

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Antti Laurila

HAMPPUKUITU PUUPOHJAISTEN PAPERIMASSOJEN ARMEERAUKSESSA

Insinööriö 2013

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Metsätalous

Laurila, Antti	Hamppukuitu puupohjaisten paperimassojen armeerauksessa
Opinnäytetyö	84 sivua + 48 liitesivua
Työn ohjaaja	TkL Kauko Mononen
Toimeksiantaja	Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
Tammikuu 2013	
Avainsanat	hamppu, hamppukuitu, armeeraus, paperitekniikka, paperi, paperinvalmistus

Hamppu (*Cannabis sativa*) tunnetaan valitettavan usein ainoastaan huume- ja lääkekasvina. 1900-luvulle asti hampun varsista saatava kuitu oli kuitenkin maailman käytetyin raaka-aine mm. kankaissa ja paperissa; 1800-luvun lopulla jopa 90 % kaikesta maailman paperista oli tehty hampusta. Hampun etuja ovat sen pitkä ja vahva kuitu, nopea ja ekologinen kasvutapa, kierrätettävyys ja monipuoliset jalostusmahdollisuudet. Teollinen hamppu ei myöskään sisällä käytännössä lainkaan päihdyttävää THC-aineesosaa. Usean tekijän seurauksen hampun teollinen käyttö kuitenkin loppui lähes täysin 1900-luvulla, mutta 2000-luvulla hamppu ollaan löytämässä uudestaan.

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten hamppukuitu käyttäytyy puupohjaisten paperimassojen armeerausmassana. Karkeaa, käsittelemätöntä hamppukuitua lisättiin kahteen erilaiseen kierrätysmassaan 0, 10, 30 ja 50 prosentin pitoisuuksissa sekä mekaanisesti hienonnettua hamppukuitua mänty- ja koivumassoihin 0, 5, 10, 25 ja 50 prosentin pitoisuuksissa. Koearkkien paperitekniset ominaisuudet testattiin KyAMK:n paperilaboratoriossa, tulokset tilastoitiin ja niistä tehtiin johtopäätökset. Hypoteesina oli, että pitkä hamppukuitu vahvistaa lyhytkuituisempaa puumassaa pienissäkin, 5 – 10 prosentin pitoisuuksissa. Kokeellisen osion lisäksi työn tarkoitus on tehdä teollinen hamppu yleisesti tutuksi lukijalle niin biologisesti kuin historiallisestikin.

Tutkimuksessa käytetty hamppukuitu paljastui liian pitkäksi ja heterogeeniseksi etenkin primääriseksi paperimassaksi. Parhaat tulokset saatiin hypoteesin mukaisesti 5 – 10 prosentin pitoisuuksissa, jolloin hampun parhaat ominaisuudet, lähinnä keveys, bulkki, opasiteetti ja lujuusominaisuudet, tulivat esiin huonontamatta kohtuuttomasti arkkien muita ominaisuuksia. Tulokset toimivat hyvänä pohjana jatkotutkimuksille.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Forestry

Laurila, Antti

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

January 2013

Keywords

Hemp Fiber as an Armoring Fiber in Wood-Based Paper Pulp

84 pages + 48 pages of appendices

Kauko Mononen, LicSc (Tech.)

Kymenlaakso University of Applied Sciences

hemp, hemp fiber, armoring, paper processing, paper

Hemp (*Cannabis sativa*) is still widely known merely as a narcotic or a medical plant. Yet until the 1900's, stem fibers from hemp were the world's leading fiber in textiles and paper: until the end of the 19<sup>th</sup> century, as much as 90 % of all the paper in the world was made of hemp. Hemp's popularity was due to its long and strong fiber, fast and ecological growth, recyclability, and versatile refining possibilities. Furthermore, industrial hemp does not contain practically any of the narcotic substance, THC. Due to many factors, hemp industry was run down in the 1900's, but in the 21<sup>st</sup> century it is being somewhat rediscovered.

This thesis examines the use of hemp as an armoring fiber in wood-based paper pulps. Raw, untreated hemp was added to two different recycled fibers in quantities of 0, 10, 30 and 50 percent, and mechanically broken down hemp was added to pine and birch pulps in quantities of 0, 5, 10, 25 and 50 percent. The papers were tested in a paper laboratory, and conclusions were made according to the results. The hypothesis was that the long hemp fiber would make the wood-pulps stronger even in small, 5 – 10 % quantities. In addition to the tests, this thesis is designed to make the reader familiar with industrial hemp in general, biologically and historically.

The acquired hemp fiber turned out to be excessively long and heterogeneous to be a practical primary material for paper. The best results were made as according to the hypothesis, in 5 – 10 % quantities, in which case the best properties of hemp, primarily lightness, bulk, opacity and strength, emerged without much impairment to the other properties. The results function as a good foundation for further research.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	10
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	11
2.1	Kirjallisuus- ja taustatutkimus	11
2.2	Laboratoriokokeet	11
2.3	Tulosten taulukointi ja tilastointi	12
2.4	Menetelmien luotettavuus	12
3	HAMPPU	13
3.1	Yleinen biologia	13
3.2	Kasvitieteellinen määrittely	15
3.3	Viljely ja kasvu	16
3.4	Myyttejä ja totuuksia	19
3.5	Hampun historia Suomessa	20
3.5.1	Hampun leviäminen Eurooppaan	20
3.5.2	Hampun yleistyminen	21
3.5.3	Hampun suosion lasku	22
3.5.4	Hampun käyttökohteet Suomen historiassa	23
3.5.5	Hamppupaperin historia	24
4	KOKEESSA KÄYTETYT MASSALAJIT	26
4.1	Yleistä	26
4.2	Kierrätyskuitu (RCF, Recycled Fiber)	27
4.2.1	Toimisto-RCF	28
4.2.2	Koti-RCF	29
4.3	Mänty	29
4.4	Koivu	31
4.5	Hamppu	32

4.5.1	Hamppukuidun yleiset ominaisuudet	32
4.5.2	Kokeessa käytetty hamppukuitu	36
5	KOEASETELMA	37
6	KOEARKKIEN VALMISTUS	38
6.1	Massojen valmistelu	38
6.2	Massojen jauhatus ja jauhatusasteen mittaus	39
6.2.1	Ensimmäisen kokeen jauhatukset	40
6.2.2	Toisen kokeen jauhatukset	41
6.3	Arkkien valmistus	43
6.4	Märkäpuristus ja kuivaus	45
7	KOEARKEISTA MITATUT SUUREET	45
7.1	Yleistä	45
7.2	Yleiset suureet	46
7.2.1	Neliömassa	46
7.2.2	Tiheys ja bulkki	46
7.2.3	Kosteus	47
7.2.4	Tuhka	48
7.2.5	Formaatio	48
7.3	Optiset ominaisuudet	49
7.3.1	Valkoisuus	49
7.3.2	Opasiteetti	49
7.3.3	Kiilto	50
7.4	Pinnan laatu	50
7.4.1	Ilmanläpäisevyys	50
7.4.2	Karheus	50
7.5	Lujuusominaisuudet	51
7.5.1	Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö	51
7.5.2	Repäisyjuuus	52
7.6	Virhearviointi	52
8	ENSIMMÄISEN KOKEEN TULOKSIA	53

8.1	Yleistä	53
8.2	Optiset ominaisuudet	54
	8.2.1	Vaaleus 54
	8.2.2	Opasiteetti 55
	8.2.3	Kiilto 57
8.3	Pinnan laatu	58
	8.3.1	Karheus 58
	8.3.2	Ilmanläpäisevyys 60
8.4	Lujuusominaisuudet	61
	8.4.1	Vetolujuus 61
	8.4.2	Murtovenymä 63
	8.4.3	Repäisylujuus 65
9	TOISEN KOKEEN TULOKSIA	66
9.1	Yleistä	66
9.2	Optiset ominaisuudet	67
	9.2.1	Vaaleus 67
	9.2.2	Opasiteetti 68
	9.2.3	Kiilto 69
9.3	Pinnan laatu	70
	9.3.1	Karheus 70
	9.3.2	Ilmanläpäisevyys 71
9.4	Lujuusominaisuudet	72
	9.4.1	Vetolujuus 72
	9.4.2	Murtovenymä 74
	9.4.3	Repäisylujuus 74
10	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	76
11	LOPPUSANAT	78
	LÄHTEET	
	LIITTEET	

Liite 2. Yhteenvetotaulukko II kokeen tuloksista

Liite 3. I kokeen mittauspöytäkirjat ja optiset tulokset

Liite 4. II kokeen mittauspöytäkirjat ja optiset tulokset

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Hamppu (*Cannabis sativa*) tunnetaan edelleen valitettavan usein ainoastaan huumausaineena. Monelle tuleekin yllätyksenä tieto, että tällä kasvilla on monia teollisia käyttömuotoja, joita ihmiset ympäri maailmaa ovat hyödyntäneet jo tuhansia vuosia. Hyötyhampun suosion takana ovat sen nopea ja tuottava kasvu, ympäristöystävällisyys, kierrätettävyys ja monipuoliset jalostusmahdollisuudet.

Hamppu eri muunnoksineen on kiistatta yksi monipuolisimpia ja historiallisesti käytetyimpiä hyötykasveja myös Suomessa. Sen varsista saatava pitkä ja kestävä niinikuitu on ollut viime vuosisadalle asti hyvin suosittu materiaali tekstiileissä, kankaissa, verkoissa ja köysissä. Kuidun hienoaineksesta voidaan valmistaa liinavaatteita ja muita hienompia kankaita, kuin myös huippulaatuista paperia. Tänä päivänä kevyen ja kestävän hammppukuidun käyttö kasvaa muovinkaltaisissa biokomposiiteissa, joita käytetään auto-, laiva ja rakennusteollisuudessa.

Kuidun lisäksi hampun siemenistä puristettavaa öljyä on käytetty poltto- ja voiteluöljynä sekä esimerkiksi saippuan, suopien ja vernissan valmistuksessa (Laitinen, 1995.) Lisäksi hampun siemenet ovat terveellistä syötävää; aminohappo-, proteiini- ja rasvarvoiltaan ne ovat poikkeuksellisen hyviä, ns. *superfoodia*.

Osa hammppulajikkeista kehittää lehtiinsä ja kukintoihinsa kemiallisia kannabinoidiyhdisteitä, joista tunnetuin lienee psykoaktiivinen tetrahydrokannabinoli (THC). Kannabinoidipitoisia hammppuvalmisteita on käytetty lääkinnällisesti useiden tautien ja oireiden hoidossa vanhasta kiinalaisesta lääketieteestä osittain myös nykypäivään asti, mutta tänä päivänä THC-pitoinen lääkehamppu on jokseenkin tunnetumpi maailman käytetyimpänä laittomana päihteenä. Päihteenä suhteellisen miedon ja vähätoksisen kannabiksen kieltolaeista ja käytön rangaistavuudesta on myös kiistelty jonkin verran, mutta kyseistä aihetta ei käsitellä tässä työssä; päihde- ja kuituhamppu ovat käytännössä erillisiä lajeja, joiden välinen suhde on korkeintaan välillinen.

On syytä korostaa, etteivät kuituhamppu tai muut teolliset hammpputyypit, kuten öljy-, ruoka- tai bioenergiälajikkeet, sisällä käytännössä lainkaan päihdehampun psykoaktiivista THC-aineesoa. Tämänhetkisten EU-säädösten mukaan teollisen hampun viljely,



jalostaminen ja myyminen on laillista sen THC-pitoisuuden ollessa alle 0,2 % ja käytettäessä EU-hyväksyttyä siemenalkuperää. Yleensä pitkälle jalostetun päihdehampun THC-pitoisuus on noin 10 – 25 %.

Tässä työssä tutkitaan hampua paperiteknisesti: miten pitkä, karstattu hampukuitu käyttäytyy muutamien puusellujen vahvike- eli armeerausmassana. Hypoteesina on, että pitkä hampukuitu vahvistaa lyhytkuituisempaa puumassaa pienissäkin, 5 – 10 %:n pitoisuuksissa. Koeasetelma ja käytetyt kuitutyypit on selostettu tarkemmin luvuissa 4 ja 5.

Paperi onkin ollut historiallisesti yksi kuituhampun pääasiallisista käyttökohteista. Yhdysvaltalainen hamppututkija Jack Herer (Herer, 2007 - 2008, luku 2) valottaa tätä historiaa tieteellis-journalistisessa teoksessaan Keisarilla ei ole vaatteita:

*”Vuoteen 1883 asti 75–90 % maailman kaikesta paperista oli tehty kannabiskuidusta; tähän sisältyivät kirjat, Raamatut, kartat, paperirahat, osakkeet ja arvopaperit, sanomalehdet jne. Gutenbergin Raamattu (1400-luvulla), Rabelaisin Pantagruel ja Herb Pantagruelion (1500-luku), Kuningas Jaakon Raamattu (King James Bible, 1600-luku), Fitz Hugh Ludlowin, Mark Twainin, Victor Hugon ja Alexandre Dumasin teokset, Lewis Carrolin "Liisan seikkailut ihmemaassa" ja käytännössä lähes kaikki muutkin painettiin hamppupaperille. ”*

Hampun käyttö paperin raaka-aineena loppui lähes täysin 1900-luvulla, kun puupohjaisten paperimassojen kemiallinen jalostus kehittyi vastaamaan kasvavaa kysyntää ja markkinoille saapui uusia kuituja korvaamaan hamppu- ja pellavatekstiilejä, pääasiassa puuvilla ja synteettiset kuidut. Kuituhamputeollisuuden lopulliseen kuihtumiseen vaikutti myös Yhdysvalloista maailmalle levinnyt kannabiksen kieltolaki, jossa teollinen kuituhamppu luokiteltiin surutta samaksi kasviksi päihdekannabiksen kanssa.

Vaikka tämä työ on pääasiassa paperitekkinen koe, hampun esittäminen ainoastaan paperin raaka-aineena vähättelee tämän kasvin todellista potentiaalia. Raaka-aineena hampukuidusta ja hampusta yleensä tekee mielenkiintoisen nimenomaan sen monipuolisuus, kuin myös sen ekologinen ja Suomenkin olosuhteissa hyvin tuottava kasvu-tapa. Jotta lukija saisi hampusta objektiivisen kokonaiskuvan, kokeellisen osion lisäksi työssä käydään läpi hampun biologiaa, muita teollisia käyttömuotoja ja sen värikästä historiaa Suomessa.

Tässä työssä sanalla *hamppu* tarkoitetaan lääke- ja päihdearvotonta kuitu-, öljy- tai energiahamppua tai niistä valmistettuja tuotteita. Erityisesti sillä tarkoitetaan työssä käytettyä hamppukuitua ja siitä valmistettua paperia. Merkittävän THC-pitoista hampua ja siitä jalostettuja tuotteita kutsutaan nimellä *kannabis*, marijuana, lääkehamppu tai päihdehamppu.

Edellä mainittu määritysero hampun ja kannabiksen välillä on käytössä melko yleisesti. Hyötyhampputeksteissä ja -tutkimuksissa en ole kertaakaan huomannut kasviin viittavan kannabiksena tai marijuanana, vaan nimenomaan hampuna. Myös Wikipedia-artikkeli *Hamppu* käsittelee kasvia biologisesti ja hyötykäytön kannalta, kun taas päihteenä ja lääkkeenä kasvia käsittelee artikkeli *Kannabis*. Samantyyllisen määrityseron on tehnyt myös yhdysvaltalainen tohtori David P. West termeille *hemp* ja *marijuana* työssään ”Hemp & Marijuana: Myths and Realities” (North American Hemp Council, 1998)

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksella pyritään selvittämään, miten suhteellisen karkea ja pitkä hamppukuitu, käsittelemättömänä ja hienonnettuna, käyttäytyy muutamien puupohjaisten paperimasojen armeerausmassana. Standardinmukaisilla paperiteknisillä kokeilla testataan miten se vaikuttaa paperien mekaaniseen kestävyYTEEN, pinnan laatuun ja optisiin ominaisuuksiin. Tuloksista pyritään päättämään onko hamppukuidulla käytännön sovelusta nykyisessä paperiteollisuudessa. Erityisenä kiinnostuksen kohteena on sen vaikutus paperin mekaanisiin lujuusominaisuuksiin.

Hypoteesina on, että pitkä hamppukuitu vahvistaa lyhytkuituisempaa puumassaa pienissäkin, 5 – 10 %:n pitoisuuksissa huonontamatta ainakaan merkittävästi sen muita paperitekniisiä ominaisuuksia, jolloin hamppukuidun käyttö puusellujen armeerauksessa on käytännöllistä ja taloudellista.

Kuitua käsittelevän kokeellisen osion lisäksi työn tavoite on myös antaa lukijalle objektiivinen kokonaiskuva teollisesta hampusta yleensä, ja siksi työssä käydään läpi hampun biologiaa, sen eri jalostustuotteita ja niiden historiaa Suomessa. Tämä nähtiin tarkoituksenmukaiseksi, sillä hampun suurimpia vahvuuksia teollisena raaka-aineena ovat sen monipuoliset jalostusmahdollisuudet, ekologisuus ja nopea tuotto. Teollinen hamppu on myös suhteellisen vähän tunnettu ja jokseenkin väärin ymmärretty, mistä

syystä työssä esiteltävää tietoa on myös mahdollista ja toivottavaa käyttää opetusmateriaalina esimerkiksi maa- ja metsätalousoppilaitoksissa.

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 2.1 Kirjallisuus- ja taustatutkimus

Työtä varten tutustuttiin paperiteknikkaa, paperilaboratoriotyöskentelyä, paperiteollisuuden historiaa, paperin kierrätystä, ekologiaa, metsätaloutta, hamppukuidun historiaa sekä yleistä kuitu- ja paperitietoa käsittelevään kirjallisuuteen.

Etenkin hamppua koskevaan kirjallisuuteen suhtauduttiin kriittisesti, sillä internet-lähteistä paljastui jonkin verran liioiteltua ja mielipiteiden värittämää tekstiä. Luotettava kirjallisuuden internet-lähteenä pidettiin tieteellisiin julkaisuihin erikoistuvaa Google Scholar –palvelua. Osaa kirjallisuudesta käytettiin lähdekirjallisuutena.

Taustatutkimusta tehtiin myös opetusvideoiden avulla, joista etenkin Hemp Revolution (Arthur C. Clarke, 1995) ja Emperor of Hemp (Jeff Jones & Jack Herer, 1999) sisälsivät paljon luotettavaa tietoa hyötyhampun historiasta. 2000-luvulla kuituhampusta on tehty Suomessa useita tutkimuksia, joihin työssä myös viitataan.

Tutkimusmateriaalit hankittiin ja työtä pohjustettiin olemalla yhteydessä alan eri toimijoihin, kuten ProAgria Etelä-Pohjanmaan tutkijaan ja hamppukuitua käsitelleen Nordic Fibre -hankkeen vetäjään Jari Luokkakallioon sekä Hyötyä Hampusta -projektin johtajaan Noora Norokytöön.

Oleellista tietoa ja apua antoivat työssä käytettyjen raaka-aineiden toimittajat: hamppukuidun toimittaja, yrittäjä Juha Mäkipelkola, kierrätyskuitujen toimittaja, Metsä Tissue Oyj Mäntän edustaja, prosessi-insinööri Markus Hämäläinen sekä mänty- ja koi-vusellujen toimittaja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Suuri apu oli myös työn ohjaajasta, lehtori Kauko Monosesta.

### 2.2 Laboratoriokokeet

Hankituista raaka-aineista valmistettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperiteknikan märkälaboratoriossa koarkkeja, joiden paperiteknisistä ominaisuuksista ke-

rättiin informaatiota standardoiduilla kokeilla paperitekniikan kuivalaboratoriossa. Laboratorio-olosuhteet olivat vakiot ja käytettävät mittalaitteet huollettuja ja kalibroituja.

### 2.3 Tulosten taulukointi ja tilastointi

Laboratoriosta saadut tulokset taulukoitiin MS Excel -ohjelmalla. Tulokset laitettiin numeraaliseen taulukkoon sekä tutkimuksen kannalta oleelliset suureet esitettiin myös graafisina kuvaajina, joista kyseisten tulosten analysointi ja johtopäätösten teko on selkeää ja havainnollistavaa. Yksityiskohtaiset mittauspöytäkirjat ovat liitteenä, ja niistä selviää yksittäisten arkkien mittaustulokset.

### 2.4 Menetelmien luotettavuus

Saavutettujen tulosten luotettavuus on monen tekijän summa. Moni työvaihe, kuten näytearkkien valmistus, lujuusnäytteiden leikkaus ja myös itse tulosten kirjaaminen suoritettiin manuaalisesti, mistä syystä esimerkiksi satunnaiset inhimilliset virheet ovat mahdollisia. Laboratorioissa virhemarginaalit ovat noin 5 – 8 % (Mononen, 2012).

Yleisesti mittausrvirheitä pyritään minimoimaan kalibroimalla mittalaitteet johonkin luonnonvakioon tai mittalaitteen mukaiseen standardiin. Laboratoriomittarit kausihuolletaan kerran vuodessa laitevalmistajan taholta ja huollon yhteydessä mittarit kalibroidaan (Mononen, 2012.)

Työn suhteellisen pienen otoskoon (6 kpl) vuoksi mittausrvirheillä voi olla merkitystä tuloksiin. Mahdollisia virheitä pyrittiin minimoimaan seuraavasti:

1. Näytearkit valmistettiin ja mitattiin huolellisesti identtisillä toimenpiteillä.
2. Jokaisesta paperilaadusta valmistettiin kuusi koearkkia\*, jolloin huolimatta hampukuidun heterogeenisyydestä ja epätasaisuudesta, arkkien aritmeettisestä keskiarvosta saatiin riittävän luotettava lukema.

\* Ensimmäisessä koesarjassa 100-prosenttisista paperilaaduista valmistettiin vain kaksi koearkkia kutakin.

3. Laboratorion mittalaitteet olivat huollettuja ja kalibroituja. Jos kalibroitivirhettä epäiltiin tai sellainen havaittiin, laite kalibroitettiin uudelleen.

4. Tulokset kirjattiin huolellisesti mittalaitteilta paperille, paperilta taulukko-ohjelmaan, ja edelleen taulukko-ohjelmasta kuvaajiin.

### 3 HAMPPU

Yksi tämän työn tavoitteita on tehdä teollinen hamppu kokonaisuudessaan tutuksi lukijalle. Tässä luvussa käsitellään hampun yleistä biologiaa, viljelyä ja kasvutapaa, ja historiaa Suomessa.

Hampun historiaa koskevat tiedot luvussa 3.5. perustuvat pääasiassa (ellei tekstissä toisin mainita) filosofian maisteri Erkki Laitisen vuonna 1995 Hankasalmen hamppuseminaarissa pitämään luentoon ”Hamppu kulttuurikasvina”.

Hampun kuituominaisuuksia ja työssä käytettävää hamppukuitua käsitellään tarkemmin luvuissa 4.5.1 ja 4.5.2.

#### 3.1 Yleinen biologia

Hamppu eli *Cannabis sativa* on yksivuotinen, tuulipölytteinen viljelykasvi. Yleensä sitä kuvaillaan ruohomaiseksi, mutta etenkin pitkän ja vahvan rungon kasvatukseen tähtävällä energia- tai kuituhampulla varsi on ruoko- tai puumainen.

Hamppu on kaksikotinen ja yksineuvoinen, eli emi- ja hedekasvut sijaitsevat eri yksilöissä. Hamppukasvustosta noin puolet on emiyksilöitä, ns. naaraspuolisia, ja puolet hedeüksilöitä, ns. urospuolisia. Vähemmistönä voidaan tavata myös yksikotisia hamppuja, ns. hermafrodiitteja, joissa emi ja hede ovat samassa yksilössä. (Nevalainen & Klemola, 2007, 26)



Kuva 3.1 Vasemmallalla Suomen oloihin jalostetun Finola-öljyhampun emikukinto ja oikealla hedekukinto. (Hamppu.info-verkkosivut)

Hampun lehdet ovat sormijakoiset, kapeat ja sahalaitaiset. Sormia lehdessä on yleensä 3 – 9 kpl, niiden määrä lisääntyy kasvin kasvaessa. Siemeniä tuottava hedekukinto on yleensä pitkä ja terttumainen, kuin myös runsashaarainen ja pölyävä emikukinto. Hampun siemenet ovat noin puolen sentin pituisia, litteän pyöreitä, väriltään rusehtavia. Hamppu kasvattaa yhden melko vahvan pääjuuren, josta lähtee pinnallisia sivujuuria. Juuret muokkaavat maata jättäen sen rikkaruohoista vapaaksi ja hyvään kuntoon seuraavalle kasvisukupolvelle (Nevalainen, Klemola, 2007, 34.)

Suomessa hamppua ei tavata luonnonvaraisena, lukuun ottamatta viljelykarkulaisia, mutta esimerkiksi Etelä-Euroopassa ja Ukrainassa hamppu on lähes vakiintunut luontoon (Nevalainen, Klemola, 2007, 27).

### 3.2 Kasvitieteellinen määrittely

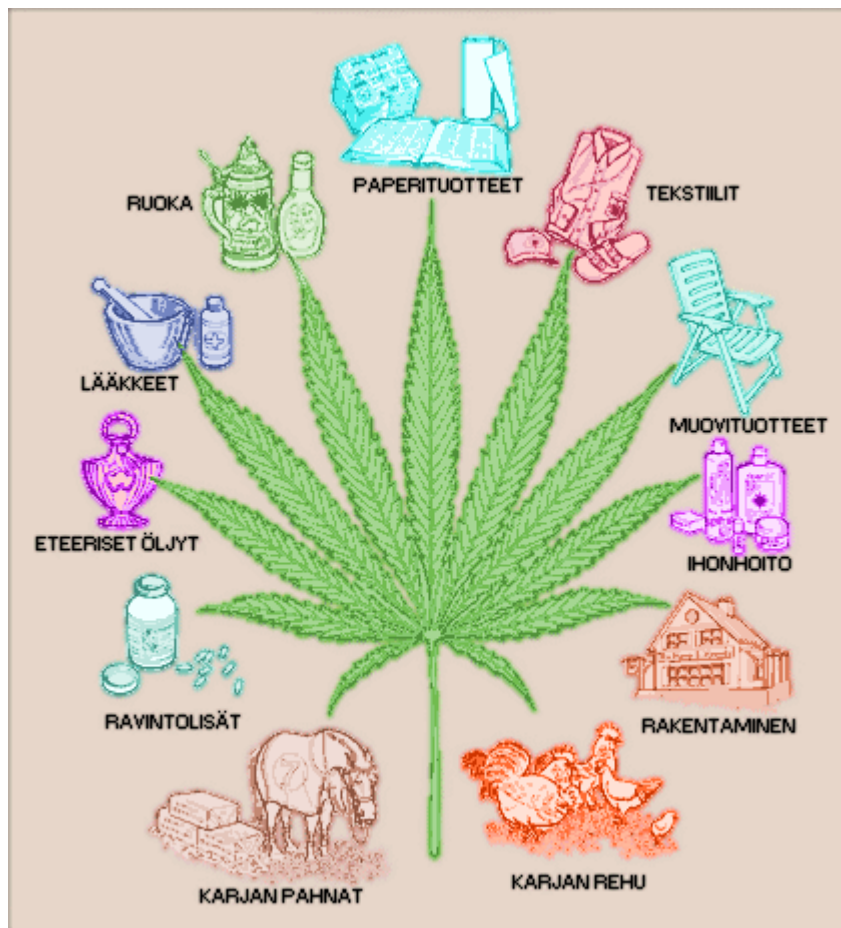
Ruotsalainen luonnontutkija Carl Von Linné luokitteli *Cannabiksen* vuonna 1753 yksilajiseksi kasviksi. Linné lisäsi sille tieteellisen etunimen *sativa*, tarkoittaen ”viljeltyä”, kuvaamaan hampun pitkäaikaista agronomista käytännöllisyyttä. (West, 1998, 6)

Myöhemmin hampun taksonomisesta luokittelusta on kiistelty jonkin verran. Suurimman ongelman *Cannabiksen* luokitteluun tekee se, että sen eri lajimuunnoksien välille ei voida vetää selkää rajaa. Yleisesti kasvit ja eläimet erotetaan omiksi lajeikseen niiden risteytymiskyvyn kautta; eri lajit eivät voi risteytyä ja tuottaa keskenään lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Kaikki tunnetut muunnokset *Cannabis*-suvusta voivat kuitenkin tuottaa keskenään lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä, eli kaikki hamppulajit risteytyvät luontaisesti keskenään. Eri lajien väliset morfologiset ja agronomiset vaihtelut ovat jatkuvia, mikä on aiheuttanut vaikeuksia hampun eri alalajien määrittelyssä. (Meijer, 1995, 68)

Yleensä *Cannabis*-suvusta on erotettu kolme alalajia: *C. sativa*, *C. indica* ja *C. ruderalis*. Linnén yksilajisen luokittelun mukaisesti *C. indica* ja *C. ruderalis* voidaan ajatella *C. sativan* alalajeiksi, jolloin koko hamppusuvusta voidaan käyttää yleisnimitystä *Cannabis sativa*, kattaen kaikki siitä johtuvat muunnokset.

Kasvitieteellisen luokittelun sijaan voi olla käytännöllisempää ja kuvaavampaa erotella hampputyypit toisistaan niiden käyttötarkoituksen mukaisesti. Tällöin hamppulajit erotetaan niiden biologisen kasvatavan lisäksi niiden jalostustuotteiden perusteella.

Käyttötarkoituksen mukaisesti hamppu jaetaan yleensä kolmeen lajiin, jotka ovat *kuituhamppu*, *öljyhamppu*, *lääkehamppu*. Jokaisella näistä on omat kasvuominaisuutensa ja jalostustuotteensa (kuva 2) Lisäksi bioenergian tuotantoon kasvatettavaa hamppua voidaan kutsua *energiahampuksi*.



Kuva 3.2 Eri hampulajeista saatavat tuoteluokat. (hamppu.info-verkkosivut)

Hampun eri osia voidaan käyttää myös useisiin eri tarkoituksiin, esimerkiksi öljyhampun rungoista voidaan kerätä kuitua tai kuituhampusta voidaan kerätä siemeniä ja pelletöidä bioenergiaa. Vaihtoehtoisesti käyttämätön biomass, kuten lehdet, voidaan jättää kasvualustaan parantamaan maaperää.

### 3.3 Viljely ja kasvu

Hampun viljely on Suomessa kannattavaa. Suomen ilmastossa hamppu ei tuleennu, vaan sitä voidaan kasvattaa pitkälle syksyyn asti. Tästä syystä Suomessa saadaan suurempia hamppusatoja kuin esimerkiksi Etelä-Euroopassa.

Helsingin yliopiston kasvatuskokeessa hamppua ei korjattu syksyllä, vaan se jätettiin talveksi maahan ja korjattiin vasta keväällä ennen roudan sulamista tai peltojen kuivettua. Tämän ns. dry line -menetelmän ansiosta hamppua ei tarvitse erikseen kuivata, toisin kuin Keski-Euroopassa, missä hamppu korjataan syksyllä ja kuivataan kuivu-



reissa. (Nevalainen & Klemola, 2007, 29) Hamppusadot jaetaan yleensä syyskorjattuun ja kevätkorjattuun. Kuituhampun korjuu vasta keväällä (dry line) voi alentaa käsittelykustannuksia, mutta se myös heikentää kuidun lujuusominaisuuksia. (Neuvo, 2012.)

Etelä-Suomessa hampun hehtaarikohtainen kuiva-ainesato on ollut noin 8000 kg ja Pohjois-Suomessa jopa 12 000 kg. Vuonna 2006 on päästy jopa 15 tonnin kuiva-ainesatoon hehtaarilta. (Nevalainen & Klemola, 2007, 29.) Kuiva-ainesadoista hieman yli puolet on kuitua.

Verrattuna puukuituihin hampukkuidun etuna on sen nopea ja runsas tuotto: kuituhampusato valmistuu viljelypaikasta ja lajikkeesta riippuen 100 – 150 päivässä, kun kuitupuun kasvatuksessa sato saadaan 20 – 100 vuodessa. Hampun ja puulajien tuotantoa on vertailtu taulukossa 1. Puukuitujen etuna on kuitenkin niiden hyvä saatavuus: Suomen pinta-alasta metsätalousmaata on noin 87 %. Tähän kuuluvat kuitenkin myös puuntuotannon ulkopuolella olevat metsämaat, kuten suojelualueet sekä rajoitetussa puuntuotannossa olevat metsämaat, kuten virkistys- ja maisemakohteet. (Korhonen, 2008, 9.)

Taulukko 1. Hampun, koivun ja havupuiden tuottamia vuosittaisia kuiva-ainesatoja sekä kuitumääriä. (Saastamoinen & al, 2011)

<b>Kasvi</b>	<b>Kuiva- ainetuotanto t / ha / v</b>	<b>Kuitumäärä t / ha / v</b>
Hamppu	12,0	6,7
Koivu	3,4	1,7
Havupuut	1,5	0,7

Hamppu ei ole kovin vaateliias kasvualustansa suhteen, mutta hyvä sato vaatii melko ravinteikkaan maaperän ja runsaasti typpeä. Hamppu viihtyy karkeilla kivennäismailloilla, missä kasvua edistävät multavuus, kuohkeus, hikevyys ja lämpimyys. Tiiviit kasvualustat, kuten hiesu- tai savimaa, hidastavat sen kasvua. Maaperän pH:n tulisi olla vähintään 5,6, mieluiten 6 – 7. Runsaat typpilannoitukset ovat selvästi parantaneet satoa. (Neuvo, 2011.)

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen kokeissa hampulla on todettu olevan Suomessa varsin pitkä kasvukausi: 112 – 141 vuorokautta. Hamppu voidaan kylvää aikaisin keväällä, sillä sen taimet kestävät jopa – 5 °C:n hallan. Maan lämpötilan tulisi olla kylvöhetkellä kuitenkin vähintään 1 – 2 °C, mieluiten 8 – 10 °C. Ylistarossa vuonna 2004 tehdyssä energiahampun kasvatuskokeessa paras tulos saatiin kaikista aikaisimmalla kylvöajankohdalla, 4. toukokuuta. (Neuvo, 2011.) Aikainen kylvö voi kuitenkin aiheuttaa hampun tuleentumisen ja siementen muodostumisen, mikä voi heikentää kuituhampulta toivottavaa varren kasvua.

Siementen kylvötiheydeksi suositellaan noin 100 – 200 kpl/m<sup>2</sup>, mikä 80 %:n itävyydellä tarkoittaa 14 – 30 kg/ha. Sopiva kylvösyvyys on 2 – 3 cm. Itääkseen siemenet vaativat riittävän kostean maaperän, mistä syystä vesisateet ovat toivottavia kylvöä seuraavan 6 viikon aikana. Taimivaiheen jo ohittanutkin hamppu on maaperän kosteuden suhteen melko herkkä. Liiallinen märkyys tai kuivuus hidastavat välittömästi sen kasvua. (Neuvo, 2011.)

