

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinoinnin koulutusohjelma/
paperi- ja kartonkituotteiden kauppa

Ulla Kokkonen

ERI PUULAJEISTA VALMISTETTUIJEN MASSOJEN VAIKUTUKSET PAPERITEKNISIIN
OMINAISUUKSIIN

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

KOKKONEN, ULLA

Eri puulajeista valmistettujen massojen vaikutukset paperiteknisiin ominaisuuksiin

Opinnäytetyö

38 sivua + 25 liitesivua

Työn ohjaaja

Tekniikan lisensiaatti Kauko Mononen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2011

Avainsanat

jauhatus, puulajit, ominaisuudet, laboratoriomittaus, sellu, paperiteollisuus

Tämä opinnäytetyö tutkii kolmesta eri puulajista valmistettujen massojen vaikutuksia paperiteknisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa käytetyt näytteet ovat peräisin UPM:n Fray Bentosin, Stora Enson Sunilan ja Metsä-Botnian Kaskisten tehtailta. Työn tavoitteena on selvittää sellumassojen jauhatus-, optiset- ja mekaaniset kestävyysominaisuudet sekä vertailla puulajien ominaisuuksia toisiinsa.

Tutkimuksen laboratoriotestaukset suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun massa- ja paperilaboratoriossa keväällä 2010. Kaikki mittaukset tehtiin Scandinavian mukaisilla laitteilla. Tuloksia analysoitiin tilastollisia menetelmiä apuna käyttäen.

Tuloksissa voidaan havaita suuria eroja puulajien välillä. Havu- ja lehtipuusellujen välillä erot ovat huomattavia. Havupuusellulla paperiin saadaan hyvät lujuusominaisuudet, jotka parantavat ajettavuutta paperikoneella. Lehtipuilla taas saadaan hyvät pinnan ominaisuudet paperiin eli painojäljestä saadaan siisti.

Tulevaisuudessa paperiteollisuuden kilpailu kiristyy, sillä kysyntä ja tuotanto painotuvat kasvaville markkinoille, suurimmaksi osaksi Aasiaan. Laadun ja hinnan merkitys kilpailutekijöinä kasvaa entisestään.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Forest Products Marketing

KOKKONEN, ULLA

The Influence of Chemical Pulp Made from Different Tree Species on Paper Technical Properties

Bachelor's Thesis

38 pages + 25 pages of appendices

Supervisor

Kauko Mononen, LicSc(Tech.)

Commissioned

Kymenlaakso University of Applied Sciences

May 2011

Keywords

grinding, tree species, properties, laboratory measuring, chemical pulp, paper industry

This bachelor's thesis will research the influence of chemical pulp made from three different tree species on paper technical properties. The samples which were used in this research are from UPM's Fray Bentos, Metsä-Botnia's Kaskinen and Stora Enso's Sunila mill. The aim of this research is to find out the grinding-, optical- and mechanical strength properties of these chemical pulps and compare the properties of the tree species to each other.

The experimental part of the research was made at the pulp- and paper laboratories of Kymenlaakso University of Applied Sciences in spring 2010. All the measurements were made by using Scan-Standard based measuring devices. In analysis of the results was used statistical decision-making.

From the results it is possible to see big differences between tree species. The differences between soft- and hardwood are notable. Chemical pulp made from softwood gives paper good strength properties which improves driveability at papermachines. Hardwood gives good surface properties, which guarantees good printability.

In the future the competition in paper markets will tighten because of demand and production are going to focus on new growing markets, mainly to Asia. Quality and price will be even more significant in competition than nowadays.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Työn tavoitteet.....	7
2 TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS	8
3 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT PUULAJIT	8
3.1 Eukalyptus	8
4 MASSAT	11
4.2 Sulfaattikeitto	11
4.3 Massan jauhatus	12
5 NÄYTEARKIT	13
5.1 Massan Schopper-Riegler-luku (SR-luku)	14
5.2 Arkkien valmistus.....	14
6 LABORATORIOTESTAUS	15
6.1 Neliömassa	15
6.2 Paksuus, tiheys ja bulkki	15
6.3 Vaaleus	16
6.4 Opasiteetti.....	16
6.5 Kiilto.....	17
6.6 Karheus.....	17
6.7 Ilmanläpäisevyys	17
6.8 Vetolujuus ja venymä.....	17
6.9 Repäisylujuus	18

6.10 Tuhka.....	18
6.11 Kosteus	18
7 TYÖN SIDOSRYHMÄT	18
7.1 Stora Enson Sunilan tehdas	19
7.2 Metsä-Botnia Kaskinen	19
7.3 UPM Fray Bentos.....	19
8 TUTKIMUSMENETELMÄT	20
8.1 Tiedonkeruu.....	20
8.2 Laboratoriotutkimukset	20
8.3 Taulukointi	20
9 TULOKSET	20
9.1 Yleiset ominaisuudet	21
9.1.1 Jauhatusaste.....	21
9.1.2 Neliömassa ja paksuus	21
9.1.3 Tiheys ja bulkki.....	23
9.1.4 Tuhka.....	24
9.1.5 Kosteus	24
9.2 Optiset ominaisuudet.....	24
9.2.1 Vaaleus	25
9.2.2 Opasiteetti.....	26
9.2.3 Kiilto.....	26
9.3 Pinnan ominaisuudet	26
9.3.1 Sileys	27
9.3.2 Karheus.....	29
9.3.3 Ilmanläpäisevyys	29
9.4. Lujuusominaisuudet	30
9.4.1 Vetolujuus ja vetoindeksi	30

9.4.2 Venymä ja murtotyö.....	32
9.4.3 Repäisylujuus ja repäisyindeksi	33
9.5 Virhearviointi	34
9.5.1 Virheet.....	34
9.5.2 Karkea virhe	35
9.5.3 Systemaattinen virhe	35
9.5.4 Tilastollinen virhe	35
10 LOPPUPÄÄTELMÄT	35
10.1 Pohdinta.....	35
10.2 Soveltuvuus raaka-aineiksi.....	36
10.3 Tulevaisuus.....	36

LIITTEET

Liite 1. Schopper-Riegler-asteet

Liite 2. Laboratoriotulokset

Liite 3. Minolta-spektrofotometrillä mitatut tulokset

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen taantuma on ollut paperiteollisuudelle hyvin haastava. Metsäteollisuuden yritykset ovat joutuneet sulkemaan tehtaita, koska paperiteollisuudella on ylituotantoa Euroopassa, ja markkinat ovat painottuneet uusille alueille. (1, s. 207.)

Suomen teollisuudessa paperiteollisuus on näytellyt aina merkittävää roolia. Viime vuosina Suomessa on kuitenkin jouduttu sulkemaan tehtaita ylituotannon ja liian pienen kysynnän vuoksi. Myös eukalyptuksen kasvava suosio on vaikuttanut tehtaiden sulkemiseen tuotannon painottuessa alueille, joilla eukalyptusta kasvaa. (2.)

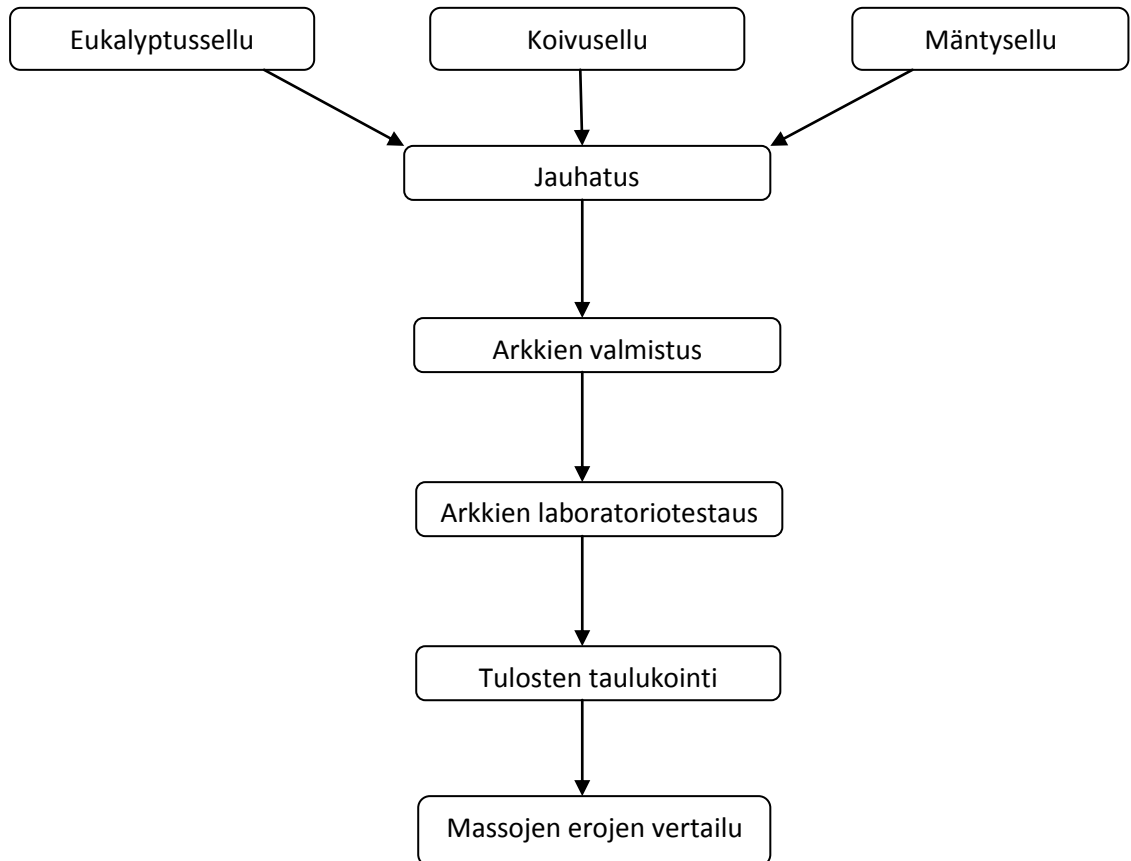
Tässä tutkimuksessa tutkitaan yhtä paperin raaka-ainekokonaisuutta, kemiallisia massoja eli selluja. Tämän tutkimuksen sellut on valmistettu sulfaattimenetelmällä. Sellua voidaan valmistaa sekä havu- että lehtipuista. Havupuu sopii pitkien kuitujensa ansiosta lujuutta vaativiin lopputuotteisiin, ja lehtipuu taas soveltuu hyvien optisten ominaisuuksiensa ansiosta hienopapereiden valmistukseen. Tässä tutkimuksessa vertaillaan eukalyptusta, koivua ja mäntyä. Eukalyptusmassa on peräisin UPM:n Fray Bentosin tehtaalta, koivumassa Metsä-Botnian Kaskisten tehtaalta ja mänty Stora Enson Sunilan tehtaalta.

1.2 Työn tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on vertailla eri puulajeista valmistettuja sulfaattimassoja keskenään. Työn avulla pyritään selvittämään männystä, koivusta ja eukalyptuksesta valmistettujen sellumassojen optiset ominaisuuserot, pinnan laadun erot, jauhatuksen ominaisuuserot ja mekaanisen kestävyuden erot. Eroja vertaillaan ja pyritään selvittämään myös havu- ja lehtipuumassojen välisiä eroavaisuuksia. Tällaisten tutkimusten tuloksia voidaan hyödyntää yleisellä tasolla uusien tuotteiden kehittämisessä sekä parantaa tässä tutkimuksessa tarkasteltuja massoja valmistavien tuotantolaitosten raaka-aineiden käyttämistä ja hyödyntämistä. Tuloksia analysoidaan tilastollisia menetelmiä apuna käyttäen.

2 TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS

Tässä tutkimuksessa on keskitytty vertailemaan kolmesta eri puulajista valmistettuja sellumassoja keskenään jauhatusajanfunktiona. Jauhatusajan vaikutusta tutkittaviin paperiteknisiin ominaisuuksiin voidaan näin tarkastella. Kuvassa 1 nähdään opinnäytetyön viitekehys kaaviona.



Kuva 1. Opinnäytetyön viitekehys

3 TUTKIMUKSESSA KÄYTETYT PUULAJIT

3.1 Eukalyptus

Eukalyptuksia (Eucalyptus) kasvaa luonnonvaraisena Australiassa ja Uudessa-Guineassa sekä Indonesiassa. Teollisuuden raaka-aineena käytettävä eukalyptus saadaan istutusmetsistä. Eukalyptusta käytetään suurenevissa määrin paperiteollisuuden raaka-aineena, koska se kasvaa nopeasti ja sen pitkät kuidut soveltuvat hyvin paperinvalmistukseen. (3.) Kuvassa 2 on eukalyptus.



Kuva 2. Eukalyptus (*Eucalyptus*) (3.)

3.2 Koivu

Koivut (*Betula*) kasvavat laajasti koko Euroopan alueella. Suomessa niitä kasvaa koko maan alueella. Suomen yleisimmän koivulajit ovat hieskoivu (*Betula pubescens*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Koivu voi kasvaa jopa 30-metriseksi. Sen rinnankorkeusläpimitta tukkipuulle on vähintään 25 senttimetriä. (4.)

Koivu vaatii kasvaakseen paljon valoa ja hyvän kangasmaan. Koivu leviää helposti kevyiden siementensä avulla, sillä ne voivat kulkea tuulessa pitkiäkin matkoja. Koivu on Suomessa yleisin lehtipuusellun raaka-aine. (4.) Kuvassa 3 on hieskoivu (*Betula pubescens*)



Kuva 3. Hieskoivu (*Betula pubescens*) (4.)

3.3 Mänty

Mäntyä (*Pinus sylvestris*) kasvaa maapallolla noin 100 lajia, joista vain yksi kasvaa Suomessa luonnonvaraisena. Mäntyä kasvaa koko Euroopassa ja osassa Siperiaa. Suomessa mänty on levinnyt lähes jokaiseen maamme kolkkaan. Mänty kasvaa kuivissa kangasmetsissä. Se ei vaadi paljoa ravinteita, mutta valoa sitäkin enemmän. Mänty voi kasvaa yli 40 metriseksi ja satoja vuosia vanhaksi. (5.) Kuvassa 4 on mänty.



Kuva 4. Mänty (*Pinus sylvestris*) (5.)

4 MASSAT

4.2 Sulfaattikeitto

Kaikki tässä työssä valmistetut massat on valmistettu sulfaattimenetelmällä. Sulfaattikeiton tarkoituksena on poistaa puukuituja toisiinsa sitova ligniini, ainakin osittain. Ligniini on keskittynyt välilamelliin ja sekundääriseinään. Keitto tapahtuu voimakkaasti alkalisella liuoksella. Havu- ja lehtipuut keitetään aina erikseen. Usein puuraaka-aineena käytetään mäntyä, kuusta ja koivua. Keittoon tuleva puu on kuorittua ja hakettua. Kuoriaines kuluttaa runsaasti valkolipeää ja vaatii hyvän lajittamon ja talteenottolinjan. Keittää voidaan joko eräkeittona tai jatkuvatoimisena vuokeittona. (6, s.75.)

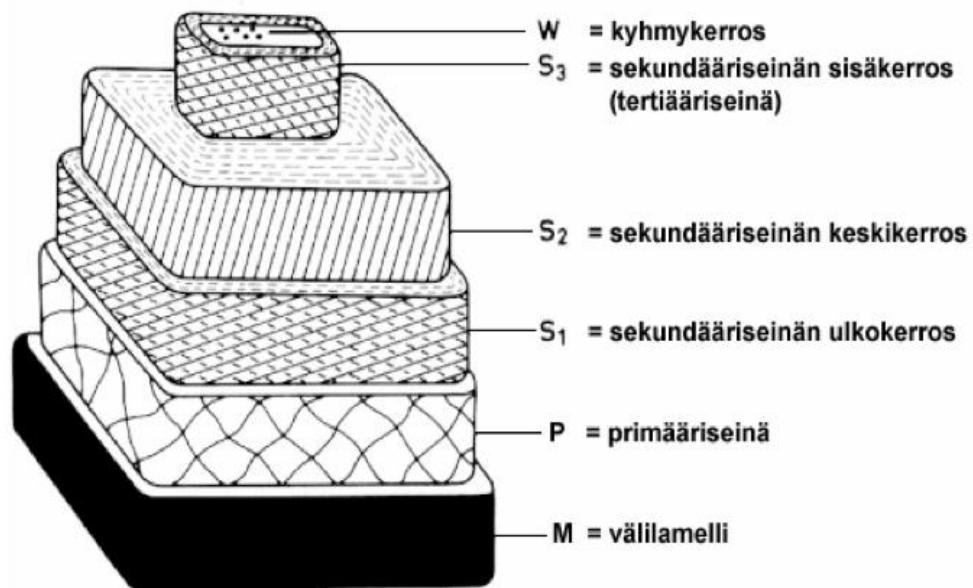
Keitin lämmitetään höyryllä. Keittoaika ja -lämpötila määräytyy sen mukaan, millainen ligniinipitoisuus massalle halutaan. Keitossa ja pesussa käytetty mustalipeä pyritään erottamaan massasta mahdollisimman tehokkaasti. Mustalipeä pumpataan tal-

teenottolinjalle. Liian voimakas pesu heikentää talteenottolinjan toimintaa sekä laimentaa mustalipeää. (6, s 75.)

Valkaistavia massalaatuja varten on kehitetty ligniiniä poistava happivaihe. Jotkin valkaisuaineet, joiden ligniinipitoisuus jää suureksi, on kuidutettava levyjauhimilla. (6, s. 75.)

4.3 Massan jauhatus

Kuituja muokataan sellun jauhatuksessa jauhinterien välissä niin, että niiden sitoutumiskyky saadaan aktivoitua. Jauhamaattomaan paperiin ei synny tarpeeksi sidoksia eli sen lujuus on sekä märkänä että kuivana riittämätön. Jauhamaaton arkki on myös liian huokoinen ja karhea, jotta se kelpaisi vaativiin menetelmiin tai päällystyksen pohjapaperiksi. (7, s. 113.) Kuvassa 5 esitetään puukuidun rakenne.



Kuva 5. Puukuidun rakenne (6, s. 77.)

Sellun jauhatuksen vaikutukset jaetaan yleensä seuraaviin kuuteen mekanismiin, joista osa on toivottuja ja osa ei:

1. Ulkoinen fibrillaatio eli kuidun ulkokerrosten osittainen irtoaminen ja haiventuminen. Tätä ilmiötä toivotaan, sillä se edistää kuitujen välistä sitoutumista haivenien

paremman ulottuvuuden ja pienemmän jäykkyyden takia. Edellytyksenä on kuidun primäärikalvon poistuminen.

2. Sisäinen fibrillaatio eli veden tunkeutuminen kuituseinämän lamellien väliin ja siitä johtuva kuidun notkistuminen. Tässäkin on edellytyksenä kuidun primäärikalvon poistuminen. Lisäksi kuidun pitää turvota ja selluloosa-vesi-selluloosa vetysidosten täytyy muodostua lamelliväleihin selluloosa-selluloosa vetysidosten sijaan. Kuitu notkistuu, sillä erillisten ohuiden levyjen summajäykkyys on vain murto-osa yhden, paksumman levyn jäykkyydestä.
3. Kuidun suoruuden muutokset jauhatusvoimien vaikutuksesta eli kuidun suoristuminen matalassa sakeudessa ja kuidun kähertyminen suuressa sakeudessa.
4. Kuitujen katkeaminen ja keskipituuden lyheneminen. Tämä on yleensä ei-toivottua, sillä luonnosta saadaan lyhyitä kuituja jo valmiiksi.
5. Hienoaineen syntyminen eli kuitujen ja kuituseinämän osasten jauhautuminen pieniksi partikkeleiksi. Tämä vahvistaa kuitujen sidoksia.
6. Kuidun liukeneminen osittain tai kokonaan ei ole sulfaattisellussa ongelma. Liukenevat osat ovat poistuneet sulfaattikeitossa jo kokonaan. Liukenemista ilmenee lähinnä mekaanisessa massassa. (6, s. 113, 114.)

5 NÄYTEARKIT

Massa jauhettiin tässä tutkimuksessa Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Jauhatuksessa käytettiin standardimenetelmän SCAN-C 25:76 mukaan varusteltua ja kalibroituja Valley-hollanteria. Jauhatuksen uunikuiva massamäärä oli 360 g ja massan sakeus hollanterissa 15,7 g/l. Massa jauhettiin 8,3 l/s pyörivän terätukin ja vipuvarrella kuormitettavan alaterän välissä. Terätukki piti pyörimällä yllä jatkuvaa kiertoliikettä hollanterin altaassa. Vipuvarren kuormituksen suuruus vaihtelee puulajin mukaan. Mäntysulfaatit vaativat jauhautuakseen enemmän kuormitusta kuin lehtipuiden sulfaatit. Sulfaattien jauhautuvuuteen vaikuttavat jauhatusta hidastava kuidun ligniini sekä jauhatusta nopeuttava hemiselluloosa. Hemiselluloosapitoinen kuitu väistää paremmin jauhatusvoimia, ja näin se katkeilee vähemmän kuin sitä jäykempi ligniini-pitoinen kuitu. (6, s. 75.)

Jauhatuksessa oli seuraavat vaiheet: massan liotus, hollanterin täyttäminen, massan hajotus hollanterissa ilman kuormitusta, varsinainen jauhatus kuormituksella, massanäytteen ottaminen hollanterialtaasta jauhatuksen aikana määräväleihin (SR-luvun määrittämistä varten) jauhatuksen lopettaminen ja hollanterin tyhjentäminen.

Selluarkkien annettiin liota vuorokausi vedessä, minkä jälkeen arkit revittiin jauhatusta varten pienempiin paloihin. Tämän jälkeen alkoi itse jauhatusprosessi.

5.1 Massan Schopper-Riegler-luku (SR-luku)

SR-luku on suhteellinen mitta, joka määritellään massan suotautumisnopeudelle, mitauslaitteen rakenteen kautta. SR-luku mitataan suotauttamalla yksi litra 2 g/l sakeaa sulppua viirakankaalle. Massan SR-luku on sitä suurempi, mitä hitaammin massa suotautuu. (8, s. 22.)

Määrittäminen suoritettiin standardimenetelmän SCAN-C 19:65 mukaan varustetulla ja kalibroidulla Schopper-Riegler-laitteella. SR-luku määritettiin jokaisella puulajilla viidestä eri jauhatusaikasta, jotka olivat 5, 20, 40 ja 60 minuuttia.

5.2 Arkkien valmistus

Tarvittavien laboratorioarkkien määrä riippuu siitä, mitä eri määrittämiä arkeista suoritetaan ja kuinka tarkkoja määrittämiä vaaditaan. Osassa määrittämiä arkit tuhoutuvat, minkä vuoksi arkkeja täytyy olla tarpeeksi monta. Tässä tutkimuksessa valmistettiin 6 arkkiä jokaista jauhatusaikaa ja puulajia kohden. Arkkeja yhtä puulajia kohden oli 24 eli yhteensä 72.

Kun SR-luku on määritetty, laboratorioarkit voidaan valmistaa. Ensin arkkimuotissa suotautettiin laimea massasulppu viirakankaalle, minkä jälkeen arkki huopautettiin irti viirasta kuivausarkkeja apuna käyttäen. Kuivausarkit asetettiin varsinaisen arkin päälle, paineltiin, nostettiin arkit varovasti viiralta ja laitettiin ne pinoamiskehikkoon. Eri jauhatusaikat erotettiin kehikossa muovilevyillä. Kun kaikki yhden puulajin arkit oli valmistettu, ne märkäpuristettiin, jotta ylimääräisestä vedestä päästiin eroon. Arkit asetettiin puristuksen jälkeen kuivatusleyille, kiristettiin viirakankaalla ja ripustettiin kuivumaan laboratorioon.

6 LABORATORIOTESTAUS

Massan ominaisuudet paperiarkeista määritellään samoin periaattein kuin paperin vastaavat ominaisuudet. Laboratorioarkkeja testattaessa näytepinta-ala on pienempi kuin paperikoneessa valmistetuissa arkeissa. Tämän vuoksi määritykset poikkeavat toisistaan. Laboratorioarkeissa ei myöskään ole kone- eikä poikkisuuntaisia eroja, kun taas paperikoneella valmistetuissa arkeissa on. Arkit testattiin suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Kaikki testit on tehty Scan-standardien mukaan.

