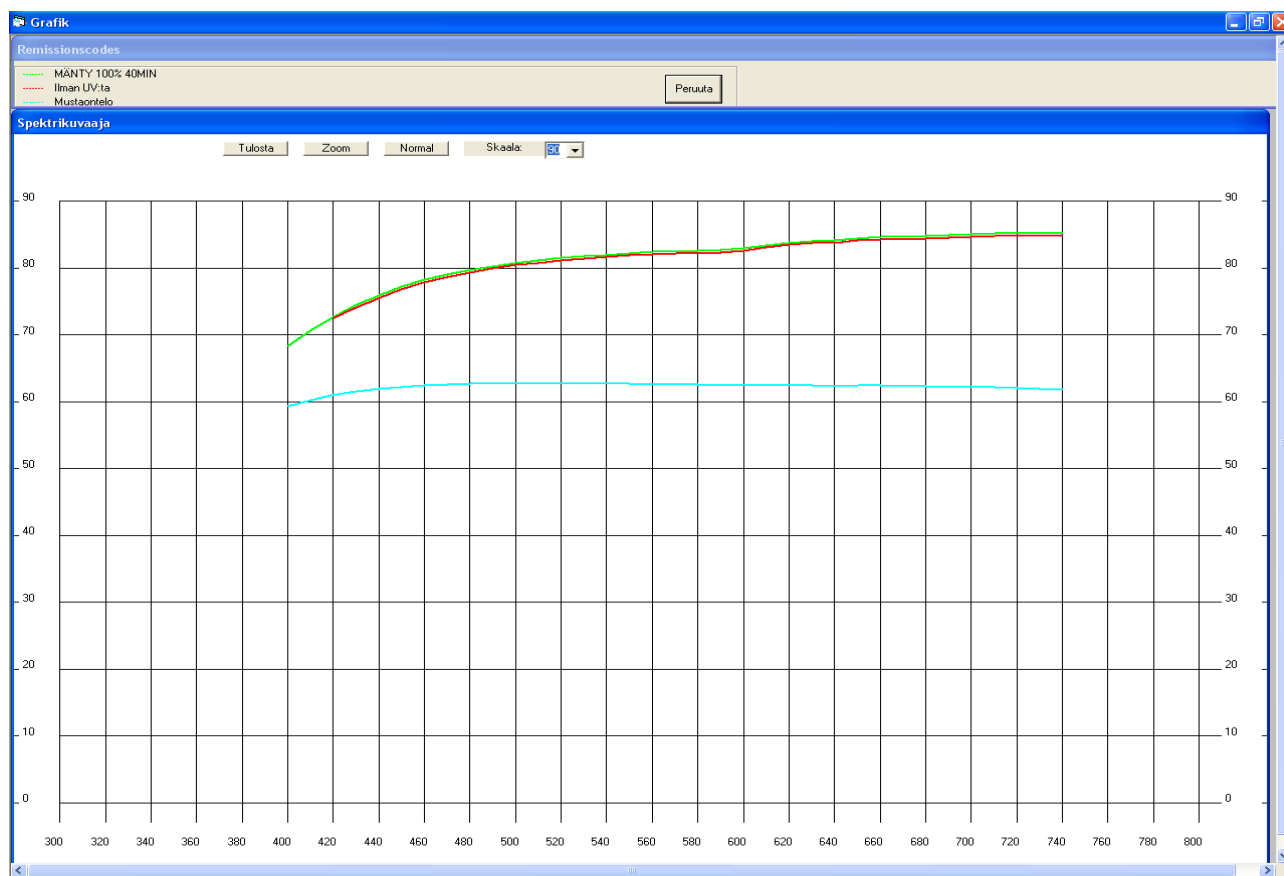


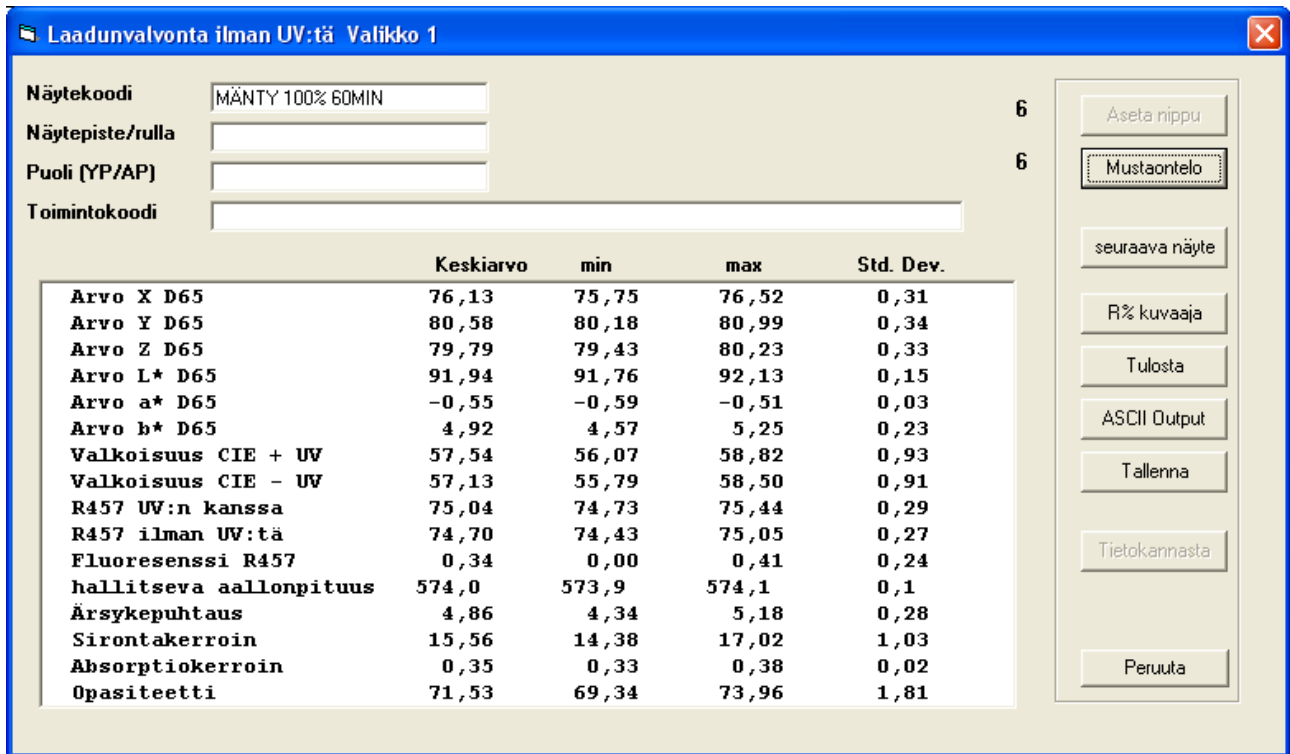
20min. jauhettu 