Kasvatuskokeissa on todettu, ettei hamppu tarvitse Suomen olosuhteissa juuri minikäänlaista torjuntaa sieni- tai hyönteistuholaisia vastaan. Tästä syystä hamppu sopii hyvin luomuviljelyyn. Kasvustoa saattaa vaivata pahkahome, ja Maaningassa vuosina 2000 – 2001 tehdyssä öljyhamppukokeessa 7 - 12 % versoista kärsi *Fusarium oxysporum* -infektiosta. (Neuvo, 2011.)

Vuoroviljely on hyvä ehkäisykeino sienitaudeille. Tuhohyönteiset hamppu karkottaa luontaisesti erittämällä melko voimakasta tuoksua. Merkittävin hamppua vaivaava tuhoeläinryhmä lienee linnut, jotka vaivaavat paikallisesti etenkin öljy- ja ruokahamp-puviljelmiä syömällä niiden tuleentuneita siemeniä. (Nevalainen & Klemola, 2007, 38.)

Hampun kasvu kiihtyy kasvin saavuttaessa noin 30 cm korkeuden. Jos kasvuun lähtö onnistuu, hamppu varjostaa ja tukahduttaa tehokkaasti rikkakasveja, huomattavasti esimerkiksi pellavaa paremmin. Luomuviljelyssä kasvuun lähtö voi olla hidasta, jolloin taimien kanssa saattavat kilpailla mm. pillikkeet, valvatti ja ohdake. Hamppu kuitenkin varjostaa tehokkaasti ja pitkään, jolloin esimerkiksi juolavehänä ei ole sille ongelma. (Neuvo, 2011.)

Hampun suhteellisen järeiden varsien korjuuta varten tarvitaan melko tehokkaat laitteet. Sen sadonkorjuuseen on käytetty samoja niittokoneita kuin esimerkiksi ruokohelven tai maissin korjuuseen. Saksassa on myös suunniteltu erityisesti hampulle sopiva lieriöniittokone. (Neuvo, 2011.) Onkin sääli, että hampun kasvatusta ja jalostusta koskeva teknologia jäi periaatteessa 1900-luvun kehityksen ulkopuolelle. Tänä päivänä on kuitenkin nousemassa uusi kiinnostus hampun viljelyä kohtaan, minkä ansiosta korjuutekniikat ja –teknologiat oletettavasti kehittyvät.

### 3.4 Myyttejä ja totuuksia

Yhdysvaltalainen tohtori David P. West käsittelee teollisen hampun suhdetta päihdekannabikseen työssään *Hemp and Marijuana: Myths & Realities* (North American Hemp Council, 1998). West vastaa kymmeneen yleisimpään hamppuun liittyvään myyttiin, joista oleelliset on suomennettu tähän lukuun. Osa myyteistä koski mm. Yhdysvaltojen politiikkaa, eikä niitä nähty oleelliseksi liittää tähän työhön.

**Myytti:** Teollista hamppua voidaan polttaa huumeena.

**Totuus:** Teollisen hampun THC-pitoisuudet ovat niin matalia, ettei sillä ole käyttöä huumausaineena. Päinvastoin, hamppu sisältää suhteellisen paljon toista kannabinoidia nimeltä CBD, joka estää THC:n vaikutuksen. Teollista hamppua voitaisiinkin kutsua ”antimarijuanaksi”.

**Myytti:** Vaikka hampun THC-pitoisuus on matala, THC voidaan ekstraktoida ja tiivistää vahvaksi huumeeksi.

**Totuus:** THC:n eristäminen teollisuushampusta ja sen määrän jalostaminen korkeammaksi kuin kasvin ylivoimainen CBD-pitoisuus vaatisi hyvin kalliin, riskialttiin ja aikaa vievän prosessin. On hyvin epätodennäköistä, että kukaan yrittäisi tehdä sitä eikä mieluummin hankkisi valmiiksi THC-pitoista kannabista.

**Myytti:** Hamppupeltoja voitaisiin käyttää piilottamaan huumeepitoisia kannabiskasveja.

**Totuus:** Teollinen hamppu kasvaa hyvin eri tavoin kuin päihdekannabis. Pitkäksi kasvava kuituhamppu tukahduttaisi tai ainakin varjostaisi matalia kannabiskasveja. Nii-

den sadonkorjuut myös ajoittuvat eri ajankohtiin. Lisäksi hamppu- ja päihdekannabiskasvien väliset ristipölytykset laskisivat huomattavasti kannabiksen päihdearvoa

**Myytti:** Hamppuöljy on THC-pitoista.

**Totuus:** Hamppuöljyn suosio kasvaa kasvamistaan, kuten myös sen käyttökohteet. Puhdistettu hampunsiemen ei sisällä lainkaan THC:tä. Teollisuushampun sisältämät pienet THC-määrät ovat itse kasvissa. Joskus hamppuöljyn valmistusprosessissa kasvin hartsia tarttuu siemeneen, mistä syystä öljyssä voidaan havaita pieniä THC- tai CBD-jäämiä. Niiden osuus on kuitenkin äärettömän pieni, eikä se anna hamppuöljylle lainkaan arvoa huumausaineena.

**Myytti:** Teollisen hampun laillistaminen samaan aikaan, kun kannabiksen kieltolaki on voimassa, aiheuttaisi poliiseille suuren taakan.

**Totuus:** Maissa, joissa hamppua kasvatetaan agronomisena peltokasvina, poliisit eivät ole kokeneet sitä taakaksi.

**Myytti:** Luontaisena kasvavat villihamput ja karkulaiset täytyy hävittää, sillä ne voidaan myydä päihdekannabiksena.

**Totuus:** Villihampun THC -pitoisuus on hyvin pieni, jopa 0,05 %. Villihampulla ei ole arvoa huumausaineena, mutta maaperän parantajana ja lintujen pesäpaikkana sillä on arvoa luonnon monimuotoisuuden kannalta.

## 3.5 Hampun historia Suomessa

### 3.5.1 Hampun leviäminen Eurooppaan

Hampun viljely- ja jalostustaito levisivät Eurooppaan oletettavasti Keski-Aasiasta ja Itä-Euroopasta. Kirjallisia tietoja hampun viljelystä Euroopassa on löydetty ainakin nykyisen Ranskan alueelta 200-luvulta sekä Kreikan ja Rooman valtakuntien kukoistusajoilta joitakin vuosisatoja ennen nykyisen ajanlaskumme alkua ja sen alusta.

Kirjallisten lähteiden lisäksi nykyisissä paleoekologisissa ja makrofossiilisissa maaperätutkimuksissa hampun viljelystä on löydetty jälkiä nykyisen Sveitsin, Itävallan ja

Saksan alueilta jo ajalta 800 – 400 eaa. Voidaankin olettaa, että mitä enemmän tutkimuksia tehdään, sitä vanhemmaksi ja laajemmalle levinneeksi hampun viljely osoitetaan.

### 3.5.2 Hampun yleistyminen

Suomeen hampun uskotaan levinneen keskiajalla pääasiassa kuiduntuotantoa varten. Yleisesti on uskottu hampun levinneen Suomeen Venäjän kautta, mutta maaperätutkimusten perusteella on arvioitu, että Lounais-Suomeen se levisi Keski-Euroopasta, Skandinaviasta ja Baltian maista. Suomen vanhin varma hamppulöytö onkin tehty Ahvenanmaalta, josta Kastelholman linnan läheltä löydettiin asuinpaikka- ja hautakompleksista hampun siemeniä, joiden on arvioitu olevan viikinkiajalta vuosilta 800 – 1050.

Hampun alkuajoista Suomessa on niukasti kirjallisia lähteitä. Sitä tiedetään viljellyn ainakin Itä-Karjalassa jo 1300-luvulla, mutta hamppukuidun läpimurto ja yleistyminen sijoittuu ainakin Keski- ja Itä-Suomessa 1400 - 1500 -luvulle, jolloin pysyvä asutus ja maatalouden harjoittaminen vahvistuivat merkittävästi. Osissa Lounais-Suomea hamppua on viljelty kiistatta ainakin 1000 vuotta. Kirjallisten tietojen puute ei kuitenkaan tarkoita, etteikö suomalainen hampunviljely olisi tätäkin vanhempaa, kuten maaperätutkimukset ovat osoittaneet.

Lounais-Suomessa Turun alueella tehdyissä kaivauksissa hampun siemeniä on löydetty pitkältä yhtenäiseltä ajanjaksolta vuosilta 1100 – 1500. Tällöin hamppu oli kauppatavaraa, joka vietiin muualle kuitutuotteiksi jalostettuna. Siemenlöydöt siis osoittavat, että alueilla todella viljeltiin hamppua, eikä se ollut tuontitavaraa. Siemenien lisäksi Keuruun Suojoelta on löydetty suuri määrä 1200-luvulle ajoitettuja veneiden osia; venelautoja, emäpuita ja airoja. Venelautojen välisiä rakoja oli tiivistetty tervatulla hamppukuidulla.

Hampun viljelyn historiaa voidaan tutkia myös vesistöjen pohjasedimenteistä siitepölyanalyysillä. Hämeestä, Hattulan Armijärvestä, on löydetty hamppukasvien siitepölyhiukkasia, jotka on ajoitettu vuosille 470 – 670. Tutkimuksissa ei kuitenkaan voitu eritellä, onko kyseessä hamppu vai humala. Tällä samalla ajanjaksolla myös viljan siitepölyt lisääntyivät merkittävästi, mistä voidaan päätellä pysyvän maatalousasutuksen alkaneen tällöin. Jos edellä mainitussa löydöksessä on kyse hampusta, sen viljely alkoi samaan aikaan kun suomalaiset asettuivat aloilleen harjoittamaan maataloutta.

Etelä-Savossa tehtyjen siitepölytutkimusten mukaan hamppu yleistyi 1400 – 1500-luvuilla ja sen viljely oli laajimmillaan 1700-luvulla ja 1800-luvun alkupuolella. Noina aikoina hampun taloudellinen merkitys oli oletettavasti suurimmillaan. Tätä asiaa tukevat myös kirjalliset lähteet. Hamppua viljeltiin lähes läpi koko maan ja siitä tuli yleinen ”koko kansan kasvi”.

Hampun kukoistusaikoina, 1700 – 1800-luvuilla, se oli Suomessa yleisempi kuitukasvi kuin pellava. Vahvin ja kehittynein hampunviljelyalue oli Itä-Suomi, pääasiassa Karjala ja Savo, joissa pellava oli miltei tuntematon. Hämeessä hamppu kukoisti samoilla alueilla kuin pellava, eli nämä eivät olleet toisiaan pois sulkevia kuitukasveja. Näiltä vahvoilta viljelyalueilta hampputuotteita vietiin muualle Suomeen.

### 3.5.3 Hampun suosion lasku

Hampun tuotannon taantuminen alkoi Etelä- ja Länsi-Suomessa 1800-luvun alussa ja muualla Suomessa 1800-luvun lopulla. Tällöin viljely keskittyi selvästi Savoan, Karjalan rajalle ja Keski-Suomeen. Tarkkoja tilastoja hampun viljelystä on vasta 1900-luvun alusta Suomen ensimmäisestä maatalouslaskennasta. Tällöin hampun viljely oli kääntynyt jo selvään laskuun.

Ensin pellava ohitti hampun suosituimpana kotimaisena kuitukasvina, minkä jälkeen teollisuuden yleistyessä uudet raaka-aineet, kuten puuvilla, syrjäyttivät pellavankin. 1950-luvulla hamppua alettiin pitää köyhälistön tuotteena ja 60-luvulla suomalaista kuituhamppua kasvatettiin enää muutamilla tiloilla omaan tarpeeseen.

Hampun viljelyn kuihtumiseen vaikutti paljon siirtyminen omavaraistaloudesta kaupalliseen maatalouteen. Kun rahaa saatiin enemmän ja nopeammin esimerkiksi yleistyneistä puukaupoista ja karjataloudesta, suhteellisen työläs ja aikaa vievä hampun tuottaminen ei ollut enää mielekäästä. Hamppua ei enää tarvinnut kasvattaa tekstiilejä varten, kun kankaita ja köysiä sai vähällä vaivalla ostettua kaupoista.

1900-luvun alku oli hampun ja pellavan tuotannon laskukautta. 1930-luvun alun pularuosina niiden tuotanto hieman elpyi, mutta vuosikymmenen lopulla laskukausi jatkui entisestään. Sotavuosien pula- ja säännöstelyaikana turvauduttiin jälleen kuitukasveihin, mutta säännöstelyn purkaututtua, tuonnin avautuessa ja rahan lisääntyessä niiden käyttö romahti.

Ei voida myöskään kiistää maailmanlaajuisen poliittisen ilmapiirin ja lainsäädännön kielteistä vaikutusta hampun viljelyyn Suomessa. 1900-luvun alkupuolella Yhdysvalloissa julistettiin paljon kiistelty ja edelleen jatkuva *huumeiden vastainen sota*, minkä seurauksena kiellettiin kaikenlainen hampunviljely; päihteetön teollisuushamppu ja päihdekannabis luokiteltiin surutta samaksi kasviksi. Yhdysvaltojen politiikan vaikutuksesta 1961 astui voimaan YK:n kansainvälinen huumausainesopimus, mikä levitti edelleen mielikuvaa hampusta vaarallisena kasvina. (Jones & Herer, 1999.)

Vaikka suorat viljelykiellot teollisuushampulle alkavat olla jo historiaa, kannabiksen kieltolakien jäänteitä ja niiden epäsuoraa yhteyttä hamppuun ei voida kiistää. Edelleen jatkuvat päihdekannabiksen kieltolait asettavat teollisen hampun raskaan byrokraattisen valvonnan alle ja vaikuttavat myös sosiaalisesti mielikuvien tasolla. Sekä valtio että ihmiset tuntuvat kyseenalaistavan melko helposti hampunviljelijöiden ja hampun puolestapuhujien motiivit tänäkin päivänä.

#### 3.5.4 Hampun käyttökohteet Suomen historiassa

Monipuolisuutensa ansiosta hamppua käytettiin Suomessa moneen eri tarkoitukseen. Kuidut irrotettiin varsista, muokattiin ja niistä kehrättiin karkeaa lankaa, joka puolestaan voitiin kutoa lujemmaksi langaksi. Langasta valmistettiin vahvoja vaatteita, joiden avustuksella esimerkiksi itäsuomalainen kansa vaelsi pitkiä matkoja 1800-luvulla.

Kuidut eroteltiin ja lajiteltiin eri luokkiin niiden hienouden mukaan. Hienousasteen mukaisesti kuiduista tehtiin esimerkiksi liinavaatteita, pyyhkeitä, pöytäliinoja, työpaitoja ja -mekkoja. Karkeammasta hampusta voitiin kutoa säkkejä, kalanpyydyksiä, purjekangasta tai jalkineina käytettyjä tallukoita.

Pitkänä ja lujana kuituaineena hamppu oli erinomaista köyden valmistukseen. Pitkälle toisen maailmansodan jälkeen hamppu oli maailman käytetyin köyden raaka-aine. Etenkin tervattu hamppuköysi sopi hyvin kosteisiin ja märkiin oloihin; erityistä tarvetta hamppuköysille oli purjelaivojen aikakaudella.

Monipuolisten kuitusovellusten lisäksi Suomessa on käytetty hampun siemenistä puristettua öljyä muun muassa lamppuöljynä, saippuan ja suopien raaka-aineena ja ver-nissan valmistuksessa.

### 3.5.5 Hamppupaperin historia

Hamppu oli pitkään kiistatta yleisin paperin raaka-aine maailmassa. Puun käyttö paperina on suhteellisen nuori keksintö; puuhiokkeen valmistus keksittiin vasta 1840-luvulla, kun hamppupohjaista paperia valmistettiin Kiinassa jo tuhansia vuosia ennen sitä. Hamppupaperia valmistettiin pitkään myös puupaperin rinnalla, kunnes 1900-luvulla puusellun kemiallinen jalostus kehittyi riittävän hyväksi ja huumeiden vastaisen sodan seurauksena suuressa osassa maailmaa kiellettiin kaikenlainen hampun viljely. Tosin joitakin erikoispapereita, kuten setelipaperia, valmistetaan edelleen hampusta.

Myös Suomessa hamppukuitua on käytetty erityisen paljon paperinvalmistuksessa. Paperiin ei tosin käytetty suoraan kasvista saatavaa neitseellistä hamppukuitua, vaan käytetyistä hamppu- ja pellavavaatteista saatavaa eräänlaista kierrätyskuitua, lumppua. Siten käytöstä poistetuista hamppu- ja pellavavaatteista valmistettavaa paperia kutsutaan lumppupaperiksi.

Lumppupaperi on vanha kiinalainen keksintö. Suomessa sen valmistus aloitettiin 1600-luvun puolivälissä. Valmistusprosessissa käytöstä poistetut hamppu- ja pellavavaatteet revittiin palasiksi ja hienonnettiin veden seassa massaksi. Tästä massasta kaaviloitiin ohuita kerroksia, jotka kuivattiin ja sitten puristettiin paperiksi.

Massan jauhamisen, kaaviloinnin, kuivaamisen ja painamisen käsittävä lumppupaperin valmistus alkoi käsityönä, mutta kehittyi vähitellen teollisuudeksi. Ensin kehitettiin hollanderit eli jauhimet. Jauhimet murskasivat lumput vesialtaassa jauhinterien välissä hienoksi massaksi. 1800-luvun alkupuolella Euroopassa yleistyivät myös paperikoneet, jotka helpottivat paperin painamista. Paperitehtaissa lumppumassan käsinkaavilointi jatkui kuitenkin paperikoneiden rinnalla.

Suomen ensimmäinen paperitehdas perustettiin Tervakoskelle vuonna 1818. Se keskittyi yksinomaan lumppupaperin valmistukseen pitkälle senkin jälkeen, kun puuperäisten paperimassojen valmistus yleistyi 1860-luvulta lähtien. Puusellut otettiin Tervakoskella käyttöön lumppupaperin rinnalle vasta maailmansotien jälkeen.

Hampun historiaa tutkinut filosofian maisteri Erkki Laitinen kertoo:



*”Lumpusta saadaan parempaa, ohuempaa, hienompaa ja kestävämpää paperia kuin puusta. Siksi lumpupaperia on käytetty erityisen vaativien paperilaatujen, kuten kestävien setelipaperien, ohuen raamattupaperin, hienoa painojälkeä vaativien postimerkki-, osakekirja- ja etikettipaperien, huippuohuiden kondensattoripaperien sekä savukepaperien valmistukseen aina toisen maailmansodan jälkeiseen aikaan asti ja osin nykypäiviinkin saakka.”*

(Fil. maist. Erkki Laitinen, Hamppu kulttuurikasvina, Hankasalmen Hamppuseminaari, 1995)

Suomessa setelirahaa on pitkään painettu lumpupaperille. Osa Suomessa käytetyistä seteleistä painettiin Tervakosken tehtaassa lumpupaperille jo 1850- ja 1860-luvuilla sekä 1880-luvun puolivälistä 1900-luvun alkuun.

1920-luvun alusta nykypäivään asti kaikki Suomessa painetut setelit ovat olleet lumpupaperia. Vuonna 1985 julkaistu Suomen pankin setelipainon historia mainitsee, että setelipaperi valmistettiin tällöin yhä hampun- ja pellavakuiduista.

Hampun sitkeän varren muokkaaminen kuiduksi on tunnetusti melko työlästä, etenkin entisaikojen käsityönä. Tästä syystä paperimassana käytettiin nimenomaan lumpuja eikä uutta, neitseellistä kuitua. Käytöstä poistetut lumpuvaatteet eivät vaatineet kallista työtä, ne olivat halpoja ja kenties helpommin muokattavissa paperimassaksi kuin suoraan kasvista irrotetut kuidut.

Ei ole varmaa tietoa siitä, mikä oli hampun ja mikä pellavan osuus suomalaisesta lumpupaperista. Ainakin 1800-luvulla ja 1900-luvun alussa hampun lienee käytetty enemmän. Noina aikoina hampun viljely oli Suomessa suurimmillaan ja Suomeen myös tuotiin paljon hampunvaatteita Venäjältä, joka oli maailman suurin hampuntuottaja. 1900-luvun edetessä pellavan osuus lompusta ilmeisesti kasvoi, kunnes puupohjaiset sellut korvasivat lumpupaperin käytännössä täysin.

## 4 KOKEESSA KÄYTETYT MASSALAJIT

### 4.1 Yleistä

Paperitekniikan ja paperin laadun kannalta olennaista on kuidun rakenne ja sen dimensiot. Käytännön toiminnan, kuten sellutehtaan sijoituksen, kannalta olennaista on myös kuitutyypin saatavuus. Tässä työssä käytetyt viisi eri kuitulajia ovat dimensioiltaan ja paperiteknisiltä ominaisuuksiltaan sekä käyttökohteiltaan hyvin vaihtelevia, erityisesti hamppukuitu, jonka kuitudimensiot ovat poikkeuksellisen suuret ja aikaisempi käyttökohte ei ole ollut paperiteollisuudessa.

Kierrätyskuidusta valmistetaan Mäntän tehtaalla pehmopaperia. Koivu- ja mäntysel- luista valmistetaan yleensä hienopaperia. Kuten muitakin suhteellisen pitkiä havukui- tuja, mäntykuitua käytetään myös armeerauksessa. Kokeen hamppukuitua on käytettyä muovijohdannaisten komposiittien valmistuksessa, joten sen käyttäytymisestä paperi- massana ei ollut tietoa. Varsinaisesti paperin valmistukseen jalostettua hienompaa hamppukuitua ei ollut saatavilla, eikä hienokuitujen erotteluun tarvittavia työkaluja ol- lut käytössä. Kaikki kokeessa käytetyt kuitutyypit ovat suomalaista alkuperää.

Työssä käytettyä koivukuitua voidaan tietyllä varauksella verrata eukalyptukseen, jon- ka merkitys paperin raaka-aineena on kasvanut maailmalla hyvin suureksi. Eukalyptus on hyvin nopeakasvuinen tropiikin laji, jonka kuitudimensiot ovat hieman koivua pie- nemmät (taulukko 2).

Taulukko 2. Kokeessa käytettyjen kuitutyypin yleisiä dimensioita.

	Hamppu	Mänty	Koivu	Eukalyptus
Kuidun pituus, mm	5 - 60	2,9	1,1	1
Kuidun halkaisija, um	10 - 50	20 - 35	22	16
Seinämän paksuus, um	ei tietoa	2,1 - 5,5	3	3

(Knowpap 3.0, 2000; Härkäsalmi, 2008, 51)

Kierrätyskuitujen yleisiä dimensioita ei voida tietää tarkalleen, sillä kuidut kuluvat mi- tä useammin niitä kierrätetään, eikä kierrätyskertojen määrää voida tietää. Kuitujen katkeilun ja kulumisen vuoksi kierrätetyt kuidut ovat kuitenkin dimensioiltaan yleensä hyvin hienoja (kuidun pituus < 1mm).

## 4.2 Kierrätyskuitu (RCF, Recycled Fiber)

Kierrätyspaperi on tärkeä raaka-aine paperiteollisuudelle. Vuonna 2010 Suomessa kulutetusta paperista ja kartongista otettiin uudelleen käyttöön noin 68 %. Vuonna 2011 Euroopassa keräysprosentti oli noin 70 %. Koko maailmassa keräysprosentti on hieman alle 50 %. (Metsäteollisuus ry, 2012.)

Suomessa saadaan eniten keräyspaperia talteen teollisuudesta, josta tulee noin 52 % keräyspaperista. Kotitalouksista kerätään 38 % ja toimistoista 10 %. Kaikkea paperia ei voida kierrättää; näitä ovat mm. savukepaperit, tapetit, hygieniapaperit ja eräät kirjat. Näiden osuuden paperinkulutuksesta arvioidaan olevan noin 19 %. (Metsäteollisuus ry, 2012.)

Vaikka Suomessa käytetään käytännössä kaikki täältä saatava keräyspaperi, paperi- ja kartonkiteollisuuden koko tuotannosta vain noin 5 % perustuu kierrätyspaperiin. Pääasiassa Suomen paperintuotanto perustuu metsästä saatavaan ensikuituun. Tästä tuotannosta 90 % menee vientiin, muun muassa Keski-Eurooppaan, minne näin saadaan kiertoa tuoretta ensikuitua. Euroopassa kierrätyskuidun osuus paperintuotannosta onkin suhteellisen suuri, 52 %. (Metsäteollisuus ry, 2012.)

Se, käytetäänkö paperintuotannossa ensikuitua vai kierrätyskuitua, perustuu paljolti siihen, mitä kuituja on saatavilla. Suhteellisen harvaan asutussa ja metsäisessä Suomessa on luontevaa käyttää ensikuitua, kun taas tiheämmin asutussa Keski-Euroopassa on tarjolla enemmän keräyskuitua. (Metsäteollisuus ry, 2012.)

Eniten kierrätyspaperia käytetään pakkausmateriaaleissa ja kartongissa (39 %), sanomalehti- ja luettelopaperissa (34 %) ja pehmopaperissa (22 %). Eristeenä käytetään 4 % ja muuhun käyttöön 1 %. (Seinelä, 2012.)

Tälle työlle kierrätyskuitunäytteet lahjoitti Metsä Tissue Oyj Mäntän tehdas. Metsägroupin (ent. Metsäliitto) alaisuudessa toimiva Metsä Tissue valmistaa Mäntässä paikallisesti kerätystä kierrätyskuidusta pehmopaperia.

Kokeen kierrätyskuidut on jaettu keruukohteiden ja niiden mukaisten paperiteknisten ominaisuuksien mukaisesti kahteen laatuun: toimistokeräysmassaan ja kotikeräysmassaan.

Mäntän tehtaalla massat kävivät läpi normaalin massanvalmistusprosessin: Noin 30 prosenttia ylimääräistä vierastavaraa sisältävät paperipaalit ja irtopaperi laitetaan pulperiin, jossa massaa pulperoidaan 10 – 15 minuuttia ja siitä lajitellaan pois suurimmat vierasesineet. Tämän jälkeen tapahtuu karkea lajittelu, jossa massasta erotetaan kokoluokaltaan 0,5 – 1,0 cm vierasesineet, kuten niitit ja muovit. Kolmas, hieno lajittelu erottaa massasta tätä pienemmän tavaran, kuten hiekan. Roskien lajittelun jälkeen massa siirtyy ensimmäiseen pesuun ja viirapuristukseen. Viira puristaa massasta ulos vettä ja vesiliukoisia epäpuhtauksia, jolloin massan kuiva-ainepitoisuus nousee noin 15 prosenttiin. Tiivistynyt massa siirtyy dispergeriin, jossa terät jauhavat kuumaa massaa ja sen edelleen sisältämää mustetta. Massaan lisätään hydrofiilistä dispergointiainetta, mikä liuottaa musteen veteen. Tämän jälkeen suoritetaan toinen pesu ja viirapuristus, mikä puristaa veden ja musteen pois massasta (deinkkaus). Tämän jälkeen massan kuiva-ainepitoisuus on 4 – 5 % ja massa on valmis paperikoneeseen ja pehmopaperin valmistukseen. (Hämäläinen, 2012.)

Pehmopapereihin käytettävän keräyskuidun käyttö kokeessa nähtiin tarkoituksenmukaiseksi, sillä etenkin hammppukuidun hienoaines soveltuu pehmopapereihin ja ns. fluff-tuotteisiin imukykyensä ja ekologisen hajoamisensa ansiosta. Pehmopapereita, kuten talous- ja WC-papereita, ei voida enää jatkokierrättää. Kierrätyskuidut toimitettiin valmiiksi prosessoituna märkänä selluna muovikäpäreissä. Koearkkien valmistamiseen asti ne säilytettiin suljettuna laboratorion jääkaapissa.

#### 4.2.1 Toimisto-RCF

Nimensä mukaisesti toimistokeräyspaperi saadaan lähinnä toimistoista. Siihen kuuluvat kaikki toimistossa syntyvät valkopohjaiset tuloste- ja kopiopaperit, kirjoituspaperit sekä atk-listat.

Suurin osa toimistokeräyspaperista saapuu tehtaalle silputtuna ja paaleiksi sidottuna. Toimistokeräyspaperi sisältää kotikeräyspaperia vähemmän ylimääräisiä ainesosia, kuten mustetta, niittejä, muoviva, hiekkaa ja muita paperin laatua alentavia ja paperiprosessia haittaavia tekijöitä. Tästä syystä toimistokeräysmassa on vaaleampaa ja vaatii vähemmän prosessointia kuin kotikeräysmassa.

Toimistokeräyspaperin joukkoon eivät kuulu erilaisen kuiturakenteensa vuoksi kirjekuoret, liimautuvat muistilaput, jäljentävät paperit, kopiopape-

reiden kääreet, värilliset paperit, pahvi, kartonki, elintarvikepakkaukset, kertakäyttöastiat, muovi tai luottamukselliset paperit (Lassila & Tikanoja, 2012).

Tehtaalle saapuvan toimistokeräyspaperin saanto on noin 65 %. Toimistomassa on vaaleusasteeltaan DI 90 (Hämäläinen, 2012).

#### 4.2.2 Koti-RCF

Kotikeräyspaperi saadaan kotitalouksien paperinkeruupisteistä; sen joukkoon kuuluvat sanoma- ja aikakauslehdet, mainokset ja esitteet, värilliset paperit, kirjekuoret, uusiopaperi ja puhelinluettelot. Kotikeräyspaperin joukkoon voidaan myös laittaa muutamia kappaleita kirjoja ilman kansia.

Kotikeräyspaperin joukkoon ei saa laittaa pahvia tai kartonkia, kertakäyttöastioita, jäljentäviä papereita, kopiopapereiden kääreitä, lahja- ja käärepapereita, likaista tai öljyistä paperia, tietosuojapapereita tai muovia. Kopiopapereiden kääreissä on muovia, joten ne kuuluvat energiajätteeseen. (Suomen Keräystuote Oy.)

Käytännössä kotikeräyspaperi sisältää useimmiten sinne virheellisesti sijoitettua materiaalia. Se sisältää myös itsessään suhteellisen paljon erilaista mustetta ja niittejä, mistä syystä kotikeräyspaperin prosessointi vaatii enemmän puhdistusta ja lajittelua kuin toimistokeräyspaperin. Tehtaalle saapuvan kotikeräyspaperin saanto on noin 70 %. Prosessoidun massan vaaleus on toimistokeräysmassaa alempi, DI 60. (Hämäläinen, 2012.)

#### 4.3 Mänty

Mänty eli metsämänty (*Pinus sylvestris*) on ikivihreä havupuu, joka menestyy Suomessa kaikenlaisilla kasvupaikoilla, lukuun ottamatta tunturialueita. Mänty onkin Suomen yleisin puulaji; keskimäärin 65 % koko maan metsämaasta on mäntyvaltaista. (Sipilä) Mänty sietää kuivuutta ja niukkaa ravinteisuutta paremmin kuin monet muut puulajit, mistä syystä se on parhaiten tuottava puulaji kuivahkoilla kankailla ja sitä karmuilla kasvupaikoilla (Valkonen, 2008).

Mänty on luonteeltaan valoa vaativa pioneeripuu. Se on paljassiemenninen ja tuulipölytteinen. Männyn kukat ovat yksineuvoisia, mutta sekä hede- että emikukat sijaitsevat samassa puuyksilössä. Lisääntyminen kukista siemeneen kestää kaksi vuotta. (Sipilä)

Nuoret männyntaimet kasvavat suhteellisen nopeasti, jopa metrin vuodessa. Pituuskasvu kulminoituu 50 – 60 vuoden iässä ja taantuu 100 – 150 vuoden iässä. Myös paksuskasvu heikkenee 100 vuoden jälkeen, ja kasvu keskittyy lähinnä latvuksen levittämiseen. (Sipilä)

Männikkö suositellaan uudistettavaksi kun se saavuttaa 24 – 29 cm läpimitan, mikä tapahtuu kasvuolosuhteista riippuen 90 – 120 vuoden iässä. Hyvä männikkö tuottaa Etelä-Suomessa keskimäärin  $7,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$  ja parhaimmillaan noin  $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ . (Sipilä)

Männyn kasvatuksen tavoitteena on yleensä saada laadukasta sahapuutavaraa rakennus- ja huonekaluteollisuudelle, mutta suhteellisen pitkän kuitunsa ansiosta männystä saadaan myös hyvää paperimassaa esimerkiksi lyhyempikuituisen lehtipuusellun armeeraukseen, mistä syystä työssä oli tarkoituksenmukaista käyttää mäntykuitua vertailtavana armeerausmassana.

Männyn puuaines on koostunut noin 93-prosenttisesti pitkittäissuuntaisista putkisoluisista, trakeideista, jotka ovat puutuneita, kuolleita soluja. Niiden pituus on keskimäärin 2,9 mm (1,4 - 4,4 mm) ja paksuus noin sadasosa pituudesta. (Sipilä)

Muita männystä valmistettavia tuotteita ovat mm. pylvää, ratapölkyt, rakennuspuu, taulunkehukset, vaneri ja ristivaneri. Sahajauhasta tehdään lastulevyä. Kemiallinen teollisuus tislaa männyn pihkasta tervaa, tärpättiä, pikeä, etikkahappoa, asetonia ja puuspriitä. Männyn sulfaattiselluloosan sivutuotteena saadaan mäntyöljyä, josta voidaan valmistaa mäntynestesaippuaa. (Sipilä)

1700 - 1800-luvuilla mänty oli tärkeä raaka-aine tervanpoltossa. Pula-aikoina männystä saatiin pettuleipäjauhoa ja neulasista karjalle lisärehua. Neulasista voidaan tehdä myös terveellistä teetä, sillä männyn neulaset sisältävät monta kertaa enemmän C-vitamiinia kuin esimerkiksi appelsiini. (Sipilä)

Tässä työssä käytetyn purepulp-mäntysellun toimitti Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, joka sai raaka-aineen Sunilan paperitehtaalta.

#### 4.4 Koivu

Suomessa merkittäviä koivulajeja on kaksi: hieskoivu (*Betula pubescens*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Lisäksi erikoistarkoituksiin, kuten huonekaluihin ja koriste-esineisiin, viljellään arvokasta rauduskoivun muunnosta, visakoivua.

Koivut ovat valoa vaativia pioneeripuita. Ne leviävät nopeasti etenkin paljaille kivennäismaapinnoille hyvän vesomiskykynsä ja runsaan siemenlevityksen avulla, mutta koivut ovat myös melko alttiita metsätuhoille. Nuoret koivut kasvavat nopeasti, mutta niiden varttuessa kasvu hidastuu. Kasvun hidastumisen ja mm. sienituhoalttiuden lisääntymisen vuoksi koivujen kiertoaika on havupuita lyhyempi, 40 – 60 vuotta. (Valkonen, 2008, 136)

Rauduskoivun kasvattamisen tavoitteena on yleensä järeän tukkipuun tuottaminen, kun taas hieskoivu sopii paremmin kuitupuun tuottamiseen sen hitaamman kasvun ja laatuviikojen, kuten mutkaisuuden, haaraisuuden sekä paksujen ja lahojen oksien vuoksi. (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2006, 54) Hieskoivua onkin käytetty paljon korkealaatuisen paperin raaka-aineena, mistä syystä tässä luvussa keskitytään lähinnä siihen.