6.1 Neliömassa

Paperin neliömassa on paperin massa grammoina laskettuna neliometriä kohti (g/m^2). Tässä tutkimuksessa neliömassa saatiin selville punnitsemalla näytearkki ja laskemalla kunkin testiarkin neliömassa kaavasta:

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

jossa

w = testikappaleen neliömassa, g/m^2

m = testikappaleen massa, g

A = testikappaleen pinta-ala, cm^2 (8, s. 40.)

6.2 Paksuus, tiheys ja bulkki

Paperiarkin paksuus on kahden 200 mm^2 :n suuruisen levyn etäisyys toisistaan, kun niiden välissä on ilmastoitu arkki ja niiden välinen paine on 100 kPa. Paksuus määritetään standardimenetelmän SCAN-P 7:75 mukaan varustetulla ja kalibroidulla tarkkuusmikrometrillä. Mikrometrin nollaus tarkistetaan ennen mittausten aloittamista ja toisinaan mittausten kuluessa.

Paperin tiheys on massa tilavuusyksikköä kohti laskettuna yksittäisen arkin neliömassan ja paksuuden perusteella.

Paperiarkin tiheys lasketaan kaavasta:

$$X = 1000 w/t$$

jossa

X = tiheys, kg/m^3

w = neliömassa, g/m^2

t = paksuus, μm (8, s. 41.)

Bulkki on paperin tiheyden käänteisarvo eli ominaistilavuus. Bulkki on merkitsevä ominaisuus etenkin kartonkitekiteollisuudessa. Hyvään bulkki-ominaisuuteen pyritään käyttämällä mekaanista massaa esimerkiksi kartonkien keskikerroksissa.

Bulkki lasketaan kaavasta:

$$1/X$$

jossa

X = näytteen tiheys

Bulkin laatuna on cm^3/g (9.)

6.3 Vaaleus

Mikäli paperi pystyy heijastamaan takaisin suuren osan sille langenneesta valosta, se on yleisesti ottaen vaaleaa. Jotta vaaleus voidaan erottaa läpinäkymättömyydestä eli opasiteetista, vaaleuden mittaamisessa täytyy käyttää niin paksua arkkipinoa, että pinnon läpi ei pääse valoa. (7, s. 101.) Paperin ISO-vaaleus on ominaisheijastusluku määritettynä 457 nm:n vaikuttavalla aallonpituudella. ISO-vaaleutta mitataan Minolta-mittarilla.

6.4 Opasiteetti

Paperin opasiteetti kuvaa sen kykyä estää sen alla olevalla samantyyppisellä paperilla olevan painatuksen läpinäkymistä. Opasiteetti on mustaa taustaa vasten määritetyn yk-

sittäisen paperiarkin valonheijastusluvun suhde saman paperin Y-arvoon. (7, s. 101.) Opasiteetti mitattiin Minolta-mittarilla.

6.5 Kiilto

Paperin kiillolla pyritään siihen, että painojälki olisi hyvä, etenkin monivärikuvissa. Kun paperilla on hyvä kiilto, se on pinnaltaan sileää, jolloin tasaisen ja korkeakiiltoisen värikerroksen aikaansaaminen on mahdollista. (7, s. 104.) Kiiltoa mitattiin Zehntner-mittarilla. Mittapäässä mitataan näytteen heijastus yhdensuuntaisella valolla, kun valon tulokulma ja havaitsemiskulma ovat 75° .

6.6 Karheus

Paperin karheus määritetään ilman virtaamana paperin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron valitessa. Määrityksessä käytettiin kalibroitua Bendsen-mittaria.

6.7 Ilmanläpäisevyys

Paperin ilmanläpäisevyydellä tarkoitetaan sitä ilman tilavuusvirtaa, jonka 150 mm wp:n paine-ero saa aikaan 10 cm^2 pinta-alan läpi (8, s. 64.). Ilmanläpäisevyys mitattiin samalla Bendsen-mittarilla, jota käytettiin karheuden mittaamisessa, mutta tässä se on varustettu ilmanläpäisevyyden mittauselimellä.

6.8 Vetolujuus ja venymä

Vetolujuus ja venymä ovat paperin yleisimmät mitattavat ominaisuudet. Vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormitusta, jonka liuska pystyy kestäämään murtumatta sitä pinnan suuntaisesti vedettäessä. (8, s. 45.)

Venymällä tarkoitetaan liuskan vetokokeessa maksimivoiman hetkellä saavuttaman pituuden lisäyksen suhdetta liuskan alkuperäiseen pituuteen (8, s. 47.).

Vetolujuuden testausta varten näyttearkeista valmistettiin testiliuskat, joiden leveys oli 15 mm ja pituus vähintään 150 mm. Vetolujuus testattiin Lorenz-Wettre-vetolujuusmittarilla. Mittari ilmoittaa vetolujuuden, venymän ja murtotyön. Vetolujuusindeksi lasketaan jakamalla vetolujuus neliömassalla.

6.9 Repäisylujuus

Repäisylujuus mittaa työn, joka tarvitaan neljän päällekkäisen arkin repäisemiseen alkuviillosta lähtien. Repäisylujuus ilmoitetaan voimana, joka vaaditaan repäisyn jatkamiseen, eli yksikkö on mN. (8, s. 52.) Samoin kuin muistakin ljuuksista, voidaan repäisylujuudestakin laskea repäisyindeksi jakamalla repäisylujuus neliömassalla.

Repäisylujuudet tehdään Elmendorf-tyyppisellä repäisylujuusmittarilla. Näytteiden koko oli 62 x 50 mm.

6.10 Tuhka

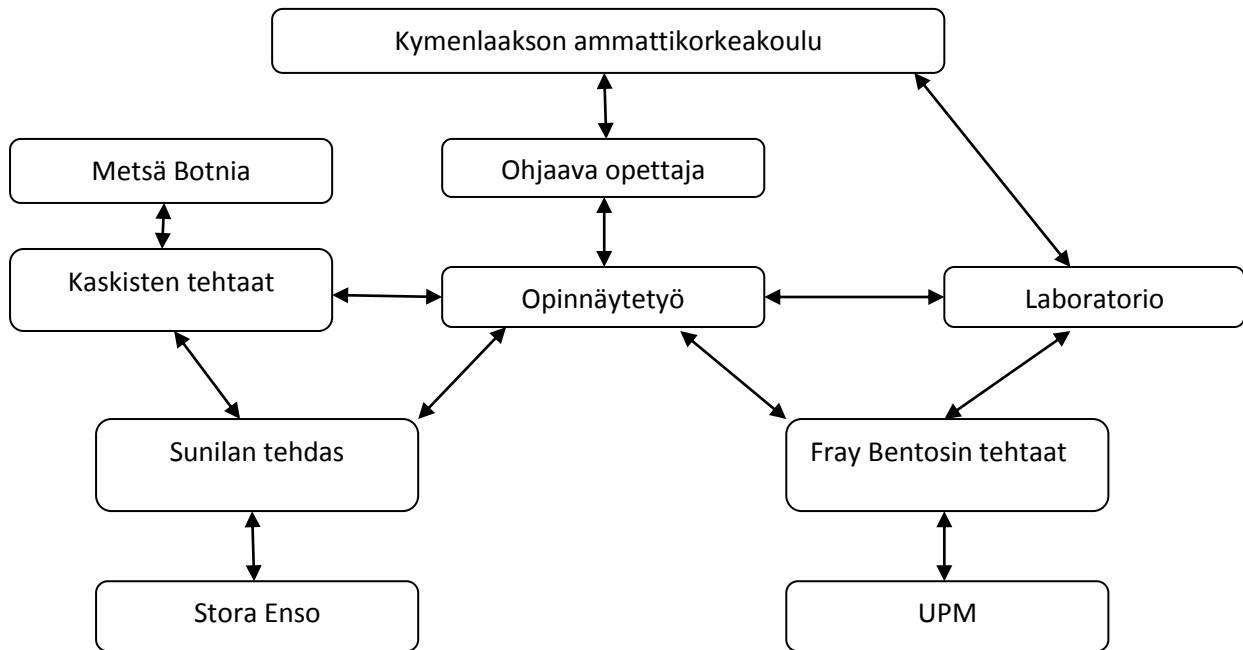
Tuhka kuvaa näytteessä olevaa epäorgaanisen aineen määrää. Tuhka määritetään polttamalla näyte noin 925 °C:n lämpötilassa. Näytearkit leikataan näytepalloiksi tuhkausta varten. Palat punnitaan tarkasti vaa'alla ja tulokset kirjataan. Tuhkauksen jälkeen alustan ja tuhkan paino punnitaan. Tuloksesta vähennetään alustan paino ja jäljelle jääneen tuhkan paino jaetaan alkuperäisen näytteen painolla, jolloin saadaan näytteen tuhkapitoisuus prosentteina. (9.)

6.11 Kosteus

Paperin kosteus määritetään näytteen painohäviönä, kun näyte on kuivatettu vakiopainoon 105 °C lämpötilassa, ja se ilmoitetaan näytteen painosta. Kosteuden määritykset tehdään kosteusanalysointilaitteella, joka ilmoittaa kosteusprosentin, kun näytteen vakio-paino on saavutettu. (9.)

7 TYÖN SIDOSRYHMÄT

Tutkimuksen toimeksiantajana on Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Tutkimuksen kokeellinen osuus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun massa- ja paperilaboratoriossa. Massanäytteet olivat valmiina koululla. Mäntynäytteet ovat tulleet Stora Enson Sunilan tehtailta Kotkasta, koivunäytteet ovat Metsä-Botnian Kaskisen sellutehtaalta ja eukalyptusnäytteet ovat tulleet Kaskisten sellutehtaan kautta UPM:n Fray Bentosin sellutehtaalta Uruguaysta. Kuvassa 6 esitetään työn sidosryhmät kaaviona.



Kuva 6. Työn sidosryhmät

7.1 Stora Enson Sunilan tehdas

Stora Enso on yksi maailman suurimmista metsäteollisuusyhtiöistä. Sen päätuotteita ovat muun muassa sanoma- ja aikakauslehtipaperit, kuluttajapakkauskartonki sekä puutuotteet. Stora Enson palveluksessa on noin 26 000 henkilöä, ja sillä on tehtaita ympäri maailman, yhteensä 85 tuotantoyksikköä. Stora Enso tuottaa vuosittain 11,8 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia. (10.)

Stora Enson Sunilan tehdas sijaitsee Kotkassa. Se tuottaa valkaistua havupuusellua esimerkiksi päällystettyyn painopaperiin ja sanomalehtipaperiin. (10.)

7.2 Metsä-Botnia Kaskinen

Metsä-Botnian omistavat M-real Oyj, UPM Kymmene ja Metsäliitto Osuuskunta. Kaskisten tehtaan tuotanto lopetettiin vuonna 2009. Tehdas tuotti muun muassa havu- ja lehtipuusellua. (11.)

7.3 UPM Fray Bentos

Metsä-Botnian Uruguayssa Fray Bentosissa sijainnut sellutehdas siirtyi UPM-Kymmenen omistukseen vuonna 2009. Tehdas tuottaa eukalyptussellua. Tehtaalla työskentelee noin 200 työntekijää. (12.)

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

8.1 Tiedonkeruu

Ennen työn kokeellista aloittamista tutustuin laboratoriolaitteiden käyttöohjeisiin ja laitteiden käyttöohjeisiin sekä käyttöön työn ohjaajan avustuksella. Tarkastelin samasta aiheesta aiemmin tehtyjä raportteja ja tutustuin alan kirjallisuuteen.

8.2 Laboratoriotutkimukset

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa keräsin tietoa massojen paperiteknisistä ominaisuuksista tekemällä erilaisia tutkimuksia. Kaikki testit suoritettiin standardien mukaan.

8.3 Taulukointi

Tulosten taulukoinnin ja analysoinnin apuna käytettiin Excel 2007 –ohjelmaa. Excelin avulla vertailtiin massojen paperitekniisiä ominaisuuksia eri puulajien välillä. Ensin Excelillä tehtiin taulukot, joihin tulokset tallennettiin. Tämän jälkeen tulokset laitettiin kuvaajamuotoon, jotta vertailu helpottuisi. Kuvaajat tehtiin jokaisesta paperin suuressa erikseen.

Tuloksia tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokerroimen avulla. Korrelaatiokerroin on tilastollinen tunnusluku, jota käytetään hyväksi tilastoanalyysiä tehtäessä. Korrelaatiokerroimella mitataan muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta. Tässä tutkimuksessa mitattiin jauhatusajan ja tutkittavien suureiden välistä yhteyttä ja sen voimakkuutta. Pearsonin korrelaatiokerroin r mittaa ainoastaan lineaarista yhteyttä. Korrelaatiokerroin r on aina $-1:n$ ja $+1:n$ välillä oleva reaaliluku. Korrelaatiokerroimen arvo $+1$ saavutetaan, kun kaikki hajontakuvion kaikki pisteet, eli tässä tutkimuksessa yksittäiset mittaustulokset, ovat samalla nousevalla suoralla. Arvo -1 taas saavutetaan, kun kaikki pisteet ovat samalla laskevalla suoralla. (13, s. 199.)

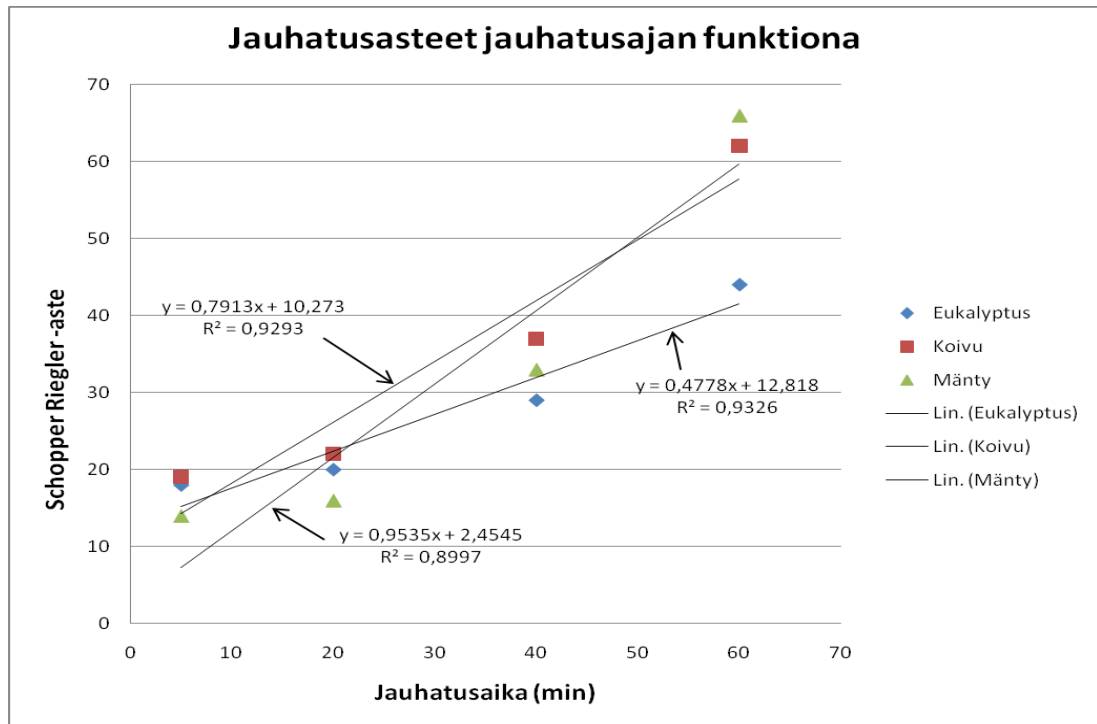
9 TULOKSET

Työn tuloksissa tarkastellaan jokaista tutkittavaa paperin laatusuuretta erikseen. Samalla vertaillaan eri puulajeja sekä niiden ominaisuuksia toisiinsa.

9.1 Yleiset ominaisuudet

9.1.1 Jauhatusaste

Jauhatus on yksi tärkeimpiä paperin valmistamisen osaprosesseja. Jauhatuksessa voidaan vaikuttaa kuitujen ominaisuuksiin ja näin ollen lähes kaikkiin valmiin paperin ominaisuuksiin. Myös tämän työn perusta oli jauhatus ja sen tasalaatuisuus, jotta saadut tulokset ovat vertailukelpoisia.



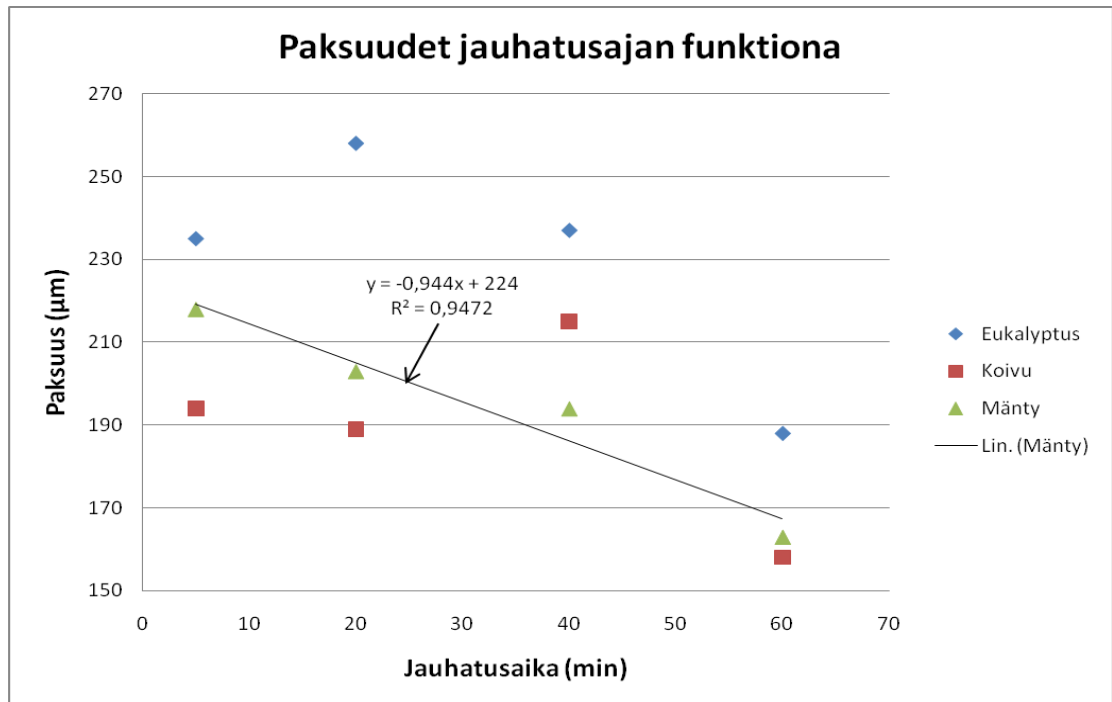
Kuva 7. Jauhatusasteet jauhatusajan funktiona

Kuvasta voidaan huomata, että jokaisen puulajin Schopper Riegler-aste nousi tasaisesti jauhatusajan kasvaessa. Jauhatusaste korreloi jauhatusajan kanssa 89–93 %:n todennäköisyydellä. Männyn suhteellisen voimakas SR-luvun kasvu johtuu havupuiden lehtipuita suuremmasta sekä voimakkaammasta kuiturakenteesta. Eukalyptuksen tasaisempi SR-luvun kasvu johtuu siitä, että sillä on huokoisemmat ja lyhyemmät kuidut kuin koivulla ja männyllä eli sen kuidut jauhautuvat helpommin.

9.1.2 Neliömassa ja paksuus

Jauhatusaika ei suoranaisesti vaikuta neliömassoihin, joskin koivulla ja männyllä nousua on havaittavissa. Männyn korrelaatiokertoimeksi tuli 94 %. Koivu sekä eukalyptus

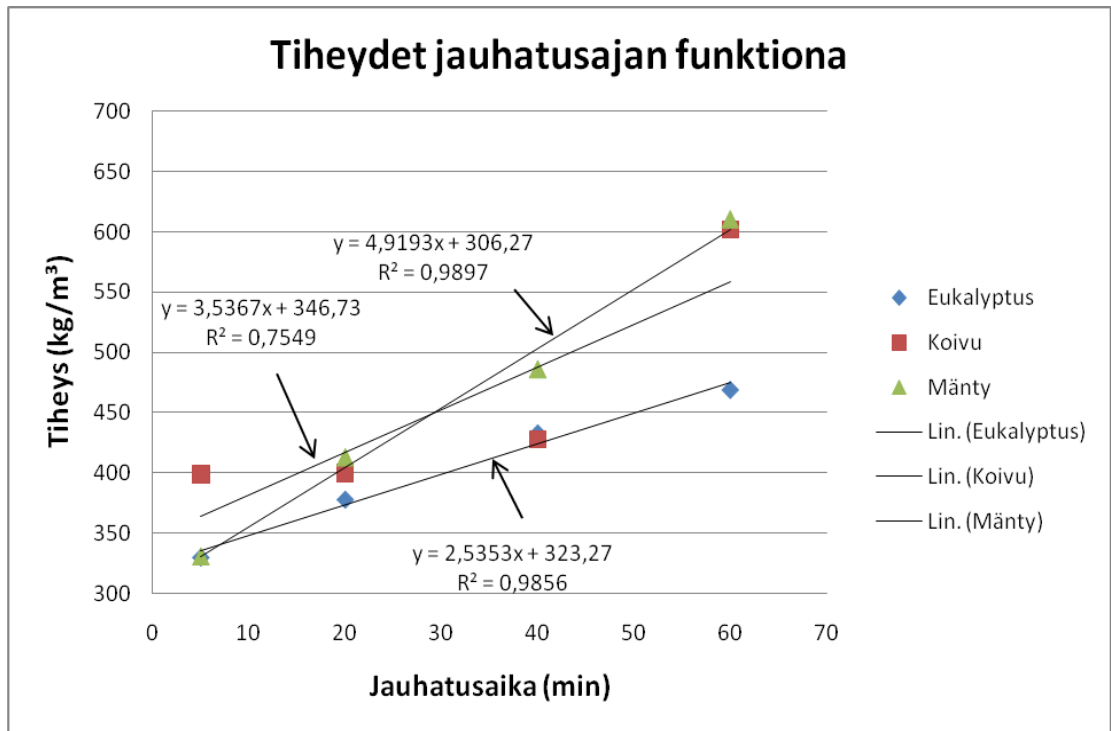
jäivät alle 60 %:iin eli korrelaatiota ei ollut havaittavissa. Neliömassat vaihtelivat 71–102 g/m².