100% mäntysulfaatti Spectrophometerillä mitattuna.



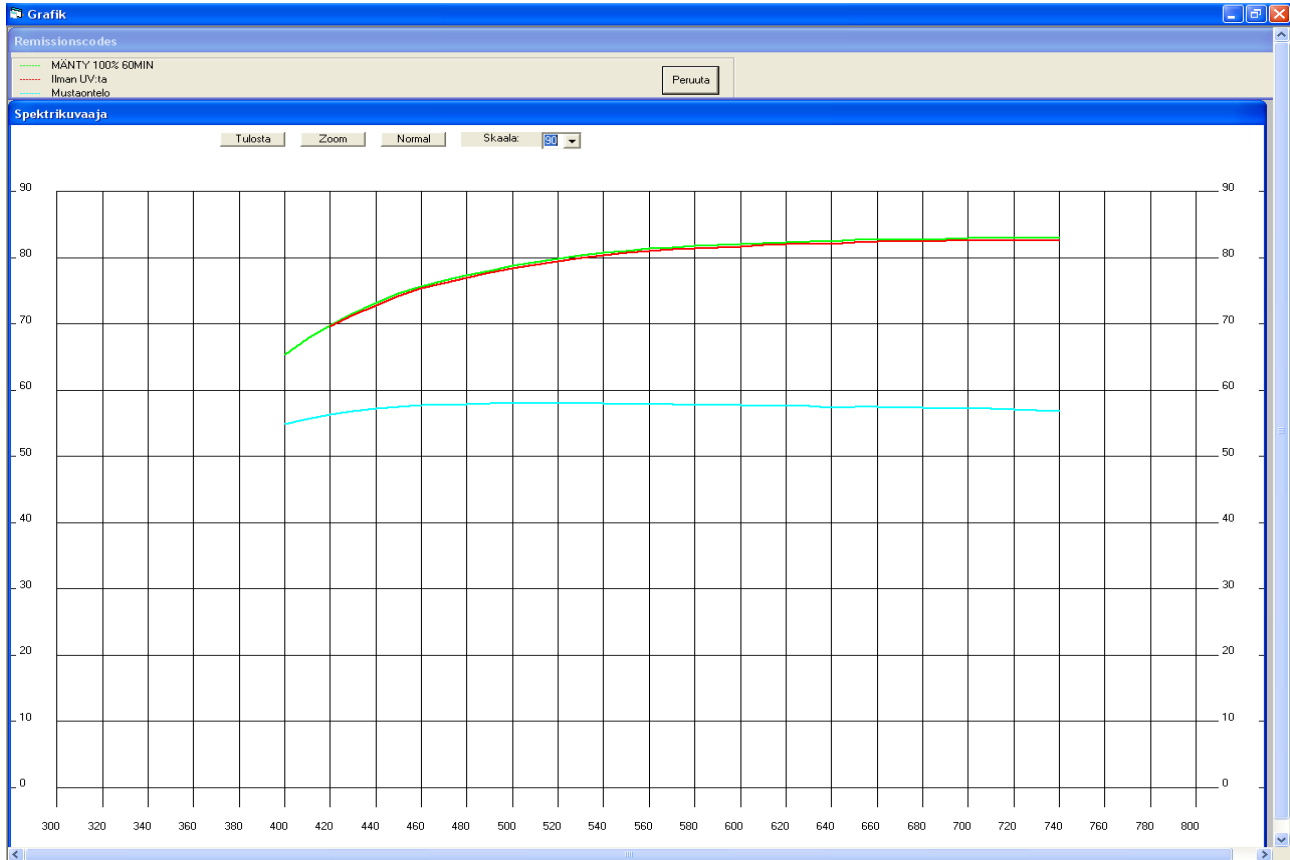