Hieskoivun rungon tilavuudesta kuitusoluja on jopa yli 65 %. Rungossa kuitudimensiot ovat suuremmat kuin oksissa tai juurissa. Puuaineen ligniinin ja kestävien hemiseluloosien ansiosta koivu soveltuu hyvin paperimassaksi. Koivun puuaines on melko vaaleaa, mikä vähentää kemiallisen valkaisun tarvetta. (Huopalainen)

Nuori hieskoivikko kasvatetaan 2000 – 2500 kpl hehtaariheydessä. Sille tehdään yleensä yksi harvennus 13 – 15 m pituusvaiheessa, jolloin hehtaarille jätetään kasvaamaan 900 – 1000 parasta puuyksilöä. Kuitupuun tuotantoon tähtäävä hieskoivikko suositellaan uudistettavaksi 50 vuoden iässä. (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2006, 54)

Hieskoivut kasvavat Suomessa yksi- tai monirunkoisesti 8 – 20 metrin pituisiksi. Hieskoivut viihtyvät parhaiten ravinteikkailta hiesu- ja moreenimailla, mutta ne eivät ole kovin vaativia kasvupaikan suhteen; myös kosteat, vähähappiset maat ja kuivat kankaat ovat sopivia. (Huopalainen)

Hieskoivu kasvaa samoilla paikoilla kuin rauduskoivu, mutta hitaammin. Tästä syystä hieskoivun kasvatusta on keskittynyt turvemaille ja kosteikoille, missä rauduskoivu tai muut puulajit eivät juuri menesty. Hieskoivu ei ilmeisesti pysty säätelemään vedenkulutustaan yhtä hyvin kuin esimerkiksi havupuut, joten runsaasti haihduttavana puuna siitä on apua märkien maiden kuivatuksessa. Koivu parantaa kasvualustansa muillakin tavoin: sen lehtikarke sisältää runsaasti ravinteita, se kohottaa maan pH:ta ja lieventää sadevesien happamuutta. Syvälle tunkeutuvan juuriston avulla hieskoivu myös kuohkeuttaa kasvualustansa. (Huopalainen)

Menneinä vuosina etenkin hieskoivua on pidetty vähäarvoisena puuna, ja sitä on hävitetty talousmetsistä. Tästä syystä koivut voivat kasvaa sekametsissä melko hajallaan, ja niiden nouto voi tulla kalliiksi. Koivukuitupuuta on tuotu Suomeen paljon myös Venäjältä, mutta viime aikoina tuontia ovat rajoittaneet puun vientitullit. (Arajärvi, 2010, 9)

Paperimassan lisäksi hieskoivusta valmistetaan mm. käyttöesineitä ja vaneria, joskaan ei niin laadukasta kuin rauduskoivusta. Hieskoivua käytetään myös paljon polttopuuna, halkoina ja hakkeena. Uudempia käyttömuotoja ovat puubiomassan jalostus teollisuuskemikaaleiksi ja polttoaineiksi. Lisäksi koivu luokitellaan miedoksi yrtilääkkeeksi: sen silmuilla on piristävä ja desinfioiva vaikutus, niitä voidaan käyttää mm. tulehdusten ja flunssan hoitoon. Myös muita koivun osia voidaan käyttää lääkinnässä. Koivun lehdet sisältävät C-, B2- ja B3-vitamiineja sekä paljon valkuaisaineita; niitä voidaan käyttää tuoreena salaateissa, kuivata teeksi tai jopa jalostaa ns. ”silmuviinaksi”. Koivusokeri eli ksylitoli estää hammasmätää ja reikiintymistä, mistä syystä sitä käytetään purukumeissa ja pastilleissa. (Huopalainen)

Tässä työssä käytetyn koivukuidun toimitti Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, joka sai sen Kaskisten sellutehtaalta Porin lähistöltä.

## 4.5 Hamppu

### 4.5.1 Hamppukuidun yleiset ominaisuudet

Tämän työn pääasiallisena tutkimuskohteena on hamppukuitu, joten sitä tarkastellaan kokeen muita kuitulajeja yksityiskohtaisemmin. Hamppukuitu on myös yleisesti vä-



hemmän tunnettu kuin puukuidut, joten sen lähempi tarkastelu on tarkoituksenmukaista.

Hamppukuitua saadaan pelloilla viljeltävän, päihdearvottoman *Cannabis sativan* varsiesta. Tästä syystä kuituhampun kasvatuksessa sille pyritään saamaan pitkä, vahva ja niinikuitupitoinen varsi, kun taas öljyhampussa pyritään suureen siemensatoon ja lääkehampussa kannabinoidipitoisiin kukintoihin ja hartsiin. Toisin kuin THC-pitoisen lääkehampun, kuitu- ja öljyhampun kasvatus on Suomessa laillista EU-sertifioituilla kuituhampun siemenillä. Hampun viljelyyn on Suomessa myös kiinnostusta, mutta etenkin sen jatkojalostuksessa on puutteita. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2011.)

Hamppu ei esiinny Suomessa luonnonvaraisena toisin kuin sen sukulaiset nokkonen ja humala. Hamppua sanotaan usein ruohomaiseksi, mutta etenkin kuituhampun varsi on puu- tai ruokomainen.

Suomessa kuituhamppu kasvaa noin 100 – 150 päivän kasvukautensa aikana keskimäärin 2 - 4 metriä korkeaksi. Yhdessä rungossa on noin 20 – 40 niinikuitukimppua, mitkä ovat jakautuneet hienorakenteisempiin primäärikuituihin (89 %) ja karkeampiin sekundaarikuituihin (11 %). (Sankari, 2000, 4.) Kuidut voidaan erotella ja lajitella kokuokittain eri käyttötarkoituksia varten.

Hampun varren kovasta puuosasta noin 2/3 koostuu lyhyistä runkokuiduista, päistäreistä. Kuoren alla sijaitsevien, pitkien ja laadukkaiden niinikuitujen osuus rungosta on noin 1/3. Rungon ytimessä on puumaista, lyhyttä ja ligniinipitoista ydinkuitua (kuva 4.1).



Kuva 4.1. Hampun varren poikkileikkauksessa näkyvät eri kuitutyypit. (Wikipedia Commons, 2009)

Yleensä kuituhampun kasvatuksessa pyritään maksimoimaan ”puun ja kuoren välissä” sijaitsevien pitkien niinikuidujen osuus. Puuosassa sijaitsevat päästäreet ovat lyhyempiä, noin 2 mm. Ytimessä sijaitsevat, hyvin lyhyet ja puumaiset kuidut ovat pituudeltaan noin 0,55 mm ja sisältävät suhteellisen paljon ligniiniä. Ligniini vaikeuttaa olennaisesti paperimassan valmistusta, koska se vaatii yleensä kemiallista käsittelyä. Hampun ydinkuidulle on kuitenkin omat käyttötarkoituksensa esimerkiksi alempilaatuisissa paperituotteissa. (Small & Marcus, 2002; Seppälä, 1998, luku 7)

Suhteellisen korkean ligniinipitoisuuden ja lyhyen pituuden vuoksi hampun ydinkuidut eivät ole ideaalisia paperinvalmistukseen. Paperimassaksi sopivat parhaiten primääriset ja sekundaariset niinikuidut, jotka sisältävät ligniinin sijaan runsaasti selluloosaa, paperin tärkeintä ainesosaa. Kuoren alla sijaitsevat, useiden senttimetrien pituiset primääriset niinikuidut eivät yksinään takaa paperille tarvittavaa formaatiota, mistä syystä tarvitaan myös lyhyempiä sekundaarikuituja.

Hampun ligniinipitoisuus on kuitenkin alhainen, 3 – 14 %, verrattuna havupuihin (26 – 32 %) ja lehtipuihin (18 – 32 %) (TKK Puunjalostustekniikan osasto; Härkäsalmi, 2008, 51).

Niinikuitujen muodostamat kuitukimput ovat pituudeltaan keskimäärin 10 – 30 cm ja paksuudeltaan 0,5 – 5 mm. Yksittäisen kuidun pituus on 5 – 60 mm ja paksuus 10 – 50 mikrometriä. Hampun lämmönjohtokyky on hyvä, mistä syystä se syttyy tuleen suhteellisen herkästi. Kuitumateriaali ei sähköisty helposti. (Boncamper, 1999, 101; Härkäsalmi, 2008, 53.)

Koska kuituhampun kasvatuksessa pyritään maksimoimaan kuoren alla sijaitsevien pitkien niinikuitujen osuus, kuituhampun runko koostuu enemmän joustavasta pinta-puusta ja vähemmän kovasta puuosasta, toisin kuin esimerkiksi öljy- tai lääkelajikkeet. (kuva 4).



Kuva 4.2 Vasemmalla niinikuitupitoisen kuituhampun poikkileikkaus, oikealla päihdehampun. (Small & Marcus, 2002)

Väritään hamppukuitu on harmahtavan ruskeaa. Väri vaihtelee kasvukauden eri vaiheissa, joten se riippuu korjatun kasvin kypsyydestä. Hamppukuitu voidaan valkaista vetyperoksidilla, mikä ei ole luonnolle haitallista, toisin kuin monet puusellujen valkaisukemikaalit, kuten sulfiitti ja kloridi. Hampun valkaisu tosin alentaa kuidun lujuutta. (Boncamper, 1999, 102; Biggs, 2004)

Tekstiilien- ja paperin raaka-aineena hamppu on perusluonteeltaan karkeaa, lujaa, joustamatonta, melko kiiltävää ja likaa hylkivää. Hamppukangas on jäykkää ja helposti rypistyvää, mutta pehmenee käytössä. Hampun tekstiiliominaisuudet ovat lähellä pellavaa ja jonkin verran puuvillaa karummat. (Boncamper, 1999, 75 - 108) Hampun huomattavana etuna pellavaan ja etenkin puuvillaan nähden on sen luontoystävällisempi ja helppohoitoisempi viljelytekniikka.

Käytön jälkeen hampputekstiilit voidaan kierrättää niin sanotuksi lumpupaperiksi, joka on ollut maailman johtava paperin raaka-aine 1900-luvulle asti. Hamppupaperi voidaan kierrättää 7 – 8 kertaa, verrattuna puukuidun 3 – 5 kierrätyskertaan. (Biggs, 2004.)

Hamppukuidun kaupallinen kosteuslisä on 12 %. Se kuvastaa kuidun vedenottokykyä; mitä suurempi kaupallinen kosteuslisä, sitä enemmän kosteutta kuitu pystyy itseensä imemään. Hampun imukyky on suhteellisen suuri; esimerkiksi polyesterin kaupallinen kosteuslisä on 0,4 %, villalla se on 16 – 18 %. Vaha-aineet ovat levittäytyneet hamppukuituun tasaisesti, mikä edistää kuidun kykyä imeä kosteutta ja hylkiä likaa. Esimerkiksi puuvillassa vaha-aineet ovat kuidun pinnalla. (Boncamper, 1999, 40)

Kuten itse kasvikin, hamppukuitu kestää hyvin mikrobeja. Sen homeen- ja kosteuden-sietokyky on esimerkiksi pellavaa parempi, mistä syystä hamppu on ollut suosittu kosteissa olosuhteissa, kuten laivateollisuudessa. Kemiallisista aineista epäorgaaniset hapot tuhoavat hampun kuituja, hapettimet kellastuttavat ja haurastuttavat niitä. Miedot emäkset eivät vaurioita hamppua. (Boncamper, 1999, 87)

Hampun kuituaine on luonteeltaan epähomogeenistä verrattuna esimerkiksi pellavaan tai puukuituihin. Siitä syystä hampun kuitujen erottelu kokoluokittain voi olla tarpeen valmistettaessa hienoudeltaan eriasteisia kankaita tai paperilaatuja.

#### 4.5.2 Kokeessa käytetty hamppukuitu

Tässä työssä käytetyn hamppukuidun lahjoitti yrittäjä Juha Mäkipelkola. Kyseistä hamppua on käytetty lähinnä muovijohdannaisiin, ns. biokomposiitteihin, eikä sen käyttäytymisestä paperimassana ollut aikaisempaa tietoa. Työn hamppu on kevätkorjattua, jolloin sen lujuusominaisuudet eivät ole yhtä hyviä kuin syyskorjatulla. Kuituainesta ei myöskään ollut erityisesti jalostettu; rungon primääriset niinikuidut oli erotettu karkeista kuiduista ja päistäreestä karstaamalla. Mainittakoon, ettei hamppukuitu ollut myöskään käynyt läpi kokeen puusellujen kaltaista mekaanista ja kemiallista prosessointia tai valkaisua.

Hamppukuitu toimitettiin kuivassa, villamaisessa muodossa. Se koostui pääasiassa primäärisistä niinikuiduista, mutta sisälsi myös hienoainesta ja joitakin jäämiä pois karstatusta päistäreestä. Verrattuna puuselluihin kuidut olivat hyvin pitkiä: muutaman

yksittäisen kuidun muodostamat kuitukimput olivat pituudeltaan jopa 15 - 20 senttimetriä yksittäisten kuitujen pituuden ollessa 3 - 6 cm. Massa sisälsi pitkien kuitujen lisäksi hienoainesta, mistä syystä massa oli luonteeltaan hyvin heterogeenistä: hienoaineksen kuidut olivat arviolta 0,5 - 2 millimetriä pitkiä.

Ensimmäisessä kuitukokeessa käytetyn käsittelemättömän hamppukuidun keskiarvoiseksi pituudeksi mitattiin 47 mm ja paksuudeksi 40 mikrometriä. Toista koetta varten hienonnetun hamppukuidun keskiarvoiseksi pituudeksi saatiin 11 mm ja paksuudeksi 30 mikrometriä. Mitat vastaavat aiemmin mainittuja hamppukuidun yleisiä dimensioita.

Hamppukuidusta mitatut dimensiot eivät kuitenkaan ole täsmällisiä. Heterogeenisen kuitumassan sisältämää hienoaineksen suhteellista osuutta on vaikea arvioida tarkasti, jolloin pisimpien kuitujen osuus saattaa ylikorostua. Dimensiot mitattiin 20 – 30 yksittäisestä kuidusta. Mittaukseen pyrittiin ottamaan eri kuitukokoja oikeassa suhteessa.

## 5 KOEASETELMA

Tutkimuksen koe suoritettiin kahdessa osassa. Molemmissa käytettiin eri kuitulajeja. Massoista valmistettiin koearkkeja Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperiteknikan märkälaboratoriossa, arkit kuivattiin vakio-olosuhteissa ja niiden paperitekniset ominaisuudet testattiin paperiteknikan kuivalaboratoriossa.

Ensimmäisessä kokeessa karkeaa, karstattua hamppukuitua lisättiin kahteen erityyppiseen kierrätyspaperiselluun 0, 10, 30 ja 50 prosentin pitoisuuksissa. Vertailuna toiseen kierrätyselluun lisättiin mäntykuitua.

Toista koetta varten karkeaa hamppukuitua hienonnettiin mekaanisesti, jolloin siitä saatiin homogeenisempää. Toisessa kokeessa hienonnettua hamppua lisättiin mänty- ja koivuselluihin 0, 5, 10, 25 ja 50 prosenttia.

## 6 KOEARKKIEN VALMISTUS

### 6.1 Massojen valmistelu

Ennen massojen jauhatusta, massaseosten tekemistä ja koearkkien painamista massat valmisteltiin ja säilytettiin asianmukaisesti. Massat säilytettiin suljetuissa astioissa laboratorion jääkaapissa ja niitä sekoitettiin huolellisesti aina ennen käyttöä. Kylmyys estää massojen pilaantumisprosessin alkamisen, suljetut astiat estävät veden haihtumisen aiheuttaman sakeuden muutoksen. Massan sekoittaminen tasoittaa sen koostumusta, sillä seisovassa massassa hienoaines painuu astian pohjalle.

Kierrätyspaperimassanäytteet toimitettiin valmiina märkänä massana; ne eivät vaatineet erityistä valmistelua, ainoastaan asianmukaisen säilytyksen ja tehokkaan sekoituksen ennen massaseosten tekoa ja koearkkien painamista. Sekä toimisto- että kotikeräysmassojen kuiva-ainepitoisuus oli 4,5 – 5 %. Koepaperiarkkien tekoon asti keräysmassat pidettiin kylmässä jääkaapissa suljetuissa astioissa.

Purepulp-mäntysellu valmistettiin liottamalla Kymenlaakson AMK:lta saatu kuiva-massa märäksi massaksi; levymäisistä arkeista mitattiin tarvittava kuiva-ainemäärä, minkä jälkeen massa revittiin pieniksi kappaleiksi ja lisättiin vesimäärään, jolla saatiin haluttu sakeus eli kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainesta mitattiin 360 grammaa, mikä lisättiin 23 litraan vettä, jolloin massan sakeudeksi saatiin noin 15,7 g/l. Ennen jauhatusta seosta liotettiin yön yli.

Niin ikään KyAMK:lta saatu koivumassa valmisteltiin samoin toimenpitein ja samaan sakeuteen kuin mäntymassa.

Ennen valmistelua hamppukuitu oli raakaa ja kuivaa ”pukinpartaa”. Kuten mainittu, kuidun toimittaja oli käyttänyt sitä lähinnä muovinkaltaisien komposiittien valmistukseen, eikä kuidun valmistelusta paperinvalmistukseen tai sen käyttäytymisestä paperimassana ollut aikaisempaa kokemusta tai tietoa. Päätettiin liottaa 100 g hamppukuitua 10 litraan vettä, jolloin massan kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 1 %. Ennen jauhatusta seosta liotettiin yön yli.

## 6.2 Massojen jauhatus ja jauhatusasteen mittaaminen

Massoille suoritetaan jauhatus ennen niiden painamista paperiksi. Jauhatus vaikuttaa huomattavasti massojen ominaisuuksiin ja siten valmistettävien arkkien lopullisiin ominaisuuksiin. Jauhatus vaikuttaa massojen ominaisuuksiin muutamilla eri tavoin:

- Kuitujen ulkoinen pintakerros poistuu. Tämä tuottaa massaan hienoainesta ja luo edellytykset kuitujen turpoamiselle ja useampien kuitusidosten muodostumiselle.
- Ulkoinen fibrillaatio: kuidun ulkoinen pinta löystyy ja karhentuu, muodostaen enemmän sidospinta-alaa.
- Sisäinen fibrillaatio: kuidun sisäiset rakenteet murtuvat ja sallivat kuidun turpoamisen.
- Kuidut katkeilevat, mikä myös osaltaan synnyttää sulppuun hienoainesta.
- Kuidun komponenttiaineet liukenevat.

(Knowpap 3.0, 2000)

Jauhettaessa neitseellistä ensikuitua, kuten kokeessa käytettyä hamppukuitua, kuidun pintakerroksen poistuminen sekä ulkoinen ja sisäinen fibrillaatio tekevät massaan suurimman vaikutuksen. Jauhettaessa uusiomassaa, kuten kokeen kierrätyskuituja, massan ominaisuuksiin vaikuttavat lähinnä kuitujen katkeileminen ja komponenttiainesten liukeneminen. Kokeessa käytetty uusiomassa ei tosin vaatinut jauhatusta, sillä se oli jo Mäntän tehtaalla jauhettu halutulle, teollisuuden yleisesti käyttämälle asteikolle.

Jauhatuksen vaikutusta seurataan mittaamalla massan jauhatusaste eli sen läpi kulkevan veden suotautumisaste. Mitä pidempään massaa jauhetaan, sitä hienompaa se on, ja sitä hitaammin vesi suotautuu sen läpi. Jauhatusaste ilmoitetaan Schopper-Riegler -lukuna, joka ilmaistaan yksiköllä ml/min. SR-luku muodostuu sitä suuremmaksi, mitä hitaammin massa suotautuu laitteen läpi.

Jauhatus suoritettiin SCAN 25:76:n mukaisella Valley-hollanterilla. Jauhatusaste mitattiin standardin SCAN-C 19:65 mukaisella, kalibroidulla Schopper-Riegler -laitteella.

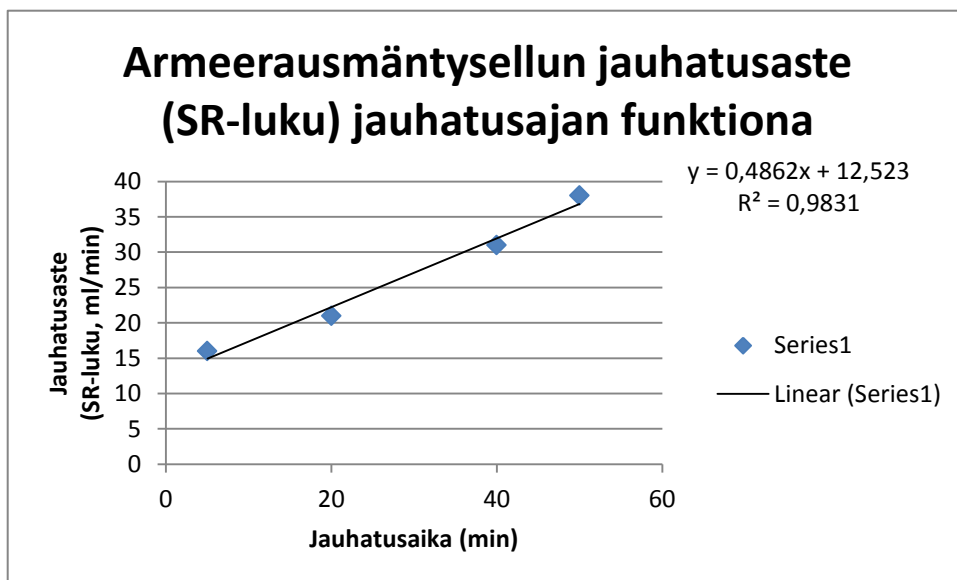
Kaikki kokeissa käytetyt massat pyrittiin saamaan lähelle teollisuuden armeerausasteen yleisesti käyttämää jauhatusastetta, jolloin SR-luku on noin 38.

### 6.2.1 Ensimmäisen kokeen jauhatukset

Ensimmäisessä kokeessa jauhamista vaativia kuitutyyppisiä oli kaksi: mänty ja hamp-  
pu. Kierrätyskuitunäytteet olivat Metsä Tissue Mäntän paperitehtaalla valmiiksi jau-  
hettuja.

Kierrätysmassojen jauhatusta kuvaavaksi Schopper-Riegler -luvuksi todettiin ko-  
tikeräysmassan osalta 39 ja toimistokeräysmassan osalta 34, joka on teollisuuden ylei-  
sesti käyttämä jauhatusta. Kokeen muut massat pyrittiin saamaan samalle asteikolle  
(SR = 30 – 40).

Mäntymassaa jauhettiin 50 minuuttia, jolloin SR-lukemaksi saatiin 38. Jauhinterien  
tehokkuuden määrittävänä jauhinkuormana käytettiin 7 kg:n painoa.



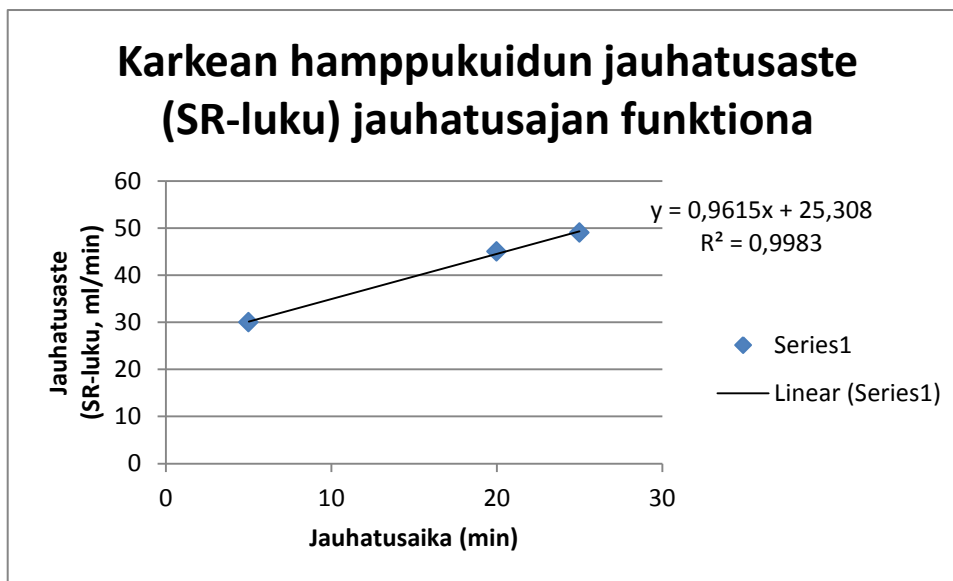
Kuva 6.1. Ensimmäisessä kokeessa käytetyn mäntysellun jauhatusta (SR-luku) jau-  
hatusta funktiona korrelaatiokerroimen ollessa 98,31 % ja jauhinkuorman ollessa 7  
kg. Mitattu 30.5.2012.

Hampukuidun jauhatusta oli hieman ongelmallista, mikä johtui sen useiden senttimet-  
rien pituisista kuiduista. Pitkät kuidut sotkeutuivat toisiinsa muodostaen massaan  
kimppuja, jotka kietoutuessaan jauhinerataan ympärille lähes tukkivat jauhimen.  
Isoimpia sattumia täytyi avata ja purkaa saksilla, kunnes massa alkoi pyöriä koneessa  
ja jauhatusta saatiin halutulle asteikolle. Kuitukimppujen avaaminen ja leikkaus vai-  
kutti käytännössä vain kaikkein pisimpiin, yli 10 cm pitkiin kuitukimppuihin, eikä sil-  
lä ollut juurikaan vaikutusta massan keskimääräiseen koostumukseen tai yksittäisen



kuidun pituuteen, joka oli noin 4,7 cm. Tämän toimenpiteen vuoksi SR-näytettä ei saatu otettua 5 – 20 minuutin välillä.

Hamppumassa jauhautui selvästi mäntyä nopeammin: 25 minuutin jauhatuksella se saatiin suhteellisesti samalle jauhatusasteelle SR-lukemalla 49. Jauhatusnäytteissä esiintyi jonkin verran hajontaa johtuen hamppumassan heterogeenisyydestä, mistä syystä massan koostumus arvioitiin myös silmämääräisesti; todellinen jauhatusaste on todennäköisesti alhaisempi. Jauhinkuormana käytettiin 3,8 kg:n painoa.

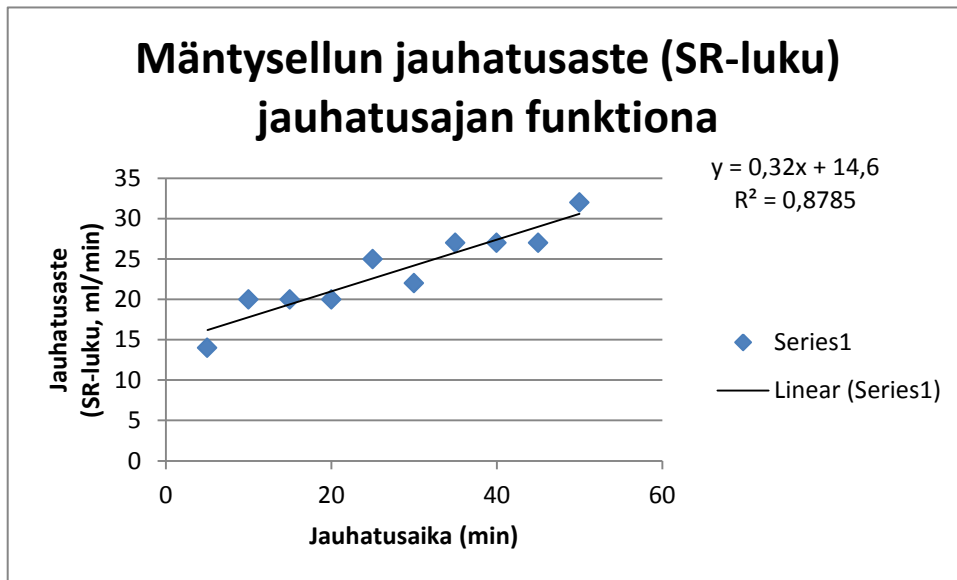


Kuva 6.2. Ensimmäisessä kokeessa käytetyn hamppusellun jauhatusaste (SR-luku) jauhatusajan funktiona korrelaatiokerroimen ollessa 99,83 % ja jauhinkuorman ollessa 3,8 kg. Mitattu 30.5.2012.

### 6.2.2 Toisen kokeen jauhatukset

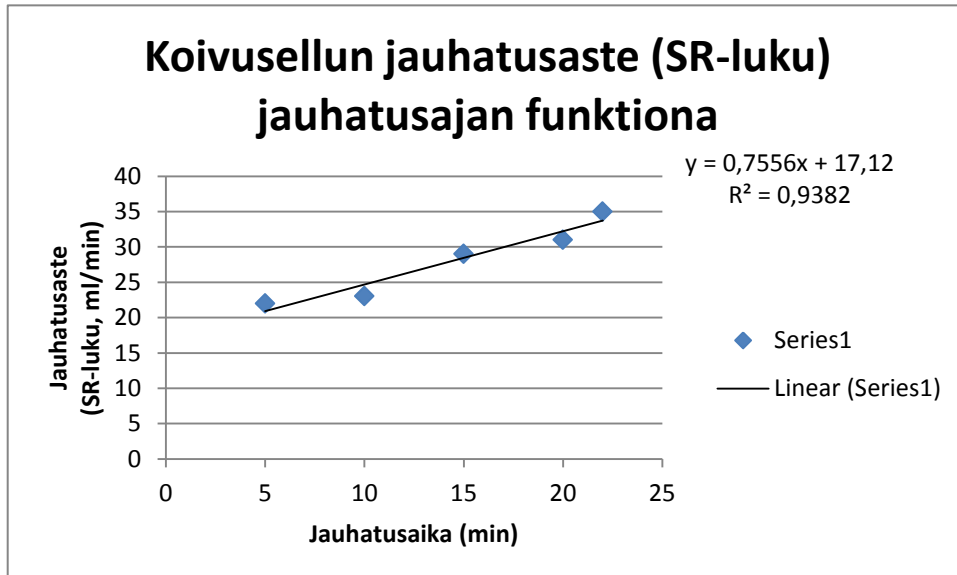
Toisessa kokeessa jauhamista vaativia kuitutyyppisiä oli kolme: mänty, koivu ja hienonnettu hamppu. Myös toisen kokeen massat pyrittiin saamaan teollisuuden yleisesti armeerauksessa käytetyille asteikolle, jolloin SR = 30 – 40.

Mäntymassa oli samaa alkuperää kuin ensimmäisessä kokeessa käytetty. 50 minuutin jauhatuksella se saatiin SR-lukemalle 32. Se jauhautui poikkeuksellisen hitaasti; 25 – 30 minuutin kohdalla SR-lukeman todettiin jopa laskeneen. Myöhemmin selvisi, että jauhimen roottorin ympärille aiemmin kerääntyneet massat ja epäpuhtaudet heikensivät jauhatusastetta.



Kuva 6.3. Toisessa kokeessa käytetyn mäntysellun jauhatuste (SR -luku) jauhatusajan funktiona korrelaatiokertoimen ollessa 87,85 % ja jauhinkuorman ollessa 7 kg. Mitattu 27.9.2012.

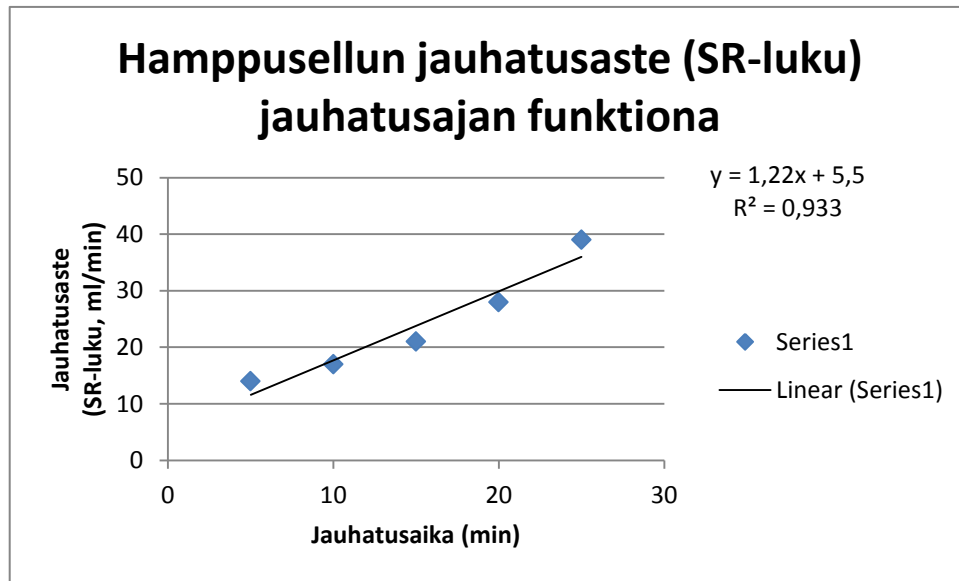
Koivusellu jauhautui normaalisti: 22 minuutin jauhatuksella se saatiin halutulle jauhatusteelle, SR-lukema oli 35.



Kuva 6.4. Toisessa kokeessa käytetyn koivusellun jauhatuste (SR -luku) jauhatusajan funktiona korrelaatiokertoimen ollessa 93,82 % ja jauhinkuorman ollessa 6,9 kg. Mitattu 1.10.2012.

Toista koetta varten hamppukuitua hienonnettiin huomattavasti jo ennen sen liotusta ja jauhatusa, jotta vältettäisiin kuitujen kimppuuntuminen jauhimessa sekä lisättäisiin massan homogeenisyyttä. Hienonnetun hampun keskimääräinen kuidunpituus oli 4 – 5

kertaa ensimmäisessä kokeessa käytettyä lyhyempi, noin 1,1 cm. Hienonnettu hamppu jauhautui 25 minuutin jauhatuksella SR -lukemalle 39.



Kuva 6.5. Toisessa kokeessa käytetyn hamppusellun jauhatusaste (SR-luku) jauhatusajan funktiona korrelaatiokertoimen ollessa 93,3 % ja jauhinkuorman ollessa 3,8 kg. Mitattu 27.9.2012.

### 6.3 Arkkien valmistus

Koearkit valmistettiin SCAN-C 26:n mukaisella laitteistolla. Tällä laitteistolla arkkien pinta-alaksi muodostui vakiokoko  $0,02689 \text{ m}^2$ , arkin sivun pituuden ollessa 164 mm. Näitä vakiolukemia käytettiin laskettaessa kokeiden tuloksia.