Kuva 8. Paksuudet jauhatusajan funktiona

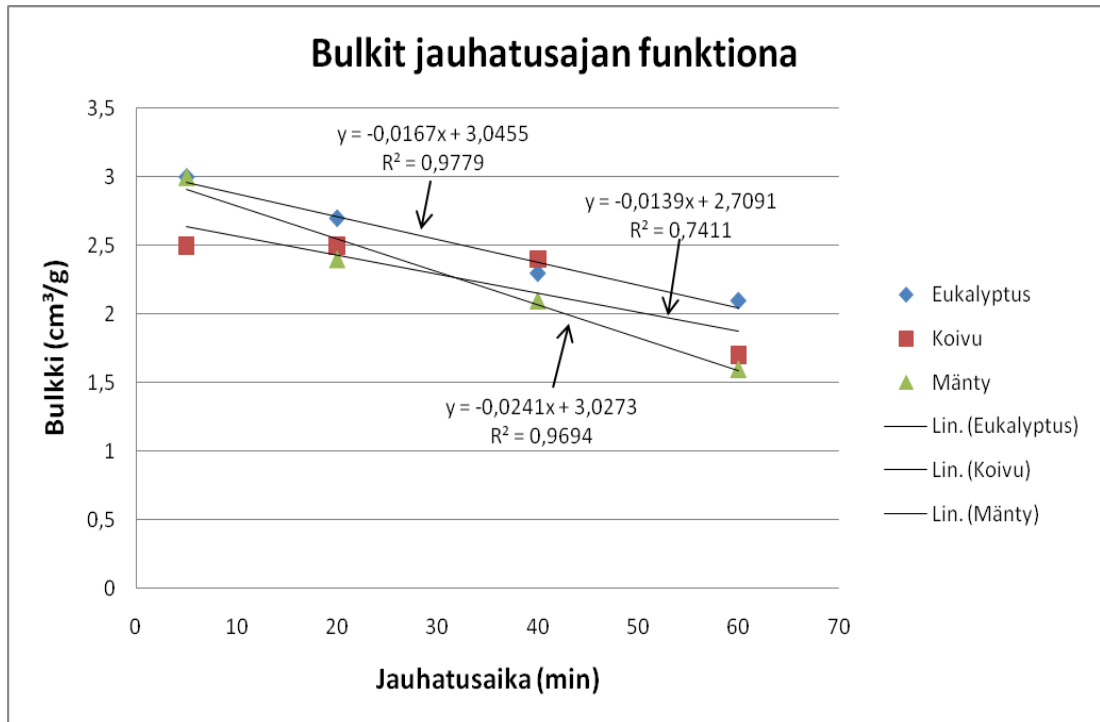
Koearkkien paksuudet laskivat jauhatuksen loppua kohden. Tämä johtuu siitä, että jauhatuksen alussa kuidut sekä kuitukimput ovat suuria ja jauhatusajan kasvaessa kuidut hajoavat ja irtoavat toisistaan. Viiden minuutin jauhatuksen jälkeen arkkien paksuudet vaihtelivat 194–235 µm. Jauhatuksen lopussa arkkien paksuudet olivat laskeutuneet alle 190 µm:iin.

9.1.3 Tiheys ja bulkki



Kuva 9. Tiheydet jauhatusajan funktiona

Tiheydet kasvavat jauhatusajan kasvaessa. Tiheydet vaihtelivat 331–610 kg/m³. Tiheyden kasvu oli suurinta männyllä, sillä havupuilla on pidemmät kuidut kuin lehtipuilla eli ne ovat lehtipuita huokoisempia. Jauhatusajan kasvaessa männyn kuidut haavoavat pienemmiksi, ja massan tiheys kasvaa. Korrelaatio vaihteli 75–99 %.



Kuva 10. Bulkit jauhatusajan funktiona

Bulkit eli paperin tiheyden käänteisarvo laskee jauhatusajan kuluessa. Bulkin laskeminen oli suurinta männyllä. Bulkit korreloi jauhatusajan kanssa 74–98 %:n todennäköisyydellä. Bulkit vaihteli jauhatusajan kasvaessa puulajeittain 3–1,6 cm³/g.

9.1.4 Tuhka

Tutkittavissa näytteissä ei esiintynyt tuhkaa.

9.1.5 Kosteus

Arkkien kosteuspitoisuuteen hyvin merkittävästi vaikuttaa tutkimusympäristö eli tässä tutkimuksessa laboratorio-olosuhteet. Näytearkkien kosteuspitoisuudet vaihtelivat 6,14–7,21 %.

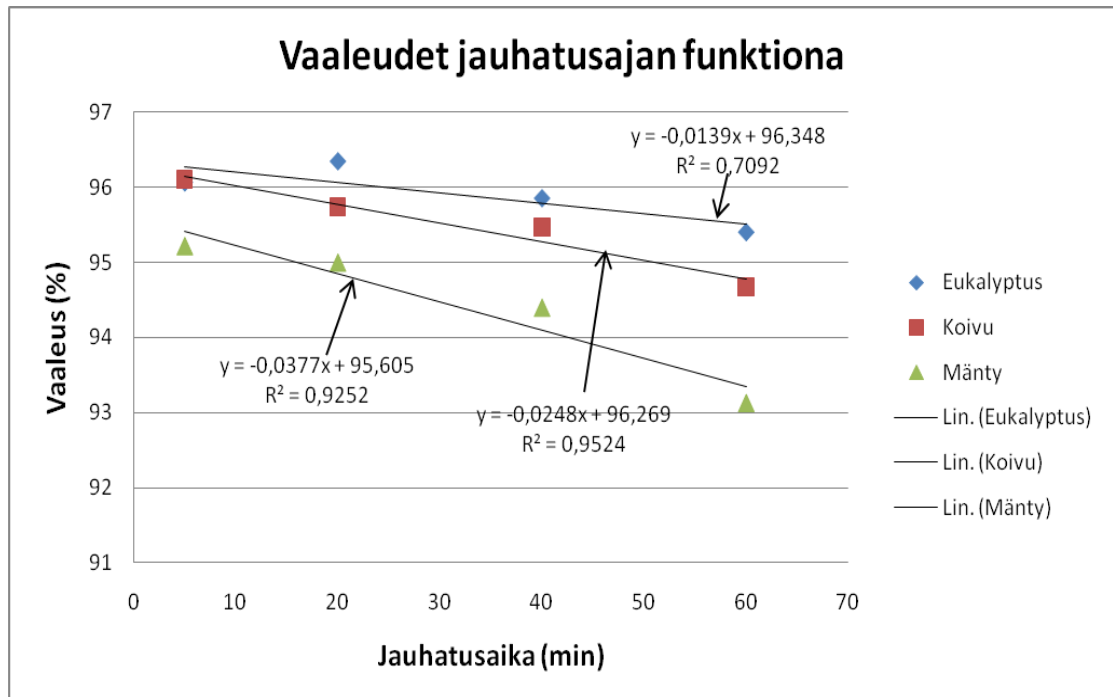
9.2 Optiset ominaisuudet

Myös paperin optiset ominaisuudet vaikuttavat mekaanisten ominaisuuksien lisäksi lopputuotteen käyttökohteisiin sekä –tarkoituksiin. Paperin optiset ominaisuudet määräävät sen ulkonäön. Optisten ominaisuuksien avulla syntyy käsitys paperin ja siihen kohdistuvan valon vuorovaikutuksesta. (7, s. 99.) Yksi paperinvalmistuksen suurim-

mista haasteista on hyvien optisten ominaisuuksien ja lujuuden yhtäaikainen saavuttaminen.

9.2.1 Vaaleus

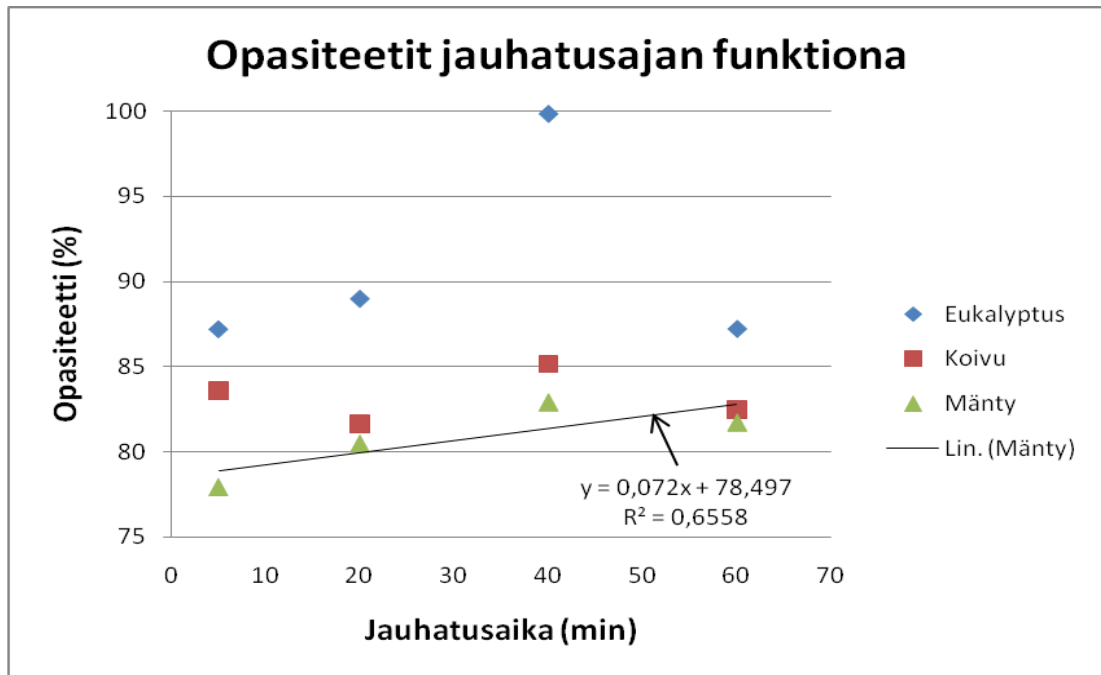
Vaaleus on erittäin tärkeä paperin ominaisuus. Se vaikuttaa paperin painopinnan kontrastiin. Vaaleuteen vaikutetaan valkaisemalla massaa. Vaaleutta voidaan lisätä paperinvalmistuksessa myös lisäaineilla kuten kalsiumkarbonaatilla.



Kuva 11. Vaaleudet jauhatusaajan funktiona

Massojen vaaleudet vaihtelivat 93,12–96,34 %. Eukalyptus oli vaaleinta ja mänty tummintä. Kaikkien puulajien vaaleudet laskivat jauhatusaajan pidentyessä.

9.2.2 Opasiteetti



Kuva 12. Opasiteetit jauhatusaajan funktiona

Eukalyptuksella on selvästi mäntyä ja koivua korkeampi opasiteetti. Männyllä oli heikoin opasiteetti, sen vaihdella 77–83 %. Koivun opasiteetti vaihteli 81–85 %, ja eukalyptuksen 87–99 %.

9.2.3 Kiilto

Paperin kiiltoa ei useimmissa tapauksissa tavoitella, vaan tavoitteena on saada kiittoa painojälkeen ja etenkin monivärikuviin. Kun paperi on kiiltävää, se tarkoittaa, että sen pinta on sileä, jolloin sille voidaan saada tasainen ja kiiltävä värikerros. (7, s. 104.)

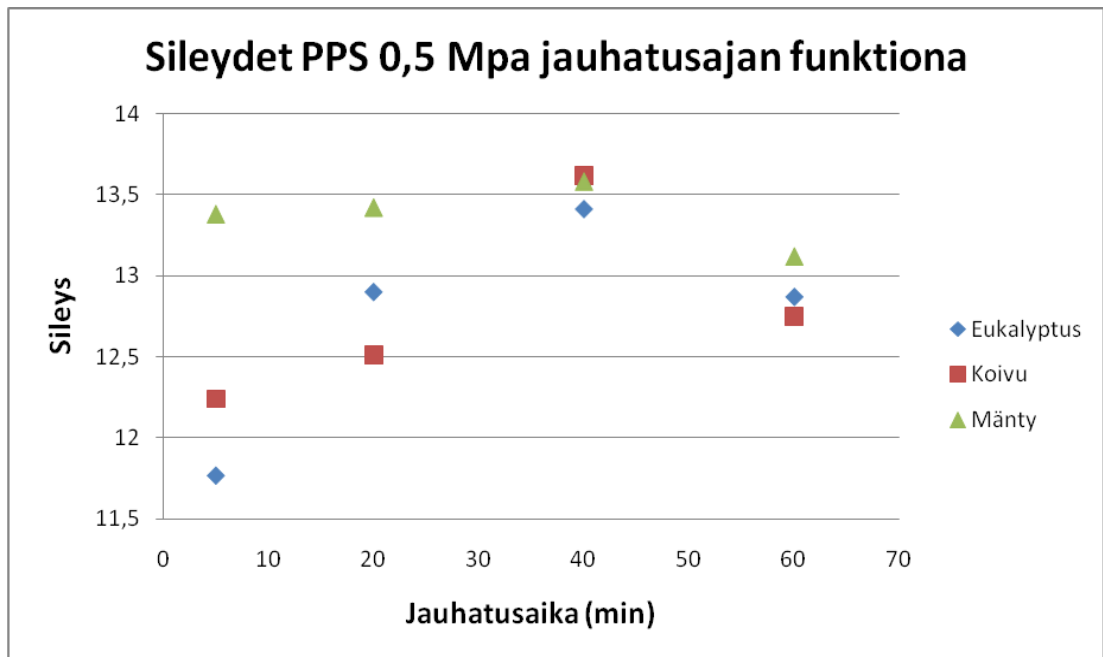
Tutkittujen näytteiden kiillot vaihtelivat välillä 3,1–3,8 %. Mänty oli hieman eukalyptusta ja koivua kiiltävämpää, mutta merkittäviä eroja ei esiintynyt. Kiiltoa ei voida säädellä jauhatuksen avulla, vaan se säädetään massapigmenttien, päällystyksen ja kalanteroinnin avulla.

9.3 Pinnan ominaisuudet

Puhuttaessa paperin pinnan ominaisuuksista tarkoitetaan lähinnä pinnan karheutta. Joissain tapauksissa karheutta kutsutaan sileydeksi. Karheutta voidaan mitata menetelmillä, jotka kuvaavat mikro- tai makrokarheutta erilaisissa paineissa. Makrokarheut-

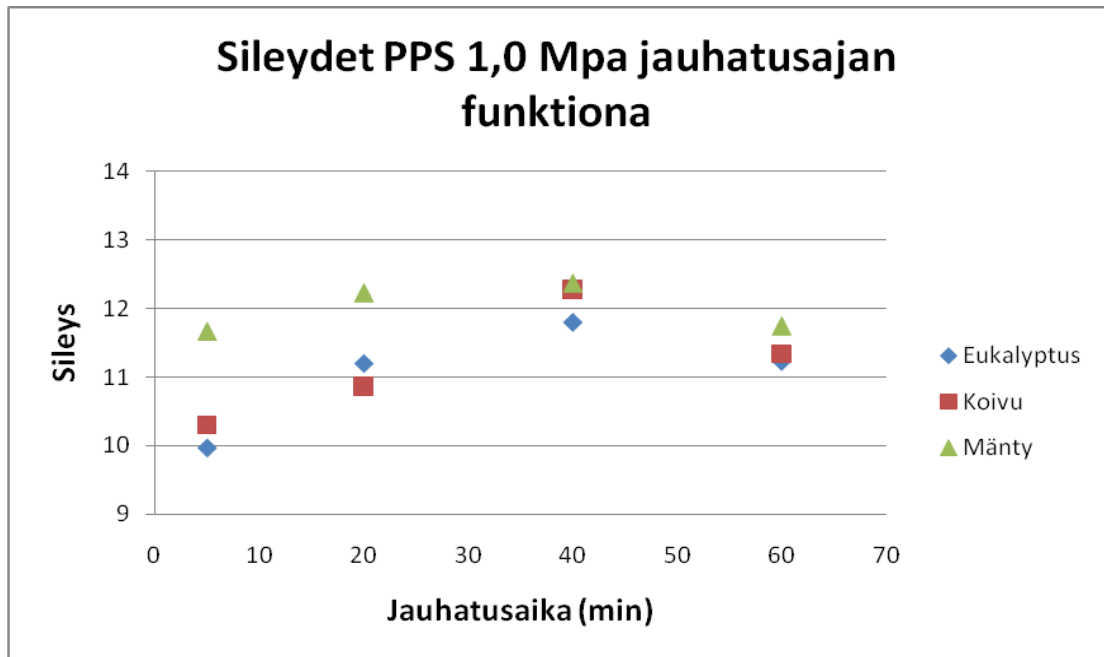
ta mitataan Bendsen-mittarilla, jonka toiminta perustuu joko ilmanvirtausnopeuden mittaamiseen tietyllä puristuspaineella ja ilman paine-erolla tai tietyn ilmamäärän virtaamiseen kuluvan ajan mittaukseen. Mikrokarheutta eli sileyttä mitataan PPS-mittarilla. Tällöin mittalukema, joka on saatu tietyllä paineella, muutetaan pinnan karheuslukemaksi (μm). Pinnan ominaisuudet ovat erittäin tärkeitä, jotta saadaan hyvä painotulos. Erilaiset painomenetelmät vaativat erilaisia pinnan sileyksiä.

9.3.1 Sileys



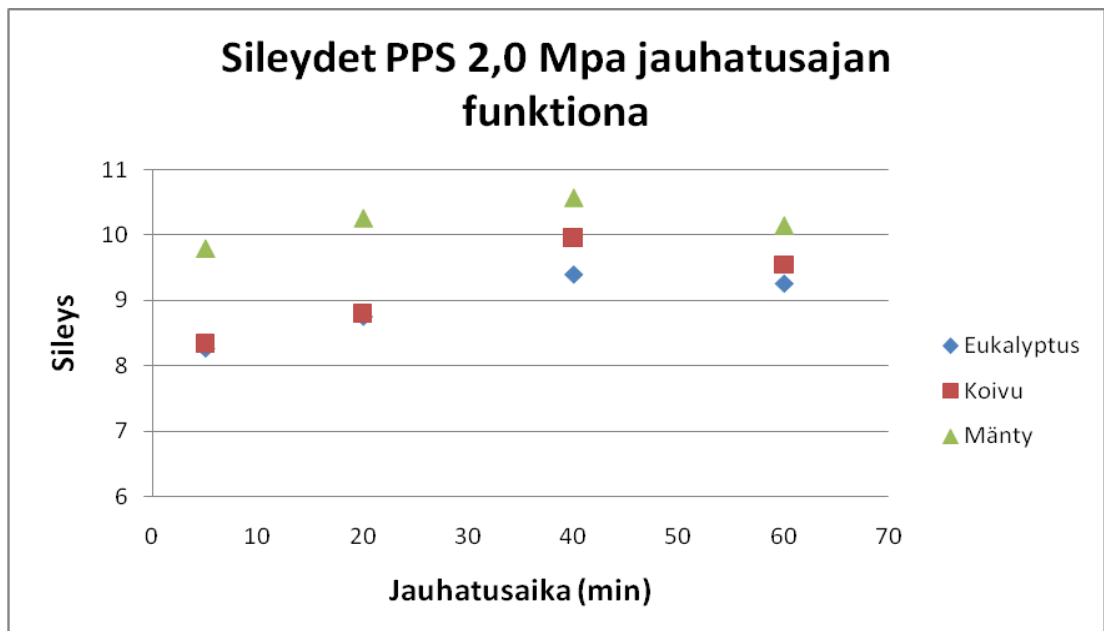
Kuva 13. Sileydet PPS 0,5 Mpa jauhatusaajan funktiona

0,5 Mpa:n paineella mitattuna sileydet vaihtelivat 11,8–13,6. Sileys ei korreloi jauhatusaajan kanssa. Arkki on sitä sileämpi, mitä pienempi sileyden arvo on. Eukalyptus oli silein ja mänty karhein.



Kuva 14. Sileydet PPS 1,0 Mpa jauhatusajan funktiona

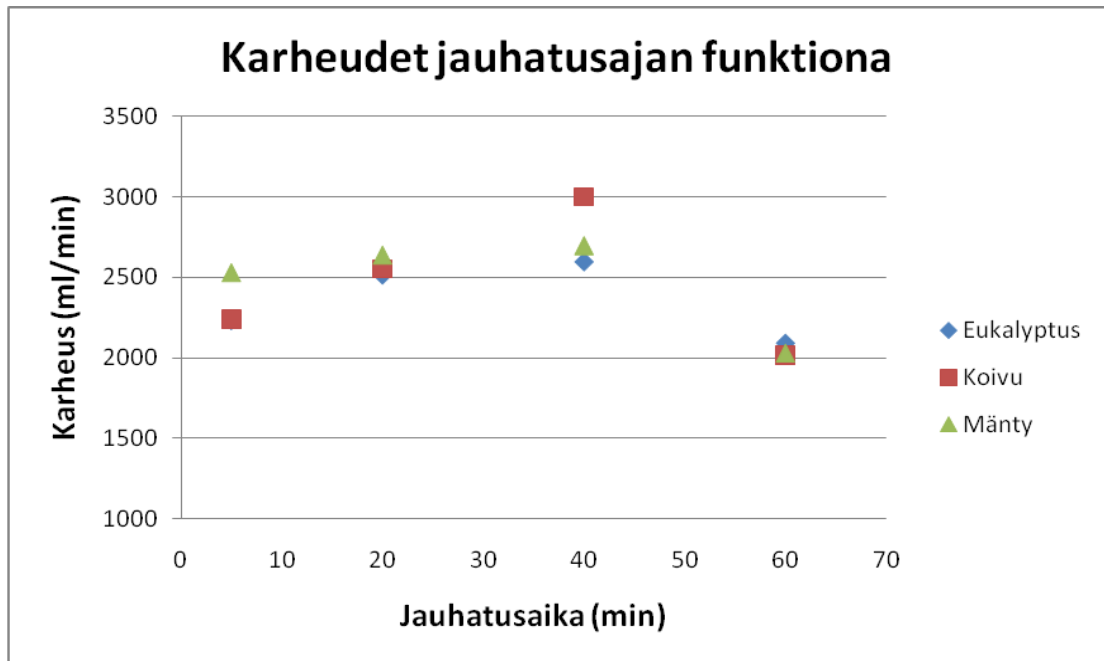
1,0 Mpa:n paineella mitattaessa sileydet vaihtelivat 9,9–12,3. Mänty oli jälleen karhein ja eukalyptus silein. Yleisesti ottaen arvot hieman laskivat, mikä on normaalia paineen lisääntyessä.



Kuva 15. Sileydet PPS 2,0 Mpa jauhatusajan funktiona

Mitattaessa 2,0 Mpa:n paineella sileyden arvot laskivat entisestään. Arvot vaihtelivat 8,3–10,6. Arvojen vaihtelut tasaantuivat paineen kasvaessa.

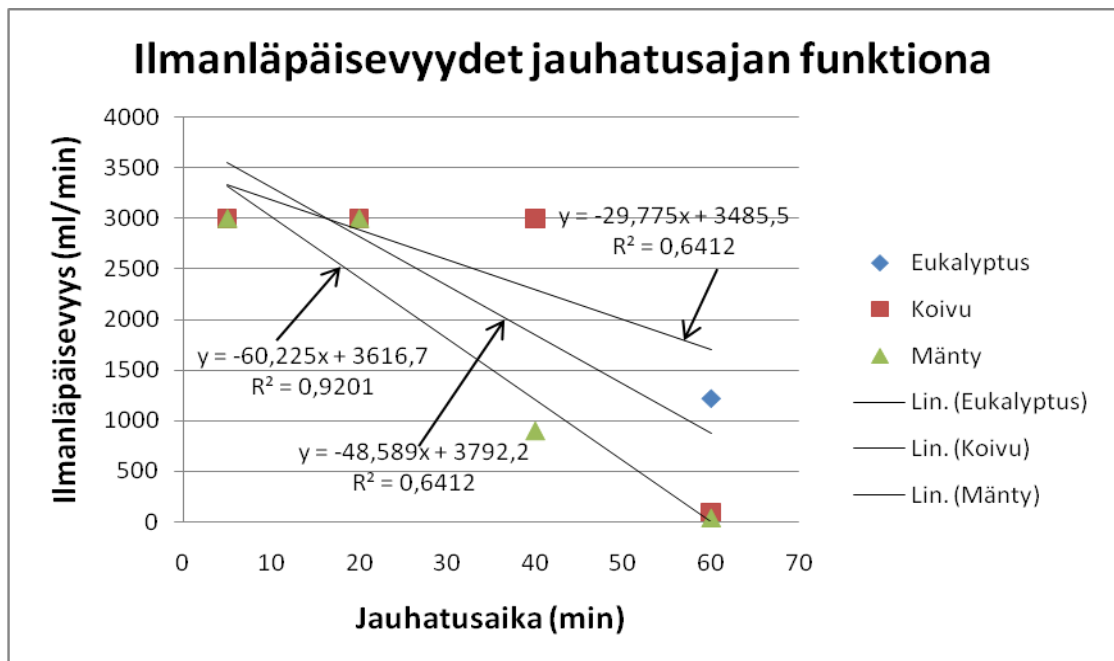
9.3.2 Karheus



Kuva 16. Karheudet jauhatusaajan funktiona

Arkkien karheudet mitattiin ilmanläpäisevyyksien tapaan Bendtsen-mittarilla. Mitä suurempi karheuden arvo on, sitä karheampi arkki on. Eukalyptus oli sileintä ja mänty karheinta. Kaikkien puulajien karheuden arvo kasvoi 40 minuuttiin asti, jonka jälkeen se laski kaikilla.