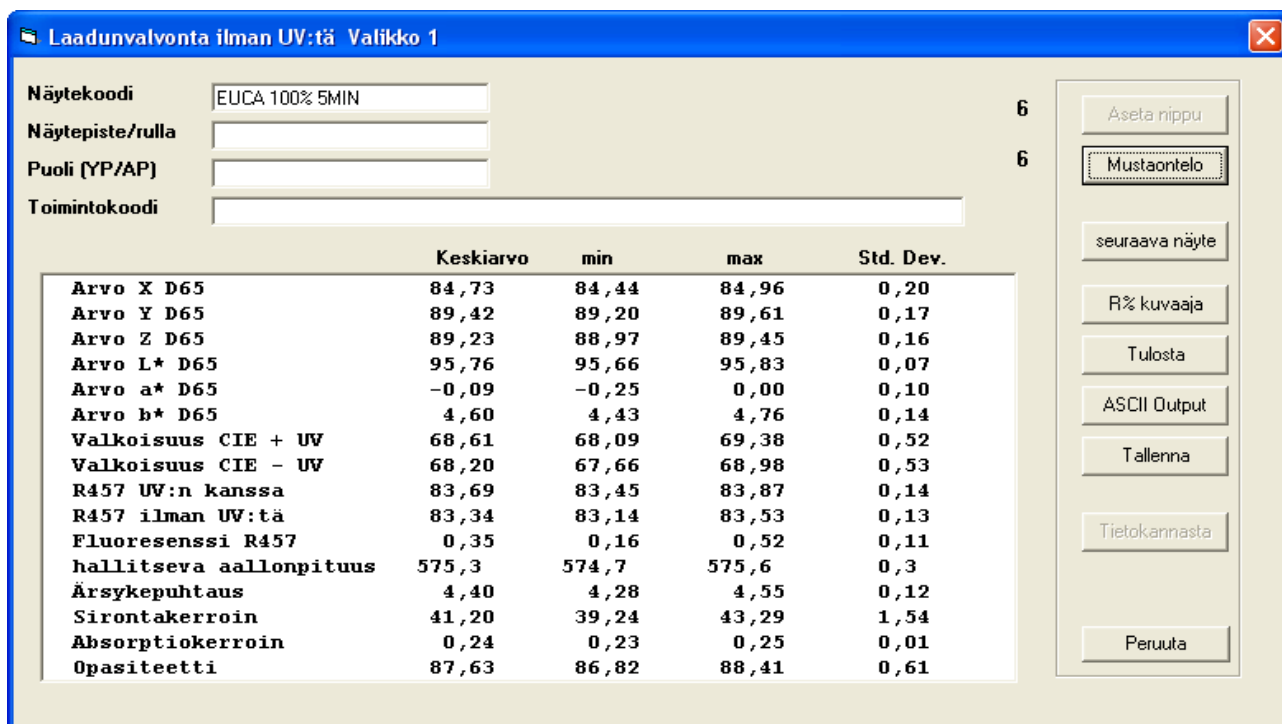
40min. jauhettu 100% mäntysulfaatti Spectrophometerillä mitattuna.