Molemmissa kokeissa yksittäisen arkin kuiva-ainepitoisuudeksi pyrittiin saamaan 2,50 – 2,55 g, jolloin neliöpainoksi muodostuu 93 – 94,5  $\text{g/m}^2$ . Absoluuttisen kuiva-ainepitoisuuden lisäksi valmiiden arkkien massaa nosti niiden 6 – 7 %:n kosteus, jolloin todelliseksi neliöpainoksi muodostui noin  $100 \text{ g/m}^2$ .

Vaikka arkit pyrittiin valmistamaan vakiomassaan, neliöpainoissa esiintyi suhteellisen paljon hajontaa, kuten tuloksista voidaan havaita. Hajontaa arkkien neliöpainoissa ja myös arkkikohtaisessa formaatiossa aiheutti pääasiassa hamppumassan heterogeenisyys; hajonta kasvoi, mitä enemmän hamppumassaa lisättiin, etenkin ensimmäisen kokeen karkeampaa hamppua. Arkkien neliöpainojen hajontaa hillitsi ja tulosten luotettavuutta lisäsi kuuden koearkin otanta sekä työn kannalta tärkeimmille lujusarvoil-

le lasketut indeksi-arvot, jotka poistavat tuloksista neliöpainon vaihtelun ja siten tekevät niistä vertailukelpoisemmat.

Ensimmäisen kokeen massalajeina olivat käsittelemätön karstattu hammppukuitu ja kierrätyskuidut: kotikeräysmassa ja toimistokeräysmassa. Molempiin kierrätysmassoihin lisättiin 0, 10, 30 ja 50 prosenttia hammppukuitua. Vertailuksi toimistokierrätysmassaan lisättiin samat prosenttimäärät mäntysellua. Kierrätysmassojen samankaltaisuuden vuoksi mäntysellua ei nähty tarpeelliseksi lisätä kotikeräysmassaan. Tulosten luotettavuuden lisäämiseksi ja hajonnan minimoimiseksi jokaista paperilaatua valmistettiin kuusi kappaletta, paitsi sataprocenttisia paperilaatuja, joita nähtiin tarpeelliseksi valmistaa kaksi kappaletta kutakin. Näin ollen ensimmäistä koetta varten koearkkeja valmistettiin yhteensä 60 kappaletta.

Toisessa kokeessa käytetyt massalajit olivat mekaanisesti hienonnettu hammppukuitu, mäntykuitu ja koivukuitu. Verrattuna ensimmäisen kokeen hammppuun pituudeltaan noin viidesosaan hienonnettua hammppukuitua lisättiin mäntyyn ja koivuun 0, 5, 10, 25 ja 50 prosenttia. Jokaisesta massasta valmistettiin kuusi koearkkia eli yhteensä 66 kappaletta. Lisäksi luotettavuuden lisäämiseksi lujuusominaisuudet mitattiin kahteen kertaan.

Eri paperilaatujen massojen seossuhteet laskettiin massojen suhteellisista kuiva-ainepitoisuuksista siten, että yksi arkki saatiin valmistettua yhdestä litrasta massaseosta. Tällöin yksi litra massaseosta sisälsi halutun, 2,50 - 2,55 g kuiva-ainepitoisuuden.

Kierrätyspaperimassojen sakeudeksi ilmoitettiin Mäntän paperitehtaalla 4,5 – 5 %, jolloin niiden kuiva-ainepitoisuus on keskimäärin 4,75 g/l. Sekä mänty- että koivusellu valmistettiin sakeuteen 15,7 g/l ja hammppusellu sakeuteen 10 g/l. Näiden lukujen perusteella sekoitettiin halutut massaseokset oikeassa suhteessa muoviastioihin, joissa ne sekoitettiin huolellisesti ja seosten SR-lukeman varmistettiin olevan tavoitellulla asteikolla. Kukin massaseos laimennettiin kuuteen litraan, jolloin yksi arkki voitiin valmistaa yhdestä litrasta seosta.

Arkkien varsinainen valmistus aloitettiin kääntämällä painokoneen vesiventtiiliä, jolloin vesitiivis arkkimuotti täyttyi vedellä. Tämän jälkeen muottiin veden sekaan kaadettiin ennalta valmistettu yhden litran vakiomäärä massaseosta ja seoksen viimeinen sekoitus tehtiin laitteiston paineilmalla toimivalla automaattisella sekoittimella. Tä-

män jälkeen arkkimuotin pohjaventtiili avattiin, jolloin vesi pakeni arkkiviiran läpi ja veden sisältämät kuidut muodostivat viiralle märän näytearkin. Veden poistumisen jälkeen odotettiin vielä 5 – 10 sekuntia, minkä jälkeen arkkimuotti avattiin ja näytearkin päälle asetettiin kuivausta varten kolme imupaperiarkkia. Imupapereita painettiin koearkkia ja viiraa vasten manuaalisesti stanssilla, mikä kuivasi arkkiä ja jätti sen kiinni imupapereihin, jolloin arkki pystyttiin nostamaan turvallisesti irti viirasta. Näytearki ja imupaperit asetettiin arkkiä pinoamiskehikkoon ja arkkiä toinenkin puoli peitettiin kolmella imupaperilla.

#### 6.4 Märkäpuristus ja kuivaus

Kolme imupaperia – näytearki – kolme imupaperia -tyyliin pinotuille näytearkeille suoritettiin mekaaninen märkäpuristus Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion hydraulisella puristimella.

Puristuksen tarkoitus on poistaa arkeista mahdollisimman paljon vettä sekä parantaa arkkiä formaatiota muodostaen koearkkeihin kuitujen välisiä sidoksia, jotka vahvistavat paperia huomattavasti. Tässä suhteessa hampun erityisen pitkä kuitu ei ole hyvä ominaisuus: pienistä puukuiduista muodostunut tiheä kuituformaatio arkkiä pinnalla takaa useampien kuitu- ja vetysidosten muodostumisen. Liian pitkä kuitu heikentää arkkiä formaatiota: arkkiin muodostuu murtoherkkiä saumakohtia, jotka heikentävät etenkin paperin vetolujuutta. Kuitujen epätasainen jakautuminen huonontaa myös arkkiä pinnan tasaisuutta.

Märkäpuristuksen jälkeen edelleen imupapereissa kiinni olevat koearkit levitettiin kuivauspelleille paperilaaduittain, minkä jälkeen ne kuivuivat 5 – 7 päivää laboratorion stabiilissa ilmastossa. Kuivuttuaan koearkit saatiin turvallisesti irti imupaperista. Eri massalaadut eroteltiin, nimettiin ja numeroitiin mittausta varten.

## 7 KOEARKEISTA MITATUT SUUREET

### 7.1 Yleistä

Koearkkiä testaukseen käytettiin SCAN-C 28:76-standardimenetelmää.

Tulosten luotettavuuden vuoksi kustakin paperilaadusta valmistettiin ja testattiin kuusi testiarkkia, paitsi ensimmäisen kokeen 100-prosenttisista arkeista, joista nähtiin riittäväksi tehdä kaksi arkkiä kutakin. Näytearkit testattiin järjestyksessä, jossa edellinen testaus ei vaikuttanut seuraavan testin tulokseen. Mittalaitteet olivat huollettuja ja kalibroituja. Laboratorio-olosuhteet olivat vakiot ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan suhteen.

## 7.2 Yleiset suureet

### 7.2.1 Neliömassa

Arkkiviira muodosti näytearkkien sivun vakiopituudeksi 164 mm, jolloin yhden arkin pinta-ala muodostui  $0,26896 \text{ m}^2$ . Arkkit punnittiin 0,1 gramman tarkkuudella ja neliömassa laskettiin painon suhteen pinta-alaan.

Neliömassa ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) määritettiin laskemalla kaavan 1 mukaan.

$$W = 10\,000 \, m/A, \tag{1}$$

jossa

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

$m$  = massa, g

$A$  = pinta-ala,  $\text{cm}^2$ .

### 7.2.2 Tiheys ja bulkki

Näytearkkien paksuus mitattiin kalibroidulla tarkkuusmikrometrillä tiheyden ja bulkin selvittämiseksi. Jokaisen arkin paksuus mitattiin viidestä kohtaa, joiden keskiarvosta yhdessä neliöpainon kanssa laskettiin arkkien tiheys. Paperin tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) määritettiin laskemalla kaavan 2 mukaan.

$$X = 1000 \, w/t, \tag{2}$$

jossa

$X$  = tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$w$  = neliömassa, g/m<sup>2</sup>

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

Bulkki on tiheyden käänteisarvo. Bulkki (cm<sup>3</sup>/g) määritettiin laskemalla kaavan 3 mukaan.

$$X_2 = t/w, \quad (3)$$

jossa

$X_2$  = bulkki, cm<sup>3</sup>/g<sup>2</sup>

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

$w$  = neliömassa, g/m<sup>2</sup>.

### 7.2.3 Kosteus

Kosteudella on merkitystä etenkin paperin lujuusominaisuuksiin: märkä paperi repeää kuivaa helpommin. Näytearkkien kosteus voidaan määrittää vertaamalla arkin painoa ennen ja jälkeen sen kuivaamisen. Tässä työssä arkkien kosteutta ei kuitenkaan nähty oleelliseksi mitata, vaan laboratorio-olosuhteiden mukaisesti jokainen arkki arvioitiin vakiokosteuteen 6 – 7 %.

Kosteusprosentti voidaan määrittää erikseen laskemalla kaavan 4 mukaan.

$$X = (m_1 - m_2)/m_1 \times 100, \quad (4)$$

jossa

$X$  = kosteus, %

$m_1$  = paino alussa, g

$m_2$  = paino lopussa, g.

#### 7.2.4 Tuhka

Tuhkapitoisuus kuvaa näytteen epäorgaanisen materiaalin määrää. Arkkien tuhkapitoisuus määritettiin punnitsemalla arkeista otettu näyte, tuhkaamalla se 925 °C:n lämpötilassa, punnitsemalla jäljelle jäänyt tuhka ja vertaamalla sitä alkuperäisen näytteen massaan. Tuhkaprosentti muodostuu täyteaineista, pigmenteistä ja päällysteaineista. Lisäaineettomissa paperiselluissa tuhkaprosentti on lähes nolla.

Tuhkaprosentti määritettiin laskemalla kaavan 5 mukaan.

$$X = (m_a - m_t)/m_a \times 100, \quad (5)$$

jossa

$X$  = tuhka, %

$m_a$  = näytearkin paino, g

$m_t$  = tuhkan paino, g.

Tuhkaprosentin mittauksessa huomattiin kuitenkin systemaattinen virhe: ilmeisesti tuhkanäytteiden ei annettu palaa täysin loppuun, mistä syystä tuhkaprosentit ovat liian suuria. Tuhkaprosentti ei kuitenkaan ole työn kannalta olennainen suure.

#### 7.2.5 Formaatio

Koearkeille ei ollut mahdollista suorittaa standardinmukaista formaation mittausta, mutta se on syytä mainita, sillä huonon formaation aiheuttama neliömassahajonta vaikutti olennaisesti kokeen lopputuloksiin.

ISO-standardin mukainen määritelmä formaatiolle on "tapa, jolla kuidut ovat jakautuneet, järjestäytyneet ja sekoittuneet muodostaakseen paperin." Tämä määritelmä pitää sisällään neliömassan pieni- ja suurimittaisen vaihtelun, kuituorientaation sekä kuitumateriaalin jakauman rakenteen paksuussuunnassa. Suppeammin formaatio voidaan



määrittellä tarkoittamaan paperin pienimittaista neliömassahajontaa eli hajontaa, jonka aallonpituus on 0 - 100 mm. (Knowpap 3.0, 2000)

Formaation tiedetään vaikuttavan useisiin paperin loppukäytön kannalta tärkeisiin käyttöominaisuuksiin, mutta sen vaikutuksia lopputuotteen ominaisuuksiin on tutkittu kuitenkin suhteellisen vähän. (KnowPap 3.0, 2000)

### 7.3 Optiset ominaisuudet

#### 7.3.1 Valkoisuus

Näytearkkien valkoisuus eli hajasiniheijastusluku mitattiin Minolta-merkkisellä spektrofotometrillä. Vaaleus on etenkin hienopaperituotteiden loppukäytön kannalta erityisen tärkeä ominaisuus, sillä se vaikuttaa painopinnan kontrastiin ja tätä kautta luettavuuteen.

Paperien vaaleutta säädetään valkaisuaineilla, lisäaineilla ja pinnioitteilla, joten pelkän sellun vaaleus ei ole ainoa merkittävä tekijä. Vaalea raakasellu antaa kuitenkin hyvät lähtökohdat vaalentamiselle ja vähentää monien ympäristölle haitallisten valkaisukeemikaalien käyttöä. Näytearkkien vaaleus ilmoitetaan ISO-vaaleutena (ISO-%).

#### 7.3.2 Opasiteetti

Myös näytearkkien opasiteetti mitattiin Minolta-spektrofotometrillä. Opasiteetilla tarkoitetaan mustaa taustaa vasten määritetyn yksittäisen paperiarkin valonheijastusluvun ( $R_0$ ) suhdetta saman paperin Y-arvoon ( $R_\infty$ ) eli luminanssiin. Opasiteetti on lopputuotteen luettavuuden kannalta erittäin tärkeä tekijä, sillä se kuvaa paperin kykyä estää sen alla olevalle paperille tehdyn painatuksen läpinäkyvyys. Opasiteetti siis kasvaa, mitä läpinäkymättömämpää tai peittävämpää paperi on. Opasiteetti voidaan määrittää laskemalla kaavan 6 mukaan.

$$X = R_0/R_\infty \times 100 , \tag{6}$$

jossa

X = opasiteetti, %

$R_0$  = valonheijastusluku, %

$R_{\infty}$  = Y-arvo, %.

### 7.3.3 Kiilto

Näytearkkien kiilto mitattiin kiiltomittarilla, joka mittaa valonsäteen heijastusarvon mittauskulman funktiona. Mittausgeometriaksi valittiin  $75^\circ/75^\circ$ , mikä tarkoittaa että valon heijastus mitattiin yhdensuuntaisella valolla, jonka tulo- ja havaitsemiskulmat olivat  $75^\circ$ . Kiilto on yleisesti toivottava ominaisuus esimerkiksi aikakauslehtipaperilta.

## 7.4 Pinnan laatu

### 7.4.1 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyys mitattiin Bendtsen-mittarilla. Ilmanläpäisevyydellä ts. huokoisuudella tarkoitetaan sitä ilmamäärää, jonka 150 mm wp:n paine-ero saa aikaan  $10 \text{ cm}^2$  suuruisen pinta-alan läpi. Suuri ilmanläpäisevyys on papereilta yleensä toivottava ominaisuus, sillä huokoinen kuitujakauma on joustavaa ja kestää tiivistä paremmin iskuja. Näytearkkien ilmanläpäisevyys esitettiin muodossa ml/min.

### 7.4.2 Karheus

Karheudella tarkoitetaan sitä ilman virtaamaa, joka virtaa näytearkin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron vallitessa. Mittauksessa käytettiin Bendtsen-mittaria ja karheus esitettiin muodossa ml/min. Matala karheus, eli sileyys, on etenkin painopapereilta toivottava ominaisuus, sillä se takaa hyvän painojäljen. Paperin sileyteen voidaan vaikuttaa päällystyksellä ja kalanteroinnilla, mutta ne heikentävät paperin huokoisuutta.

## 7.5 Lujuusominaisuudet

### 7.5.1 Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö

Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö kuvaavat kaikki paperilaadun lujuusominaisuuksia vedettäessä sitä pinnan suuntaisesti. Ne kuvaavat myös paperin yleisiä lujuusominaisuuksia. Vetolujuusominaisuudet ovatkin paperitekniikassa yleisimmin mitattavat arvot. Koeärkeista leikattiin 15 mm levyisiä koeliuskoja, joista mitattiin vetolujuusarvot Lorenz-Wettre-vetolujuusmittarilla. Mittari tulosti tulokset sekä vetolujuudesta, murtovenymästä että murtotyöstä.

Etenkin ensimmäisessä kokeessa arkkien epätasaisen kuituformaation takia tulokset pienistä, 15 mm koekappaleista eivät välttämättä kuvaa totuudenmukaisesti kokonaisten arkkien tai kyseisen paperilaadun yleisiä vetolujuusarvoja. Toisessa kokeessa hienonnetun hampun formaatio oli tasaisempi, ja tulosten luotettavuuden varmistamiseksi vetolujuuskokeet tehtiin kahteen kertaan.

Vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormitusta, jonka testiliuska kestää murtumatta vedettäessä sitä pinnan suuntaisesti. Vetolujuus ilmaistaan yksiköllä kN/m. Murtovenymällä tarkoitetaan suurimman vetolujuuskuormituksen hetkellä saavutetun pituuden lisäyksen suhdetta alkuperäiseen pituuteen, ts. kuinka monta prosenttia koekappale venyy ennen murtumista. Murtotyö kuvaa vetokoeliuskan murtamiseen tarvittavaa voimaa yksiköllä J/m<sup>2</sup>.

Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö kuvaavat paperin yleistä lujuutta, kestävyyttä ja joustavuutta, ja ovat siten tärkeitä ominaisuuksia esimerkiksi pakkaus- ja säkkiteollisuudessa.

Vetolujuuksia verrattaessa on hyvä poistaa paperilaatujen vaihtelevien neliöpainojen aiheuttamat erot laskemalla vetolujuusindeksi, ts. vetoindeksi. Vetoindeksi (Nm/g) määritettiin laskemalla kaavan 7 mukaan.

$$Y = X/w , \tag{7}$$

jossa

$Y$  = vetoindeksi, Nm/g

$X$  = vetolujuus, kN/m

$W$  = neliömassa, g/m<sup>2</sup>.

### 7.5.2 Repäisylujuus

Repäisylujuus on merkittävä tekijä paperitekniikassa, koska se on keskeisessä asemassa sekä paperi- että painokoneen ajettavuudessa. Repäisylujuus testattiin Elmendorf-tyyppisellä mittauslaitteella. Arkeista tehtiin repäisynäyte, näytteeseen tehtiin alkuviilto ja suoritettiin koe, jossa repäisykone repäisee näytteen heilahdusliikkeellä ja mittaa siihen tarvittun voiman yksiköllä mN.

Kuten vetolujuuksista, myös repäisylujuuksista lasketaan indeksiarvo, jotta saadaan poistetuksi neliöpainojen vaihtelujen aiheuttamat erot. Repäisyindeksi (mNm<sup>2</sup>/g) määritettiin laskemalla kaavan 8 mukaan.

$$X = a/w, \tag{8}$$

jossa

$X$  = repäisyindeksi, mNm<sup>2</sup>/g

$a$  = repäisylujuus, mN

$w$  = neliömassa, g/m<sup>2</sup>.

### 7.6 Virhearviointi

Tuloksissa esiintyvät mittausvirheet voidaan jakaa karkeisiin, systemaattisiin ja tilastollisiin eli satunnaisiin virheisiin.

**Karkea virhe** tapahtuu esimerkiksi, jos mitta-asteikkoa luetaan väärin, mittalaitteeseen tulee toimintahäiriö tai tietojen tallennuksessa tapahtuu virhe. Moderneissa mittalaitteissa tulokset yleensä luetaan ja kirjataan automaattisesti ja mittarit hälyttävät toi-

mintahäiriöistä sekä yli toleranssien menevistä virhemittauksista. Karkeita virheitä voidaan etsiä esimerkiksi vertailemalla tulosten keskihajontoja.

**Systemaattinen virhe** tarkoittaa käytetyistä mittalaitteista tai mittaumenetelmistä johtuvaa virhettä. Se vältetään mittalaitteiden asianmukaisella huollolla ja säännöllisellä kalibroinnilla. Työssä tapahtui todennäköisesti systemaattinen virhe näytteiden tuhkapitoisuuksien mittauksessa: lisäaineettomissa selluissa, kuten työn mänty- koivu- ja hammppuselluissa tuhkaprosentin tulisi olla lähes nolla. Niille on kuitenkin mitattu 6 – 10 %:n tuhkapitoisuus. Luultavasti tuhkanäytteiden ei ole annettu palaa täysin, vaan ne on systemaattisesti mitattu liian aikaisin.

**Tilastollinen virhe** eli satunnaisvirhe on mahdotonta eliminoida täysin. Satunnaisten virheiden taustalla ovat inhimilliset virheet. Mahdollisimman suurella otoskoolla satunnaisvirhe voidaan minimoida, sillä erisuuntaiset virheet kumoavat toisensa.

Tässä työssä eri paperilaatujen otoskoko on suhteellisen pieni (6 kpl) joten satunnaiset virheet voivat vaikuttaa tuloksiin. Eri paperilaatujen tulokset ovat kuitenkin keskenään verrannollisia ja kokonaisuudessaan antavat luotettavan kuvan käytetyistä raaka-aineista.

## 8 ENSIMMÄISEN KOKEEN TULOKSIA

### 8.1 Yleistä

Tässä luvussa tarkastellaan ensimmäisen kuitukokeen tuloksia graafisessa muodossa. Kokeessa pitkää, karstattua hammppukuitua lisättiin kahteen erityyppiseen RCF-, eli kierrätyspaperilaatuun: koti- ja toimistokeräysmassaan. Hammppukuitua lisättiin 0, 10, 30 ja 50 prosentin pitoisuuksissa. Vertailuna toimistokeräysmassaan lisättiin samoissa pitoisuuksissa yleistä armeerausmassaa, mäntyä. Jokaisesta paperilaadusta valmistettiin kuusi koearkkia, paitsi 100-prosenttisistä arkeista, joista nähtiin riittäväksi tehdä kaksi koekappaletta kutakin.

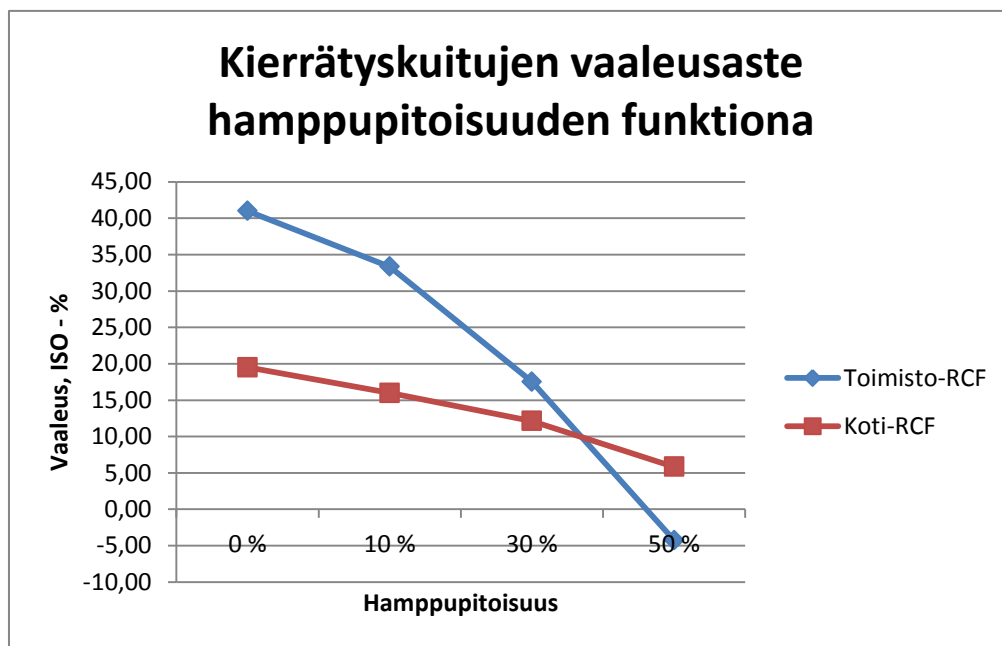
Lähinnä kuriositeettina valmistetun 100-prosenttisen hammppupaperin tuloksia ei nähty tarkoituksenmukaiseksi ottaa mukaan kuvaajiin, sillä pienen otoksen, epätasaisen formaation ja laadun vuoksi tulokset eivät ole luotettavia. Esimerkiksi karheusmittari ei saanut siitä tulosta, eikä repäsymittarin voima riittänyt sen repäisyyn. 100-

prosenttisen hammppupaperin tulokset ovat nähtävissä liitteenä olevista yksityiskohtaisista mittauspöytäkirjoista, kuten kaikkien muidenkin paperilaatujen tulokset.

## 8.2 Optiset ominaisuudet

### 8.2.1 Vaaleus

Loppukäyttöä ajatellen hienopaperituotteiden vaaleus on yksi niiden tärkeimpiä ominaisuuksia. Vaaleus vaikuttaa paperin painopinnan kontrastiin ja siten sille painettavan tai kirjoitettavan tekstin luettavuuteen. Oletetusti hamppu laski molempien kierrätysmassojen vaaleutta, mutta tulee ottaa huomioon, että käytännössä lopputuotteen vaaleuteen vaikuttavat sellun keittovaiheessa käytetyt valkaisuprosessit, päällysteaineet ja mahdolliset optiset kirkasteet.



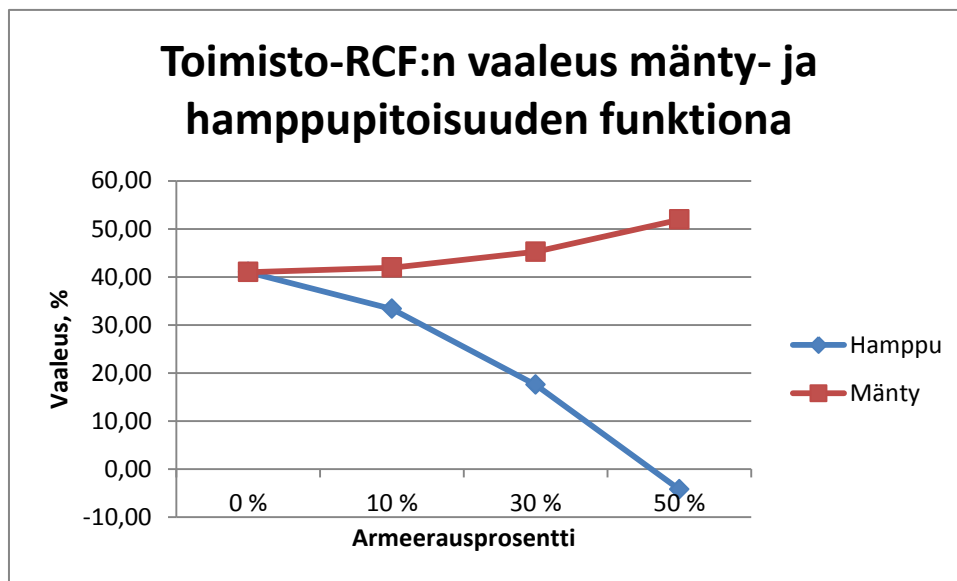
Kuva 8.1. Hamppukuidun vaikutus toimisto- ja kotikeräysmassojen vaaleuteen.

Kuvasta 8.1. voidaan todeta toimistokeräysmassan olevan lähtöarvoltaan kotikeräysmassaa vaaleampaa. Kyseinen toimistokeräysmassa on vaaleusasteeltaan DI 90, ja kotikeräysmassan vaaleus on alempi, DI 60 (Hämäläinen, 2012). Tämä johtuu siitä, että toimistopaperi sisältää vähemmän erilaisia musteita, liimoja tai keräykseen virheellisesti sijoitettua materiaalia.

Kuvasta nähdään myös, miten hampun vaikutus toimistokeräysmassan vaaleuteen on suurempi, mikä johtuu kenties sellujen välisestä suuremmasta kontrastista. 10 %:n pitoisuudessa hampun vaikutus molempiin kierrätysmassoihin on kuitenkin suhteellisesti sama; vaaleus laskee 18 - 19 %.

50 %:n hamppupitoisuudessa toimistokeräyspaperin vaaleuden lasku kiihtyy entisestään. Se laskee jopa spektrofotometrin mittaushorisontin alapuolelle. Kotikeräysmassalla lasku jatkuu melko lineaarisena.

Luontaisen vaaleusasteensa kannalta hamppukuitu voidaan todeta jokseenkin epäsojivaksi painopaperin raaka-aineeksi. Tulee kuitenkin muistaa, että valkaisuolosuhteet ja päällysteaineet vaikuttavat paljon papereiden vaaleuteen, ja hamppukuidun valkaisun on myös todettu olevan puumassoja ympäristöystävällisempää.



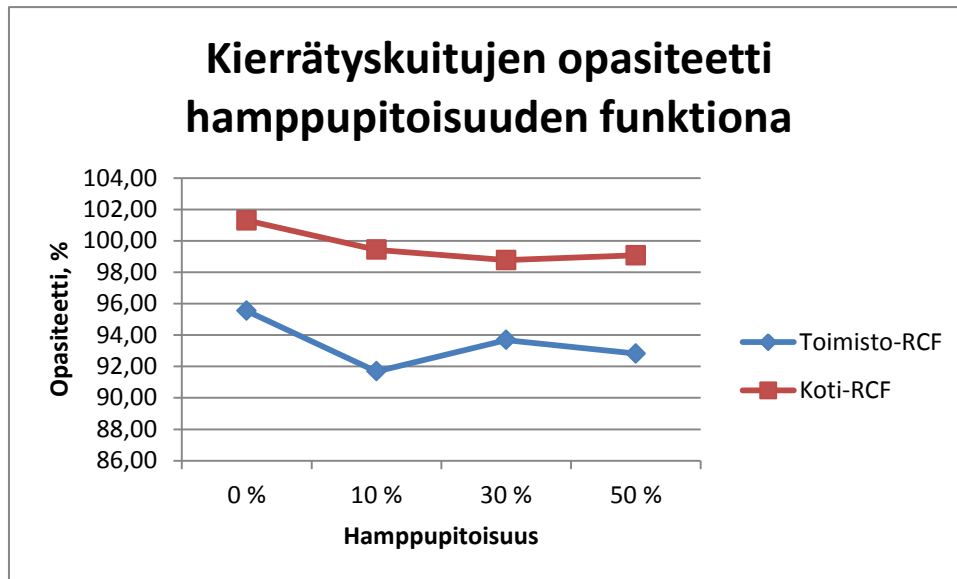
Kuva 8.2. Mänty- ja hamppukuidun vaikutus toimistokeräysmassan vaaleuteen.

Kuvasta 8.2 voidaan todeta valkaistun purepulp-mäntysellun olevan huomattavasti käsittelemätöntä hamppua kuin myös toimistokeräysmassaa vaaleampaa.

### 8.2.2 Opasiteetti

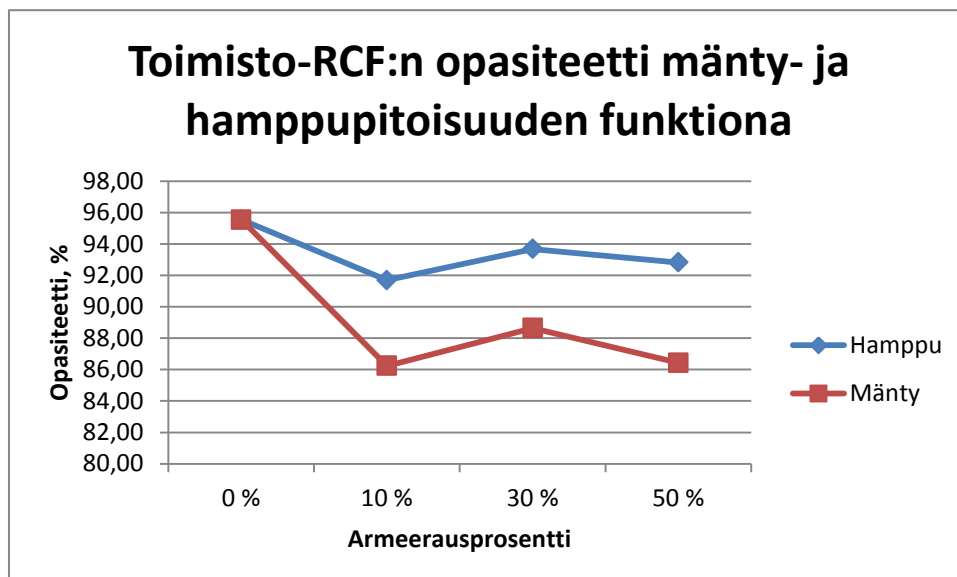
Opasiteetti kuvaa paperin läpinäkymättömyyttä eli peittävyyttä; mitä suurempi opasiteetti, sitä vähemmän paperista näkyy läpi esimerkiksi sen alla olevan paperin teksti.

Se on siis hienopapereille erittäin toivottava ominaisuus. Raakasellun laadun lisäksi mahdollisilla päällysteaineilla on suuri vaikutus opasiteettiin.



Kuva 8.3. Kierrätyskuitujen opasiteetti suhteessa hamppupitoisuuteen.

Kuvasta 8.3 voidaan todeta, että kotikeräysmassan opasiteetti on toimistomassaa suurempi. Hampun vaikutus molempiin on suhteellisen sama: opasiteetti laskee hieman, muttei merkittävästi. Opasiteetin lasku oli hieman yllättävää, sillä yksittäisistä massoista 100-prosenttisen hamppupaperin opasiteetti oli selvästi korkein.



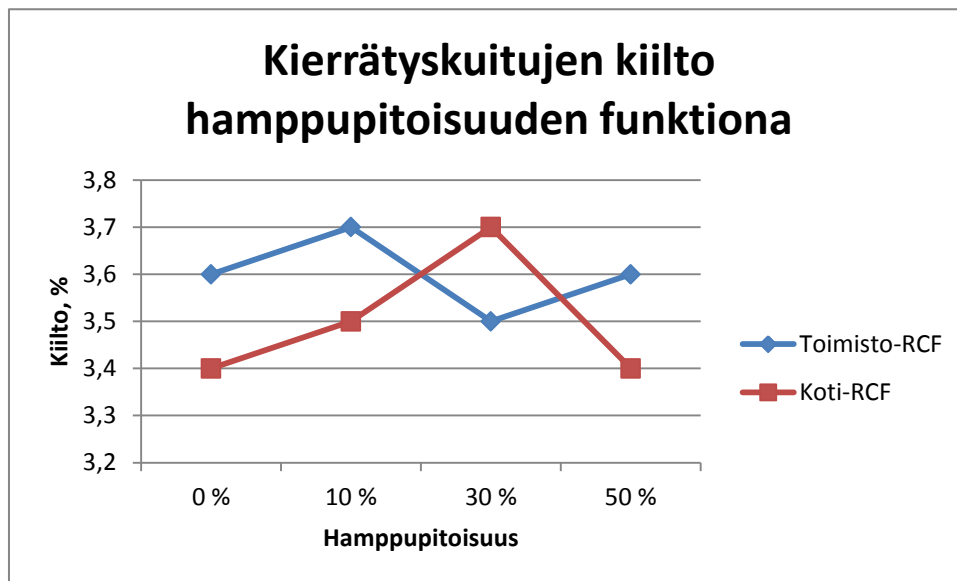
Kuva 8.4. Toimistokeräysmassan opasiteetti eri mänty- ja hamppupitoisuuksien funktiona.