9.3.3 Ilmanläpäisevyys



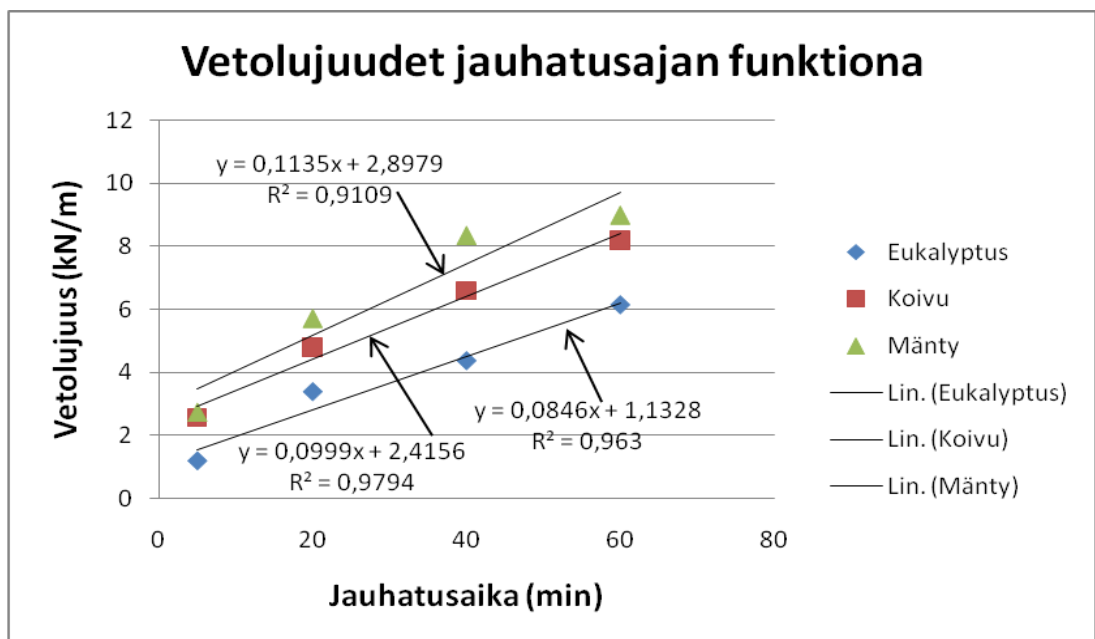
Kuva 17. Ilmanläpäisevyydet jauhatusajan funktiona

Ilmanläpäisevyyttä mitattaessa koivun ja eukalyptuksen arvot pysyivät yli 3 000:ssa 40 minuuttiin asti ja männyn 20 minuuttiin asti. Tämän jälkeen arvot laskivat jokaisella puulajilla huomattavasti. Arkit ovat hyvin huokoisia lyhyen jauhatusajan jälkeen eli ilma pääsee arkkien läpi. Koivulla ja eukalyptuksella korrelaatio ilmanläpäisevyyden ja jauhatusajan välillä oli 64 % ja männyllä 92 %.

9.4. Lujuusominaisuudet

Paperin lujuusominaisuudet vaikuttavat paperin ajettavuuteen paperikoneilla. Myös jotkin lopputuotteet vaativat paperilta suurta lujuutta. Lujuus on yleensä yhteydessä neliömassaan. Mitä suurempi on neliömassa, sitä suurempi on lujuus. Myös puulaji vaikuttaa lujuuteen; esimerkiksi pitkäkuituisia havupuita on käytetty paperinvalmistuksessa tuomaan lujuutta paperiin.

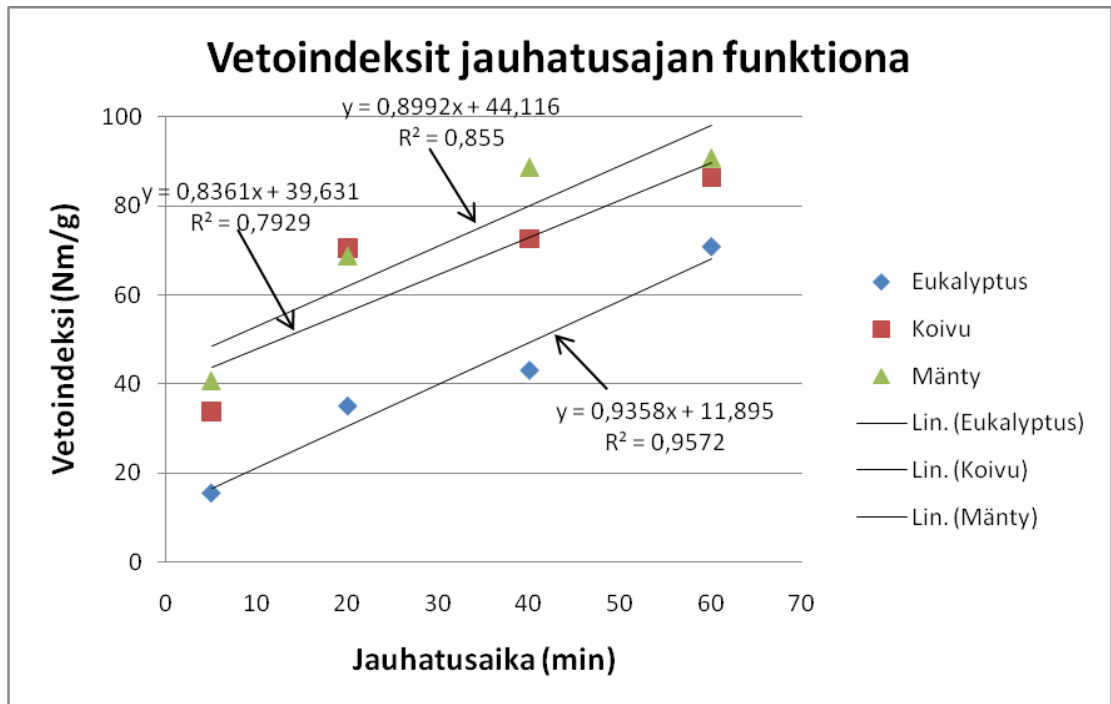
9.4.1 Vetolujuus ja vetoindeksi



Kuva 18. Vetolujuudet jauhatusajan funktiona

Pitkäkuituisella männyllä on selvästi lehtipuita korkeampi vetolujuus. Kaikkien puulajien vetolujuudet kasvoivat jauhatusajan pidentyessä. 5 minuutin jauhatusajassa puulajien välillä ei ollut suuria eroja, mutta jauhatusajan pidentyessä männyn vetolujuus kasvoi merkittävästi koivun ja eukalyptuksen vetolujuuden kasvun ollessa

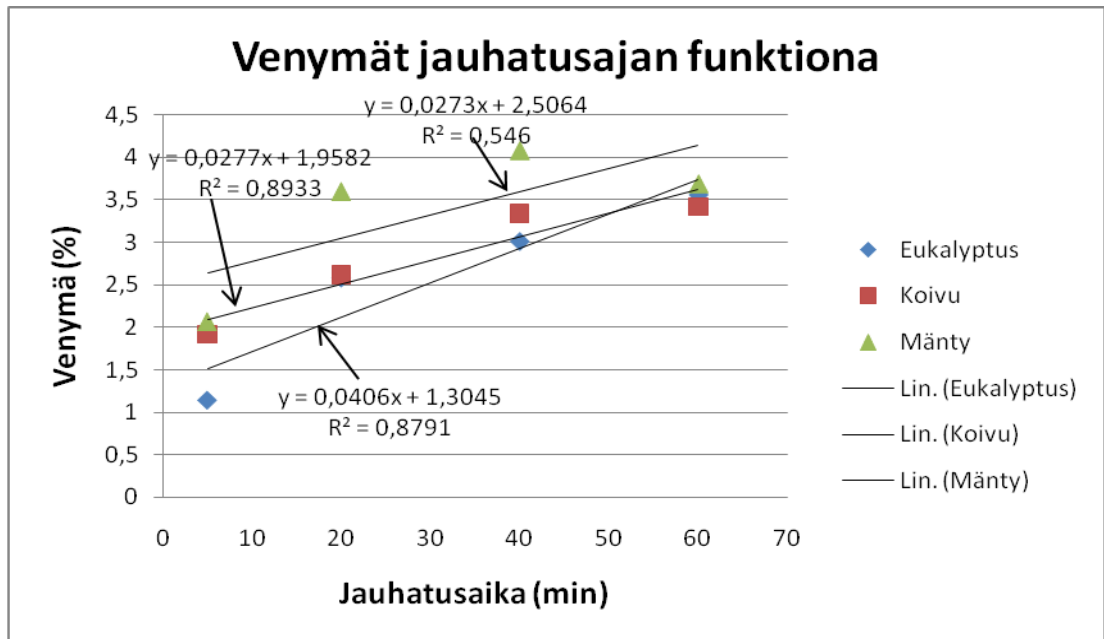
maltillisempaa. Vetolujuus korreloi jauhatusajan kanssa 91-98 %:n todennäköisyydellä.



Kuva 19. Vetoindeksit jauhatusajan funktiona

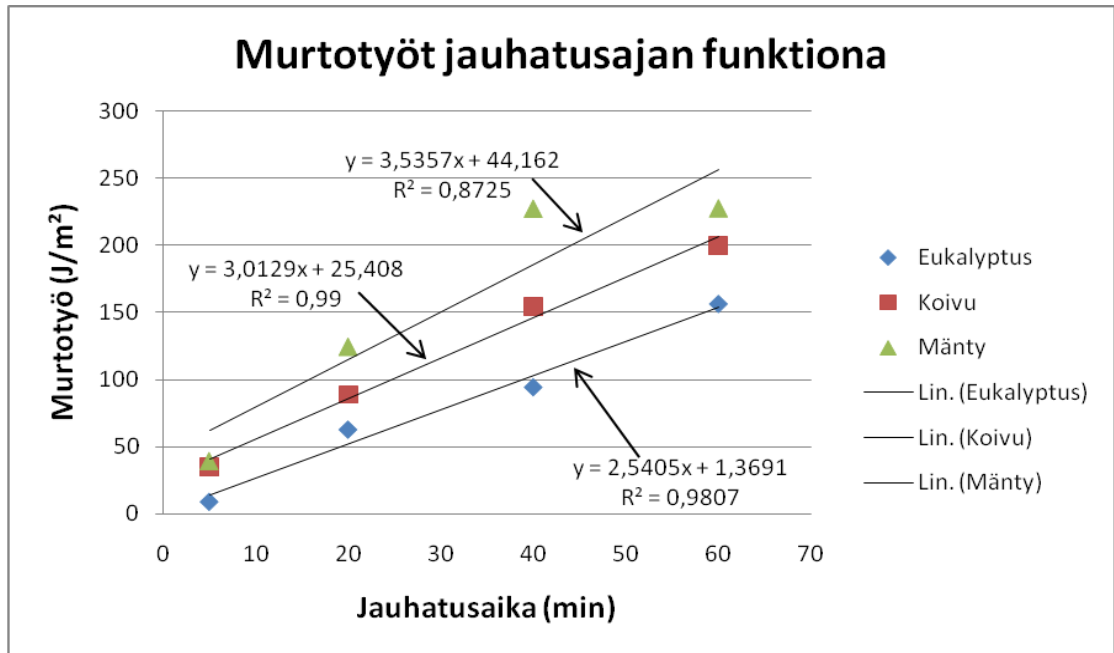
Vetoindeksit käyttäytyivät melko samoin kuin vetolujuudet, joskin koivun ja männyn erot eivät olleet aivan yhtä selviä kuin vetolujuuksia tarkasteltaessa. Eukalyptuksen vetoindeksi jäi selkeästi pienemmäksi kuin koivun ja männyn.

9.4.2 Venymä ja murtotyö



Kuva 20. Venymät jauhatusaajan funktiona

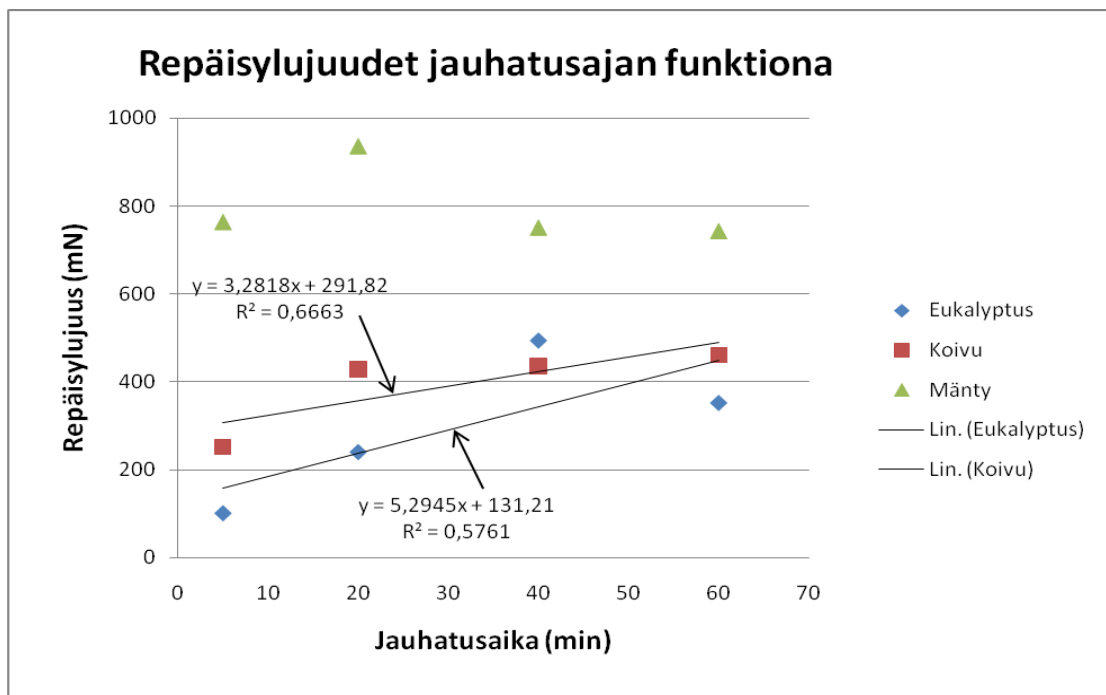
Kaikkien puulajien kohdalla venymät kasvavat 40 minuuttiin asti, jonka jälkeen eukalyptuksen venymä kasvaa vielä selvästi ja koivunkin venymä hiukan, mutta männyn venymä kääntyy laskuun. Jauhatuksen lopussa kaikkien puulajien arvot ovat lähes samalla tasolla. Koivun ja eukalyptuksen venymät korreloivat jauhatusaajan kanssa hyvin voimakkaasti, mutta männyn korrelointi on heikompa. Venymät vaihtelevat 1,1-4,1 %.



Kuva 21. Murtotyöt jauhatusaajan funktiona

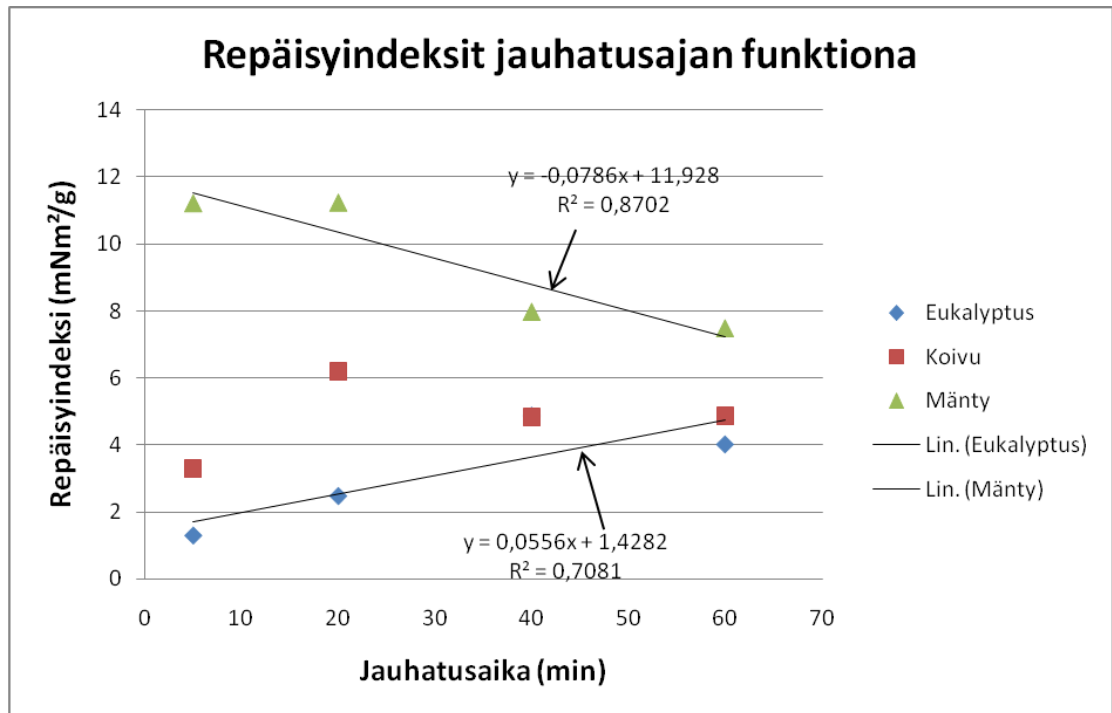
Eukalyptuksella ja koivulla murtotyö kasvoi tasaisesti koko jauhatusaajan. Korrelaatio murtotyön ja jauhatusaajan välillä oli voimakasta. Männyllä oli kasvua murtotyössä 40 minuuttiin asti, jonka jälkeen kasvu tasaantui. Männyllä korrelaatio oli hieman heikompaa kuin lehtipuilla

9.4.3 Repäisylujuus ja repäisyindeksi



Kuva 22. Repäisylujuudet jauhatusaajan funktiona

Mänty oli pitkien kuitujensa ansiosta repäisylujuudeltaan selvästi lehtipuita vahvempaa. Männyn repäisylujuus kasvaa 20 minuuttiin asti, jonka jälkeen se alkaa laskea. Koivun ja eukalyptuksen repäisylujuudet kasvavat koko jauhatuksen ajan melko tasaisesti lukuunottamatta eukalyptuksen 40 minuutin jälkeen tapahtuvaa notkahdusta.



Kuva 23. Repäisyindeksit jauhatusaajan funktiona

Myös repäisyindeksejä tarkasteltaessa männyn ja lehtipuiden välillä havaitaan selkeää eroa. Repäisyindeksit käyttäytyivät hyvin samalla tavalla kuin repäisylujuudet.

9.5 Virhearviointi

9.5.1 Virheet

Testitulosten poikkeavuudet voivat johtua virheestä tai itse testikappaleesta. Erilaiset virheet pyrittiin tiedostamaan tunnistamaan ja poistamaan.

9.5.2 Karkea virhe

Karkea virhe syntyy, jos mitta-asteikkoa luetaan väärin, laitteeseen tulee häiriö tai tietojen tallennuksessa tapahtuu virhe. Karkea virhe voi löytyä vertailemalla keskihajontoja.

9.5.3 Systemaattinen virhe

Systemaattinen virhe johtuu käytetyistä mittausten menetelmistä tai laitteista. Systemaattisia virheitä pyritään ehkäisemään huoltamalla ja kalibroimalla laitteet tarpeeksi usein.

9.5.4 Tilastollinen virhe

Satunnainen eli tilastollinen virhe voidaan minimoida mahdollisimman suurella otoskokoilla. Tässä tutkimuksessa suuri otoskoko ei ollut mahdollinen.

10 LOPPUPÄÄTELMÄT

10.1 Pohdinta

Sellumassoista valmistetuista paperiarkeista on helppo mitata ominaisuuksia, joita tässä tutkimuksessa tutkittiin, ja eri puulajien erot saadaan hyvin selville. Tutkimuksesta voidaan havaita, että puulajin valitseminen vaikuttaa paljon siitä valmistettavan lopputuotteen ominaisuuksiin. Havupuuta on käytetty paljon paperiteollisuudessa raaka-aineena, mutta myös lehtipuiden suosio on ollut kasvussa. Lehtipuiden suosion kasvu selittynee sillä, että sen hemiselluloosapitoisuus takaa runsaan saannon sekä vaikuttaa massojen ominaisuuksiin. (7, s. 26.) Käytettävän puuraaka-aineen valinnan määrää oikeastaan yksinomaan lopputuote ja siltä vaadittavat ominaisuudet. Jos tarvitaan lujaa ja vahvaa paperia, puuraaka-aineena käytetään havupuuta, jossa on pitkät kuidut. Jos taas painotetaan paperin painettavuusominaisuuksia, valitaan lyhytkuituisempi lehtipuu. Useimmiten paperia valmistettaessa kuitenkin käytetään massaseoksia. Näin paperiin pyritään saamaan hyvät ominaisuudet sekä havu- että lehtipuulta. Havupuut tuovat paperiin lujuuden ja lehtipuut hyvän painettavuuden ja vaaleuden.

Sellumassan ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäaineilla. Vaikka massa on jo itsessään vaaleaa, voidaan sen vaaleutta lisätä esimerkiksi kalsiumkarbonaatilla. Puuraaka-aineiden lisäksi paperiteollisuus käyttää paljon erilaisia täyte- ja lisäaineita. Tämän avulla pyritään säästämään puuraaka-ainetta ja parantamaan paperin ominaisuuksia.

Kun puuraaka-aine ja tarvittavat apuaineet valitaan oikein, saadaan korkealaatuisia lopputuotteita, ja kustannustehokkuus ja kilpailukyky lisääntyvät.

10.2 Soveltuvuus raaka-aineiksi

Mänty, koivu ja eukalyptus antoivat tässä tutkimuksessa hyvin erilaisia tuloksia. Mänty soveltuu pitkien kuitujensa ansiosta tuotteisiin, joilta vaaditaan lujuutta. Valkaistua mäntysellua käytetään pääosin antamaan lujuutta kirjoitus- ja painopapereille. Valkaisematonta mäntysellua suositetaan sen lujuusominaisuuksien vuoksi esimerkiksi aaltopahvin ja voimapaperin valmistuksessa. (7, s. 70.)

Lehtipuita käytetään hienopapereiden valmistuksessa sekä silloin, kun lopputuotteelta vaaditaan vaaleutta esimerkiksi valkoisia kartonkeja tehtäessä. Koivusellua käytetään pääosin taivekartonkien pintakerroksissa sekä nestepakkauskartongeissa. Eukalyptus-sellua käytetään hienopapereihin sekä koivun tapaan taivekartonkeihin. (7, s. 76.)

Koivu ja eukalyptus kilpailevat keskenään maailmanmarkkinoilla. Eukalyptusmassalla on suurempi saanto kuin koivumassalla. Tämä johtuu eukalyptuksen suuresta sellulosaapitoisuudesta ja pienestä hemiselluloosaapitoisuudesta. Eukalyptuksessa on pienemmät kuidut kuin koivussa. Tämä antaa massalle muun muassa paremman opasiteetin, sillä eukalyptuksesta valmistetussa paperissa on enemmän kuituja painoyksikköä kohden kuin koivusta valmistetussa. Tämä voidaan huomata myös tämän tutkimuksen tuloksista. (7, s. 26.)

10.3 Tulevaisuus

2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen lama vaikutti ja vaikuttaa edelleen suuresti paperiteollisuuteen. Useita tehtaita on suljettu ja joidenkin tehtaiden kohtaloa vielä arvotaan. 90 % Suomessa tuotetusta paperista ja kartongista menee ulkomaille, mutta kysyntä vähenee kaiken aikaa ja paperista on ylituotantoa. Tuotteiden valmistuskustannukset nousevat, mutta hinta ei kehity samaa tahtia. (2.) Tulevaisuudessa paperiteollisuus todennäköisesti keskittyy Etelä-Amerikkaan ja Aasiaan, joissa paperin kulutus on kasvanut jo monen vuoden ajan. (1, s. 207, 208.)