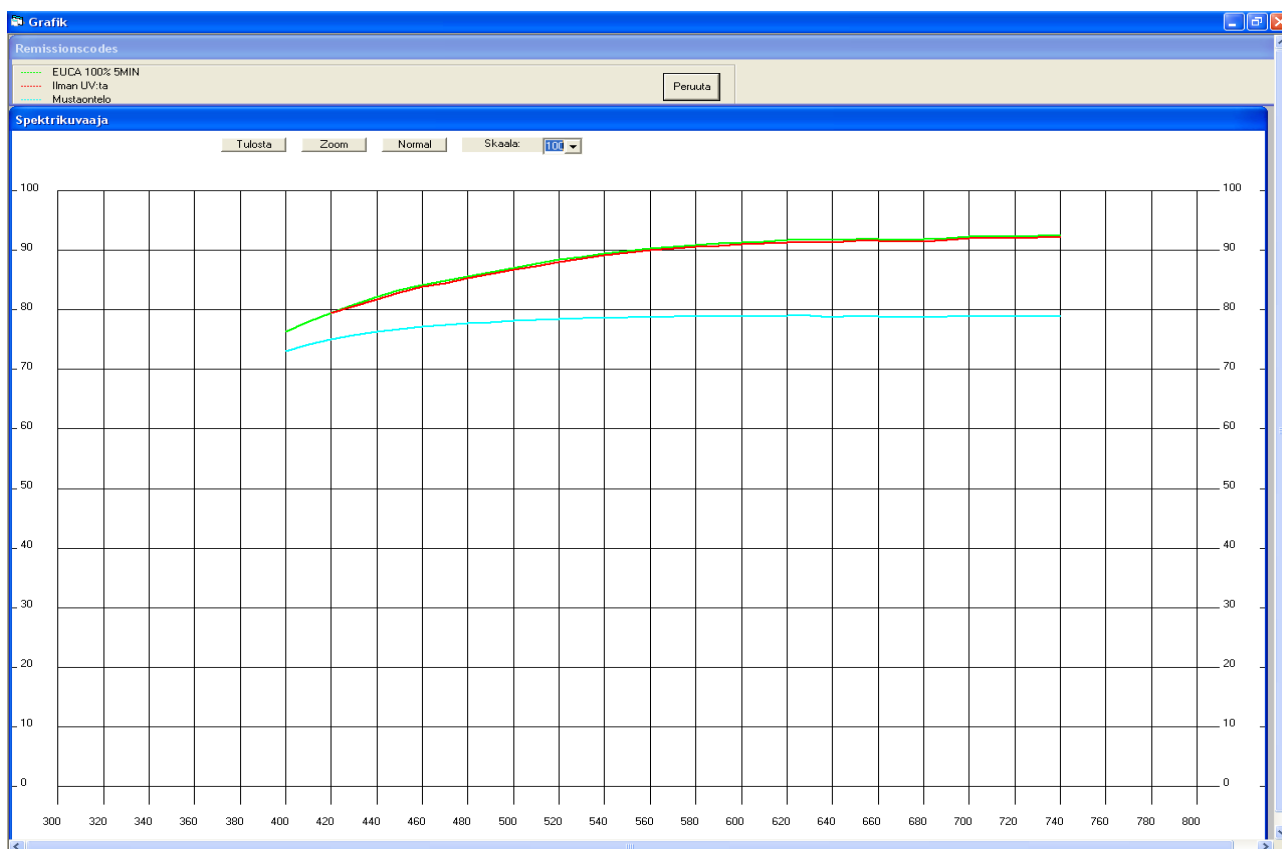


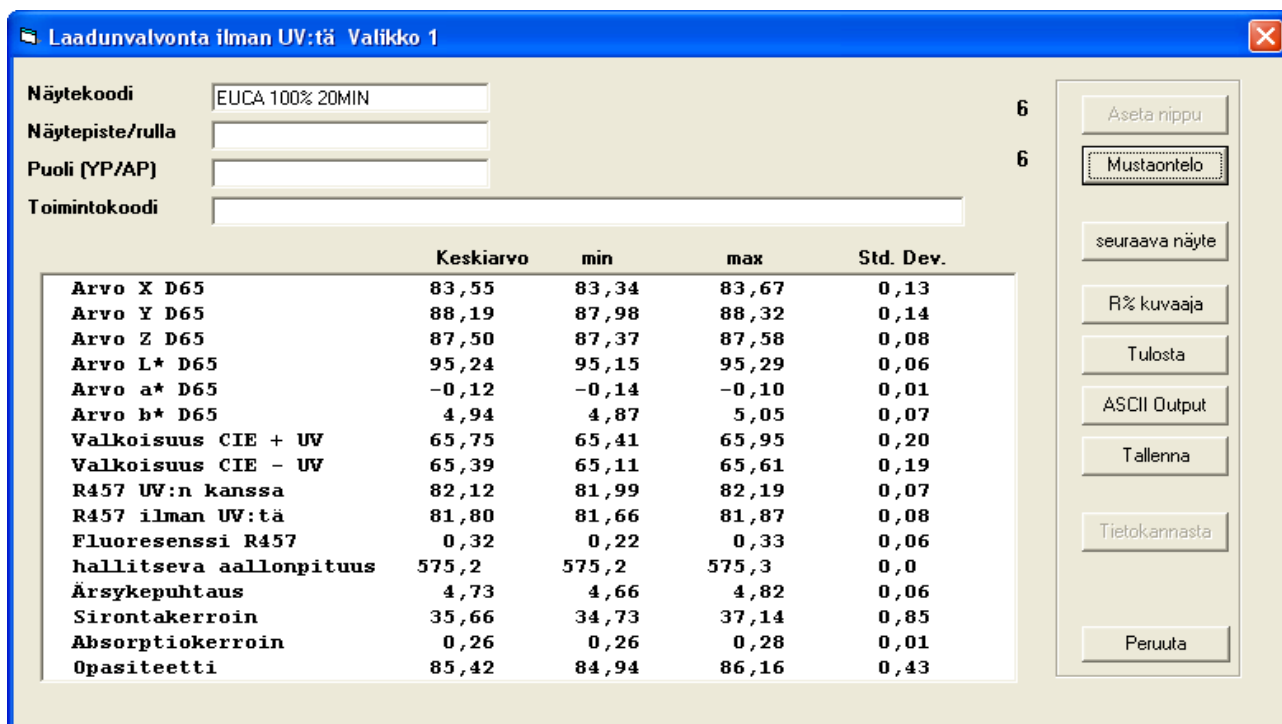
60min. jauhettu 100% mäntysulfaatti Spectrophometerillä mitattuna.