Kuvasta 8.4 voidaan todeta männyn laskevan toimistokeräysmassan opasiteettia hamppua enemmän.

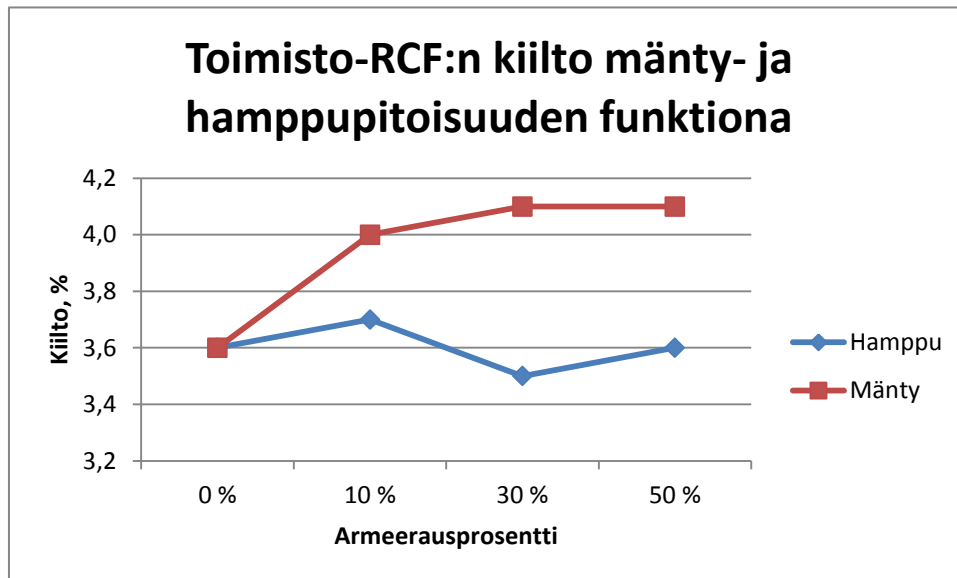
### 8.2.3 Kiilto

Paperin kiilto kuvaa sitä, miten paljon paperi heijastaa valoa itsestään pois päin. Kiilto on yleisesti toivottava ominaisuus esimerkiksi aikakauslehtipapereissa. Kuten vaaleuteen ja opasiteettiin, myös kiiltoon vaikutetaan yleensä itse sellulaatua enemmän päällysteaineilla.



Kuva 8.5. Hamppukuidun vaikutus kierrätysmassojen kiiltoon eri pitoisuuksissa.

Kuvasta 8.5 nähdään, että hampun vaikutus kierrätysmassojen kiiltoon on vaihtelevaa. Pienissä pitoisuuksissa on kuitenkin havaittavissa nouseva trendi, etenkin kotikeräysmassalla. Tästä voidaan päätellä, että kohtuullisissa, alle 30 %:n pitoisuuksissa hamppu ei ainakaan huononna uusiomassojen kiiltoa.



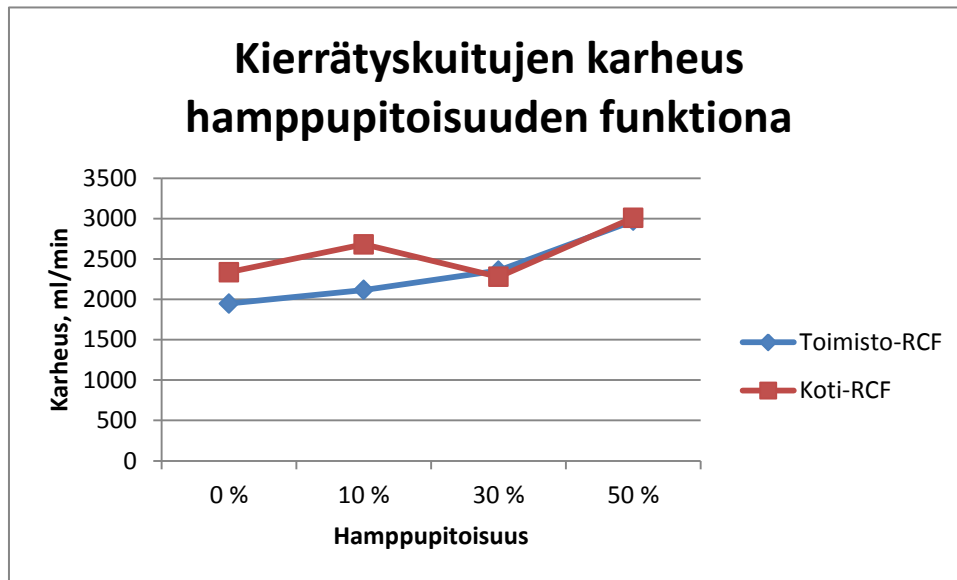
Kuva 8.6. Eri mänty- ja hampupitoisuuksien vaikutus toimistokeräysmassan kiiltoon.

Kuvasta 8.6 voidaan todeta männyn selvästi parantavan toimistokeräysmassan kiiltoa, kun taas hampulla ei ole paperin kiiltoon juurikaan vaikutusta; 10 prosentin pitoisuudessa hamppu nostaa kiiltoa 0,1 prosenttiyksikköä, 30 prosentin pitoisuudessa kiilto laskee 0,1 prosenttiyksikköä ja 50 prosentin pitoisuudessa kiillossa ei tapahtunut muutosta suhteessa sataprosenttiseen toimistokeräyspaperiin.

### 8.3 Pinnan laatu

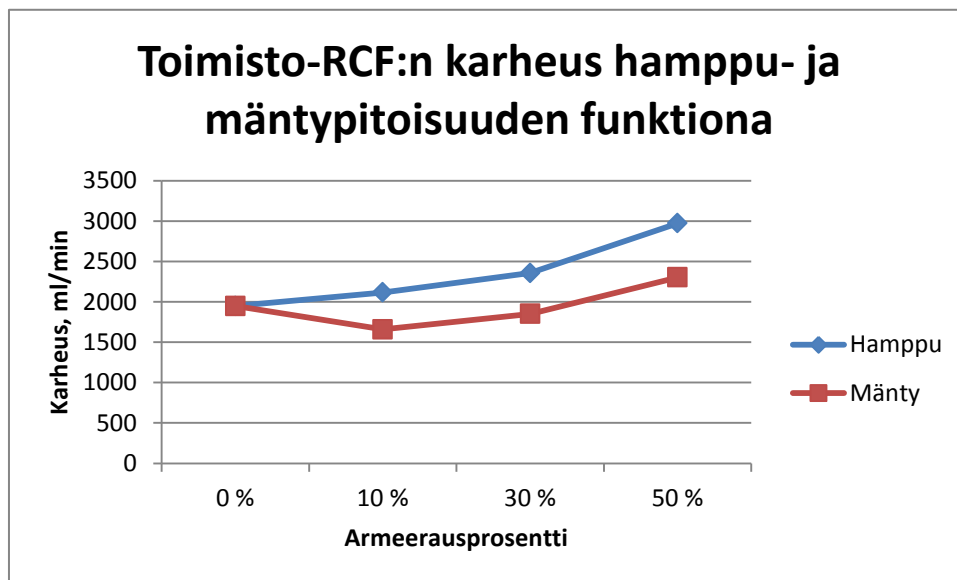
#### 8.3.1 Karheus

Valmiin tuotteen karheuteen vaikuttavat monet tekijät. Optisten ominaisuuksien tavoin lopullisen käytettävän paperin karheutta säädetään muun muassa päällysteaineilla ja kalanteroinnilla. Raakasellun ominaiskarheus antaa lähtökohdat näille toimenpiteille.



Kuva 8.7. Hampupitoisuuden vaikutus kierrätysmassojen karheuteen.

Kuvasta 8.7 nähdään, että hampulla on uusiomassoihin karheutta jonkin verran lisäävä vaikutus. Toisaalta hajontaa on melko paljon; 30 %:n hampupitoisuudessa kotikeräysmassan karheus jopa laskee. Yleinen trendi on kuitenkin karheuden loiva kasvu hampua lisättäessä.



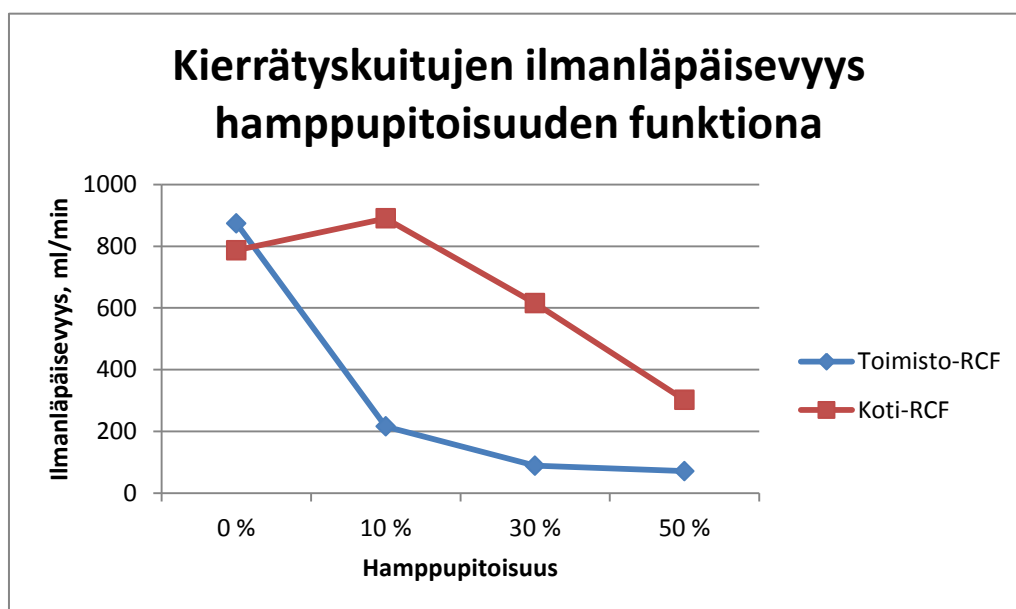
Kuva 8.8. Hamppu- ja mäntypitoisuuden vaikutus toimistokeräysmassan karheuteen.

Kuvasta 8.8 nähdään, miten männyn vaikutus toimistokeräysmassan karheuteen eroaa hampun vaikutuksesta. Männyn vaikutus karheuteen vaikuttaisi olevan hampua pienempi; 10 ja 30 prosentin pitoisuuksissa se pienentää toimistosellun karheutta, mutta

suuremmissa pitoisuuksissa mäntykin lisää karheutta. Paperin sileyden kannalta paras tulos sekä mänty- että hamppukuidulla saadaan siis pienissä pitoisuuksissa. Tuloksista on kuitenkin vaikea tehdä varmoja johtopäätöksiä.

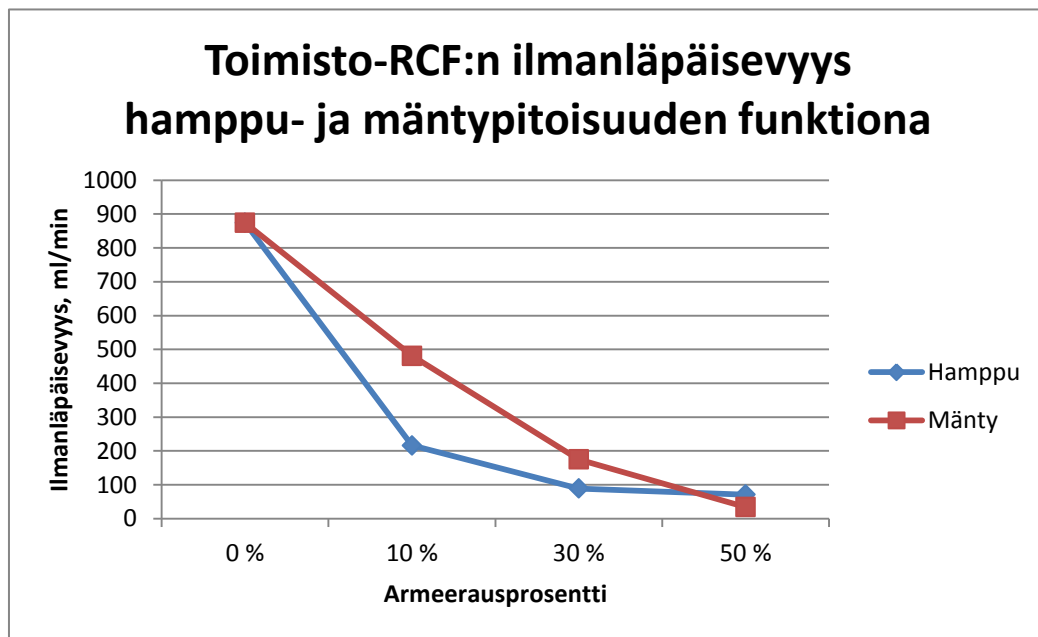
### 8.3.2 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyys kuvaa paperin huokoisuutta ja tiiveyttä. Täten se kuvastaa hyvin myös arkin tiheyttä ja bulkkia. Yleensä korkea ilmanläpäisevyys on toivottavaa; huokoisuus kertoo kuidun joustavuudesta, ja joustava kuitu kestää paremmin räsitusta. Ilmanläpäisevyyteen vaikuttavat monien muiden suureiden mukaisesti päällystys ja kalanterointi ja myös epäorgaanisen aineen määrä eli tuhkaprosentti.



Kuva 8.9. Hamppukuidun vaikutus kierrätyskuitujen ilmanläpäisevyyteen.

Kuvasta 8.9 nähdään hamppukuidun vaikutus uusiomassojen ilmanläpäisevyyteen. Tulokset ovat melko kirjavia, mutta yleinen trendi on selvästi laskeva. Kotikeräysmassalla 10 %:n hampunlisäys jopa lisäsi huokoisuutta, minkä jälkeen se kuitenkin laskee tasan tasaisesti. Toimistokeräysmassan huokoisuus päinvastoin romahtaa jo 10 prosentin hampunlisäyksestä ja pysyy matalalla aina 50 prosentin pitoisuuteen asti. Arkkien hyvin erilaisten tulosten vuoksi on vaikea tehdä varmoja johtopäätöksiä siitä, miten pitkäkuituinen hamppu vaikuttaa paperin huokoisuuteen pienissä pitoisuuksissa. Perusluonteeltaan hamppu on selvästi tiivistä ja ilmaa läpäisemätöntä.



Kuva 8.10. Hamppu- ja mäntykuitujen vaikutus toimistokeräysmassan ilmanläpäisevyyteen.

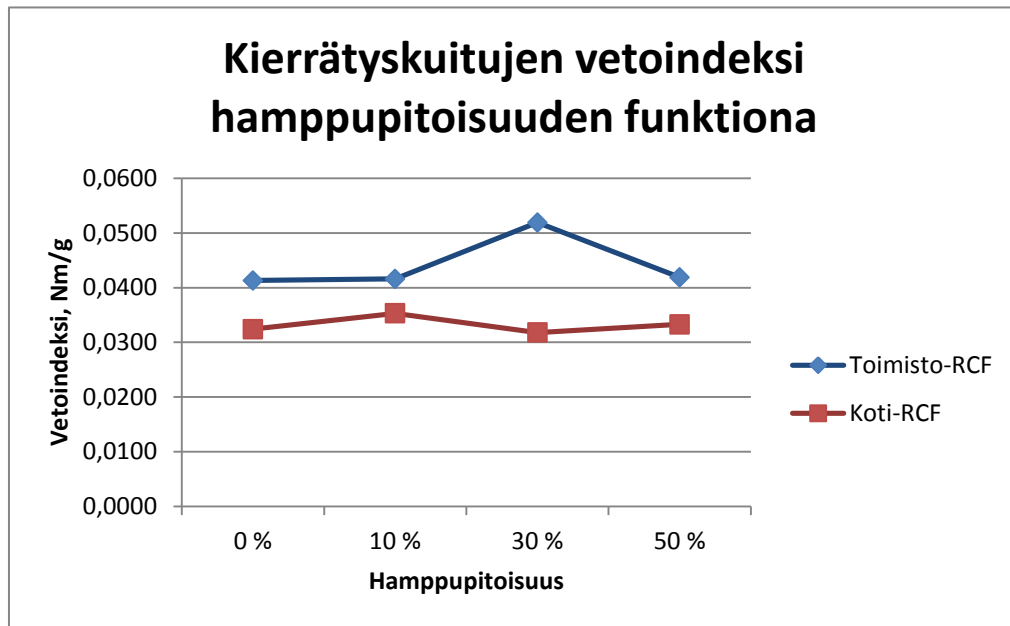
Kuvasta 8.10 voidaan havaita männyllä olevan samanlainen vaikutus toimistokeräysmassan huokoisuuteen kuin hampulla, joskin lineaarisempi. 50 prosentin pitoisuudessa mänty antaa jopa hampua heikomman huokoisuuden. Molempien armeerausmassojen vaikutus toimistoselluun on keskimäärin kuitenkin sama.

## 8.4 Lujuusominaisuudet

Pitkiä armeerauskuituja käytetään paperin valmistuksessa antamaan tuotteelle lujuutta ja kestävyyttä. Lujuusominaisuudet ovatkin useimmin paperiteknikassa mitattuja ominaisuuksia: vetolujuus, repäisyjujuus, murtotyö ja venymä. Seuraavaksi tarkastellaan ensimmäisessä kuitukokeessa saatuja lujuusarvoja.

### 8.4.1 Vetolujuus

Vetolujuuksia vertailtaessa on hyvä poistaa arkkien vaihtelevien neliöpainojen aiheuttamat erot laskemalla vetolujuusindeksi, ts. vetoindeksi.

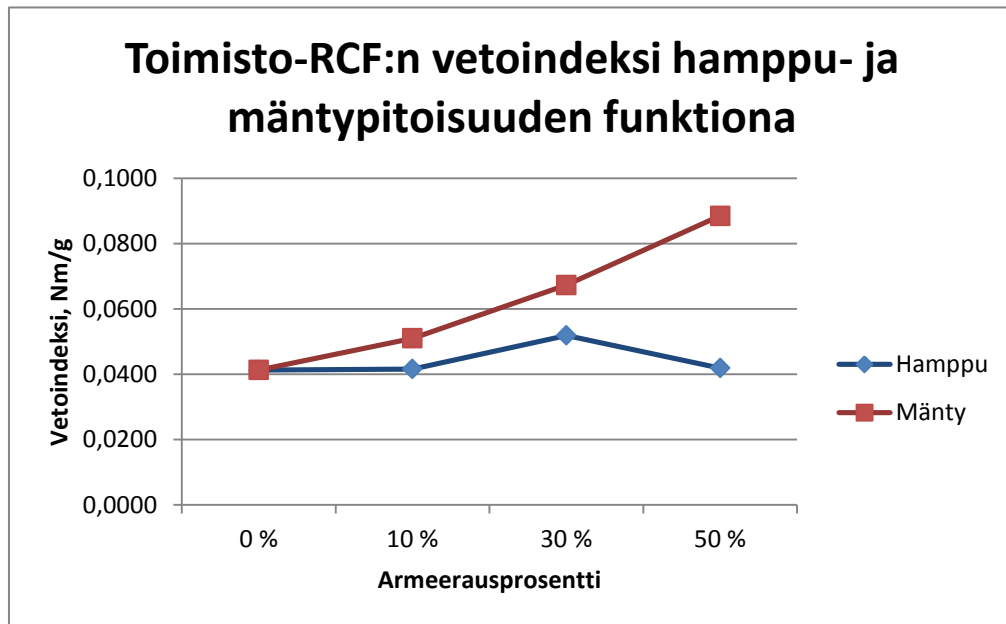


Kuva 8.11. Pitkän hamppukuidun vaikutus kierrätyskuitujen vetoindeksiin.

Yllättäen hamppukuidulla ei ollut juurikaan vaikutusta uusiomassojen vetolujuuteen. Kuvasta 8.11 nähdään, ettei hampun vaikutus RCF-massojen vetoindeksiin ollut oikeastaan hyvä eikä huono; trendi on jonkin verran nouseva, mutta odotettua selvää positiivista vaikutusta ei ollut.

Syy sille, miksi hamppukuitu ei huimasta pituudestaan huolimatta juuri parantanut vetolujuusarvoja, löytyy hamppumassan heterogeenisyydestä ja sen arkeille muodostamasta epätasaisesta formaatiosta; suurimassaiset kuidut luovat paperiin murtoherkkiä saumakohtia, ja sekä kuidun että paperin vetolujuus määräytyy tämän rakenteen heikoimman kohdan mukaan.

Vaikka pitkiä kuituja käytetään paperin lujittamiseen, kuitupituudella on optiminsa; tietyn keskipituuden jälkeen paperin lujuus ei yleensä kasva, vaan lujuuden määrä yksittäisten kuitujen lujuus. Liian pitkällä kuidulla ei välttämättä saada tasaista arkkirakennetta, jolloin vetolujuus saattaa jopa laskea. (Knowpap 3.0, 2000.) Näin näyttäisi käyneen toimistokeräyskuidulla 50 %:n hamppupitoisuudessa; 30 %:iin asti vetolujuus kasvaa tasaisesti, kunnes 50 %:n pitoisuudessa arkkien formaatio muodostuu liian epätasaiseksi, ja paperille muodostuneet saumat eivät kestä vetorasitusta.

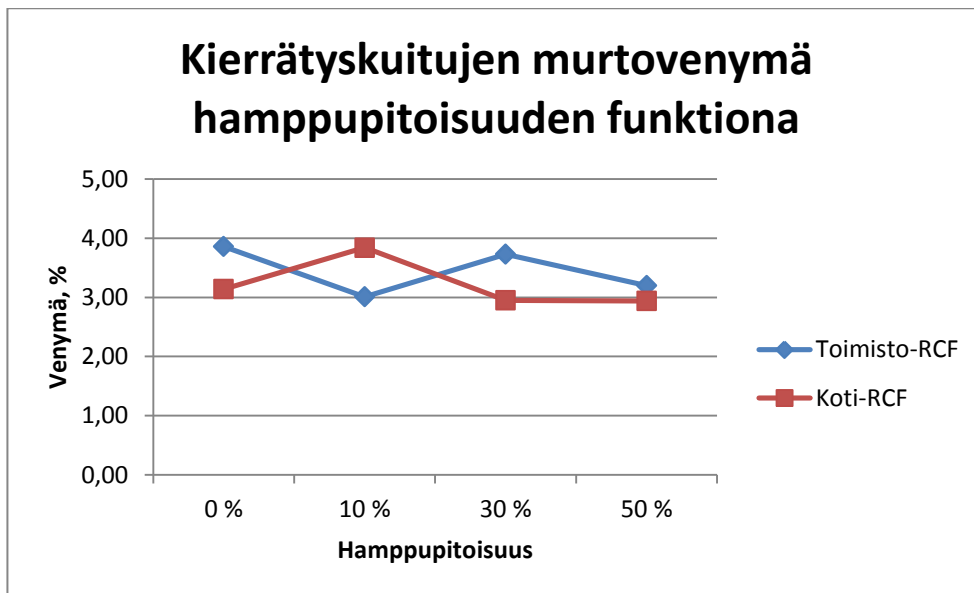


Kuva 8.12. Männyn ja pitkän hamppukuidun vaikutus toimistokeräysmassan vetoindeksiin.

Kuvasta 8.12 nähdään, miten mäntykuitu parantaa toimistokeräysmassan vetolujuutta selvästi pitkää hamppukuitua paremmin ja johdonmukaisemmin. Kuten mainittu, syy siihen on lähinnä arkkien kuituformaatiossa: mänty muodostaa suhteellisen tasaisen rakenteen paperille, jolloin vahvuutta lisääviä kuitusidoksia pääsee muodostumaan enemmän ja murtoherkkiä saumakohtia vähemmän.

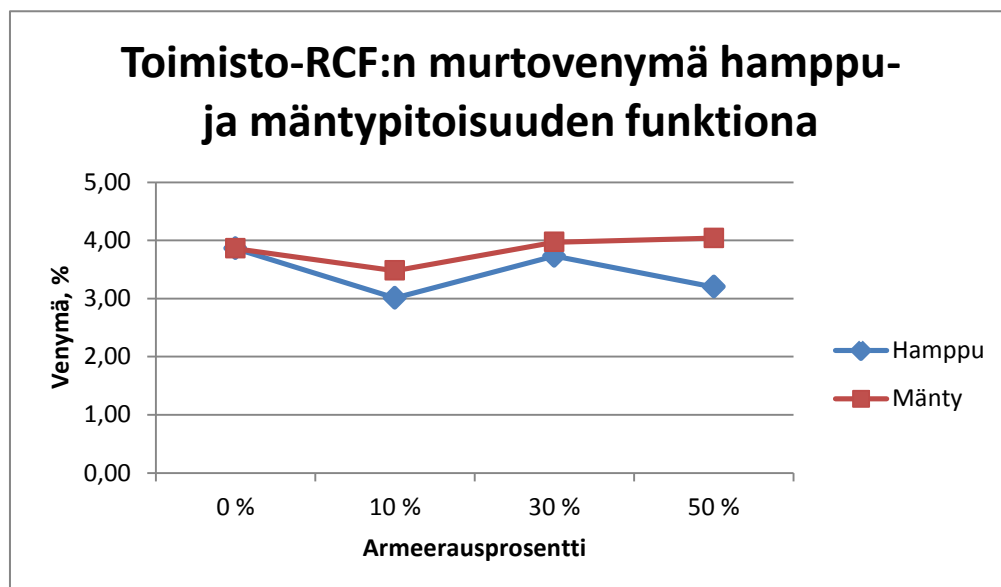
#### 8.4.2 Murtovenymä

Murtovenymä kuvaa vetolujuuskokeessa käytetyn koekappaleen suurimman kuormituksen kohdalla saavuttamaa pituuden lisäystä suhteessa sen alkuperäiseen pituuteen, ts. kuinka monta prosenttia koekappale venyi vetolujuuskokeen aikana. Venymä kuvastaa kuitujen joustavuutta.



Kuva 8.13. Pitkän hamppukuidun vaikutus kierrätyskuitujen murtovenymään.

Kuvasta 8.13 havaitaan, että hampun aiheuttama venymän muutos kierrätysmassoissa mukailee vetolujuustuloksia: selvää vaikutusta ei juuri ole. Tuloksesta voidaan päätellä, ettei kokeessa käytetty hamppukuitu ole erityisen joustavaa. Jäykkyys tunnetaan hampun yleisenä ominaisuutena, mutta etenkin hamppukankaiden kuitukoostumuksen tiedetään myös pehmenevän käytössä. Tästä syystä käytetyistä, ikään kuin valmiiksi notkistetuista lumpukkuiduista voidaan valmistaa neitseellistä kuitua joustavampaa paperia.



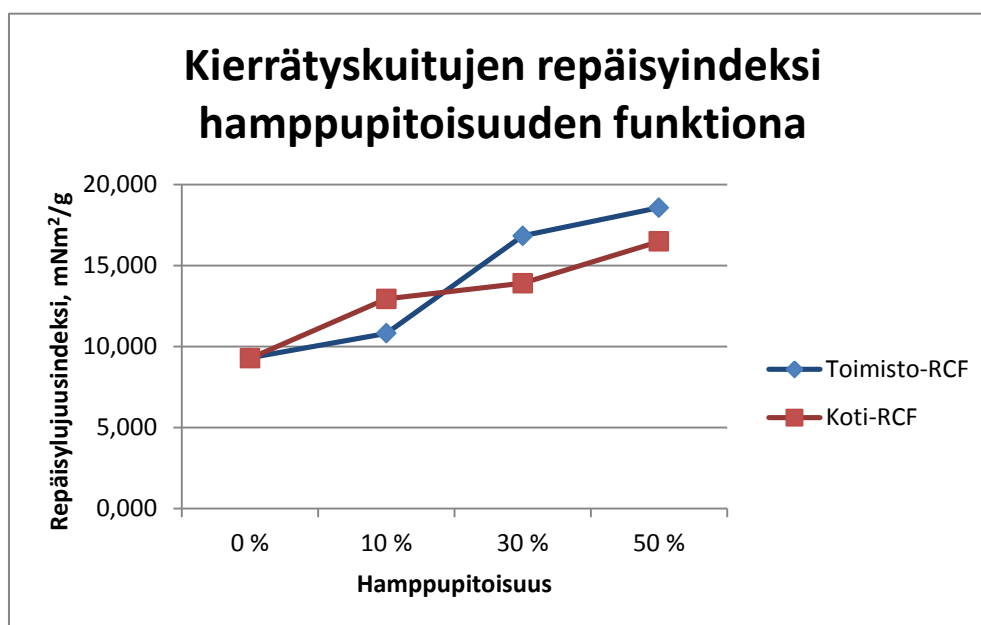
Kuva 8.14. Männyn ja pitkän hamppukuidun vaikutus toimistokeräysmassan murtovenymään.



Kuvasta 8.14 havaitaan männyllä olevan samankaltainen vaikutus toimistokeräysmassan venymään kuin pitkällä hamppukuidulla, joskin vähäisempi. Vasta 50 %:n pitoisuudessa tulokset selvästi eroavat männyn hyväksi.

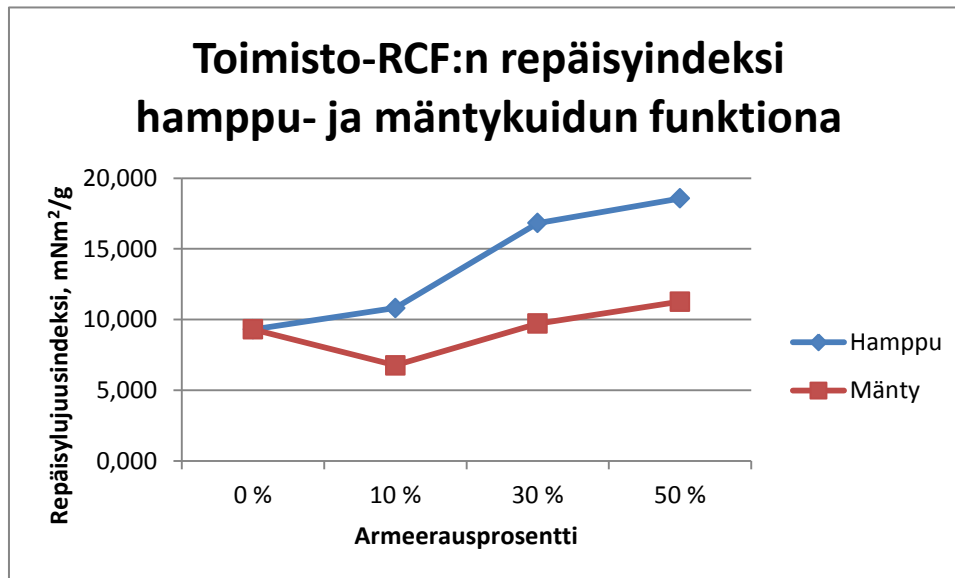
### 8.4.3 Repäisylujuus

Repäisylujuus on vetolujuuden ohella toinen paperiteknikassa yleisimmin mitattavia suureita. Se kuvastaa lähinnä, miten hyvin paperi kestää paperi- ja painokoneella ajamista, mutta myös paperin yleistä lujuutta. Kuten vetolujuudessa, repäisylujuuksista lasketaan indeksiä, jolloin tuloksista poistetaan eri paperilaatujen väliset neliöpainojen vaihtelut.



Kuva 8.15. Hamppukuidun vaikutus kierrätysmassojen repäisyindeksiin.

Kuvasta 8.15 nähdään, että uusiomassojen repäisylujuus parani selvästi pitkää hamppukuitua lisättäessä. Jo 10 %:n hampunlisäys paransi repäisyindeksiä toimistokeräysmassalla 14,0 % ja kotikeräysmassalla 28,3 %. Hamppupitoisuuden ollessa 30 % repäisylujuus parani toimistokeräysmassalla 44,7 % ja kotikeräysmassalla 33,3 %. Hamppupitoisuuden ollessa 50 % toimistokeräysmassan repäisylujuus parani 49,9 %.



Kuva 8.16. Pitkän hamppukuidun ja mäntykuidun vaikutus toimistokeräysmassan repäisyindeksiin.

Kuvasta 8.16 nähdään pitkän hamppukuidun nostavan toimistokeräysmassan repäisyindeksiä selvästi mäntyä enemmän. 10 %:n pitoisuudessa mänty yllättäen huononsi repäisylujuutta, eikä se 30 %:n pitoisuudessakaan juuri nostanut sitä.

Tulosten perusteella pitkä hamppukuitu vaikuttaisi sopivan erityisesti repäisylujuuden nostamiseen. Tämän puolesta puhuu myös 100-prosenttinen hamppupaperi: repäisylujuusmittarin voima ei riittänyt sen repimiseen. Suurissa pitoisuuksissa pitkien kuitujen aiheuttama huono formaatio kuitenkin heikentää muita lujuusominaisuuksia, kuten vetolujuutta ja murtotyötä.

## 9 TOISEN KOKEEN TULOKSIA

### 9.1 Yleistä

Tässä luvussa esitetään ja tarkastellaan toisen kuitukokeen tuloksia graafisessa muodossa. Tuloksia myös verrataan ensimmäisen kuitukokeen tuloksiin.

Jatkokokeessa mänty- ja koivuselluihin lisättiin mekaanisesti hienonnettua hamppukuitua 0, 5, 10, 25 ja 50 prosentin pitoisuuksissa. Hamppukuitua hienonnettiin kunnes keskimääräinen kuidun pituus saatiin noin viidesosaan ensimmäisestä kokeesta; noin 5 senttimetristä 1 senttimetriin.