Tässä tutkimuksessa tutkituista puulajeista eukalyptuksella on koivua ja mäntyä paremmat tulevaisuudennäkymät, sillä lehtipuusellu on havusellua edullisempaa ja eukalyptuksella on koivua suurempi saanto. Moni tehdas onkin siirtänyt tuotantoaan lähemmäs alueita, joilla eukalyptus kasvaa. (1, s. 207, 208.)

Tämän tutkimuksen massanäytteet valmistaneiden tehtaiden tilanteet ovat erilaiset. Metsä-Botnian Kaskisten tehdas, josta koivunäytteet ovat peräisin, suljettiin vuonna 2009.

UPM:n Fary Bentosin tehtaan tulevaisuus näyttää kaikista valoisimmalta. Se sijaitsee lähellä eukalyptusraaka-ainetta sekä markkinoita.

Stora Enson Sunilan tehtaan tilanne on ollut jo pitkään vaakalaudalla. Tehtaalla on ollut useita seisokkeja, ja sen tuotanto ehdittiin jo lopettaa. Tuotanto kuitenkin käynnistettiin uudelleen, ja tehtaan tulevaisuus näyttää nyt hyvin valoisalta, koska sellun hinta on noussut maailman markkinoilla kovasti.

LÄHTEET

1. Kärkkäinen, M. 2005. Maailman metsäteollisuus. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna.
2. Reini, K. & Törmä, H. & Mäkinen, J. Massa- ja paperiteollisuuden supistumisen ja tulevaisuuden kuvien aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/ruralia/julkaisut/pdf/Raportteja50.pdf> 5.4.2011.
3. Tietoja eukalyptuksesta, Wikipedia.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Eukalyptukset> 15.5.2011.
4. Tietoja hieskoivusta, Puuproffa.
<http://www.puuproffa.fi/arkisto/hieskoivu.php> 15.5.2011.
5. Tietoja männystä, Puuproffa.
<http://www.puuproffa.fi/arkisto/manty.php> 15.5.2011.
6. Seppälä, M. Klemetti, U. Kortelainen, V. Lyytikäinen, J. Siitonen, H. Sironen, R. 2005. Paperimassan valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus I. Opetushallitus. Saarijärvi.
7. Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus II. Opetushallitus. Helsinki.
8. Aaltonen, P. 1986. Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä. Otatieto Oy. Helsinki.
9. Mononen, K. 2009. Työkirja: Märkä- ja kuivalaboratorioharjoituksia varten. Moniste.
10. www.storaenso.com 4.4.2011.
11. www.botnia.com 4.4.2011.
12. www.upm-kymmene.com 4.4.2011.
13. Holopainen, M. Pulkkinen, P. 2006. Tilastolliset menetelmät. WSOY. Helsinki.

Schopper-Riegler-luvut

Jauhatusaika

(min)	Eukalyptus	Koivu	Mänty
5	18	19	14
20	20	22	16
40	29	37	33
60	44	62	66

Laboratoriotulokset

Näyte: Eukalyptus 5 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	81,8	81,8	63,2	74,4	81,8	81,8	77,5	7,6
Paksuus	um	250	251	204	213	247	243	235	20,66
Tiheys	kg/m ³	327	326	310	349	331	337	330	13,04
Bulkki	cm ³ /g	3,1	3,1	3,2	2,9	3,0	3,0	3,0	0,1
Vaaleus	%							96,06	0,67
Opasiteetti	%							87,18	1,54
Kiilto	%	3,3	3,0	3,6	3,5	3,5	3,2	3,4	0,2
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,88	12,06	11,39	11,64	11,52	12,11	11,77	0,30
	1,0 Mpa	9,8	9,97	9,86	10,01	10,09	10,02	9,96	0,11
	2,0 Mpa	8,22	8,23	8,28	8,3	8,42	8,1	8,26	0,11
Sileys, Bendsen	ml/min	2685	2132	1973	1890	2304	2391	2229	293,15
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0
Vetolujuus	kN/m	1,197	1,156	1,213	1,148	1,245	1,221	1,197	0,038
Vetoindeksi	Nm/g	14,63	14,13	19,19	15,43	15,22	14,93	15,59	1,82
Venymä	%	1,28	1,24	1,14	1,07	1,14	0,96	1,14	0,12
Murtotyö	J/m ²	10,28	9,46	11,80	7,97	9,20	7,30	9,34	1,61
Repäisylujuus	mN	120	107	97	93	86	101	100,67	11,84
Repäisyindeksi	mNm ² /g	1,47	1,31	1,53	1,25	1,05	1,23	1,31	0,17
Tuhka	%	0	0	0	0	0	0	0	0
Kosteus	%	6,69	6,83	6,72	6,56			6,7	0,11

Näyte: Eukalyptus 20 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	89,2	81,8	93,0	111,5	104,1	104,1	97,3	11,12
Paksuus	um	242	226	241	302	281	253	258	28,49
Tiheys	kg/m ³	369	362	386	369	370	411	378	18,23
Bulkki	cm ³ /g	2,7	2,8	2,6	2,7	2,7	2,4	2,7	0,12
Vaaleus	%							96,34	0,16
Opasiteetti	%							88,97	1,76
Kiilto	%	3,1	3,3	3,4	3,2	3,0	3,0	3,2	0,16
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,95	12,84	12,25	13,09	13,20	13,09	12,90	0,34
	1,0 Mpa	11,37	10,70	10,54	11,78	11,15	11,59	11,19	0,49
	2,0 Mpa	8,66	8,57	9,04	8,93	8,62	8,66	8,75	0,19
Sileys, Bendsen	ml/min	2356	1962	2281	2881	2751	2843	2512	369,61
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	3,313	3,183	3,248	3,630	3,451	3,516	3,390	0,17
Vetoindeksi	Nm/g	37,14	38,91	34,92	32,56	33,15	33,78	35,08	2,48
Venymä	%	2,46	2,10	2,49	2,66	2,81	2,97	2,58	0,30
Murtotyö	J/m ²	58,35	46,82	58,12	70,68	71,24	72,53	62,96	10,25
Repäisylujuus	mN	197	222	255	239	319	207	240	44,11
Repäisyindeksi	mNm ² /g	2,21	2,71	2,74	2,14	3,06	1,99	2,48	0,42
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,31	6,25	6,43				6,33	0,09

Näyte: Eukalyptus 40 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	104,1	98,8	104,1	100,4	89,2	115,3	102,0	8,51
Paksuus	um	251	197	234	242	215	285	237	30,39
Tiheys	kg/m ³	415	502	445	415	415	405	433	36,43
Bulkki	cm ³ /g	2,4	2,0	2,2	2,4	2,4	2,5	2,3	0,18
Vaaleus	%							95,85	0,25
Opasiteetti	%							88,86	2,42
Kiilto	%	3,0	3,5	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	0,19
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,78	12,20	13,77	13,35	13,60	13,78	13,41	0,62
	1,0 Mpa	12,77	10,33	11,95	11,57	12,00	12,11	11,79	0,81
	2,0 Mpa	9,79	8,64	9,48	9,08	9,42	10,01	9,40	0,49
Sileys, Bendsen	ml/min	2702	2023	2322	2669	2880	2975	2595	358,96
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	4,274	4,404	4,29	4,501	4,298	4,469	4,373	0,10
Vetoindeksi	Nm/g	41,06	44,57	41,21	44,83	48,18	38,76	43,10	3,39
Venymä	%	2,96	3,04	2,74	3,11	3,48	2,72	3,01	0,28
Murtotyö	J/m ²	91,62	96,44	83,79	101,1	107,1	86,57	94,44	8,85
Repäisylujuus	mN	430	499	787	422	411	414	494	147,27
Repäisyindeksi	mNm ² /g	4,13	5,05	7,56	4,20	4,61	3,59	4,86	1,41
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	7,21	7,32	7,11				7,21	0,11

Näyte: Eukalyptus 60 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	100,4	104,1	85,5	93	78,1	70,6	88,6	12,98
Paksuus	um	205	215	186	195	172	157	188	21,39
Tiheys	kg/m ³	490	484	460	477	454	450	469	16,78
Bulkki	cm ³ /g	2,0	2,1	2,2	2,1	2,2	2,2	2,1	0,08
Vaaleus	%							95,40	0,30
Opasiteetti	%							87,20	2,21
Kiilto	%	3,2	3,3	3,2	3,3	3,4	3,1	3,3	0,10
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,91	12,91	13,01	13,02	12,84	12,55	12,87	0,17
	1,0 Mpa	11,55	11,06	11,38	11,25	11,11	10,96	11,22	0,22
	2,0 Mpa	9,89	8,80	9,43	9,53	9,20	8,69	9,26	0,46
Sileys, Bendsen	ml/min	2001	2190	1956	2296	2156	1936	2089	145,86
Ilmanläpäisevyys	ml/min	909	1035	1277	1322	1389	1385	1220	200,19
Vetolujuus	kN/m	5,967	6,154	6,569	5,771	6,252	6,162	6,146	0,27
Vetoindeksi	Nm/g	59,43	59,12	76,83	62,05	80,05	87,28	70,79	12,13
Venymä	%	3,59	3,80	3,37	3,27	3,79	3,51	3,56	0,22
Murtotyö	J/m ²	153,7	167,6	157,2	134,2	170,8	154,4	156,3	12,94
Repäisylujuus	mN	397	360	356	358	313	327	352	29,28
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,95	3,46	4,16	3,85	4,01	4,63	4,01	0,39
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,27	6,13	6,33				6,24	0,10

Näyte: Koivu 5 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	85,5	59,5	81,8	93	63,2	81,8	77,5	13,19
Paksuus	um	218	150	203	232	158	205	194	33,03
Tiheys	kg/m ³	392	397	403	401	400	399	399	3,77
Bulkki	cm ³ /g	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,02
Vaaleus	%							96,10	0,16
Opasiteetti	%							83,59	4,10
Kiilto	%	3,5	3,5	3,5	3,3	3,5	3,6	3,5	0,10
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,83	11,66	11,9	12,84	12,52	11,66	12,24	0,56
	1,0 Mpa	10,65	9,69	10,34	10,60	10,34	10,17	10,30	0,35
	2,0 Mpa	8,44	7,99	8,65	8,45	8,2	8,31	8,34	0,23
Sileys, Bendsen	ml/min	2940	1704	1823	2263	2504	2203	2240	452,28
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	2,662	2,491	2,532	2,743	2,312	2,646	2,564	0,15
Vetoindeksi	Nm/g	31,13	41,87	30,95	29,49	36,58	32,35	33,73	4,66
Venymä	%	2,29	1,75	1,73	2,13	1,47	2,13	1,92	0,31
Murtotyö	J/m ²	43,70	29,96	30,46	41,97	23,21	39,97	34,88	8,17
Repäisylujuus	mN	255	236	247	321	245	205	251,5	38,23
Repäisyindeksi	mNm ² /g	2,98	3,97	3,02	3,45	3,88	2,51	3,30	0,57
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,66	6,54	6,55				6,58	0,07

Näyte: Koivu 20 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	78,1	89,2	96,7	100,4	44,6	48,3	76,2	24,31
Paksuus	um	191	211	235	244	115	135	189	52,95
Tiheys	kg/m ³	409	423	411	411	388	358	400	23,63
Bulkki	cm ³ /g	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,8	2,5	0,16
Vaaleus	%							95,74	0,20
Opasiteetti	%							81,62	8,06
Kiilto	%	3,6	3,2	3,3	3,6	3,6	3,5	3,5	0,18
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,48	13,2	13,02	12,55	11,78	12,00	12,51	0,55
	1,0 Mpa	10,57	11,61	11,53	11,07	10,00	10,40	10,86	0,65
	2,0 Mpa	9,17	9,23	9,04	9,25	7,83	8,25	8,80	0,60
Sileys, Bendsen	ml/min	2073	2801	2916	2753	2017	2744	2551	396,84
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	4,974	4,062	4,746	5,136	4,917	4,982	4,803	0,38
Vetoindeksi	Nm/g	63,69	45,54	49,08	51,16	110,25	103,15	70,48	28,80
Venymä	%	2,77	1,74	2,58	3,03	2,87	2,71	2,62	0,46
Murtotyö	J/m ²	96,75	47,77	85,59	110,6	98,83	94,86	89,07	21,77
Repäisylujuus	mN	393	420	375	536	379	469	429	62,99
Repäisyindeksi	mNm ² /g	5,03	4,71	3,88	5,34	8,50	9,71	6,19	2,34
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,76	6,55	6,75				6,69	0,12

Näyte: Koivu 40 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	96,7	96,7	96,7	74,4	96,7	89,2	91,7	9,01
Paksuus	um	217	258	211	182	209	214	215	24,47
Tiheys	kg/m ³	446	375	458	409	463	417	428	33,92
Bulkki	cm ³ /g	2,2	2,7	2,2	2,4	2,2	2,4	2,4	0,19
Vaaleus	%							95,47	0,17
Opasiteetti	%							85,15	1,60
Kiilto	%	3,1	3,4	3,2	3,3	3,7	3,2	3,3	0,21
Sileys, PPS	0,5 Mpa	14,1	13,91	13,43	13,52	12,91	13,87	13,62	0,43
	1,0 Mpa	12,74	12,70	12,09	12,03	11,69	12,40	12,28	0,41
	2,0 Mpa	10,34	10,20	9,41	9,95	9,71	10,13	9,96	0,35
Sileys, Bendsen	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1830	1990	1679	2828	1682	2126	2023	431,65
Vetolujuus	kN/m	6,447	6,716	6,716	6,422	6,61	6,691	6,600	0,13
Vetoindeksi	Nm/g	66,67	69,45	69,45	86,32	68,36	75,01	72,54	7,31
Venymä	%	3,07	3,63	3,42	3,23	3,44	3,24	3,34	0,20
Murtotyö	J/m ²	138,1	171,8	161,5	144,7	159,0	151,9	154,5	12,17
Repäisylujuus	mN	377	364	348	483	572	473	436	87,73
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,90	3,76	3,60	6,49	5,92	5,30	4,83	1,24
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,57	6,64	6,43				6,55	0,11

Näyte: Koivu 60 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	93,0	96,7	93,0	96,7	96,7	93,0	94,9	2,03
Paksuus	um	153	163	152	165	159	154	158	5,50
Tiheys	kg/m ³	608	593	612	586	608	604	602	10,03
Bulkki	cm ³ /g	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,7	1,7	0,03
Vaaleus	%							94,67	0,15
Opasiteetti	%							82,46	0,72
Kiilto	%	3,4	3,7	3,5	3,8	3,4	3,9	3,6	0,21
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,08	12,67	13,20	12,37	12,84	12,34	12,75	0,36
	1,0 Mpa	11,80	11,04	11,95	11,31	11,29	10,66	11,34	0,48
	2,0 Mpa	10,16	9,35	10,61	9,00	9,27	8,91	9,55	0,68
Sileys, Bendsen	ml/min	1985	1862	2254	1809	1862	2326	2016	220,90
Ilmanläpäisevyys	ml/min	78,5	99,4	98,1	129,6	80,4	84,9	95,2	19,04
Vetolujuus	kN/m	7,839	7,969	7,635	8,807	8,466	8,392	8,185	0,44
Vetoindeksi	Nm/g	84,29	82,41	82,10	91,08	87,55	90,24	86,28	3,92
Venymä	%	3,27	3,8	2,94	3,44	3,52	3,56	3,42	0,29
Murtotyö	J/m ²	182,2	217,1	159,5	213,2	212,7	214,0	199,8	23,58
Repäisylujuus	mN	479	473	489	438	450	438	461	22,05
Repäisyindeksi	mNm ² /g	5,15	4,89	5,26	4,53	4,65	4,71	4,87	0,29
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,42	6,46	6,38				6,42	0,04

Näyte: Mänty 5 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	104,1	66,9	78,1	52,1	78,1	52,1	71,9	19,61
Paksuus	um	320	196	240	161	232	156	218	61,09
Tiheys	kg/m ³	325	341	325	324	337	334	331	7,29
Bulkki	cm ³ /g	3,1	2,9	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	0,07
Vaaleus	%							95,21	0,09
Opasiteetti	%							77,92	6,44
Kiilto	%	3,4	3,7	3,4	3,7	3,9	3,7	3,6	0,20
Sileys, PPS	0,5 Mpa	14,47	13,28	13,44	13,16	13,02	12,88	13,38	0,57
	1,0 Mpa	12,14	11,69	11,99	11,38	11,62	11,14	11,66	0,37
	2,0 Mpa	10,39	9,76	10,03	9,51	9,94	9,17	9,80	0,43
Sileys, Bendsen	ml/min	2955	2448	2866	2302	2555	2057	2531	339,58
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	2,434	2,751	2,971	2,768	2,792	2,727	2,741	0,17
Vetoindeksi	Nm/g	23,38	41,12	38,04	53,13	35,75	52,34	40,63	11,15
Venymä	%	1,66	2,19	2,33	2,08	2,32	1,85	2,07	0,27
Murtotyö	J/m ²	28,08	41,56	48,51	39,76	45,58	34,77	39,71	7,42
Repäisylujuus	mN	854	748	652	708	831	793	764	76,64
Repäisyindeksi	mNm ² /g	8,20	11,18	8,35	13,59	10,64	15,22	11,20	2,80
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,15	6,09	6,17				6,14	0,04

Näyte: Mänty 20 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	85,5	93,0	81,8	74,4	89,2	78,1	83,7	6,95
Paksuus	um	195	214	215	189	207	196	203	10,86
Tiheys	kg/m ³	438	435	380	394	431	398	413	24,81
Bulkki	cm ³ /g	2,3	2,3	2,6	2,5	2,3	2,5	2,4	0,15
Vaaleus	%							94,99	0,22
Opasiteetti	%							80,47	1,83
Kiilto	%	3,3	3,8	3,7	4,0	3,6	3,6	3,7	0,23
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,91	13,39	13,6	13,24	13,91	13,44	13,42	0,34
	1,0 Mpa	11,76	12,06	12,39	11,87	12,40	12,85	12,22	0,40
	2,0 Mpa	10,25	9,96	10,36	10,21	10,43	10,34	10,26	0,17
Sileys, Bendsen	ml/min	2342	2845	2734	2242	2757	2919	2640	279,14
Ilmanläpäisevyys	ml/min	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	>3000	0,00
Vetolujuus	kN/m	5,731	5,771	5,641	5,942	5,267	5,910	5,710	0,24
Vetoindeksi	Nm/g	67,03	62,05	68,96	79,87	59,05	75,67	68,77	7,92
Venymä	%	3,21	3,39	3,28	5,27	2,86	3,61	3,60	0,85
Murtotyö	J/m ²	121,9	130,7	123,7	129,7	100,7	140,9	124,6	13,48
Repäisylujuus	mN	940	987	907	938	981	862	936	46,82
Repäisyindeksi	mNm ² /g	10,99	10,61	11,09	12,61	11,00	11,04	11,22	0,70
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,73	6,81	6,77				6,77	0,04

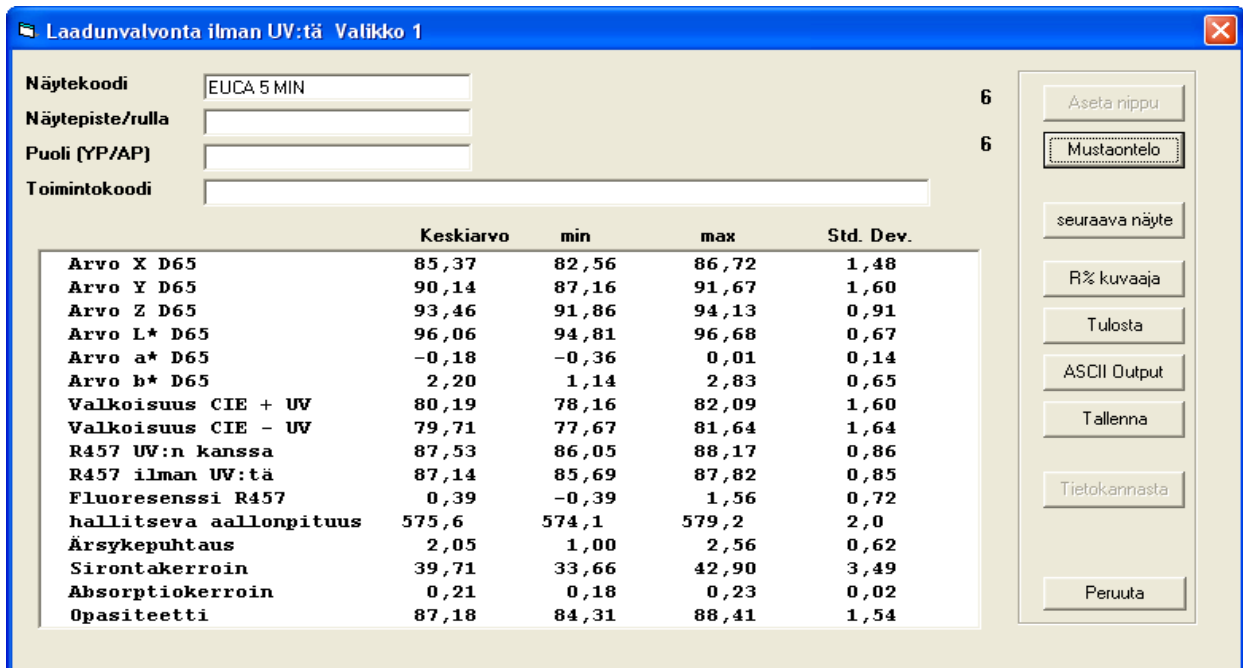
Näyte: Mänty 40 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	93,0	89,2	89,2	96,7	100,4	96,7	94,2	4,53
Paksuus	um	179	190	208	191	204	193	194	10,46
Tiheys	kg/m ³	520	469	429	506	492	501	486	32,68
Bulkki	cm ³ /g	1,9	2,1	2,3	2,0	2,0	2,0	2,1	0,15
Vaaleus	%							94,39	0,08
Opasiteetti	%							82,89	1,03
Kiilto	%	3,8	3,6	3,7	3,3	3,8	3,7	3,7	0,19
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,36	13,32	13,87	13,44	14,31	13,16	13,58	0,43
	1,0 Mpa	12,74	11,83	12,14	12,64	12,95	11,83	12,36	0,49
	2,0 Mpa	10,59	10,54	10,73	10,29	10,95	10,34	10,57	0,25
Sileys, Bendsen	ml/min	2761	2891	2543	2636	2941	2423	2699	201,87
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1232	1002	906	734	815	713	900	195,15
Vetolujuus	kN/m	8,311	8,246	8,384	8,205	8,58	8,327	8,342	0,13
Vetoindeksi	Nm/g	89,37	92,44	93,99	84,85	85,46	86,11	88,70	3,86
Venymä	%	3,99	3,69	4,20	4,07	4,39	4,15	4,08	0,23
Murtotyö	J/m ²	220,8	204,5	233,4	222,4	250,4	230,2	227,0	15,26
Repäisylujuus	mN	742	738	736	819	696	772	751	41,38
Repäisyindeksi	mNm ² /g	7,98	8,27	8,25	8,47	6,93	7,98	7,98	0,55
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,51	6,63	6,49				6,54	0,08

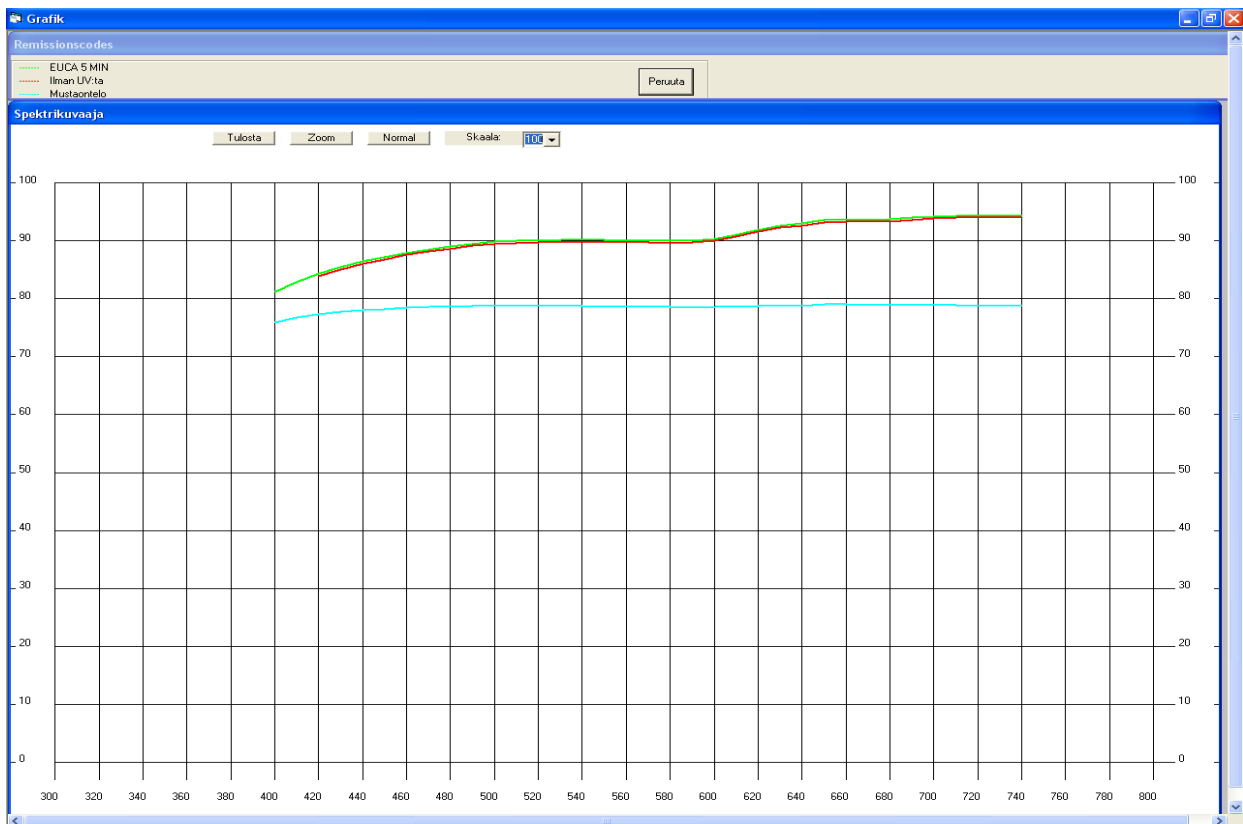
Näyte: Mänty 60 min.