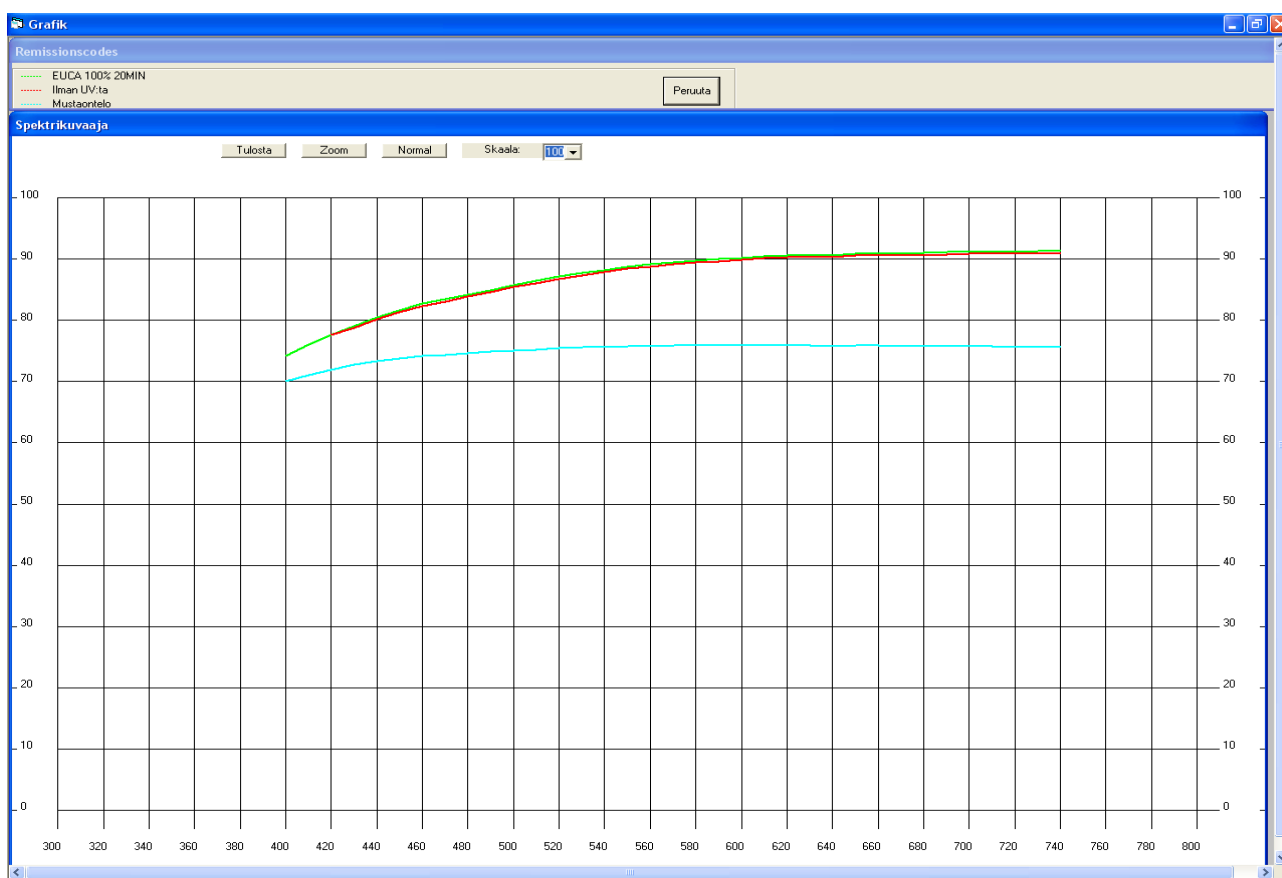


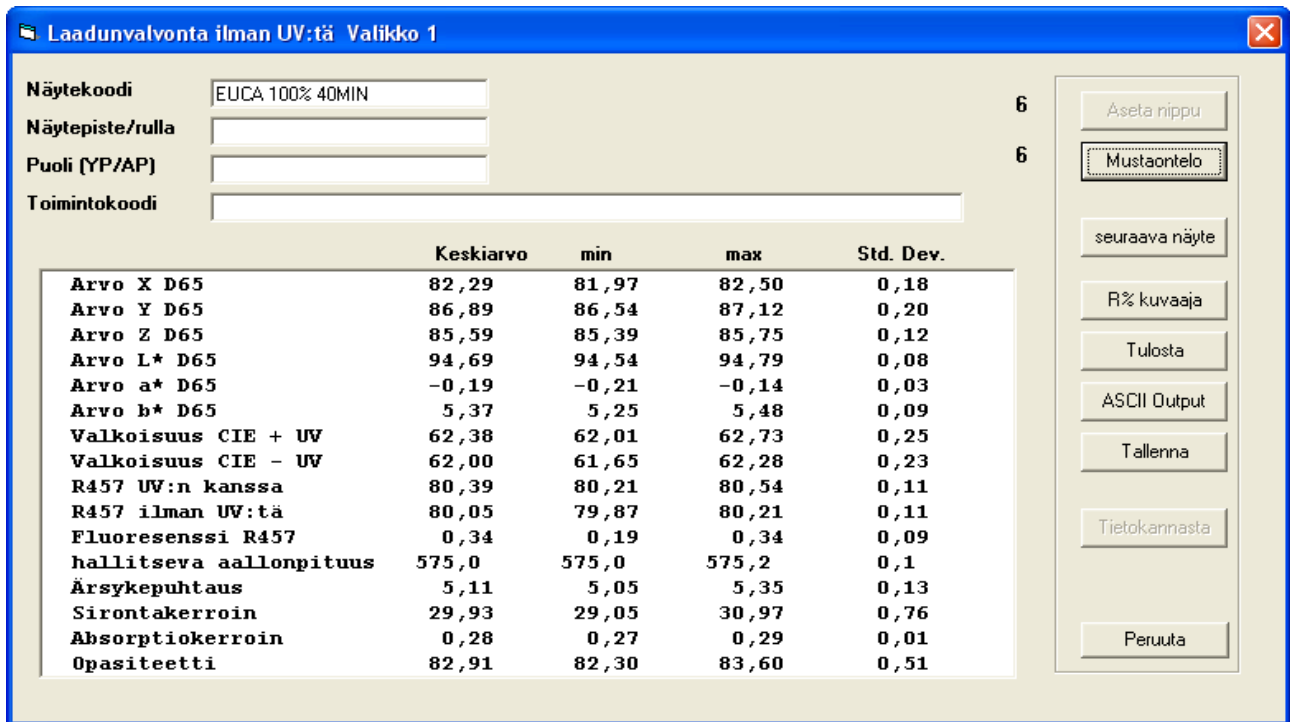
5min jauhettu Euca 360g Minolta Spectrophotometerillä