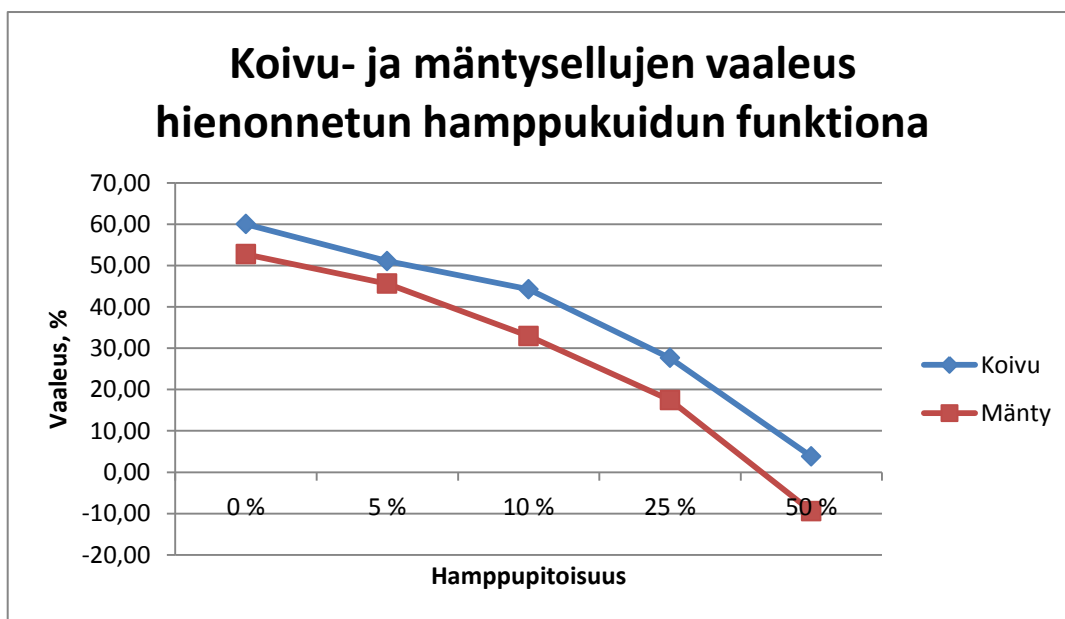
Hienontamisen tavoitteena oli parantaa arkkien kuituformaatiota, jolloin paperiin pääsee syntymään useampia kuitusidoksia ja vähemmän murtoherkkiä kohtia. Näiden toivottiin parantavan etenkin arkkien vetolujuutta. Homogenisoinnin tavoitteena oli myös parantaa arkkien pinnan laatua, kuten loppukäytön kannalta tärkeää sileyttä, sekä vähentää tulosten hajontaa etenkin suuremmissa hammppupitoisuuksissa.

Kuvaajiin ei nähty tarkoituksenmukaiseksi laittaa lähinnä kuriositeettina valmistettujen 100-prosenttisten hammppuarkkien tuloksia. Niiden tulokset ovat nähtävissä liitteenä olevista yksityiskohtaisista mittauspöytäkirjoista.

## 9.2 Optiset ominaisuudet

### 9.2.1 Vaaleus

Kuten mainittu, vaaleus vaikuttaa olennaisesti paperin luettavuuteen ja painomusteen näkyvyyteen, ja siten se on yksi hienopaperin tärkeimpiä ominaisuuksia. Lopputuotteen vaaleutta säädellään sellun keittovaiheessa valkaisuprosesseilla, päällysteaineilla ja mahdollisilla optisilla kirkasteilla. Itse sellun vaaleudella on pienempi merkitys, mutta vaaleampi sellu vaatii vähemmän mahdollisesti ympäristölle haitallista valkaisua.



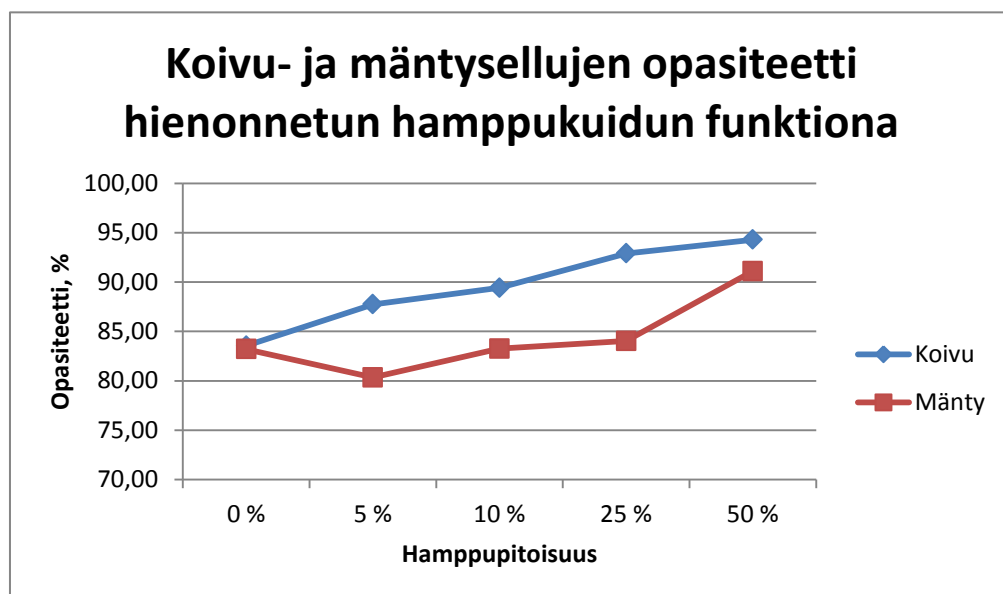
Kuva 9.1. Hienonnetun hammppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen vaaleusasteeseen.

Kuvasta 9.1 nähdään, että puhdas koivusellu on jonkin verran mäntyä vaaleampaa, ja hammppukuidun vaikutus on molempiin samanlainen: vaaleus selvästi laskee. 50 prosentin hammppupitoisuudessa männyn vaaleus laskee jopa spektrofotometrin mittaushorisontin alapuolelle. Tulos oli odotettu: hammppukuidun vaaleusominaisuudet eivät parantuneet, mutta tulokset ovat johdonmukaisempia kuin ensimmäisessä kokeessa, jossa uusiomassat reagoivat hammppukuituun eri tavoin.

Paperin vaaleuden kannalta hammppukuidun (sekä käsittelemättömän että hienonnetun) paras käyttöaste vaikuttaisi olevan 5 – 10 %, jolloin massa ei tarvitse raskasta vaalenusta.

### 9.2.2 Opasiteetti

Opasiteetti on etenkin hienopapereille toivottava ominaisuus: se kuvaa paperin läpinäkyvyyttä. Kuten paperin vaaleuteen, myös opasiteettiin vaikuttavat hyvin paljon käytetyt päällysteaineet.



Kuva 9.2. Hienonnetun hammppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen opasiteettiin.

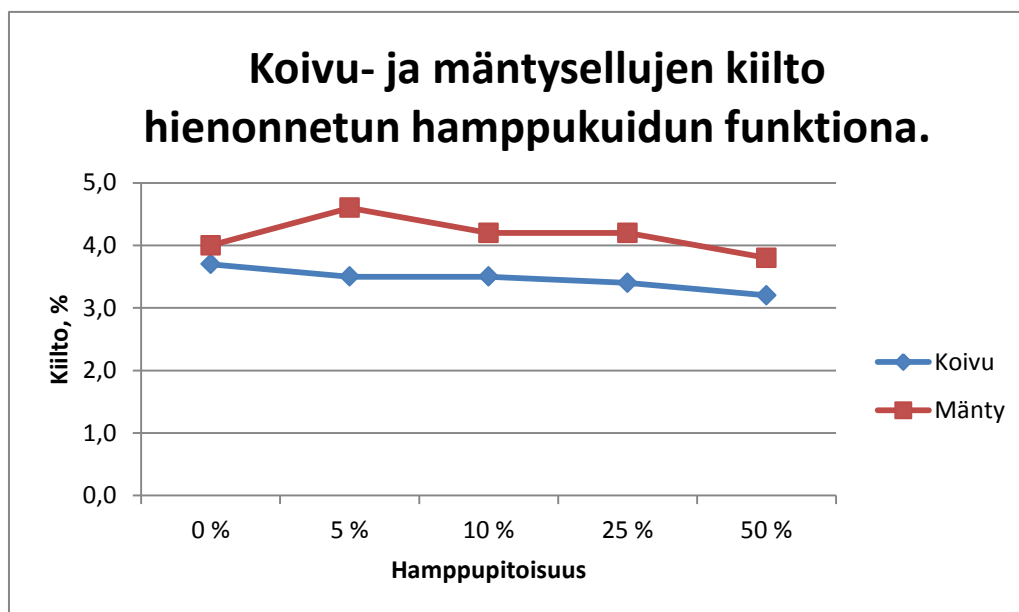
Kuvasta 9.2 nähdään, että hienonnetulla hammppukuidulla on pääasiassa opasiteettia parantava vaikutus. Verrattuna ensimmäiseen kokeeseen, jossa käsittelemättömällä hammppukuidulla oli opasiteettia jonkin verran laskeva vaikutus, tulos on erittäin positiivinen. Ilmeisesti hienonnettu hamppu sai muodostettua arkeille tasaisemman kalvon, jolloin sen luontaisesti korkea opasiteetti pääsi oikeuksiinsa.

Poikkeama tuloksissa on mäntysellulla 5 prosentin hamppupitoisuudessa, jolloin opasiteetti laski. 10 ja 25 prosentin pitoisuuksissakin hamppu parantaa männyn opasiteettiä vain marginaalisesti, kun taas koivulla trendi on selkeästi nouseva.

100-prosenttisen hamppupaperin opasiteetti (92,63 %) ei ollut niin korkea kuin korkeammalla kuidulla ensimmäisessä kokeessa (117,03 %), mutta silti selvästi kokeen muita massoja korkeampi. Toisin kuin ensimmäisessä kokeessa, hampun korkea opasiteetti myös näkyi tuloksissa.

Johtuen männyn negatiivisesta tuloksesta 5 prosentin hamppupitoisuudessa, opasiteetin kannalta parhaaksi käyttöasteeksi hienonnetulle hamppukuidulle voidaan todeta 10 – 50 %.

### 9.2.3 Kiilto



Kuva 9.3. Hienonnetun hamppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen kiiltoasteeseen.

Kuvasta 9.3 nähdään, ettei hampun vaikutus puusellujen kiiltoon ole mainittava. Männynllä kiilto hieman paranee 25 prosentin pitoisuuteen asti ja koivulla kiilto hieman vähenee aina 50 prosentin pitoisuuteen asti.

Poikkeuksena on jälleen mänty 5 prosentin pitoisuudessa, jolloin kiilto paranee poikkeuksellisen paljon. Tästä ei voida juurikaan vetää johtopäätöksiä, mutta tulos mukai-

lee ensimmäisen kuitukokeen tuloksia, jossa uusiomassojen kiilto parani selvästi pienissä, 10 prosentin hamppupitoisuuksissa.

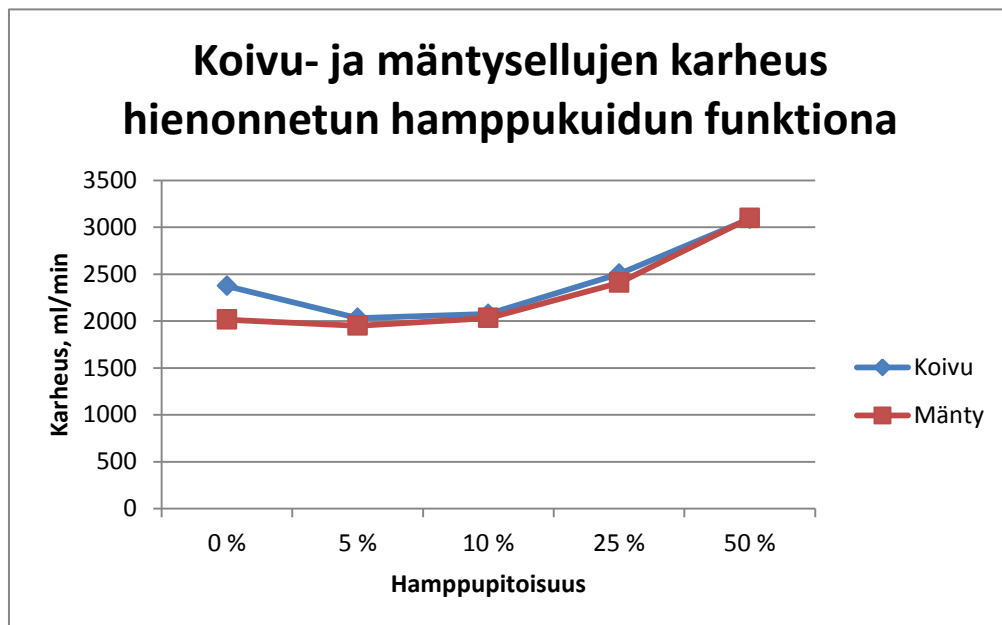
Vertailtaessa kiiltotuloksia ensimmäiseen kokeeseen voidaan huomata homogenisoidulla hampulla arkeissa olevan selvästi vähemmän hajontaa; tulokset ovat johdonmukaisempia ja luotettavampia.

Korkean kiiltoasteen kannalta hamppukuidun (sekä käsittelemättömän että hienonnetun) paras käyttöaste vaikuttaisi olevan 5 – 10 %, jolloin se kolmessa tapauksessa selvästi nosti kiiltoa ja yhdessä jonkin verran laski.

### 9.3 Pinnan laatu

#### 9.3.1 Karheus

Optisten ominaisuuksien tavoin myös lopputuotteen pinnan ominaisuuksiin, kuten karheuteen, vaikuttavat muun muassa päällysteaineet ja kalanterointi. Primäärimassojen luontainen sileys vähentää kalliin jalostuksen tarvetta.



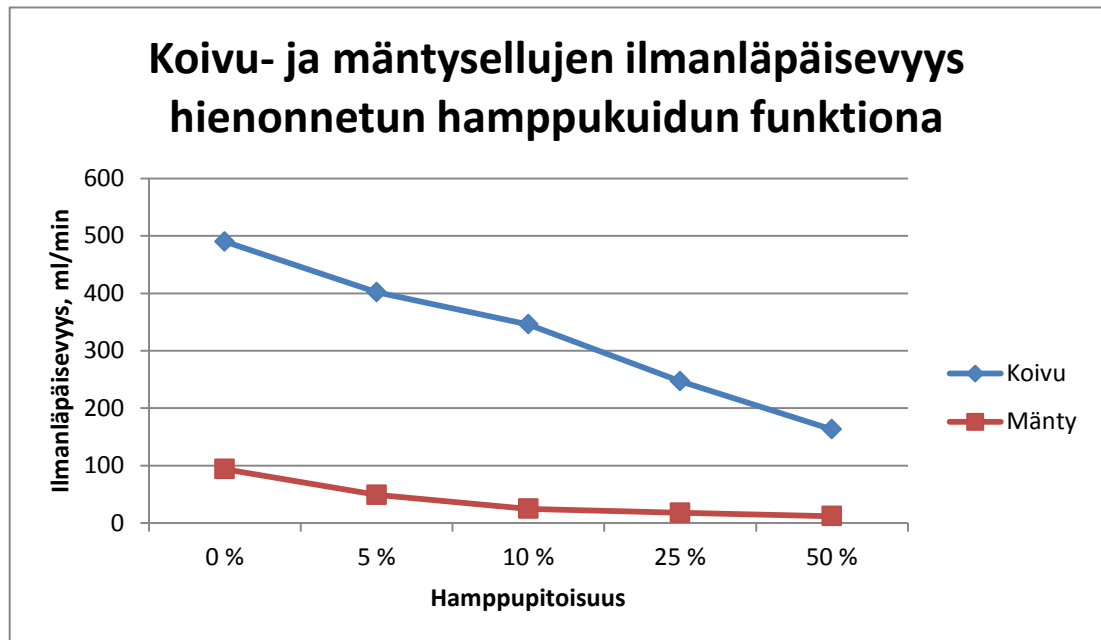
Kuva 9.4. Hienonnetun hamppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen karheuteen.

Kuvasta 9.4 nähdään, että tulokset ovat tasaisempia ja johdonmukaisempia verrattuna ensimmäisen kuitukokeen tuloksiin karkeammalla hampulla. 5 prosentin pitoisuudessa hienonnettu hamppu alentaa molempien puusellujen karheutta, huomattavammin koi-

vulla. 10 prosentin pitoisuudessa koivu on edelleen selvästi puhdasta sellua sileämpää, kun taas männyn karheus nousee alkuperäiselle asteikolle. 25 prosentin hampupitoisuudessa molempien karheus nousee jo alkuperäistä suuremmaksi. Näin ollen paperin karheuden kannalta paras käyttöaste hampukuidulle mänty- ja koivuselluissa on 5 – 10 %. Tätä puoltavat osaltaan myös ensimmäisen kokeen tulokset.

### 9.3.2 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyys kuvaa paperin huokoisuutta, ilmavuutta ja tiiveyttä. Yleisesti paperilta toivotaan suurta ilmanläpäisevyyttä; huokoinen kuitu on joustavaa ja kestää paremmin räsitusta.



Kuva 9.5. Hienonnetun hampukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen ilmanläpäisevyyteen.

Kuvasta 9.5 voidaan todeta mäntysellun olevan luonnostaan huomattavasti koivusellua tiiviimpää ja hampulla olevan näihin molempiin huokoisuutta heikentävä, ts. tiiveyttä lisäävä vaikutus. Tulokset ovat selvästi ensimmäistä koetta selkeämmät ja johdonmukaisemmat.

Hampukuidun tiivyyden ja ilmanläpäisemättömyyden ansiosta on helppo ymmärtää, miksi hampukuitu on ollut suosittu raaka-aine purjeisiin. Paperin ominaisuutena huokoisuus olisi kuitenkin toivottavaa. Tulee muistaa, että lopputuotteen huokoisuutta voidaan säätää päällysteillä ja kalanteroinnilla.

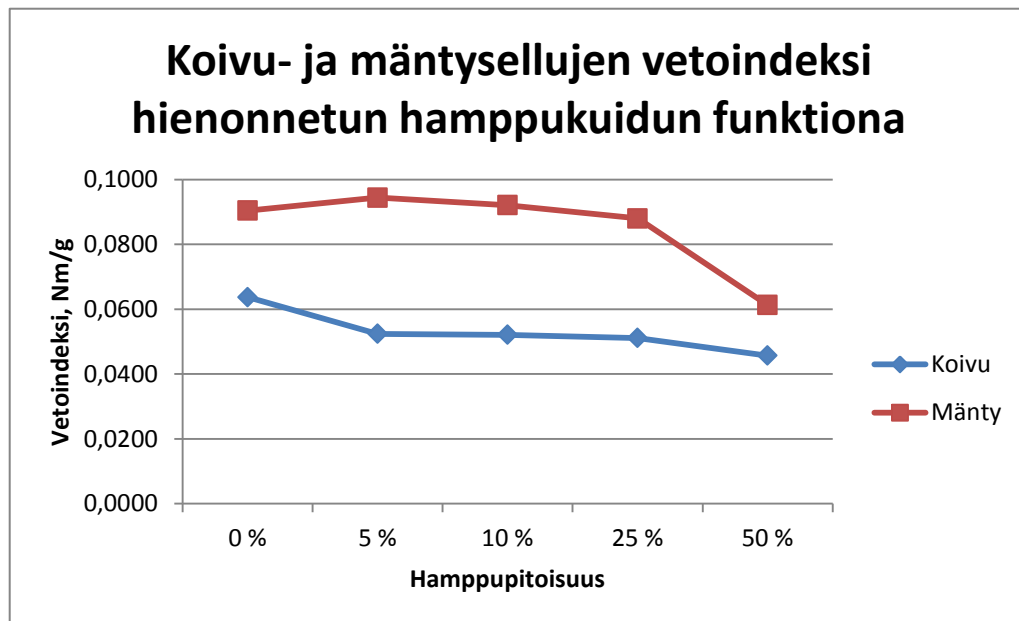
## 9.4 Lujuusominaisuudet

Paperiteknikassa lujuusominaisuudet ovat yleisimmin mitattuja suureita. Niitä ovat lähinnä vetolujuus, murtovenymä ja repäisyjujuus. Ne kertovat paperin mekaanisesta kestävydestä.

Toisen kuitukokeen tulosten luotettavuuden lisäämiseksi lujuusarvokokeet suoritettiin jokaisella paperilaadulla kuuden sijaan 12 koeotoksella: tulokset ovat 2 \* 6 otoksen keskiarvoja.

### 9.4.1 Vetolujuus

Vetolujuuksia vertailtaessa on syytä poistaa arkkien neliöpainojen vaihtelujen aiheuttamat erot laskemalla suhteellinen vetolujuus eli vetolujuusindeksi, ts. vetoindeksi.



Kuva 9.6. Hienonnetun hammppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen vetoindeksiin.

Kuvasta 9.6 voidaan todeta, ettei hienonnettukaan hammppukuitu juuri lisää puusellujen vetolujuutta. Tulokset ovat jopa heikompia kuin karkealla hammppukuidulla ensimmäisessä kokeessa. 5 ja 10 prosentin pitoisuudessa hammppu lisää jonkin verran männyn vetolujuutta, kun taas koivulla vaikutus on päinvastainen. Suuremman kuitukokonsa ansiosta puhdas mäntykuitu oli oletetusti koivua vahvempaa.



Hienonnetun hampun yllättävänkin heikot vetolujuusominaisuudet selittyvät samoin kuin ensimmäisessä kokeessa: vetolujuuden kannalta hampun kuitu on edelleen tarpeettoman pitkää. Tietyn kuitupituuden jälkeen (3 – 5 mm) kuidut eivät enää vahvista arkkia, vaan lujuuden määrää yksittäisten kuitujen lujuusarvot koekappaleen heikoimman kohdan mukaan (Knowpap 3.0, 2000). Hienonnetun hampun keskimääräinen kuidunpituus oli noin 1,1 cm, jolloin vetolujuus määräytyy lähinnä sen mukaan, verrattuna ensimmäisen kokeen keskimääräisen kuidun pituuteen 4,7 cm.

Vaikka toisen kokeen koearkit olivat rakenteeltaan silminnähden tasaisempia, ne eivät silti saavuttaneet toivottua, kuitusidoksia vahvistavaa formaatiota. Kuten ensimmäisessä kokeessa, tämä on parhaiten huomattavissa 50 prosentin hamppupitoisuuksissa: arkkien formaatio kasvaa liian epätasaiseksi, eivätkä muodostuneet heikkosidoksiset saumat kestä vetolujuusrasitusta; sekä kuidun että paperin vetolujuus määräytyy rakenteen heikoimman kohdan mukaan. 100-prosenttisen hamppupaperin formaatio oli, vaikkakin parempi kuin ensimmäisessä kokeessa, edelleen heikko. Sen vetolujuus oli vain 0,351 Nm/g.

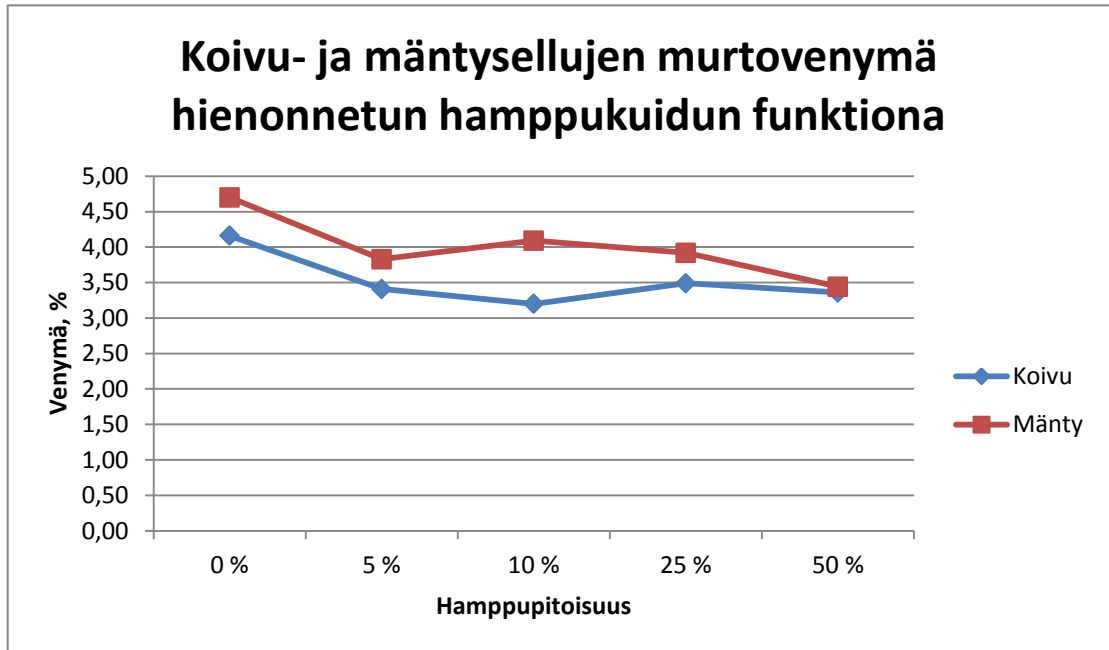
Tulosten perusteella hienonnettu, keskimäärin 1,1 cm pitkä hamppukuitu ei erityisesti sovellu vetolujuuden lisäämiseen. Männyllä se kuitenkin voi lisätä jonkin verran vetolujuutta 5 – 10 %:n pitoisuuksissa.

Ottaen huomioon molempien kuitukokeiden tulokset, hamppukuidun voidaan yleisesti katsoa sopivan vetolujuuden pieneen parantamiseen 5 – 10 %:n pitoisuuksissa. Tätä puoltaa etenkin ensimmäisen kokeen tulokset, joissa pidempikuituinen hamppu paransi uusiomassojen vetolujuutta huomattavasti jopa 25 prosentin pitoisuudessa, kunnes arkkien formaatio muodostui liian epätasaiseksi.

Hamppukuidun paperitekniikan vetolujuuden lisääminen vaatisi jatkotutkimuksia esimerkiksi eri tavoin käsitellyillä kuidulla. Muun muassa häkilöinnillä massasta voitaisiin erottaa pidemmät kuidut tiettyyn pituuteen asti, jolloin paperimassana voitaisiin käyttää dimensioiltaan luontaisesti hienompaa hamppua mekaanisesti hienonnetun massan sijaan.

### 9.4.2 Murtovenymä

Murtovenymä kuvaa vetolujuuskokeessa käytettyjen koeliuskojen prosentuaalista venymää suhteessa niiden alkuperäiseen pituuteen. Korkea venymäprosentti on toivottavaa, sillä se kertoo kuidun joustavuudesta.

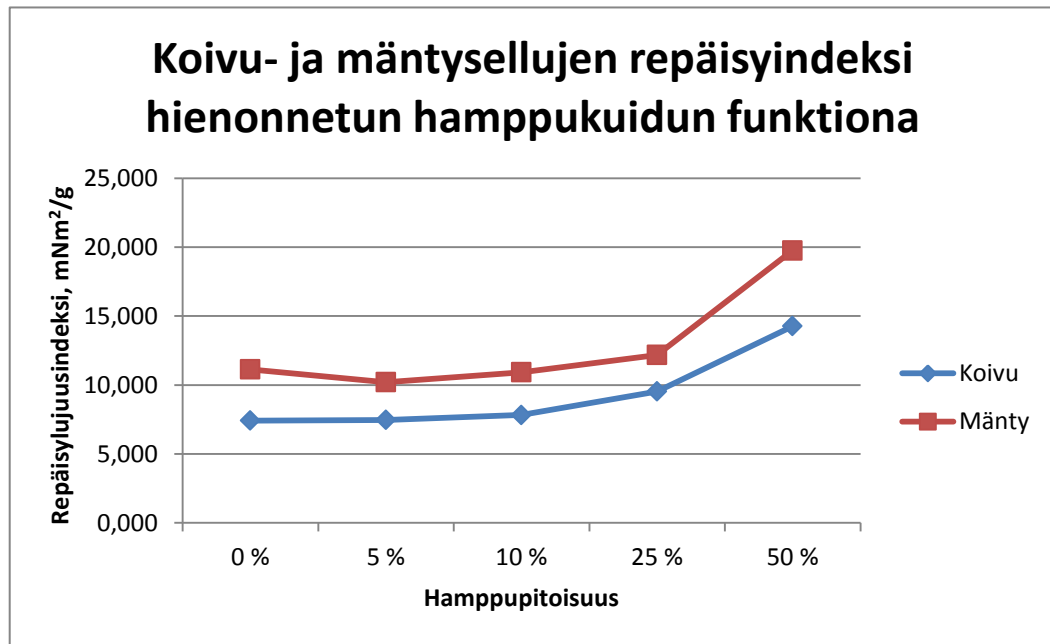


Kuva 9.7. Hienonnetun hamppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen murtovenymään.

Kuvasta 9.7 voidaan päätellä kokeessa käytetyn hamppukuidun vaikuttavan koearkkinen joustavuuteen jonkin verran negatiivisesti. Murtovenymä laskee selvästi molemmilla puuselluilla jo 5 prosentin pitoisuudessa, minkä jälkeen venymä pysyy suhteellisen vakiona. Tämä tulos selventää ensimmäisen kokeen tuloksia, joista ei juuri voitu tehdä johtopäätöksiä.

### 9.4.3 Repäisylujuus

Repäisylujuus kuvastaa lähinnä sitä, miten hyvin paperi kestää paperi- ja painokoneella ajamista, mutta myös paperin yleistä lujuutta. Vetolujuuden tavoin repäisylujuuksista lasketaan indeksiarvot, jolloin tuloksista poistetaan eri paperilaatujen väliset neliöpainojen vaihtelut ja tulokset ovat vertailukelpoisemmat.



Kuva 9.8. Hienonnetun hammppukuidun vaikutus koivu- ja mäntysellujen repäisylujuusindeksiin.

Kuvasta 9.8 voidaan todeta, ettei hienomman hampun repäisylujuutta parantava vaikutus ole niin vahva kuin ensimmäisen kokeen pidemmällä kuidulla. Yleinen trendi on selvästi nouseva, mutta 5 ja 10 prosentin pitoisuuksissa hienonnettu hamppu jopa heikentää männyn repäisylujuutta. Koivulla vaikutus on ainoastaan positiivinen. Mainittakoon, että sataprosenttisen hammppupaperin repäisyindeksi oli 24,23 mNm<sup>2</sup>/g eli aivan kuvaajan asteikon yläpäässä.

Verrattuna ensimmäiseen kokeeseen hampun hienontaminen vaikuttaisi heikentäneen sen repäisylujuusominaisuuksia. Pienissä pitoisuuksissa hienonnettu hamppu ei juuri parantanut puusellujen repäisylujuutta, toisin kuin ensimmäisessä kokeessa. Lyhyemmän hammppukuidun voidaan kuitenkin todeta soveltuvan puusellujen repäisylujuuden lisäämiseen, ottaen huomioon tulosten selkeän nousevan trendin, kuin myös sen tasaisemman laadun muilla osa-alueilla; hienonnettu hammppukuitu ei paranna repäisylujuutta paperin muiden ominaisuuksien, kuten pinnan laadun ja formaation, kustannuksella.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Molempien kokeiden perusteella voidaan päätellä, että vain vähän käsitelty, pitkä kevätkorjattu hammppukuitu sellaisenaan on liian karkeaa ja heterogeenistä käytännölliseksi primääriseksi paperimassaksi, eikä se myöskään ole erityisen hyvä puusellujen armeerausmassa. Ensimmäisessä kokeessa vertailuna käytetyllä mäntykuidulla saatiin johdonmukaisemmat tulokset. Hampun useiden senttimetrien pituiset kuidut lisäävät etenkin paperin repäisylujuutta ja sitä kautta ajettavuutta paperikoneella, mutta ylipitkien kuitujen aiheuttama hyvinkin heikko formaatio huonontaa paperin muita lujuusominaisuuksia ja pinnan laatua. Tulee kuitenkin muistaa, ettei kokeen hammppu ollut käynyt läpi samaa kemiallista tai mekaanista prosessointia kuin puusellut, ja dry line menetelmän käyttö (kevätkorjaus) sadonkorjuussa heikensi kuidun lujuusominaisuuksia.

Parhaat tulokset saatiin 5 – 10 prosentin pitoisuuksissa, jolloin hampun parhaat ominaisuudet, lähinnä bulkki, keveys, opasiteetti ja lujuusominaisuudet, tulivat esiin huonontamatta kohtuuttomasti paperin muita ominaisuuksia, lukuun ottamatta vaaleutta ja huokoisuutta, joita hammppu huononsi systemaattisesti pienissäkin pitoisuuksissa. Alle 30 prosentin pitoisuuksissa hammppu paransi myös puusellujen kiiltoa kolmessa tapauksessa neljästä.

Paremmat tulokset pienissä pitoisuuksissa johtuvat ilmeisesti siitä, että pienissä pitoisuuksissa arkeille ei päässyt liikaa pitkiä kuituja huonontamaan niiden formaatiota, vaan homogeenisen hienoaineksen osuus oli suurempi. Tämä puoltaa myös työn hypoteesia; pitkä hammppukuitu toimii puusellujen armeerauksessa parhaiten pienissä, 5 – 10 %:n pitoisuuksissa.

25 – 50 prosentin pitoisuuksissa ylipitkät kuidut ja niiden epätasainen jakautuminen arkeille lisäsi tulosten hajontaa, heikensi vetolujuutta ja hienopapereilta yleisesti vaadittua sileyttä ja vaaleutta.

Kokeiden perusteella yleistävänä johtopäätöksenä voidaan todeta, että karkeakin hammppukuitu tekee puupohjaisesta paperimassasta kevyempää, ja se nostaa paperin bulkkia, kiiltoa, opasiteettia ja repäisylujuutta. Negatiivisesti se vaikuttaa erityisesti paperin vaaleuteen ja huonon arkkiformaation kautta sileyteen, vetolujuuteen ja mur-

totyöhön. Vaikutukset olivat kuitenkin vaihtelevia; pienissä pitoisuuksissa karkea hamppu jopa paransi arkkien vetolujuutta ja sileyttä.

Koska kokeissa käytettiin vain kahta erityyppistä hamppukuitua ja koearkkien otanta oli suhteellisen pieni (6 kpl/laatu), tutkimuksen tuloksia ei voida varauksetta yleistää hamppukuituun yleensä. Lisätutkimukset etenkin erityyppisillä ja pidemmälle jalostetuilla kuitutyypeillä ovat tarpeen.

Tasalaatuisen, homogeenisen ja käytännöllisen paperimassan tuottaminen hamppukuidusta vaatisi kuituaineksen jatkojalostusta ja -kokeita. Jotta hamppupaperi pääsisi oikeuksiinsa, sen kuituaines tulisi erotella ja jakaa eri kokoluokkiin, jolloin voitaisiin löytää dimensioiltaan toimivin, homogeeninen armeerausmassa. Erottamalla ja luokittelemalla kuidun hienoaineksen voitaisiin testata myös hampun muita mahdollisia kuitutyyppisiä ja niistä valmistettavia paperilaatuja, joita hampulla jo sen historiankin perusteella on useita.

Mahdollisesti työläs ja kallis paperikuidun erottelu- ja muokkausvaihe voidaan ohittaa valmistamalla paperimassa neitseellisen kuidun sijaan käytetystä hamppukankaasta, kuten historia on huippulaatuisella lumppupaperilla osoittanut. Lumppupaperikuitu on ikään kuin valmiiksi työstetty helpommin käsiteltäväksi, ja se voidaan luokitella suhteellisen helposti eri kuituluokkiin kankaan hienouden perusteella. Kierrätystuotteena lumppupaperi on perusluonteeltaan myös ympäristöystävällistä.