Suure	Mittaus	1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	96,7	100,4	96,7	93	104,1	104,1	99,2	4,48
Paksuus	um	167	160	162	152	168	166	163	5,99
Tiheys	kg/m ³	579	628	597	612	620	627	610	19,10
Bulkki	cm ³ /g	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	0,05
Vaaleus	%							93,12	0,20
Opasiteetti	%							81,71	1,62
Kiilto	%	3,9	3,7	3,9	3,5	4,0	3,7	3,8	0,18
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,20	13,78	12,74	13,13	12,87	12,98	13,12	0,37
	1,0 Mpa	12,04	12,43	11,46	11,55	11,15	11,78	11,74	0,45
	2,0 Mpa	10,46	11,15	9,64	9,99	9,67	10,01	10,15	0,57
Sileys, Bendsen	ml/min	2131	2285	1965	2183	1810	1805	2030	200,94
Ilmanläpäisevyys	ml/min	37,1	39,7	47,1	37,9	35,4	34,7	38,7	4,51
Vetolujuus	kN/m	9,825	8,303	9,377	8,637	9,174	8,571	8,981	0,57
Vetoindeksi	Nm/g	101,60	82,70	96,97	92,87	88,13	82,33	90,77	7,79
Venymä	%	3,78	3,28	3,78	3,7	3,94	3,63	3,69	0,22
Murtotyö	J/m ²	252,6	189,7	242,7	216,5	247,5	214,5	227,3	24,41
Repäisylujuus	mN	739	680	690	700	989	660	743	123,33
Repäisyindeksi	mNm ² /g	7,64	6,77	7,14	7,53	9,50	6,34	7,49	1,10
Tuhka	%	0	0	0				0	0
Kosteus	%	6,58	6,61	6,55				6,58	0,03

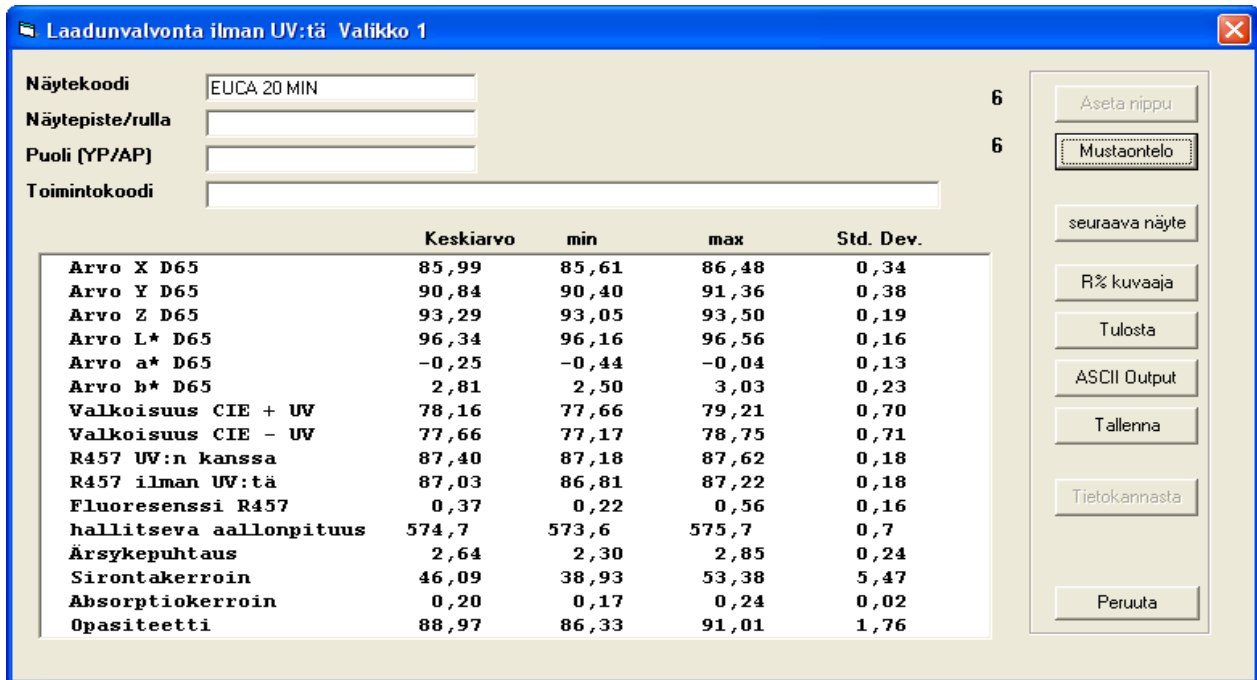
Minolta-spektrofotometrillä mitatut tulokset



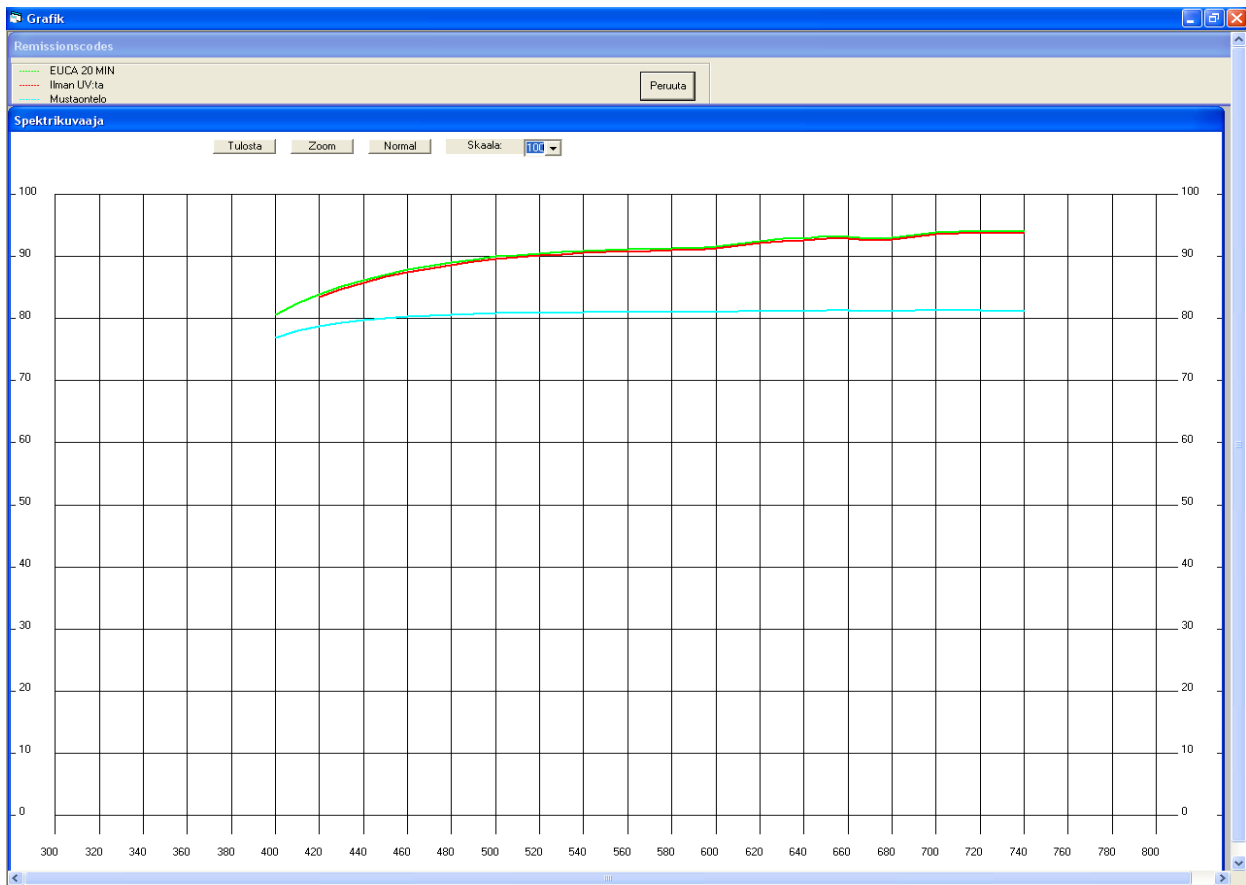
Kuva 1. 5 min eukalyptussellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



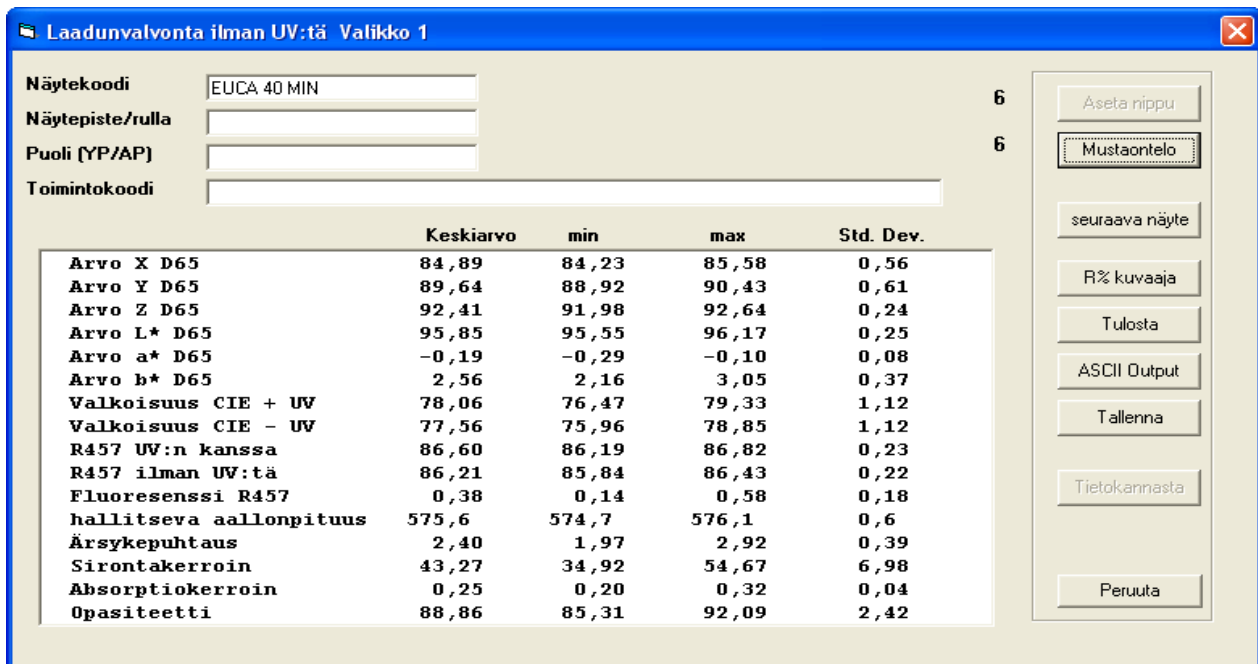
Kuva 2. 5 min eukalyptussellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



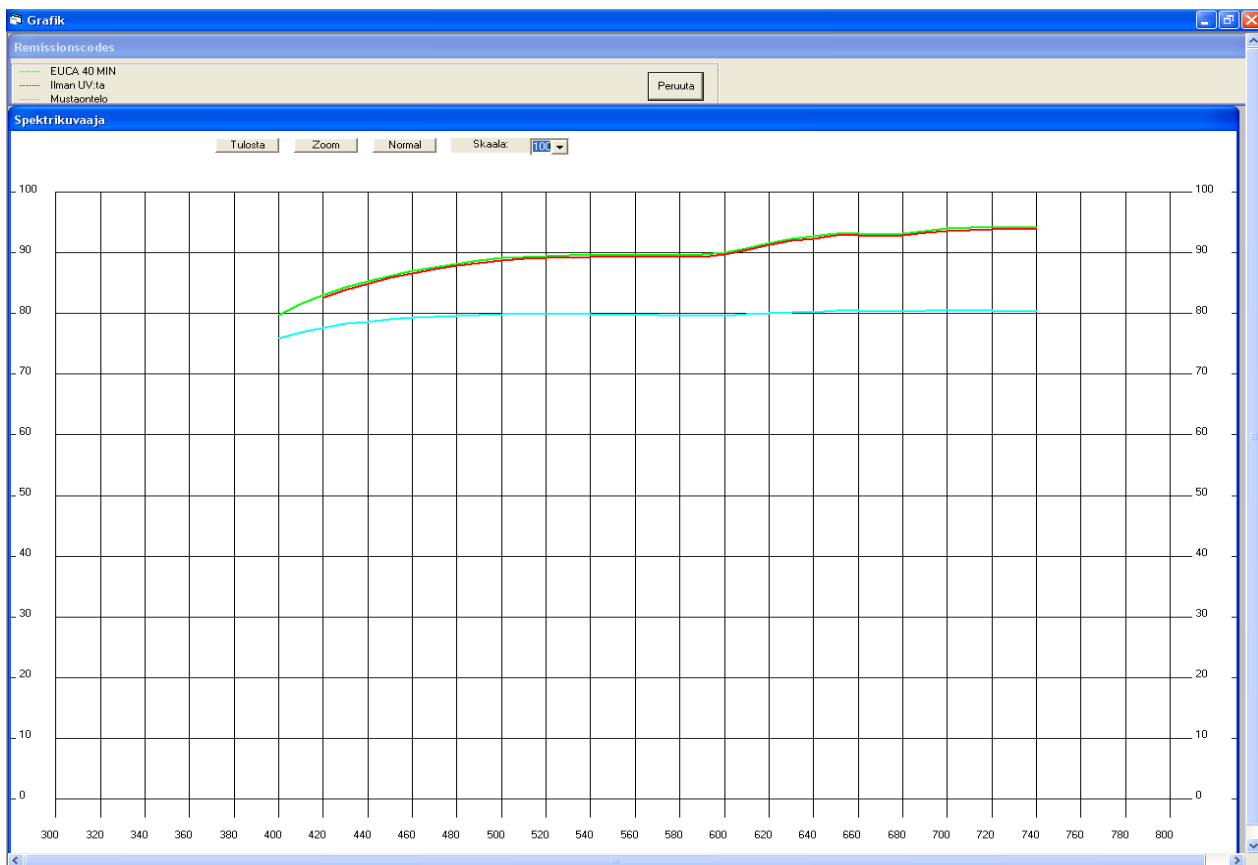
Kuva 3. 20 min eukalyptussellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



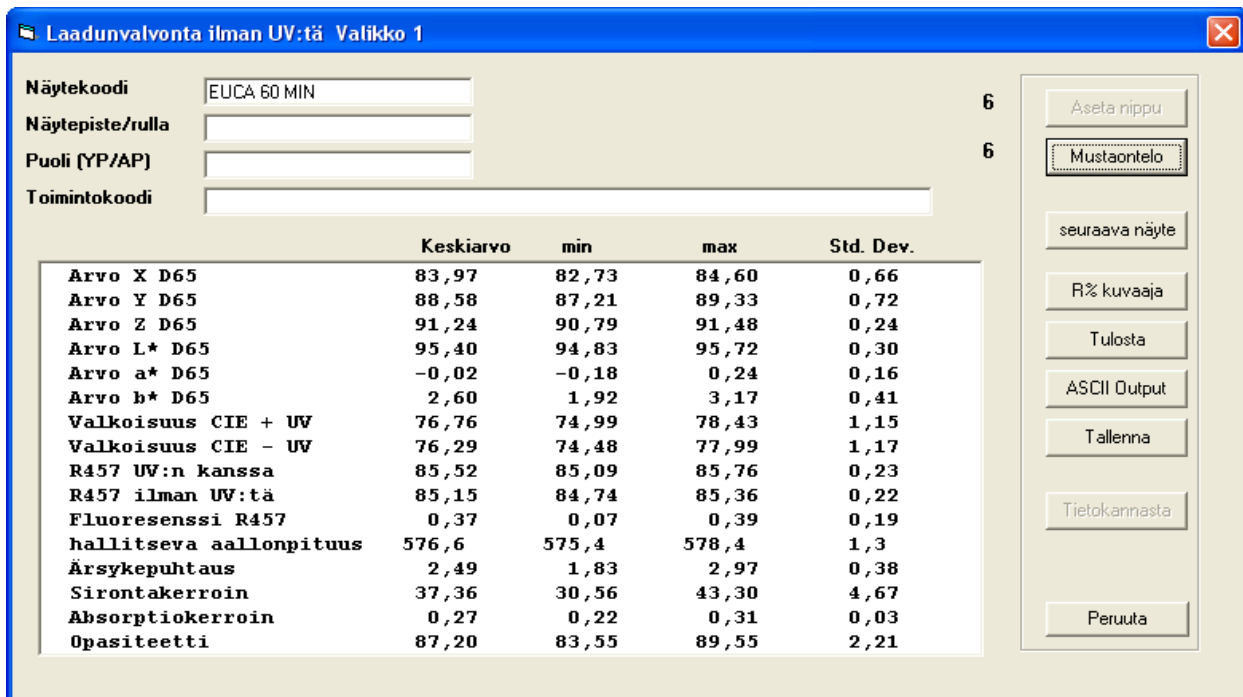
Kuva 4. 20 min eukalyptussellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



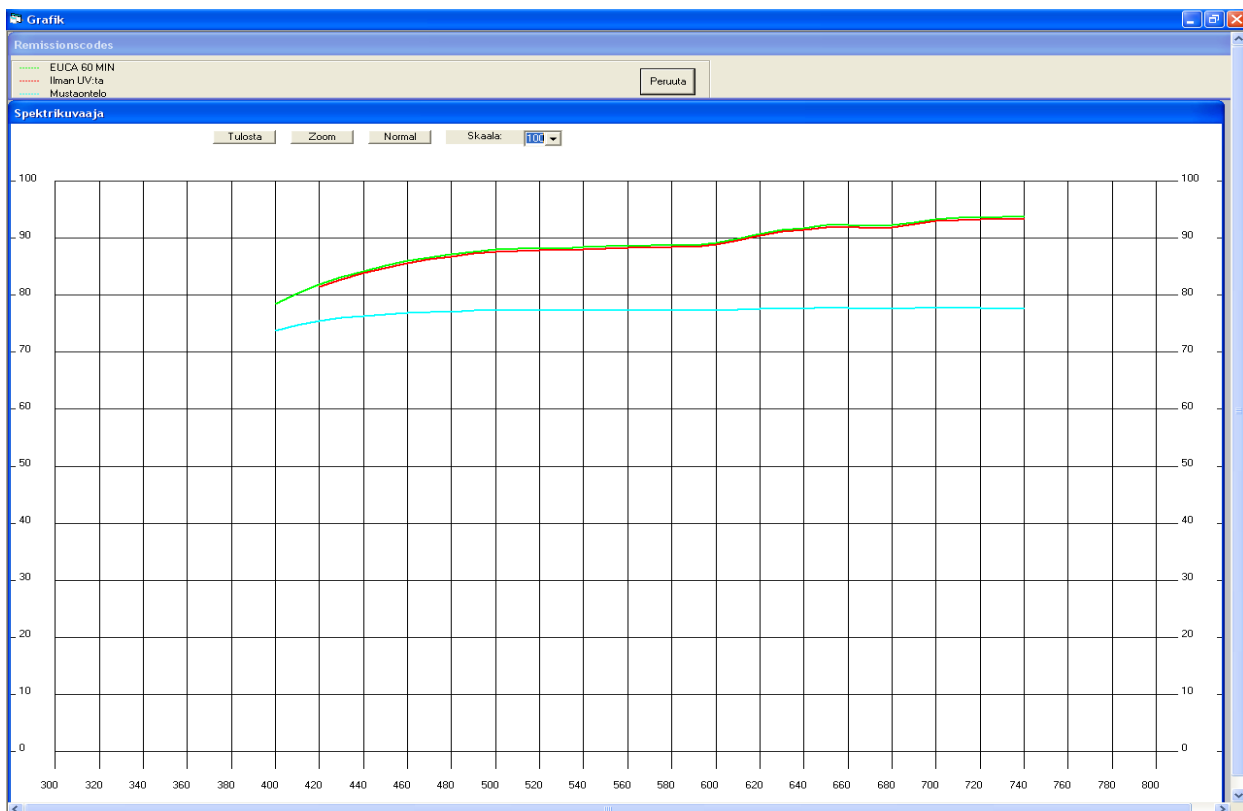
Kuva 5. 40 min eukalyptussellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 6. 40 min eukalyptussellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 7. 60 min eukalyptussellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 8. 60 min eukalyptussellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOIVU 5 MIN 6