mitattuna.



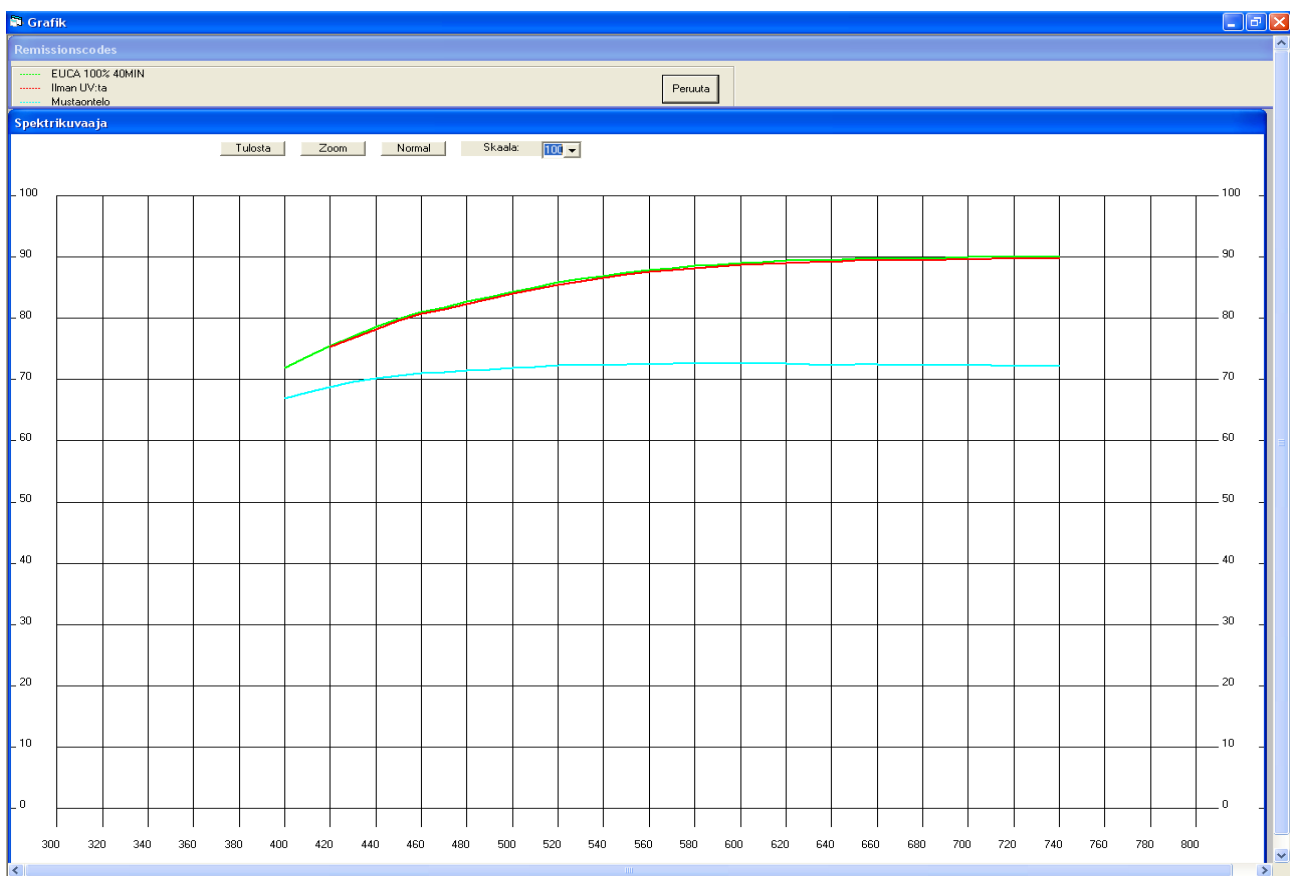


20min jauhettu Euca 360g Minolta Spectrophotometerillä mitattuna.