Laadukkaan ja ekologisen lumppupaperin suurimittakaavaisempi teollinen valmistaminen on kuitenkin tällä hetkellä mahdotonta siitä yksinkertaisesta syystä, että nouseesta suosiostaan huolimatta hamppukankaita käytetään edelleen hyvin marginaalisesti. Mielenkiintoista olisi kuitenkin tutkia lumppupaperin ominaisuuksia ja käytännön sovelluksia.

Vaikka tässä työssä käytetty hamppukuitu oli jokseenkin liian karkeaa armeerausmassaksi tai primääriseksi paperimassaksi, työn tulokset palvelevat hyvänä perustana jatkotutkimuksille.

## 11 LOPPUSANAT

On sääli, että perinteinen ja monikäyttöinen hamppu jäi 1900-luvun eksponentiaalisen teollisen kehityksen ulkopuolelle. Tähän vaikuttivat paljon uusien raaka-aineiden kehitys – öljypohjainen muovi, synteettiset kuidut, puuvilla ja puupohjaisen paperimasan kemiallinen jalostus. Ei kuitenkaan voida kiistää teollisen hampun epäoikeudenmukaisen huumekasviksi leimaamisen ja sitä seuranneen, monin paikoin totaalisen viljelykiellon tuhoisaa vaikutusta hampputeollisuuteen.

Vaikka asenteet hamppua kohtaan vaikuttavat yleisesti muuttuneen realistisemmiksi ja vähemmän ennakkoluuloisiksi, osittain tietämättömyyden vuoksi tänäkin päivänä teollista hamppua vähätellään, sitä ei pidetä realistisena vaihtoehtona eikä sen puolestapuhujia oteta välttämättä vakavasti. Tämä on melko ymmärrettävää, sillä turhankin idealistiset hamppuaktivistit puolestaan jopa liioittelevat teollisen hampun etuja ja eräät hamppuaktivistit kannattavat samalla myös päihdekannabiksen vapaata käyttöä, mikä voi lisätä mielikuvaa teollisesta hampusta huumekasvina.

Hampun merkittävä teollinen historia lisää sen uskottavuutta, mutta tietääkseni koulussa tästä historiasta ei juuri puhuta, ja hampusta annetaan yksipuolinen kuva huumevalistuksessa. On myös tapauksia, joissa hampun historiaa on suoranaisesti peitelty. Tästä mainittakoon yhdysvaltalainen historiallinen koulutus- ja tutkimuslaitos, Smithsonian-instituutti, ja siellä pidetyt näyttelyt ”Elämää Yhdysvalloissa: 1780-luvulta 1800-luvulle” ja ”Amerikkalainen merenkulkunäyttely 1492 – 1850”. Näiden historiallisten näyttelyiden kaikista kuitumateriaalista 50 – 80 % oli hamppukuitua, erityisesti paperit, köydet, purjeet ja tekstiilit, mutta Smithsonian instituutti oli poistanut *kaikki* maininnat hampusta. Hamppuun viitattiin ainoastaan ”muina kuituina”, kun taas mm. pellava, puuvilla, villa, sisal, juutti ja manila oli erityisesti mainittu. Ennen vuotta 1800 esimerkiksi puuvillan osuus kuituista oli vain 1 %, kun taas hampun osuus oli noin 80 %. (Herer, 2007, luku 16)

Kun museon kuraattorilta kysyttiin asiasta, hän vastasi: ”Lasten ei tarvitse tietää hampusta enää, se hämmentää heitä.” Instituutin johtaja puolestaan sanoi, että vaikka hamppu olikin ollut ensisijainen kuitu, ”me emme ole kuitumuseo.” Myöhemmin instituutin sihteeri kirjoitti näistä näyttelyistä: ”Varhaisten Yhdysvaltain kuitujen luettelointia ei nähdä osana urakkaamme.” (Herer, 2007, luku 16)

Hamppukuidun laajamittaisempaa käyttöä paperiteollisuudessa vaikeuttaa myös hamppupaperin nykyisen tuotannon korkea hinta suhteessa puupaperiin. Syitä hampun korkeaan hintaan on useita. Sen tuotanto on hyvin vähäistä suhteessa puukuituun. Hampun prosessointi vaatii omat jalostuslaitteistonsa, jolloin olemassa olevaa puunjalostuksen tai paperiteollisuuden infrastruktuuria ei voida juurikaan hyödyntää. Hampupaperi valmistetaan niinikuidusta ja hienoaineksesta, jonka erottelu varren päistäreestä lisää kustannuksia. Niinikuitua hamppusadosta on vain noin puolet, mutta tulevaisuudessa voi olla mahdollista pulperoida hampun rungot kokonaisina, mikä laskisi oleellisesti tuotannon kustannuksia. (Small & Marcus, 2002)

Hamppusato saadaan yleensä kerran vuodessa, jolloin sen ympärivuotinen saanto vaatii varastointia. Hampun varret vievät puuhaketta enemmän tilaa, mikä lisää varastointi-, käsittely- ja kuljetuskustannuksia. (Small & Marcus, 2002.) Kuitupuuta puolestaan paperiteollisuus saa halvalla metsänhakkuiden sivutuotteena. Kuitupuun tuotanto esimerkiksi muulle metsätaloudelle sopimattomalla maalla voi olla suhteellisen tuottoisaa ja myös ympäristöystävällistä.

Vaikka tänä päivänä hampun viljelyyn on mahdollista saada EU-tukea, suorasti tai epäsuorasti markkinasuhteisiin vaikuttavat puu- ja paperiteollisuuden saamat taloudelliset avustukset ja tuet, joita hampputeollisuudella ei ole (Small & Marcus, 2002). Hampun ”huumetaustaan” liittyvät ennakkoluulot ja muut sosiaaliset ongelmat ovat myös tosiasia: haluavatko ihmiset ylipäänsä olla tekemisissä tämän kasvin kanssa?

Hampusta on tehty viime aikoina Suomessa useita tutkimuksia ja projekteja, joista mainittakoon Juankosken kaupungin Keksi Kuituhamppu! –ideakilpailu (2012), Turun ammattikorkeakoulun bioalojen ja liiketaloustieteiden hyvin laaja HempEnergy –energiahamppuprojekti (2012-), joka on laajentunut koskemaan myös hampun muita käyttömuotoja, Tiina Härkäsalmen kattava tutkimus ”Runkokuituja lyhytkuitumenetelmin – kohti pellavan ja hampun ympäristönmyötäistä tuotteistamista” (Taideteollinen korkeakoulu, 2008), Noora Norokytön opinnäytetyö ”Hyötyhampun haasteet ja mahdollisuudet Suomessa” (Turun ammattikorkeakoulu, 2010) sekä niin ikään Norokytön ja Jari Hietarannan vetämä kolmivuotinen, vuoden 2013 lopussa päättyvä Hampusta hyötyä –projekti, jossa testataan kokonaisvaltaisen hampun tuotantoketjun sijoittamista projektialueelle Varsinais-Suomeen.

Ottaen huomioon kuituhampun runsaan tuoton, kannattavan kotimaisen viljelyn, ekologisen ja luontoystävällisen kasvutavan sekä hyvin monipuoliset jalostusmahdollisuudet ei ole ihme, että hamppualalla on nostetta myös Suomessa. Sen tulevaisuus riippuu kuitenkin niin monesta tekijästä, että olen vain varovaisen optimistinen. Vasta aika näyttää, ansaitseeko hamppu todella lempinimen ”maaseudun tulevaisuus”.

Tuotanto- ja jalostusketjujen puutteista johtuen hampputuotteiden hinta on vielä korkea. Vaikka kasvava tuotanto ja jalostuksen kehitys todennäköisesti laskevat kuidun hintaa, se tuskin laskee puuhakkeen tasolle. Puutavaran valta-asema paperiteollisuudessa vaikuttaa edelleen järkkymättömältä.

Kuidun laadussa, lujuudessa ja monipuolisuudessa hamppu kuitenkin on kilpailukykyinen. Paperiteollisuudessa sen käyttö vaikuttaisi sopivan erikoispapereihin, kuten savuke- ja setelipapereihin, lujuutta vaativiin pakkauspapereihin, pitkään säilyviin taidepapereihin, maalaus-kankaisiin tai tässäkin työssä tutkittuun puusellujen armeeraukseen.

Lopuksi haluan vielä esittää tunnetun hamppuaktivistin Jack Hererin väittämän, jonka väääräksi osoittamisesta hollantilainen Hempflax-yhtiö tarjoaa 100 000 euroa. Tähän mennessä haastajia ei ole ollut.

*'Jos kasvihuoneilmiötä jouduttaisiin rajoittamaan kieltämällä kaikki fossiiliset polttoaineet eikä puita saisi käyttää aavikoitumisen vuoksi, niin olisi vielä yksi luonnon raaka-aine, josta voisi valmistaa polttoainetta, paperia, ruokaa, vaatteita ja rakennusmateriaalia ilman, että maailma saastuisi ja ilmakehä vaurioituisi. Se on hamppu.'*

(Suomentanut: ENCOD, Tiedote 34, lokakuu 2007)



## LÄHTEET

Arajärvi, Niklas. 2010. Koivun ja eräiden trooppisten sulfaattimassojen jauhatuksen vaikutus niiden paperiteknisiin ominaisuuksiin. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Biggs, Jeremy. 2004. Can hemp replace trees as a major source for paper? Hemphasis-lehden verkkojulkaisu. Saatavissa:

[http://www.hemphysis.net/Paper/paper\\_files/hempvtree.html](http://www.hemphysis.net/Paper/paper_files/hempvtree.html). [viitattu 20.6.2012]

Boncamper, Irma. 1999. Tekstiilioppi - kuituraaka-aineet. Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu.

ENCOD. 2007. Tiedote 34: ”Hamppu voisi pelastaa maailman”. Saatavissa:

<http://www.encod.org/info/ENCODin-TIEDOTE-34.html> [viitattu 21.1.2013]

Hamppu.info-verkkosivut. Saatavissa: <http://hamppu.info/hyotykaytto> [viitattu 14.11.2012]

Herer, Jack. 2007 - 2008. Keisarilla ei ole vaatteita. 11. uudistettu laitos, 16. painos, 1. suomennettu julkaisu. Saatavissa: <http://emperor.wikidot.com>

Huopalainen, Mia. s.a. Hieskoivun esittely. Helsingin Yliopiston Metsätieteiden laitoksen virtuaaliarboretum. Saatavissa:

[http://www.helsinki.fi/metsatieteet/arboretum/puulajit/betula\\_pubescens.html](http://www.helsinki.fi/metsatieteet/arboretum/puulajit/betula_pubescens.html) [viitattu 29.11.2012.]

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. s. 54. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Hämäläinen, Markus. 2012. Metsä Tissue Oyj Mäntän prosessi-insinööri.

Härkäsalmi, Tiina. 2008. Runkokuituja lyhytkuitumenetelmin – kohti pellavan ja hamppun ympäristönmyötäistä tuotteistamista. Helsinki: Taideteollinen Korkeakoulu.

Jones, Jeff & Herer, Jack. 1999. Dokumenttielokuva: "Emperor of Hemp: The Jack Herer Story"

KnowPap 3.0: Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö. 2000. Savonia ammattikorkeakoulu, VTT Automaatio, TKK Paperitekniikan laboratorio ja TKK Prosessiohjauksen ja automaation laboratorio.

Korhonen, Kari T. 2008. s. 9. Tapion taskukirja. Metsäkustannus. 25. uudistettu painos.

Laitinen, Erkki. 1995. Hamppu kulttuurikasvina, Hankasalmen hamppuseminaari. Luontotekstin julkaissut: Kukinto AY. Saatavissa:

<http://www.kukin.to/tietosivut/hamppu/pohhamppuhistoria.html> [viitattu 19.11.2012]

Lassila & Tikanoja Oyj. 2012. Toimistokeräyspaperi. Saatavissa:

[www.lajitteluapuri.fi/yritykset/paperit\\_ja\\_pahvi/toimistokerayspaperi](http://www.lajitteluapuri.fi/yritykset/paperit_ja_pahvi/toimistokerayspaperi) [viitattu 7.1.2013]

Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Tiedote: Kuitupellava ja -hamppu 15.5.2011.

Saatavissa:

<http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/maatalous/maatalouspolitiikka/markkinajarjestelytjasetehtavat/kuitupellavajahamppu/> [viitattu 16.10.2012]

Meijer, E.P.M. 1995. Fibre hemp cultivars: A survey of origin, ancestry, availability and brief agronomic characteristics. Journal of the International Hemp Association, s. 68.

Metsäteollisuus ry. 2012. Artikkelit: Kierrätyskuitu on arvokas raaka-aine. Päivitetty 16.11.2012. [viitattu 4.1.2013] Saatavissa:

<http://www.metsateollisuus.fi/infokortit/kierratyskuitu/Sivut/default.aspx>

Mononen, Kauko. 2012. Tekniikan lisensiaatti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Neuvo, Mikko. 2012. HempEnergy –projektin tietosivu. Turun ammattikorkeakoulu.

Saatavilla: <http://energiahamppu.turkuamk.fi/> [viitattu 14.10.2012] Lähteen luotettavuus varmistettu sähköpostilla.

Nevalainen, Heidi & Klemola, Sanna. 2007. Erikoispeltokasvit – viljelytekniikka. Savonia AMK.

Saastamoinen, M., Vesanen, K. & Saarinen, J. 2011. Luonnonkuituja tuottavien kasvien tuotanto Sastamalan ympäristössä. Sastamalan koulutuskuntayhtymä. Saatavissa: <http://www.luonnonkuitu.fi/Dokumentit/Luonnonkuituja%20tuottavien%20kasvien%20tuotanto%20Sastamalan%20ymparistossa.pdf> [viitattu 15.11.2012]

Sankari, Hannele. 2000. Towards Bast Fibre Production in Finland: Stem and Fibre Yields and Mechanical Fibre Properties of Selected Fibre Hemp and Linseed Genotypes. Helsingin yliopisto. Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/kastu/vk/sankari/towardsb.pdf> [viitattu 30.10.2012]

Seinelä, Merja. 2012. Metsävarat ja raaka-aineet: keräyspaperi, Metsäteollisuus RY: Metsäteollisuus tilastoina ja graafeina. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/Metsavarat/Forms/AllItems.aspx> [viitattu 8.11.2012]

Seppälä, Niina. 1998. Hamppu – Mahdollisuuksien kasvi, Varsinais-Suomen Maatalousammattioppilaitos.

Sipilä, Antti. s.a. Metsämännyn esittely. Helsingin Yliopiston Metsätieteiden laitoksen virtuaaliarboretum. Saatavissa: [http://www.helsinki.fi/metsatieteet/arboretum/puulajit/pinus\\_sylvestris.html](http://www.helsinki.fi/metsatieteet/arboretum/puulajit/pinus_sylvestris.html) [viitattu 20.11.2012]

Small, Ernest & Marcus, David. 2002. Hemp: A new crop with new uses for North America. s. 284 – 326. (J. Janick and A. Whipkey (eds.) Trends in new crops and new uses. American Society for Horticultural Science. Alexandria, Virginia: ASHS Press.

Suomen Keräystuote Oy. s.a. Keräyspaperin lajittelu. Saatavissa: <http://www.suomenkeraystuote.fi/fi/lajittelu/> [viitattu 7.1.2013]

TKK Puunjalostustekniikan osasto. 2007. Aalto-yliopiston luentomateriaali Puu-19.210. Saatavissa: [puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L9.pdf](http://puukemia.tkk.fi/fi/opinnot/kurssit/19-1000/luennot/L9.pdf) [viitattu 9.1.2013]

Valkonen, Sauli. 2008. Tapion taskukirja. Metsäkustannus. 25. uudistettu painos.

West, David. P. 1998. Hemp and Marijuana: Myths & Realities. North American Hemp Council. Saatavissa: [http://votehemp.com/PDF/myths\\_facts.pdf](http://votehemp.com/PDF/myths_facts.pdf) [viitattu 20.8.2012]

Wikipedia Commons. 2009. Kuvan ladannut käyttäjä *Fenrisulfir*. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cannabis\\_Sativa\\_Querschnitt.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cannabis_Sativa_Querschnitt.JPG) [viitattu 21.1.2013]

Yhteenvetotaulukko I Kokeen tuloksista

Liite 1

	neiliömassa, g/m <sup>2</sup>	paksuus, um	tiheys, kg/dm <sup>3</sup>	bulkki, dm <sup>3</sup> /g	vaaleus, %	opasiteetti, %	kiilto, %	sileyys, PPS 1,0 Mpa	karheus, ml/min	ilmanläpäisevyys, ml/min	vetolujuus, kN/m	vetoindeksi, Nm/g	murtovenymä, %	murtotyö, J/m <sup>2</sup>	repäisylujuus, mN	repäisyindeksi, mNm <sup>2</sup> /g
<b>100 toimisto</b>	93,9	177,2	0,529	1,893	41,00	95,54	3,6	10,66	1948	874	3,877	0,0413	3,86	107,00	873	9,303
<b>90to 10ha</b>	93,0	152,5	0,618	1,641	33,33	91,69	3,7	10,58	2116	216	3,898	0,0416	3,01	87,12	1008	10,818
<b>70to 30ha</b>	98,5	206,0	0,510	2,029	17,53	93,68	3,5	11,46	2356	89	4,999	0,0519	3,73	131,10	1615	16,825
<b>50to 50ha</b>	104,5	229,4	0,460	2,193	-4,27	92,82	3,6	11,66	2972	71	4,342	0,0419	3,20	98,80	1897	18,568

<b>100 koti</b>	117,1	281,1	0,415	2,420	19,51	101,30	3,4	10,58	2336	787	3,895	0,0324	3,14	86,64	1086	9,276
<b>90koti 10ha</b>	116,5	291,7	0,401	2,502	15,99	99,43	3,5	10,95	2682	890	4,078	0,0353	3,84	110,80	1496	12,942
<b>70koti 30ha</b>	99,8	251,2	0,398	2,520	12,14	98,77	3,7	10,68	2280	615	3,146	0,0318	2,95	65,79	1371	13,910
<b>50koti 50ha</b>	123,9	313,7	0,401	2,506	5,83	99,08	3,4	12,08	3011	302	4,036	0,0333	2,94	84,43	1900	16,481

<b>100 toimisto</b>	93,9	177,2	0,529	1,893	41,00	95,54	3,6	10,66	1948	874	3,877	0,0413	3,86	107,00	873	9,303
<b>90to 10mä</b>	83,7	141,5	0,592	1,695	41,93	86,24	4,0	10,20	1660	481	4,326	0,0510	3,48	103,00	563	6,757
<b>70to 30mä</b>	103,5	151,8	0,682	1,466	45,23	88,64	4,1	10,65	1850	175	6,965	0,0673	3,97	182,30	1004	9,710
<b>50to 50mä</b>	111,5	154,2	0,723	1,384	51,92	86,43	4,1	11,31	2302	34	9,862	0,0885	4,04	251,40	1256	11,270

<b>100 kark.hamppu</b>	184,0	469,7	0,389	2,604	-48,81	117,03	3,3	13,81	3516	497	5,623	0,0307	1,62	67,53	ei revennyt	ei revennyt
------------------------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-----	-------	------	-----	-------	--------	------	-------	-------------	-------------

Yhteenvetotaulukko II Kokeen tuloksista

Liite 2

	neliömassa, g/m <sup>2</sup>	paksuus, um	tiheys, kg/dm <sup>3</sup>	bulkki, dm <sup>3</sup> /g	vaaleus, %	opasiteetti, %	kiilto, %	sileyys, PPS 1.0 Mpa	karheus,, ml/min	ilmanläpäisevyys ml/min	vetolujuus, kN/m	vetoindeksi, Nm/g	venymä, %	murtotyö, J/m <sup>2</sup>	repäisyjujuus, mN	repäisyindeksi, mNm <sup>2</sup> /g
<b>100 koivu</b>	104	167	0,621	1,612	60,00	83,55	3,7	11,25	2373	490	6,577	0,0637	4,16	183,25	774	7,426
<b>95ko 5ha</b>	103	167	0,617	1,621	51,08	87,74	3,5	11,15	2032	402	5,406	0,0524	3,41	131,55	771	7,467
<b>90ko 10ha</b>	100	168	0,599	1,674	44,25	89,42	3,5	11,04	2075	346	5,221	0,0521	3,20	123,30	784	7,826
<b>75ko 25ha</b>	100	190	0,534	1,885	27,64	92,90	3,4	11,57	2503	247	5,124	0,0511	3,49	129,70	962	9,534
<b>50ko 50ha</b>	95	206	0,461	2,175	3,78	94,30	3,2	12,24	3088	163	4,323	0,0457	3,36	105,40	1365	14,267
<b>100 mänty</b>	104	163	0,639	1,565	52,74	83,20	4,0	11,35	2016	94	9,423	0,0904	4,70	270,80	1162	11,140
<b>95mä 5ha</b>	98	147	0,670	1,493	45,61	80,33	4,6	11,12	1951	49	9,261	0,0944	3,83	223,10	999	10,210
<b>90mä 10ha</b>	98	150	0,657	1,526	32,93	83,25	4,2	11,30	2033	25	9,020	0,0921	4,09	230,45	1080	10,923
<b>75mä 25ha</b>	91	149	0,613	1,642	17,44	84,03	4,2	11,51	2408	18	7,989	0,0880	3,92	200,95	1127	12,180
<b>50mä 50ha</b>	100	195	0,520	1,943	-9,48	91,10	3,8	12,52	3097	12	6,081	0,0613	3,44	144,50	2012	19,769
<b>100 hien. hamppu</b>	85	201	0,424	2,368	-38,91	92,63	3,2	12,93	3072	12	2,904	0,0351	1,78	37,65	2130	24,233

**Näyte: 100 % karkea hamppu**

Karkeiden 100 % hamppuarkkien tulokset eivät ole luotettavia johtuen hajonnasta ja pienestä otoksesta. Pitkä käsittelemätön hamppu ei yksinään sovellu paperin valmistukseen.

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	216,6	152,4					184,0		
Paksuus	um	497,6	441,8					469,7		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,433	0,345					0,389		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,309	2,899					2,604		
Vaaheus	%	min -64,42 max -25,06						- 48,81	13,35	
Opasiteetti	%	min 105,48 max 128,15						117,03	10,40	
Kiilto	%	3,3	3,2	3,5	3,3	3,2	3,3	3,3	0,11	
Sileys, PPS	0,5 Mpa	15,00	14,90	15,00	15,00	15,00	15,00	14,98		
	1,0 Mpa	15,00	15,00	13,50	13,17	13,88	13,53	13,81		
	2,0 Mpa	14,72	15,00	15,00	15,00	14,38	13,44	14,59		
Karheus	ml/min	3420	3469	3450	3584	3550	3550	3516	64,2	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	250	223	1888	585	8	8	497	717	144,4 %
Vetolujuus	kN/m	3,801	3,012	7,098	8,571			5,623	2,644	47 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0210	0,0164	0,0386	0,0466			0,0307		
Venymä	%	1,70	1,25	2,02	1,50			1,62	0,32	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	45,96	24,87	104,50	94,77			67,53	38,27	
Repäisylujuus	mN	yli asteikon								
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	yli asteikon								
Tuhkapitoisuus	%							8,1		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 100 % Kotikeräys-RCF

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	133,9					117,1		
Paksuus	um	255,8	306,4					281,1		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,392	0,437					0,415		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,551	2,288					2,420		
Vaaleus	%	min 17,56 max 21,07						19,51	1,40	
Opasiteetti	%	min 100,31 max 102,2						101,30	0,72	
Kiilto	%	3,4	3,4	3,2	3,7	3,6	3,2	3,4	0,20	
Sileys	0,5 Mpa	12,37	12,55	12,52	12,46	12,58	12,43	12,48		
	1,0 Mpa	10,47	10,19	10,33	11,16	10,95	10,39	10,58		
	2,0 Mpa	8,37	7,91	7,96	8,05	8,05	7,45	7,96		
Karheus	ml/min	2370	1869	2175	2930	2465	2313	2336	331,0	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	890	853	973	638	664	700	787	137	17,4 %
Vetolujuus	kN/m	4,648	2,294	4,965	3,272			3,895	1,087	27,9 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0397	0,0196	0,0424	0,0279			0,0324		
Venymä	%	3,04	2,54	3,63	3,34			3,14	0,47	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	97,36	47,17	124,40	77,67			86,64	32,53	40,0 %
Repäisylujuus	mN	1162	1071	1000	1040	1202	1044	1086	79	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,921	9,144	8,538	8,879	10,263	8,914	9,276		
Tuhkapitoisuus	%							8,9		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio



## Näyte: 100 % Toimistokeräys-RCF

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	79,9	107,8					93,9		
Paksuus	um	155,0	199,4					177,2		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,516	0,541					0,529		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,938	1,848					1,893		
Vaaleus	%	min 36,41			max 45,42			41,00	4,71	
Opasiteetti	%	min 91,18			max 99,78			95,54	4,56	
Kiilto	%	3,6	3,7	3,7	3,5	3,4	3,5	3,6	0,12	
Sileys	0,5 Mpa	12,01	12,52	12,74	12,28	12,31	11,98	12,30		
	1,0 Mpa	11,22	11,07	10,19	10,15	10,66	10,69	10,66		
	2,0 Mpa	8,57	9,15	8,48	8,31	8,34	8,40	8,54		
Karheus	ml/min	1533	1748	1942	1936	2234	2050	1948	253,8	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	913	700	763	869	860	1085	874	122	14,0 %
Vetolujuus	kN/m	4,689	2,792	4,786	3,240			3,877	1,011	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0499	0,0297	0,0510	0,0345			0,4130		
Venymä	%	4,22	3,02	4,55	3,65			3,86	0,67	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	136,90	58,30	149,50	83,33			107,00	43,32	
Repäisylujuus	mN	879	891	826	942	807	895	873	49	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,363	9,491	8,798	10,034	8,596	9,533	9,303		
Tuhkapitoisuus	%							8,680		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 90 % Koti-RCF, 10 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	107,8	137,6	115,3	111,5	115,3	111,5	116,5		
Paksuus	um	267,2	353,2	281,8	305,6	270,0	272,2	291,7		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,403	0,390	0,409	0,365	0,427	0,410	0,401		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,481	2,564	2,445	2,740	2,342	2,439	2,502		
Vaaleus	%	min 14,75 max 18,52						15,99	1,39	
Opasiteetti	%	min 97,66 max 102,6						99,43	2,14	
Kiilto	%	3,2	3,3	3,5	3,5	3,5	3,7	3,5	0,18	
Sileys	0,5 Mpa	12,83	15,00	13,51	12,54	13,42	11,84	13,19		
	1,0 Mpa	11,04	11,60	11,34	10,71	11,14	9,85	10,95		
	2,0 Mpa	8,01	9,43	8,65	8,08	8,45	7,38	8,33		
Karheus	ml/min	min 1956 max 3100						2628	449,0	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	910	783	746	1172	913	822	890	153	
Vetolujuus	kN/m	3,777	3,907	4,005	4,322	4,322	4,135	4,078	0,223	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0350	0,0284	0,0347	0,0388	0,0375	0,0371	0,0353		
Venymä	%	4,07	3,88	3,78	3,81	3,98	3,51	3,84	0,19	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	107,30	107,10	107,20	119,20	122,30	101,60	110,80	8,09	
Repäisylujuus	mN	1194	1357	1552	1601	1586	1688	1496	184	
Repäisy indeksi	mNm <sup>2</sup> /g	11,076	9,862	13,461	14,359	13,755	15,139	12,942		
Tuhkapitoisuus	%							11,2		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 70 % Koti-RCF, 30 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	93,0	104,1	100,4	85,5	115,3	99,8		
Paksuus	um	275,0	249,8	241,0	237,8	213,4	290,0	251,2		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,365	0,372	0,432	0,422	0,401	0,398	0,398		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,740	2,688	2,315	2,370	2,494	2,513	2,520		
Vaaleus	%	min 10,63 max 13,66						12,14	1,11	
Opasiteetti	%	min 95,02 max 100,75						98,77	2,10	
Kiilto	%	3,5	3,6	3,7	3,9	3,5	3,9	3,7	0,18	
Sileys	0,5 Mpa	12,51	13,05	12,48	12,19	12,54	13,05	12,64		
	1,0 Mpa	10,52	10,55	10,77	10,55	10,84	10,84	10,68		
	2,0 Mpa	8,31	8,38	8,36	8,17	8,27	8,52	8,34		
Karheus	ml/min	2950	2405	2170	2000	2240	2255	2280	302,8	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	726	670	595	565	600	540	615	71	
Vetolujuus	kN/m	3,411	2,629	3,533	3,403	3,215	2,686	3,146	0,392	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0340	0,0283	0,0339	0,0338	0,0376	0,0233	0,0318		
Venymä	%	3,96	2,53	3,12	2,84	2,61	2,60	2,95	0,54	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	94,31	46,25	77,96	69,04	59,14	48,08	65,79	18,51	
Repäisylujuus	mN	1684	1320	1266	1342	1423	1190	1371	173	
Repäisy indeksi	mNm <sup>2</sup> /g	16,773	14,194	12,161	13,367	16,643	10,321	13,910		
Tuhkapitoisuus	%							9,9		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 50 % Koti-RCF, 50 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	115,3	104,1	148,7	107,8	167,3	123,9		
Paksuus	um	219,8	293,8	255,2	382,8	274,0	456,4	313,7		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,457	0,392	0,408	0,388	0,393	0,367	0,401		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,188	2,551	2,451	2,577	2,545	2,725	2,506		
Vaaleus	%	min 0,27 max 8,22						5,83	2,96	
Opasiteetti	%	min 94,00 max 102,92						99,08	3,22	
Kiilto	%	3,7	3,7	3,6	3,5	2,7	3,3	3,4	0,38	
Sileys	0,5 Mpa	13,02	13,88	13,44	15,00	13,87	15,00	14,03		
	1,0 Mpa	11,10	11,28	10,91	11,98	12,22	15,00	12,08		
	2,0 Mpa	9,17	9,93	8,14	11,80	9,84	11,95	10,14		
Karheus	ml/min	2750	2865	2319	3350	3200	3500	3011		
Ilmanläpäisevyys	ml/min	305	315	370	240	308	270	302	43,6	
Vetolujuus	kN/m	4,037	4,339	3,565	4,746	3,272	4,257	4,036	0,538	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0402	0,0376	0,0343	0,0320	0,0305	0,0255	0,0334		
Venymä	%	3,39	3,01	2,78	2,91	2,64	2,90	2,94	0,25	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	96,50	91,92	69,48	99,72	62,49	86,47	84,43	15,13	
Repäisylujuus	mN	2692	2058	1588	1513	2137	1410	1900	489	
Repäisy indeksi	mNm <sup>2</sup> /g	26,813	17,851	15,255	10,175	19,824	8,428	16,481		
Tuhkapitoisuus	%							8,9		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 90 % Toimisto-RCF, 10 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	89,2	93,0	89,2	89,2	94,8	102,3	93,0		
Paksuus	um	124,4	191,8	145,2	142,2	154,2	157,5	152,5		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,717	0,485	0,615	0,627	0,615	0,649	0,618		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,395	2,062	1,626	1,595	1,626	1,541	1,641		
Vaaleus	%	min 30,74 max 35,03						33,33	1,85	
Opasiteetti	%	min 90,03 max 93,13						91,60	0,98	
Kiilto	%	3,8	3,9	3,7	3,4	3,9	3,6	3,7	0,19	
Sileys	0,5 Mpa	11,81	11,74	12,28	12,17	11,96	12,78	12,12		
	1,0 Mpa	10,09	10,38	10,74	10,67	10,71	10,87	10,58		
	2,0 Mpa	8,49	8,66	9,13	8,84	9,50	9,,59	9,03		
Karheus	ml/min	1670	2090	2050	2250	2550	2060	2116	283,7	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	288	240	200	205	170	190	216	42	
Vetolujuus	kN/m	4,567	3,557	3,020	2,816	4,021	5,405	3,989	0,979	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0512	0,0383	0,0338	0,0312	0,0424	0,0529	0,0416		
Venymä	%	4,14	2,92	2,26	2,01	3,19	3,50	3,01	0,79	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	132,70	76,29	49,52	39,10	91,55	133,60	87,12	40,23	46,2 %
Repäisyjujuus	mN	918	912	846	969	1249	1155	1008	158	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	10,288	9,811	9,481	10,860	13,174	11,296	10,818		
Tuhkapitoisuus	%							8,4		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 70 % Toimisto-RCF, 30 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	122,7	81,8	119,0	89,2	78,1	100,4	98,5		
Paksuus	um	273,8	143,6	334,0	152,2	127,2	205,0	206,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,448	0,569	0,356	0,586	0,614	0,489	0,510		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,232	1,757	2,809	1,706	1,629	2,045	2,029		
Vaaleus	%	min 13,93 max 20,64						17,53	2,79	
Opasiteetti	%	min 90,22 max 96,75						93,68	2,33	
Kiilto	%	3,5	3,4	3,7	3,8	3,6	3,1	3,5	0,25	
Sileys	0,5 Mpa	15,00	12,60	13,42	12,53	12,30	13,59	13,24		
	1,0 Mpa	13,00	10,69	11,45	10,95	10,48	12,21	11,46		
	2,0 Mpa	11,62	9,56	9,88	8,92	8,85	10,05	9,81		
Karheus	ml/min	2050	2660	2560	2160	1770	2950	2356	437,0	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	65	160	67	107	76	71	89	34	
Vetolujuus	kN/m	5,763	4,510	4,562	4,982	5,031	4,949	4,999	0,420	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0469	0,0551	0,0400	0,0558	0,0644	0,0493	0,0519		
Venymä	%	3,50	3,61	3,52	3,61	4,39	3,74	3,73	0,33	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	143,0	116,1	117,4	127,5	154,5	128,0	131,1	15,0	
Repäisyjujuus	mN	1599	2002	1750	1862	1122	1355	1615	328	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	13,033	24,470	14,708	20,867	14,370	13,499	18,825		
Tuhkapitoisuus	%							9,0		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 50 % Toimisto-RCF. 50 % Karkea hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	122,7	100,4	93,0	111,5	94,8		104,5		
Paksuus	um	263,0	233,4	213,6	261,0	176,0		229,4		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,467	0,430	0,435	0,427	0,539		0,460		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,141	2,326	2,299	2,342	1,855		2,193		
Vaaleus	%	min -8,87 max 2,44						-4,27	4,18	
Opasiteetti	%	min 87,64 max 98,63						92,82	3,87	
Kiilto	%	3,6	3,4	3,5	4,0	3,6	3,2	3,6	0,27	
Sileys	0,5 Mpa	15,00	13,67	12,69	12,93	12,53	12,63	13,24		
	1,0 Mpa	12,32	11,50	11,18	11,58	11,62	11,55	11,66		
	2,0 Mpa	12,05	9,85	9,44	9,76	9,96	9,78	10,14		
Karheus	ml/min	3200	3180	2251	3150	3083	2970	2972		
Ilmanläpäisevyys	ml/min	220	30	41	16	12	95	71	81	113,5 %
Vetolujuus	kN/m	4,501	4,770	4,900	4,184	3,354		4,342	0,617	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0367	0,0475	0,0527	0,0375	0,0353		0,0420		
Venymä	%	3,07	4,27	3,42	2,19	3,04		3,20	0,75	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	96,60	143,90	117,60	64,74	71,17		98,80	32,84	
Repäisyjujuus	mN	1206	1838	1900	2257	2661	1518	1897	517	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,829	18,307	20,441	20,235	28,067	14,526	18,568		
Tuhkapitoisuus	%							8,2		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 90 % Toimisto-RCF, 10 % Mänty