Näytepiste/rulla: 6

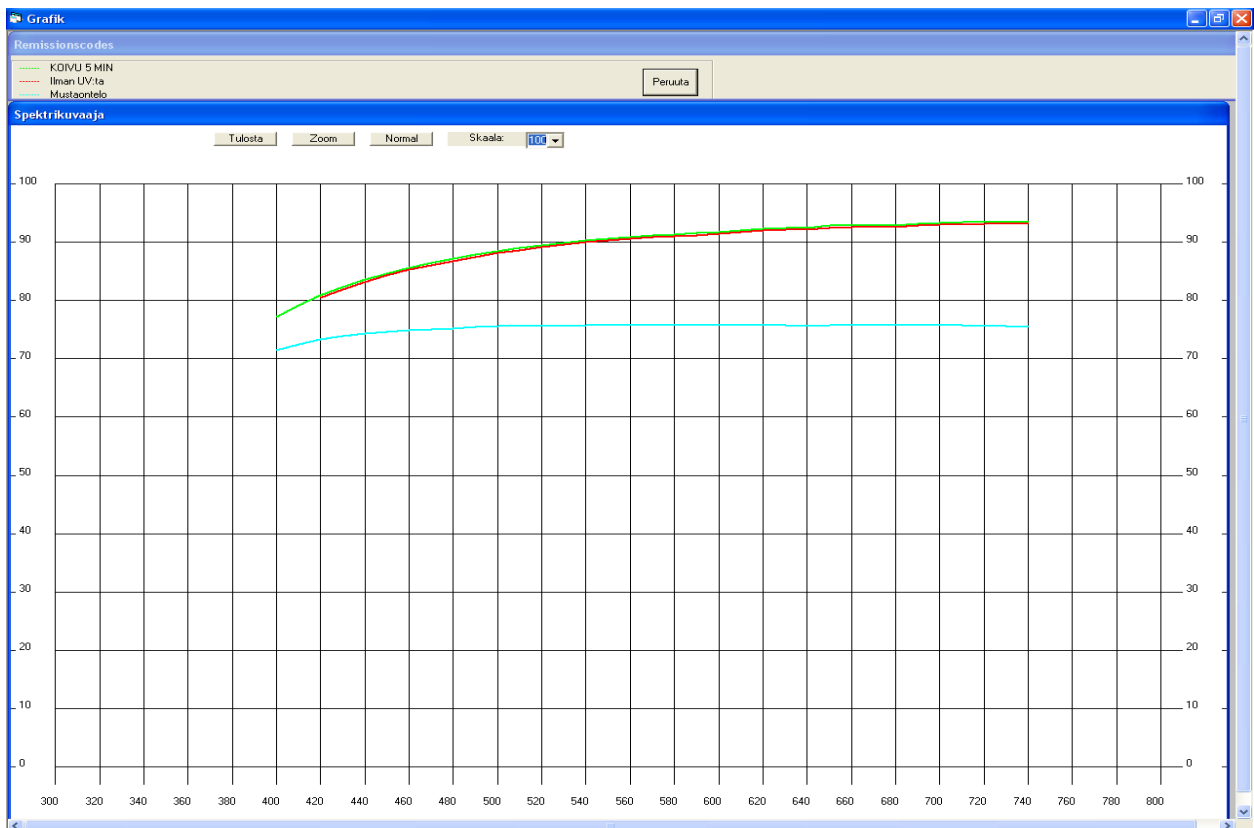
Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

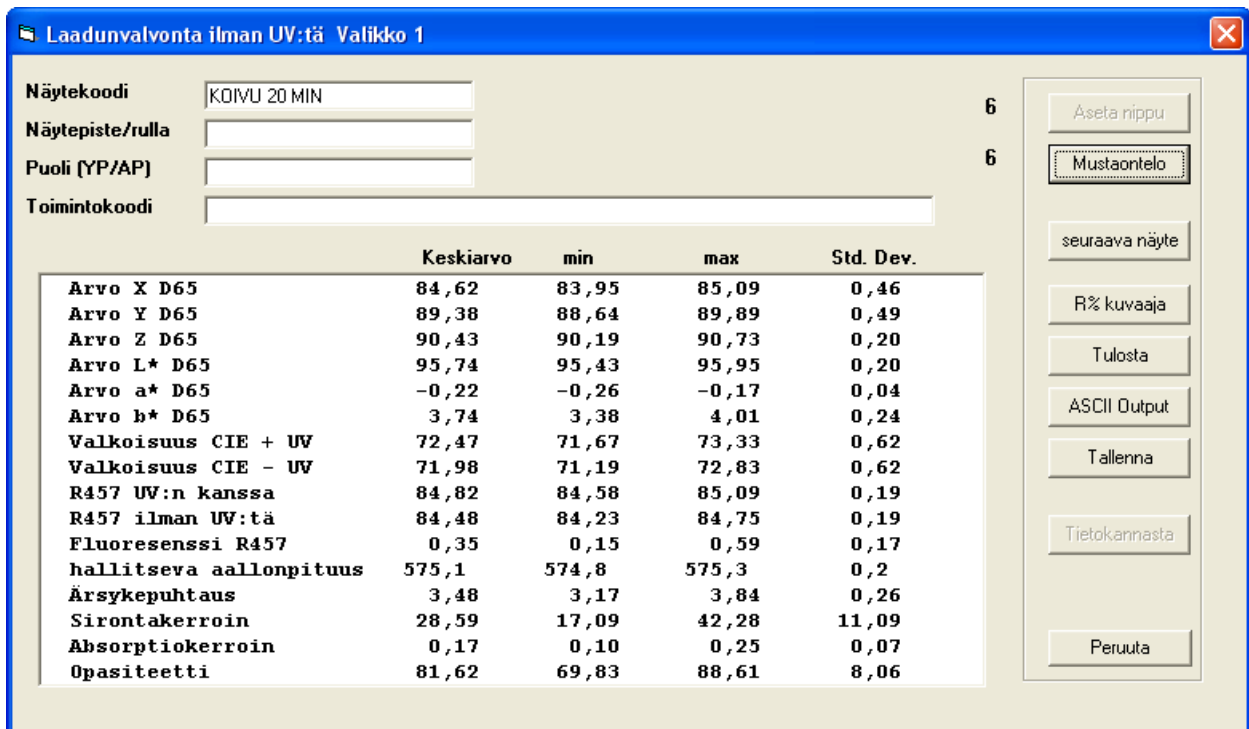
	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,44	85,06	85,96	0,33
Arvo Y D65	90,25	89,80	90,82	0,38
Arvo Z D65	90,75	89,82	91,85	0,69
Arvo L* D65	96,10	95,91	96,34	0,16
Arvo a* D65	-0,24	-0,41	-0,15	0,10
Arvo b* D65	4,14	3,76	4,81	0,38
Valkoisuus CIE + UV	71,59	68,58	73,77	1,79
Valkoisuus CIE - UV	71,09	68,29	73,07	1,67
R457 UV:n kanssa	85,13	84,37	86,11	0,60
R457 ilman UV:tä	84,77	84,06	85,71	0,58
Fluoresenssi R457	0,36	-0,58	0,87	0,52
hallitseva aallonpituus	574,9	574,4	575,2	0,3
Ärsykepuhtaus	3,98	3,55	4,51	0,36
Sirontakerroin	32,71	25,13	41,33	6,91
Absorptiokerroin	0,16	0,12	0,20	0,03
Opasiteetti	83,59	78,27	87,64	4,10

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

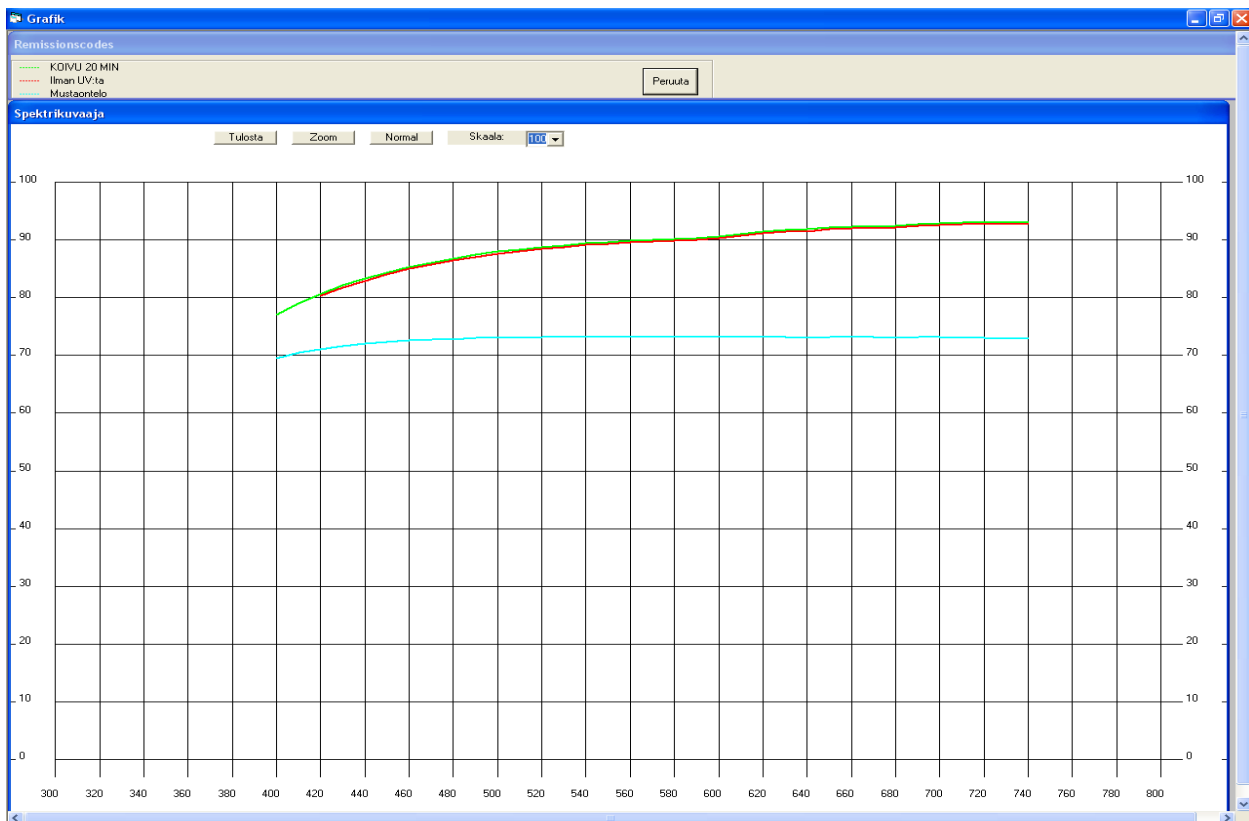
Kuva 9. 5 min koivusellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



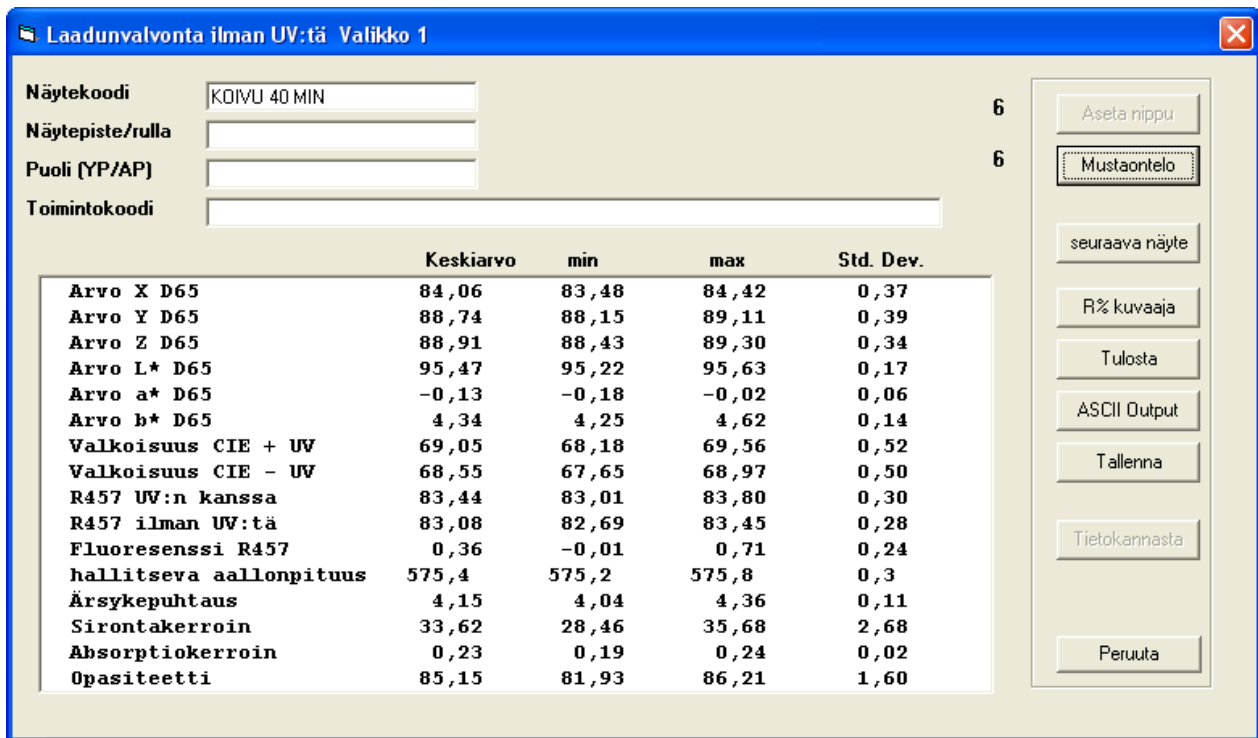
Kuva 10. 5 min koivusellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



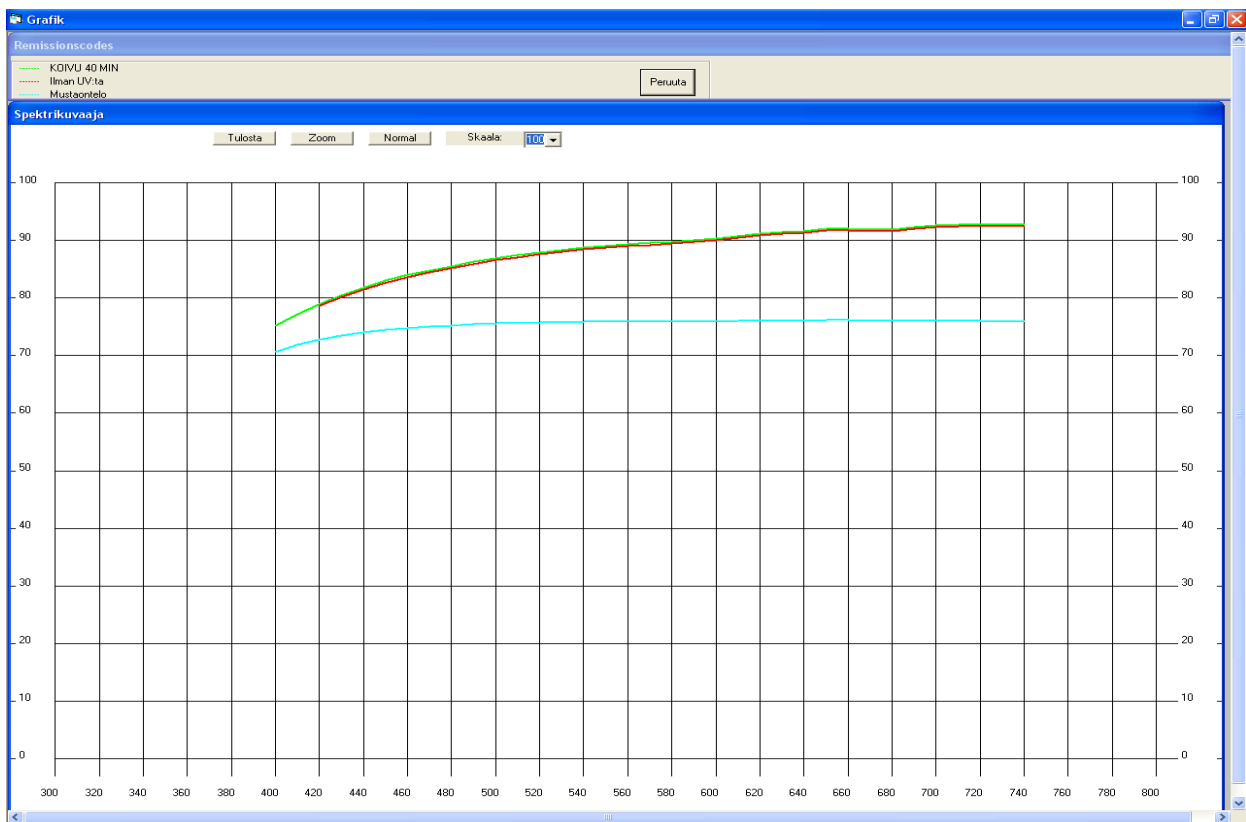
Kuva 11. 20 min koivusellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



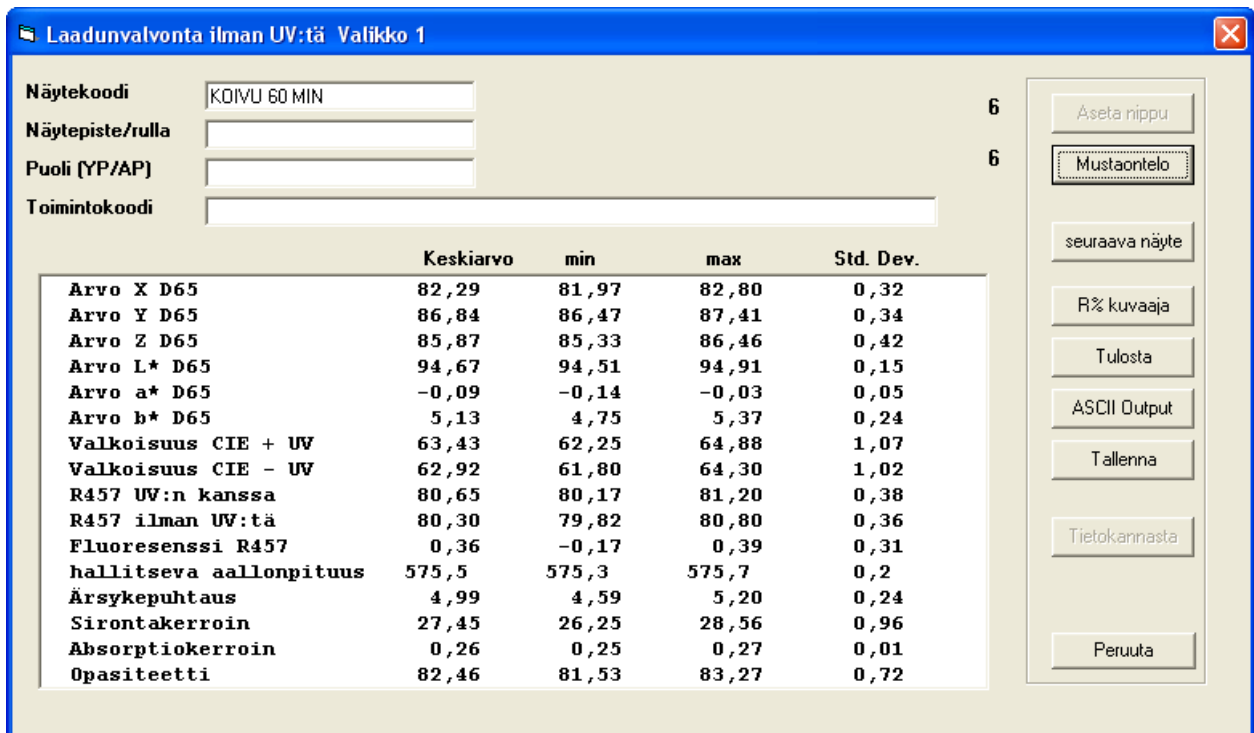
Kuva 12. 20 min koivusellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



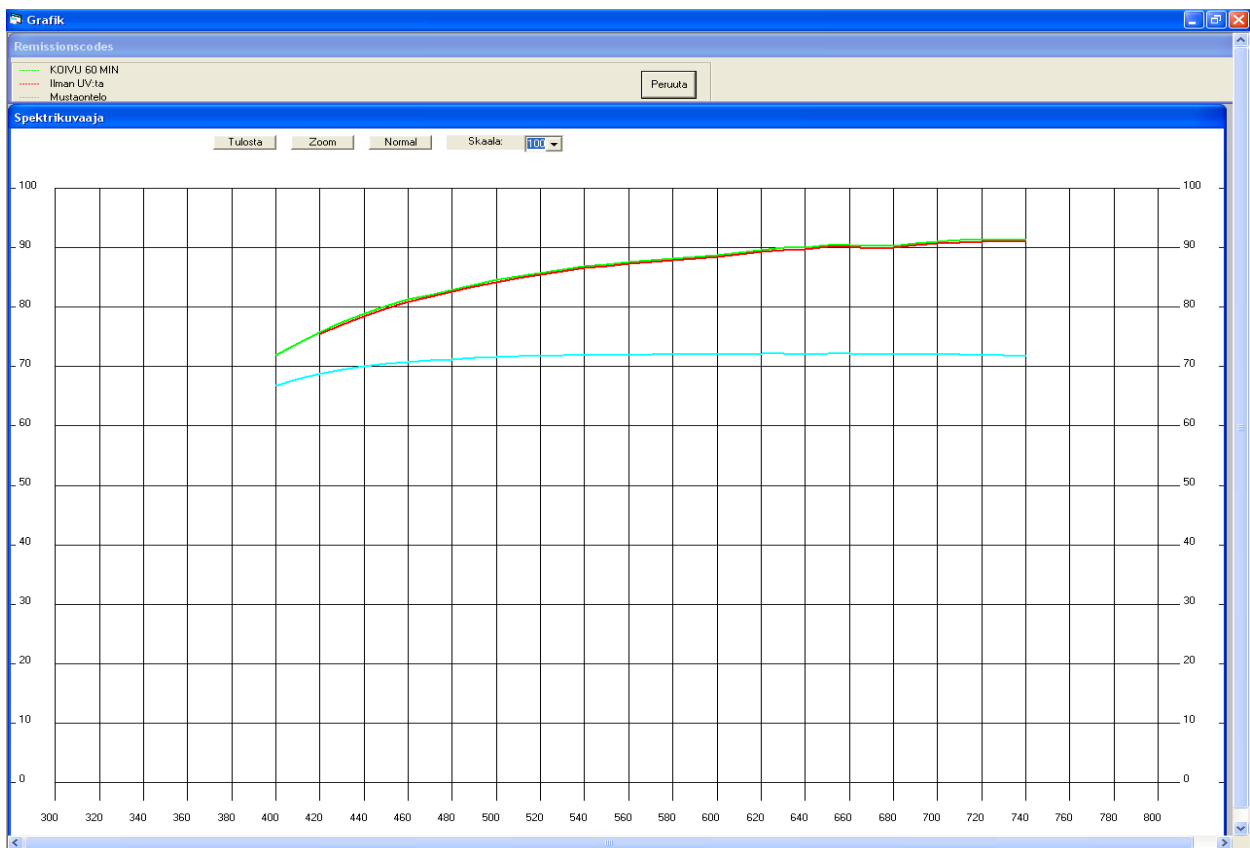
Kuva 13. 40 min koivusellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



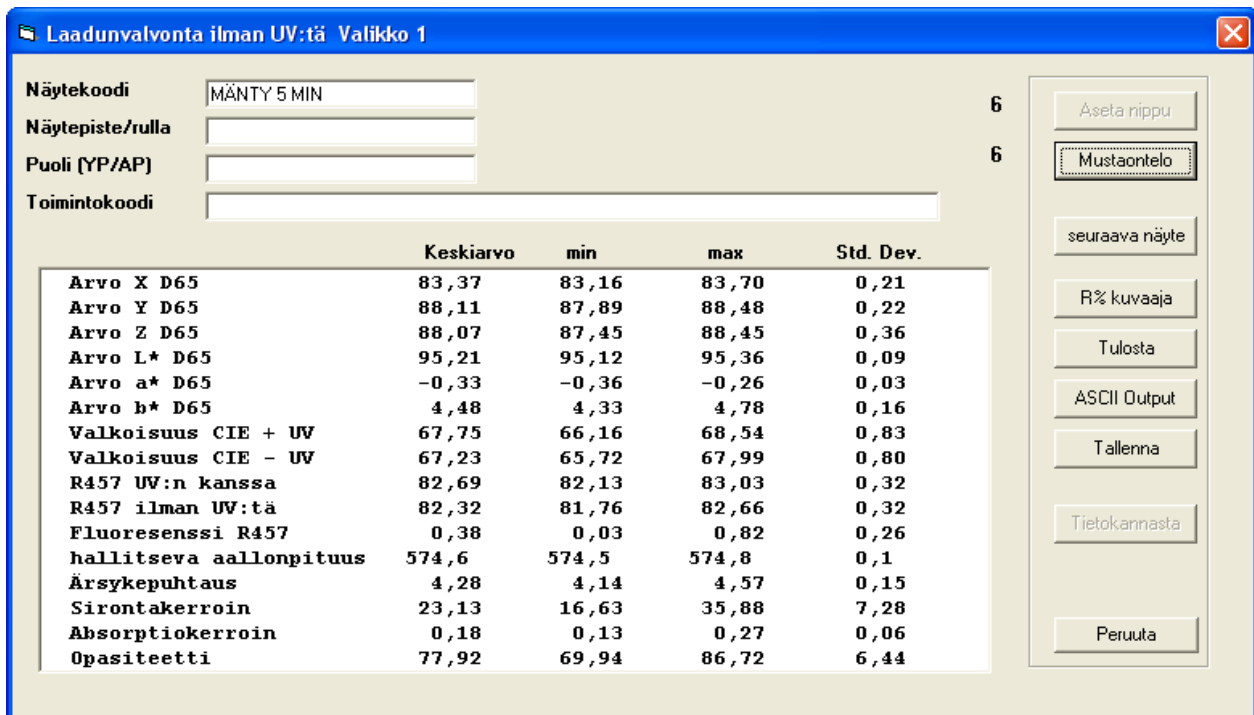
Kuva 14. 40 min koivusellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