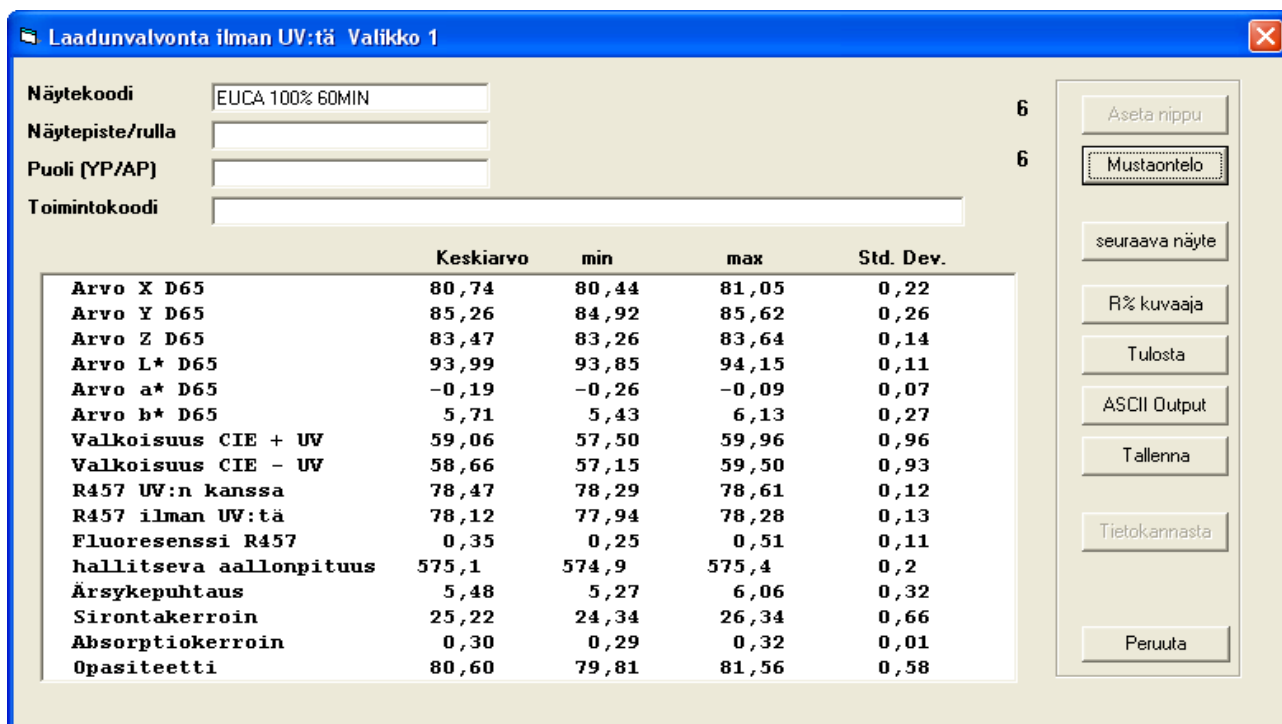




40min jauhettu Euca 360g Minolta Spectrophotometerillä mitattuna.







60min jauhettu Euca 360g Minolta Spectrophotometerillä mitattuna.