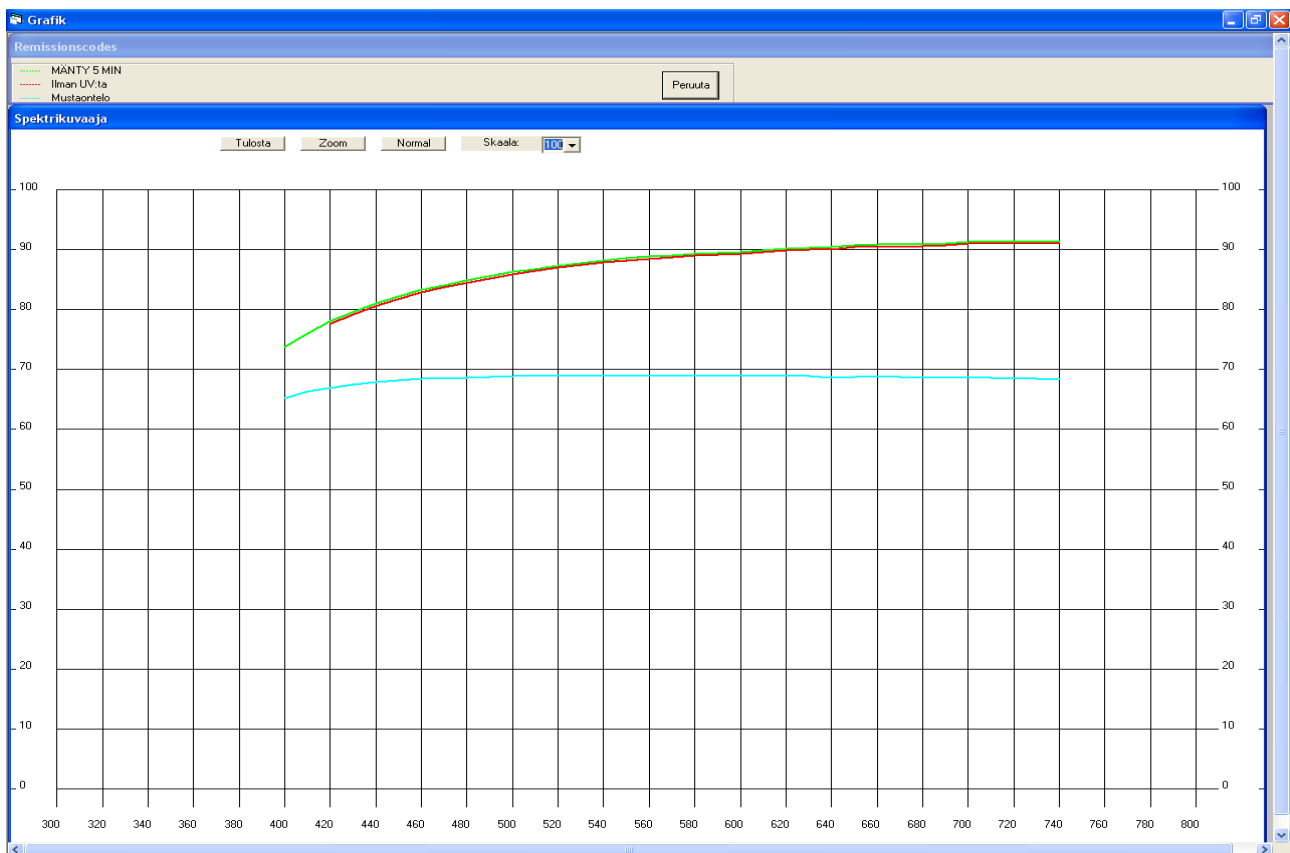
Kuva 16. 60 min koivusellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



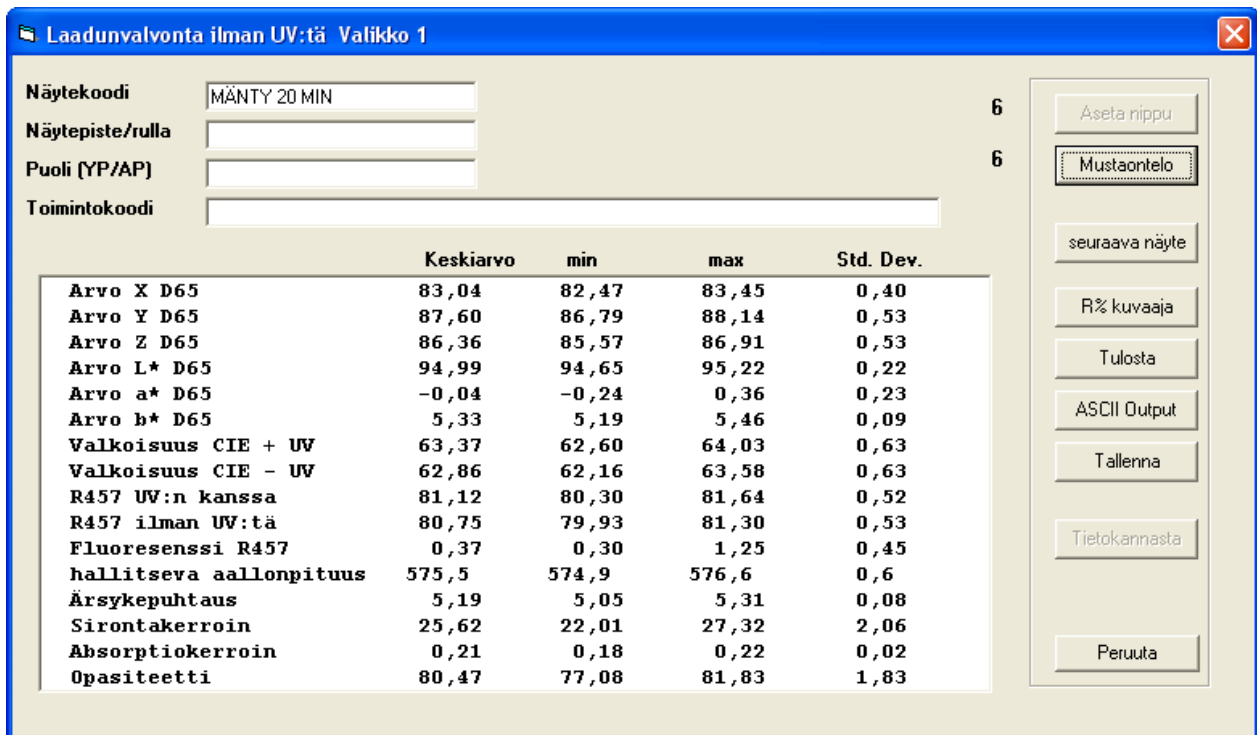
Kuva 16. 60 min koivusellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



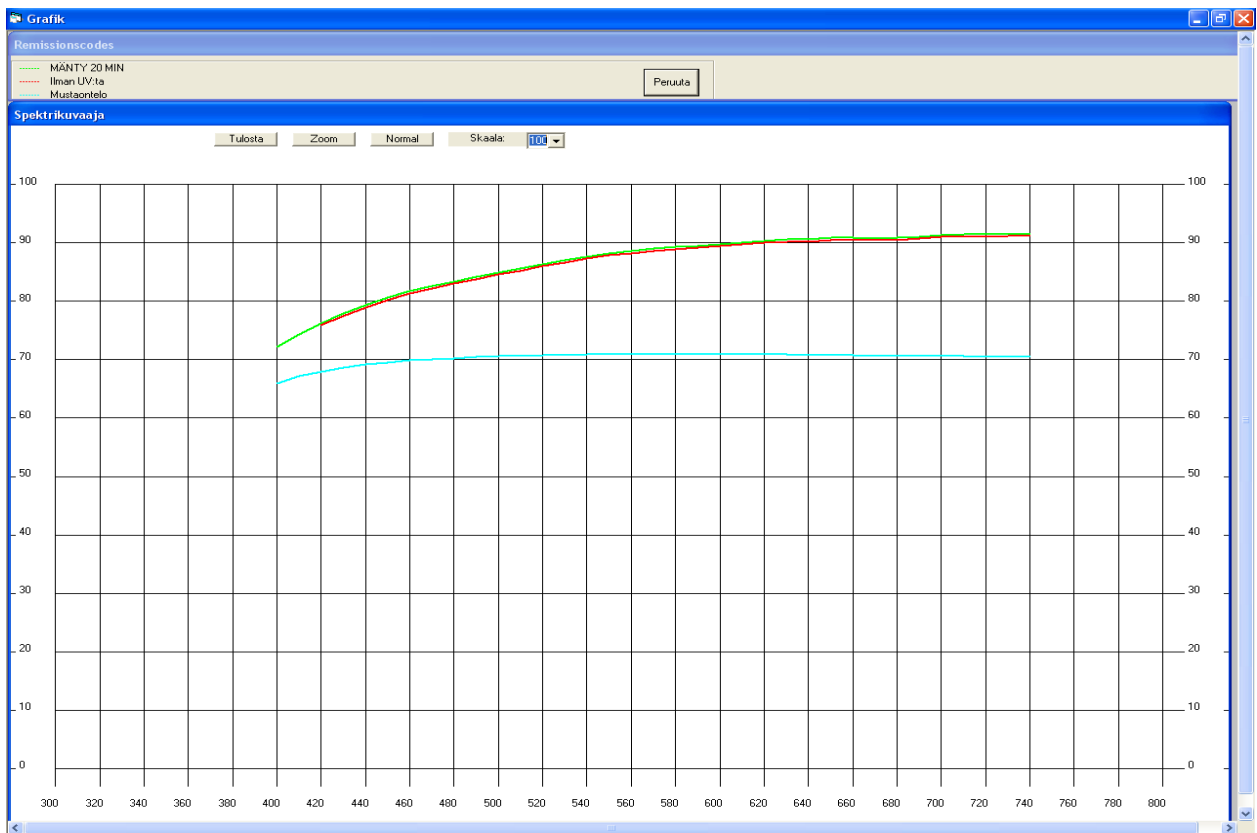
Kuva 17. 5 min mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



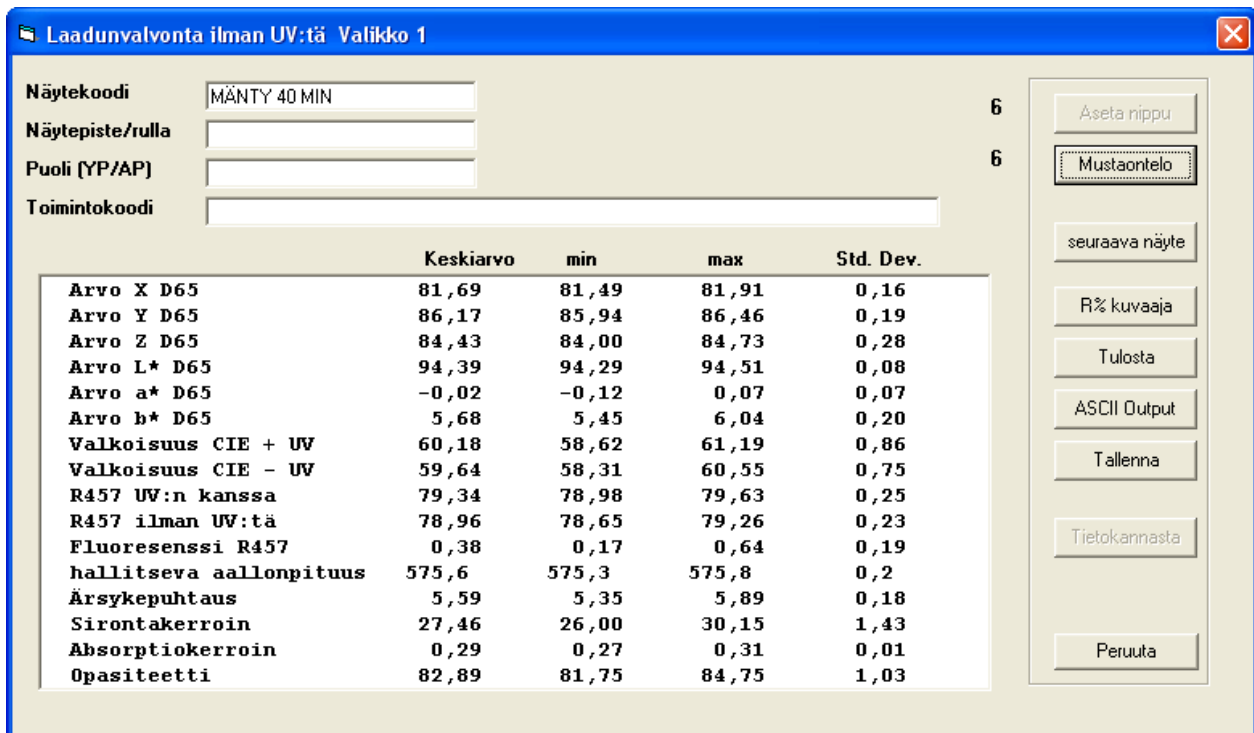
Kuva 18. 5 min mäntysellun valon intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



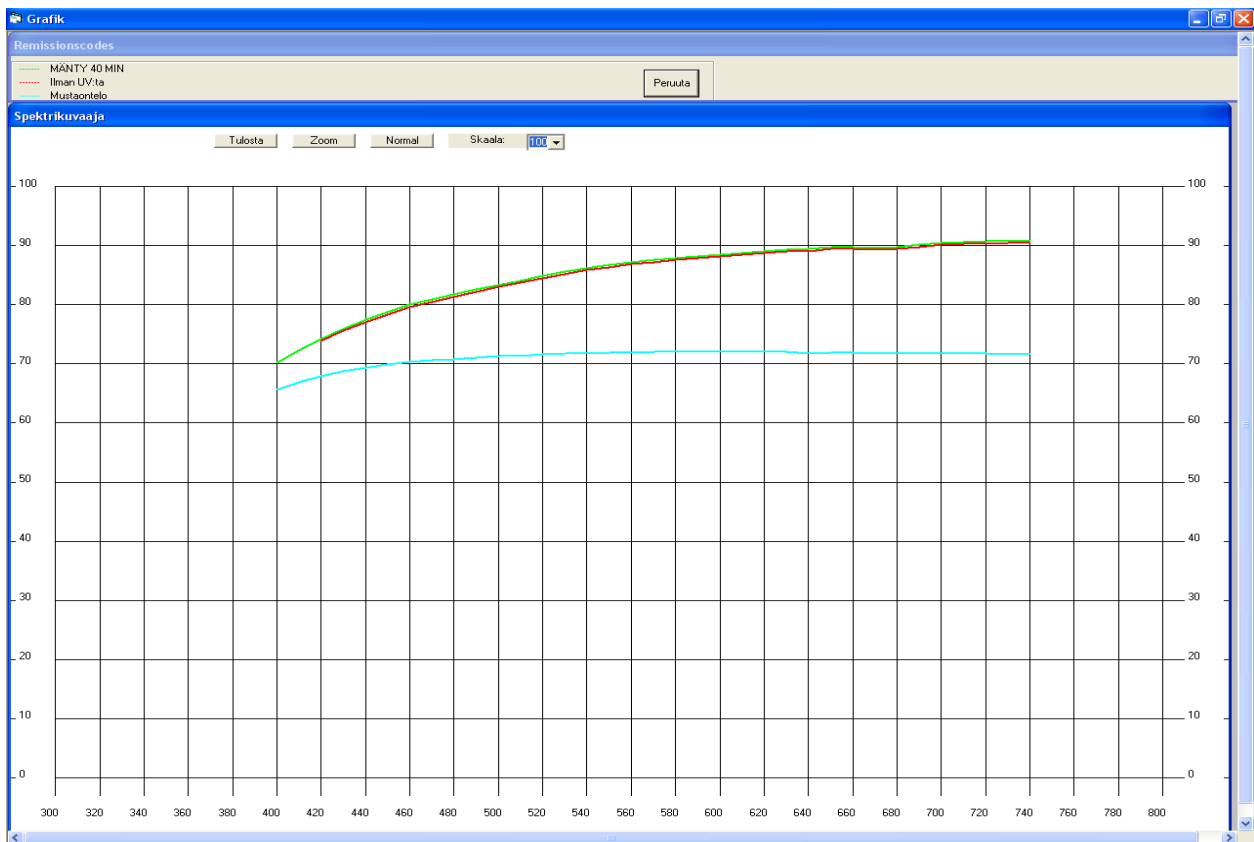
Kuva 19. 20 min mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



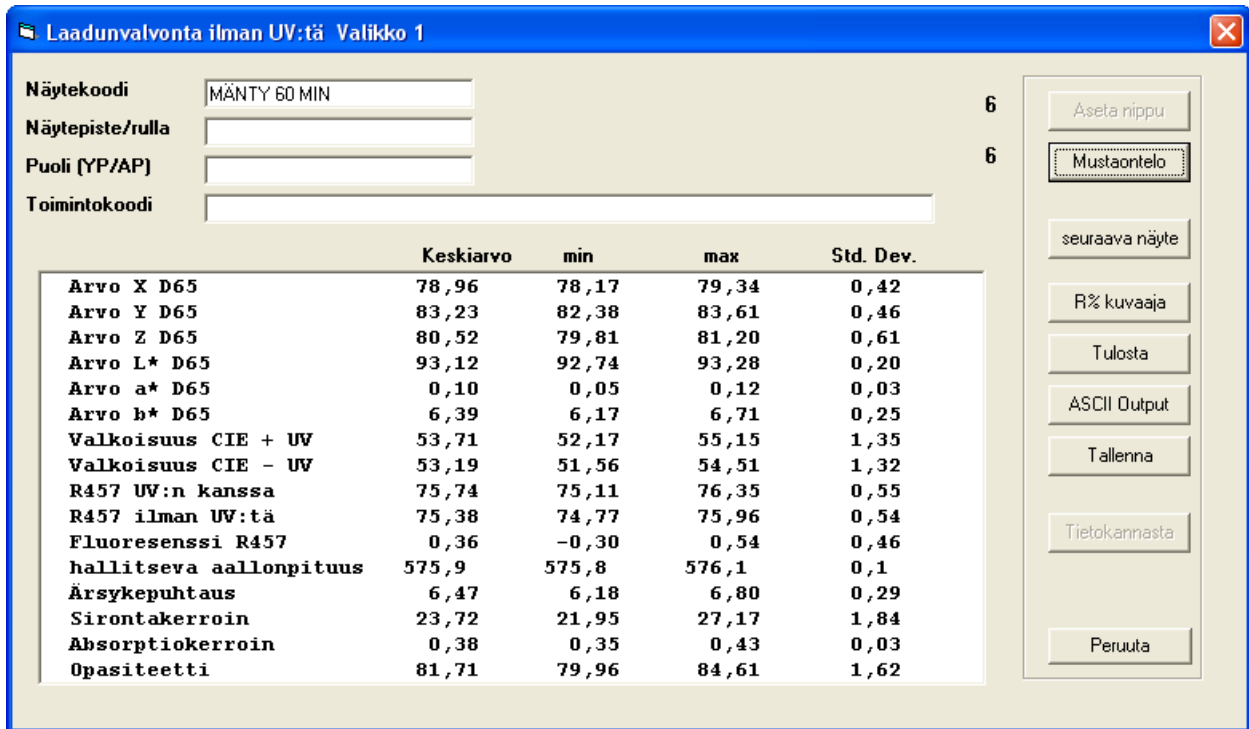
Kuva 20. 20 min mäntysellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



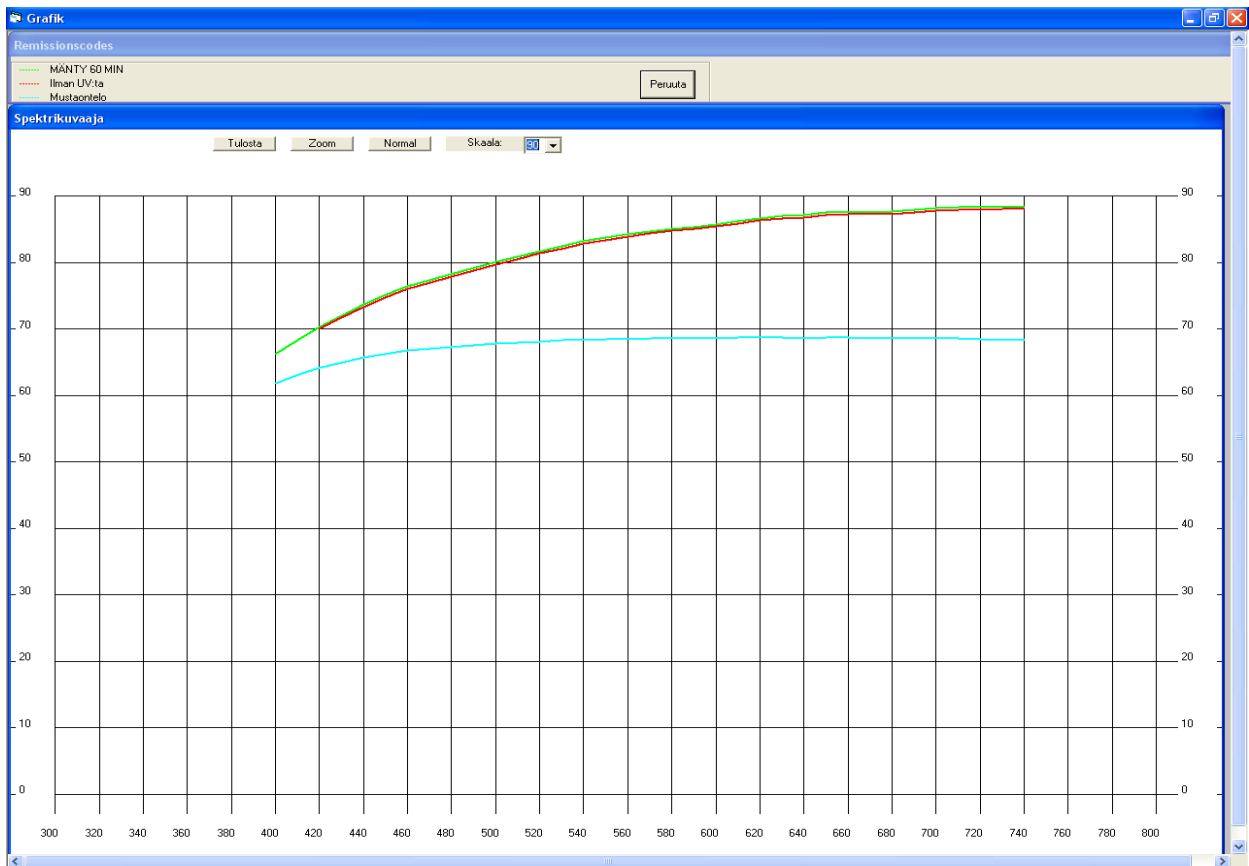
Kuva 21. 40 min mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 22. 40 min mäntysellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 23. 60 min mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010



Kuva 24. 60 min mäntysellun värin intensiteettijakauma mitattuna aallonpituusalueella 400–740 nm Minolta-spektrofotometrillä 25.3.2010