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	78,0	96,7	81,8	81,8	81,8	81,8	83,7		
Paksuus	um	140,0	151,0	140,0	140,0	146,0	131,0	141,5		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,557	0,640	0,584	0,584	0,560	0,624	0,592		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,795	1,563	1,712	1,712	1,786	1,603	1,695		
Vaaleus	%	min 39,73 max 42,96						41,93	1,18	
Opasiteetti	%	min 83,97 max 90,02						86,24	2,13	
Kiilto	%	4,0	4,0	4,0	4,0	4,3	3,7	4,0	0,19	
Sileys	0,5 Mpa	11,71	12,85	11,53	11,71	11,59	11,42	11,80		
	1,0 Mpa	10,07	11,03	10,26	9,98	9,90	9,98	10,20		
	2,0 Mpa	8,31	9,04	7,99	8,08	8,06	8,38	8,31		
Karheus	ml/min	1692	1970	1665	1550	1550	1530	1660		
Ilmanläpäisevyys	ml/min	500	435	560	465	410	492	481	58	
Vetolujuus	kN/m	4,749	4,306	3,264	4,941	3,525	5,177	4,326	780,9	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0600	0,0440	0,0390	0,0600	0,0430	0,0630	0,0510		
Venymä	%	3,92	3,34	2,75	4,15	2,67	4,07	3,48	0,66	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	123,90	96,16	69,74	133,10	66,28	137,70	103,00	33,85	
Repäisyjujuus	mN	583	581	557	585	545	527	563		
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	7,474	6,003	6,809	7,152	6,663	6,443	6,757		
Tuhkapitoisuus	%							7,1		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio



## Näyte: 70 % Toimisto-RCF, 30 % Mänty

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	104,1	104,1	104,1	104,1	104,1	103,5		
Paksuus	um	148,0	154,0	153,5	146,0	157,0	152,0	151,8		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,678	0,676	0,678	0,713	0,663	0,685	0,682		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,475	1,479	1,475	1,403	1,508	1,460	1,466		
Vaaleus	%	min 43,29 max 46,27						45,23	1,27	
Opasiteetti	%	min 87,86 max 90,75						88,64	1,05	
Kiilto	%	4,2	4,3	4,1	4,1	3,7	4,2	4,1	0,21	
Sileys	0,5 Mpa	11,98	12,29	11,87	12,32	11,94	12,29	12,11		
	1,0 Mpa	10,65	10,57	10,72	10,88	10,67	10,42	10,65		
	2,0 Mpa	8,56	9,11	8,92	8,59	9,76	8,66	8,77		
Karheus	ml/min	1830	1765	1835	1835	1950	1855	1850	81,3	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	182	132	172	185	178	195	176	21	
Vetolujuus	kN/m	7,725	7,090	5,551	5,731	7,839	7,855	6,965	1,065	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0769	0,0681	0,0533	0,0551	0,0753	0,0755	0,0673		
Venymä	%	4,17	3,73	3,37	3,94	4,14	4,48	3,97	0,39	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	204,60	176,90	126,50	147,30	211,60	227,0	182,30	39,31	
Repäisylujuus	mN	1042	980	1005	1070	995	937	1004	41	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	10,378	9,414	9,654	10,270	9,558	9,001	9,710		
Tuhkapitoisuus	%							7,9		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 50 % Toimisto-RCF, 50 % Mänty

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	107,8	107,8	107,8	111,5	126,4	107,8	111,5		
Paksuus	um	151,0	152,0	151,0	156,0	167,0	148,0	154,2		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,714	0,709	0,714	0,715	0,757	0,738	0,723		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,401	1,410	1,401	1,399	1,321	1,374	1,384		
Vaaleus	%	min 50,27 max 54,41						51,92	1,61	
Opasiteetti	%	min 84,22 max 90,13						86,43	2,17	
Kiilto	%	3,6	4,4	4,1	4,4	3,9	4,2	4,1	0,31	
Sileys	0,5 Mpa	13,22	13,14	12,50	12,63	13,62	12,56	12,94		
	1,0 Mpa	11,19	11,49	10,80	11,17	12,38	10,80	11,31		
	2,0 Mpa	9,55	9,85	9,27	9,17	10,78	9,30	9,65		
Karheus	ml/min	3230	2150	1864	1985	2250	2360	2302	479,0	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	40	35	41	47	17	27	34	12	39,0 %
Vetolujuus	kN/m	9,833	10,310	8,889	8,775	11,860	9,508	9,862	1,135	
Vetoindeksi	Nm/g	0,0916	0,0961	0,0828	0,0787	0,0938	0,0882	0,0885		
Venymä	%	4,54	3,94	3,81	3,50	4,78	3,66	4,04	0,51	
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	267,10	254,20	215,30	198,90	353,10	219,50	251,40	55,99	
Repäisylujuus	mN	1194	1323	1179	1245	1369	1224	1256	75	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	11,08	12,27	10,94	11,16	10,83	11,35	11,27		
Tuhkapitoisuus	%							8,0		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 100% HAMPPU

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	40,26	38,10	47,60	3,61
Arvo Y D65	41,57	39,18	49,55	3,93
Arvo Z D65	32,08	28,66	40,99	4,45
Arvo L* D65	70,57	68,88	75,79	2,61
Arvo a* D65	2,65	1,72	3,12	0,50
Arvo b* D65	15,54	13,15	17,54	1,47
Valkoisuus CIE + UV	-47,91	-63,51	-22,22	14,04
Valkoisuus CIE - UV	-48,81	-64,42	-25,06	13,35
R457 UV:n kanssa	30,56	27,40	38,92	4,17
R457 ilman UV:tä	30,29	27,15	38,45	4,08
Fluoresenssi R457	0,27	-7,89	0,31	3,69
hallitseva aallonpituus	578,5	577,8	578,7	0,3
Ärsykepuhtaus	20,22	16,21	23,41	2,43
Sirontakerroin	0,00	0,00	0,00	0,00
Absorptiokerroin	0,00	0,00	0,00	0,00
Opasiteetti	117,03	105,48	128,15	10,40

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

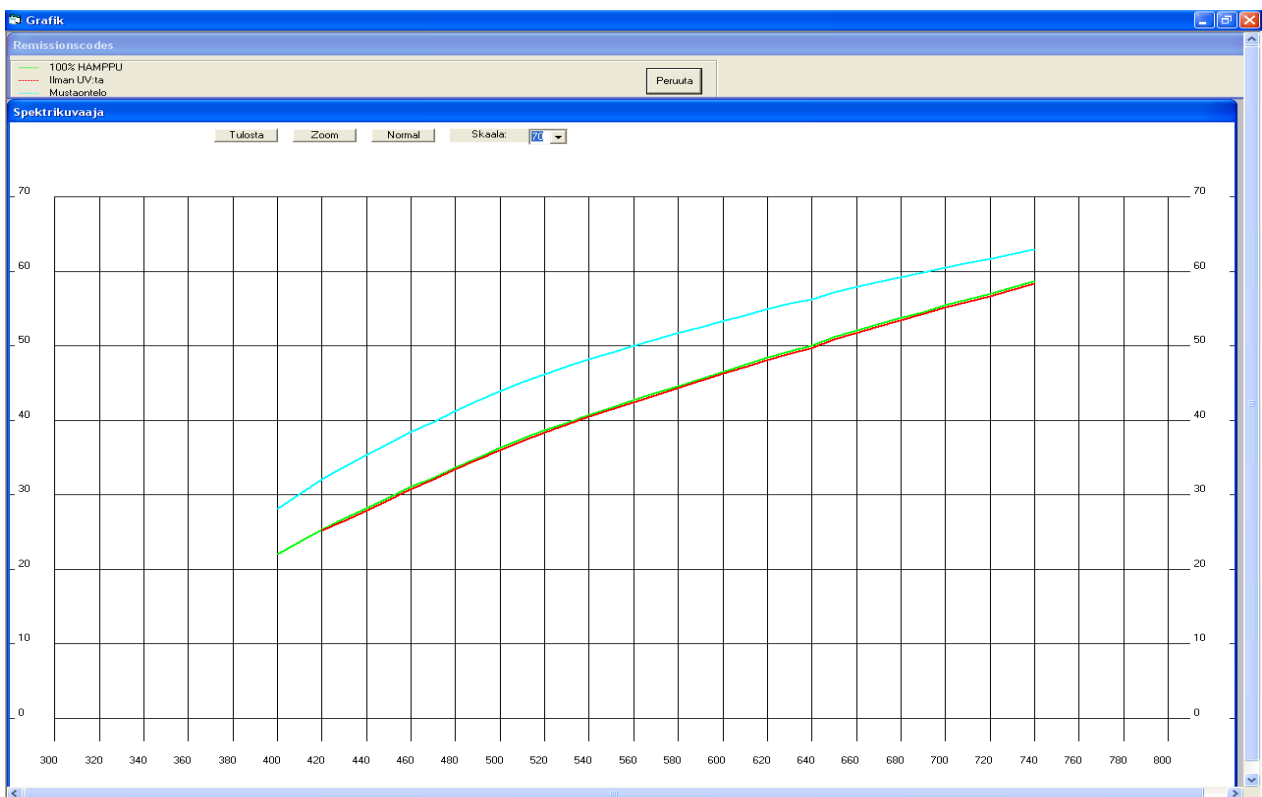
ASCII Output

Tallenna

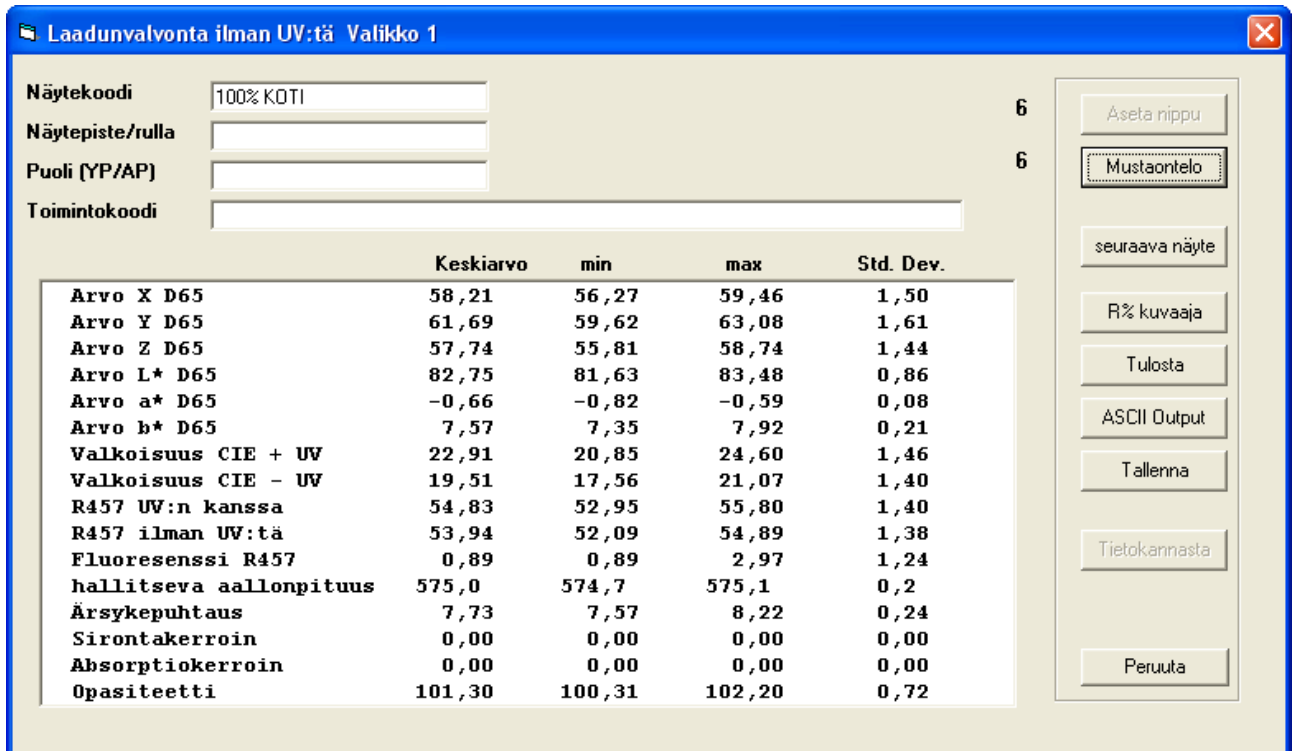
Tietokannasta

Peruuta

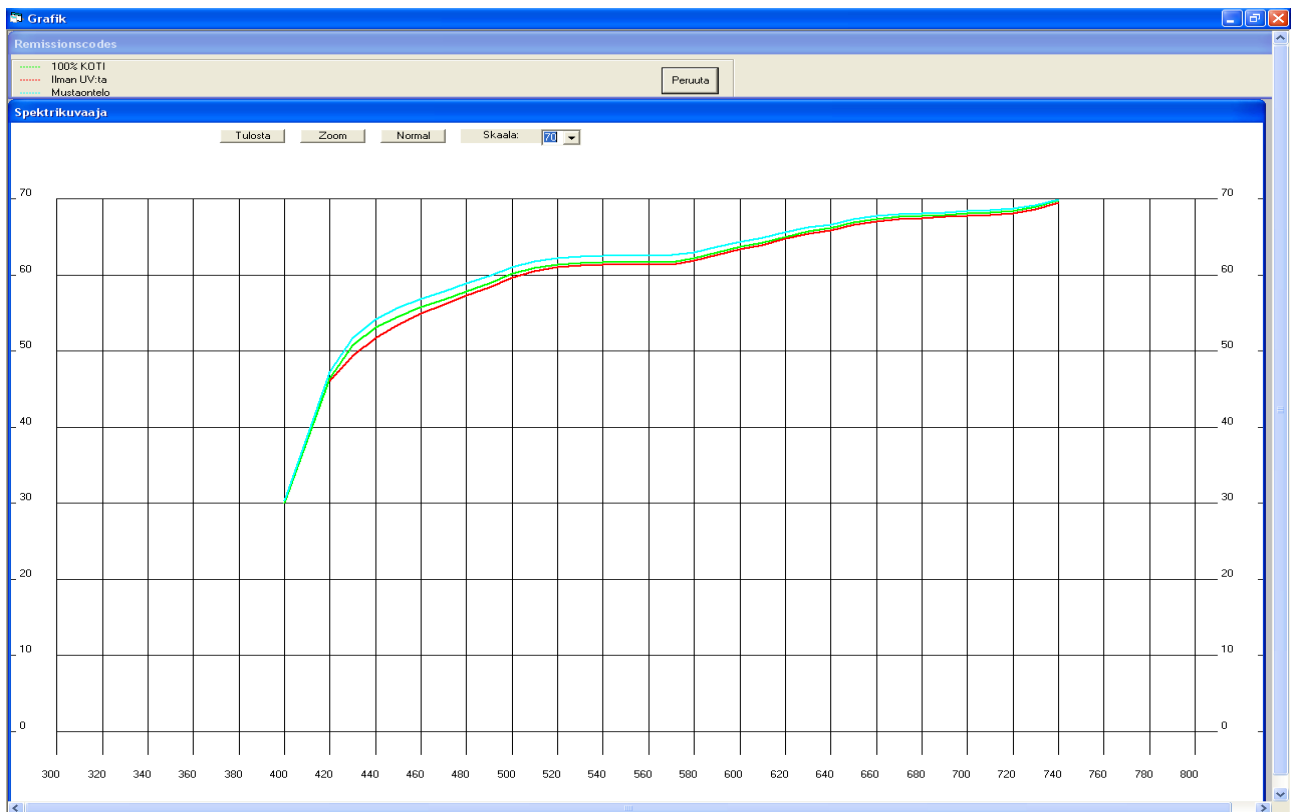
Kuva 3/1. 100 % karkean hammumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012. Kaksi arkkia mitattu kolmesta kohtaa/arkki.



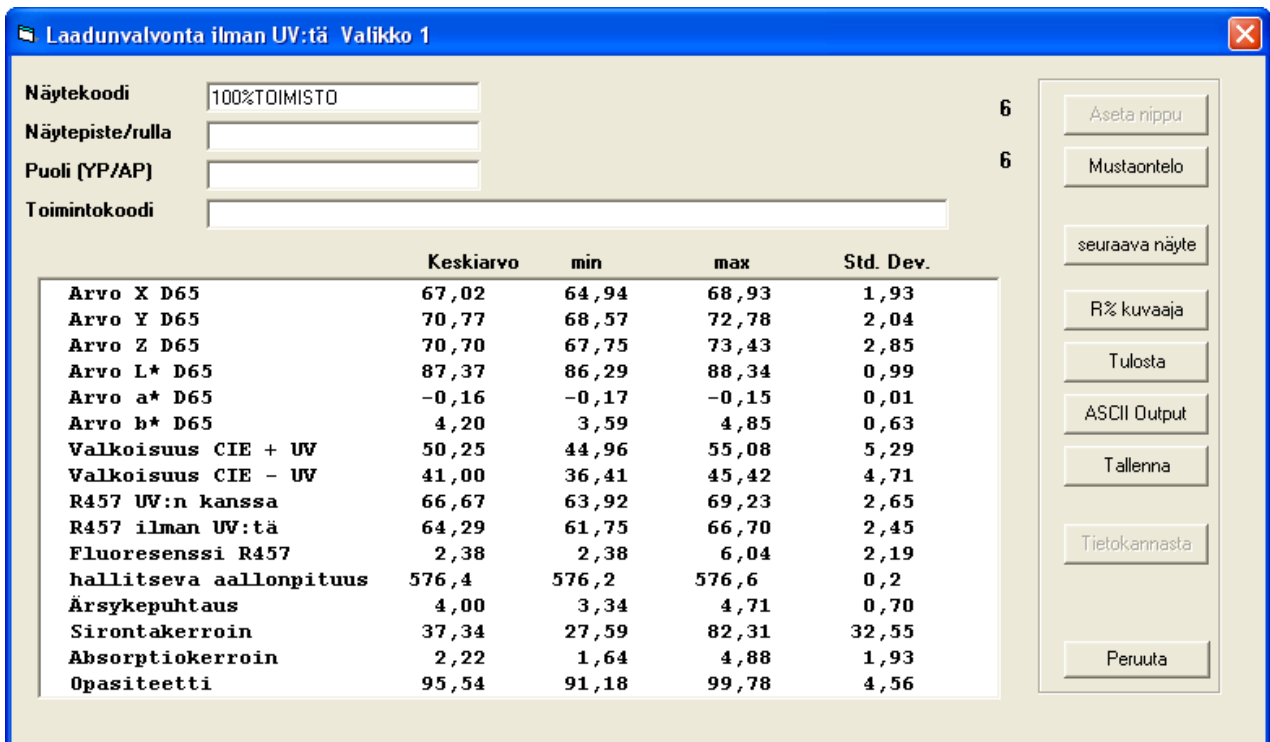
Kuva 3/2. 100 % karkean hammumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012.



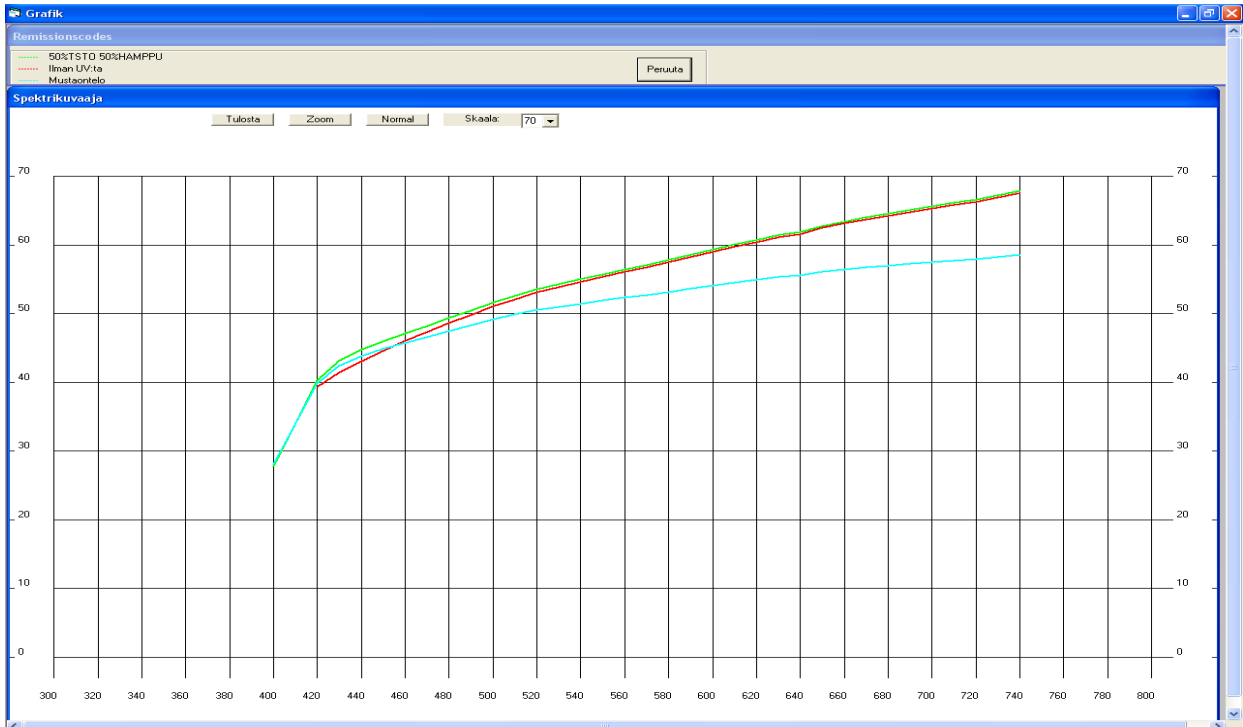
Kuva 3/3. 100 % koti-RCF, optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012. Kaksi arkkia mitattu kolmesta kohtaa/arkki.



Kuva 3/4. 100 % koti-RCF, valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012.



Kuva 3/5. 100 % toimisto-RCF, optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012. Kaksi arkkia mitattu kolmesta kohtaa/arkki.



Kuva 3/6. 100 % toimisto-RCF valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 90%KOTI 10%HAMPPU

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	57,72	56,80	59,59	1,27
Arvo Y D65	61,09	60,12	63,06	1,34
Arvo Z D65	56,53	55,57	58,14	1,16
Arvo L* D65	82,43	81,90	83,47	0,72
Arvo a* D65	-0,48	-0,53	-0,40	0,04
Arvo b* D65	8,17	7,85	8,69	0,29
Valkoisuus CIE + UV	19,14	17,87	21,83	1,46
Valkoisuus CIE - UV	15,99	14,75	18,52	1,39
R457 UV:n kanssa	53,67	52,77	55,22	1,13
R457 ilman UV:tä	52,84	51,93	54,37	1,11
Fluoresenssi R457	0,83	-0,72	1,14	0,99
hallitseva aallonpituus	575,4	575,3	575,6	0,1
Ärsykepuhtaus	8,60	8,26	9,08	0,30
Sirontakerroin	39,91	28,05	35,14	10,61
Absorptiokerroin	4,82	3,39	4,25	1,28
Opasiteetti	99,43	97,66	102,60	2,14

6 Aseta nippu

6 Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

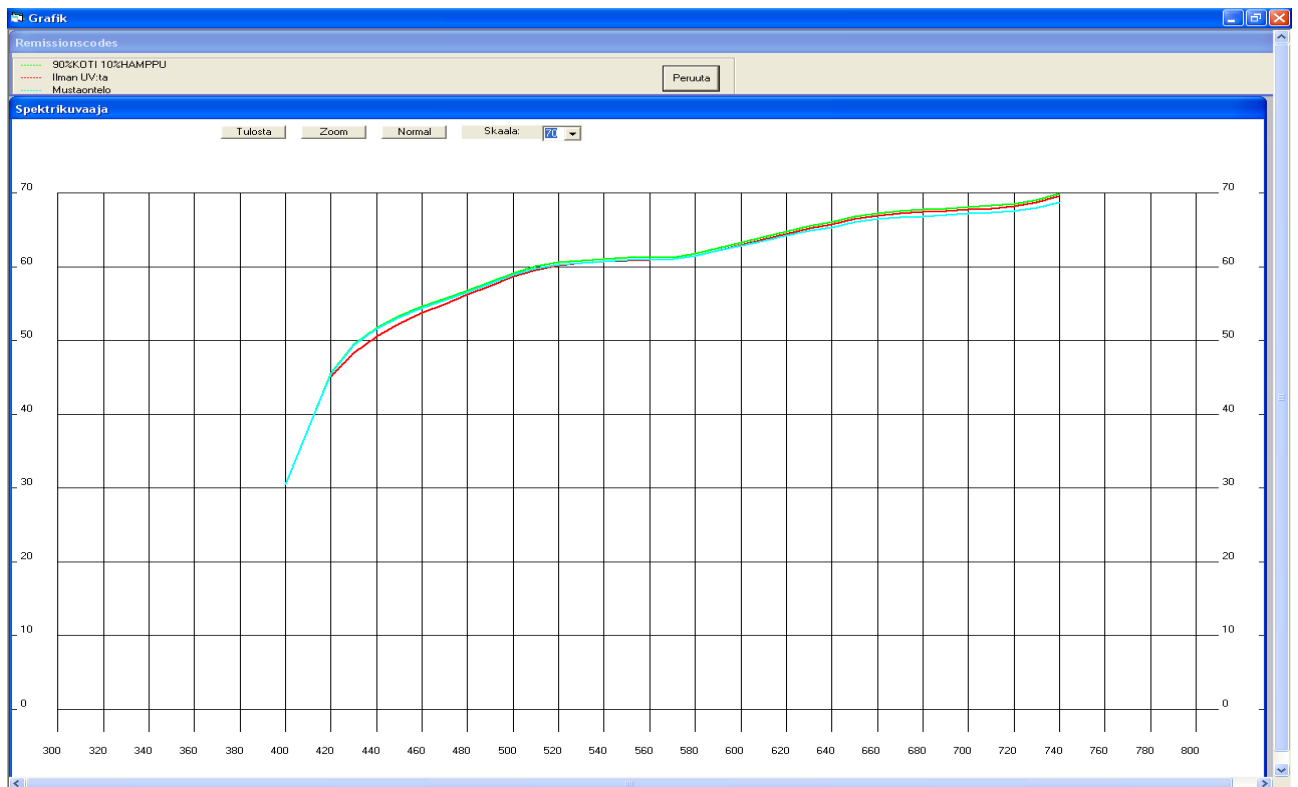
ASCII Output

Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

Kuva 3/7. 90 % koti-RCF ja 10 % hampumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012



Kuva 3/8. 90 % koti-RCF ja 10 % hampumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 70% KOTI 30%HAMPPU

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

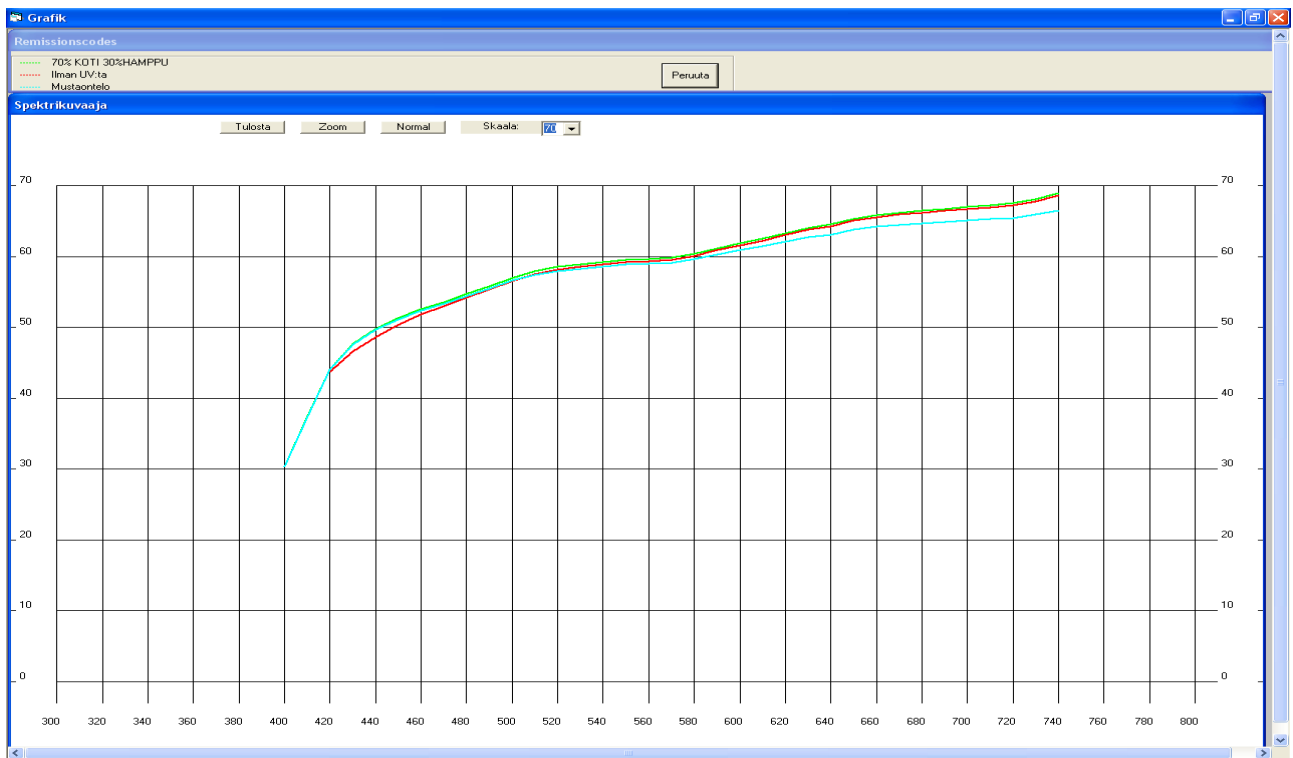
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	56,22	54,10	57,17	1,08
Arvo Y D65	59,37	57,13	60,37	1,13
Arvo Z D65	54,44	52,46	55,30	1,01
Arvo L* D65	81,49	80,25	82,04	0,63
Arvo a* D65	-0,16	-0,22	-0,11	0,04
Arvo b* D65	8,57	8,30	8,88	0,21
Valkoisuus CIE + UV	14,99	13,11	16,62	1,28
Valkoisuus CIE - UV	12,14	10,63	13,66	1,11
R457 UV:n kanssa	51,67	49,76	52,51	0,97
R457 ilman UV:tä	50,94	49,11	51,73	0,93
Fluoresenssi R457	0,74	0,61	2,55	0,83
hallitseva aallonpituus	575,9	575,8	576,0	0,1
Ärsykepuhtaus	9,45	9,08	9,81	0,25
Sirontakerroin	36,82	0,00	41,93	17,63
Absorptiokerroin	4,99	0,00	5,68	2,39
Opasiteetti	98,77	95,02	100,75	2,10

Kuva 3/9. 70 % koti-RCF ja 30 % hampumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012



Kuva 3/10. 70 % koti-RCF ja 30 % hampumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 50%KOTI 50%HAMPPU

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

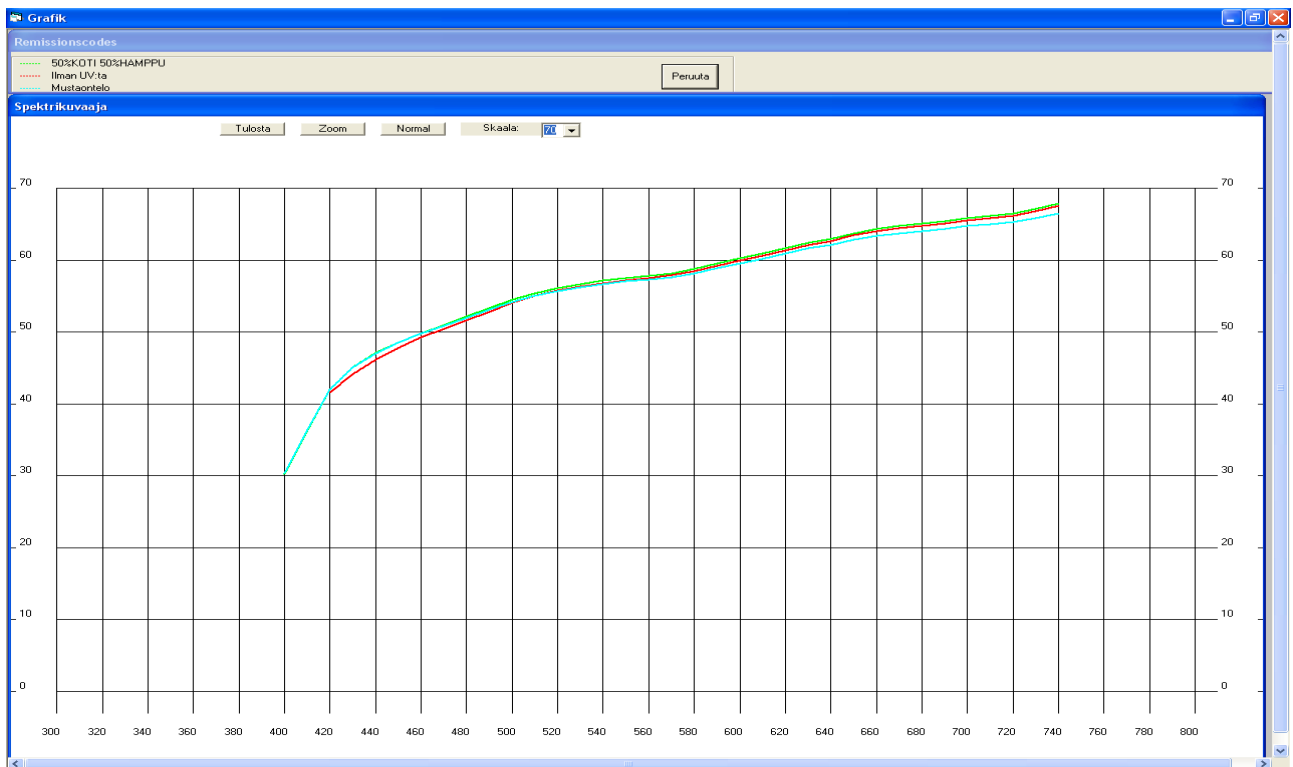
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

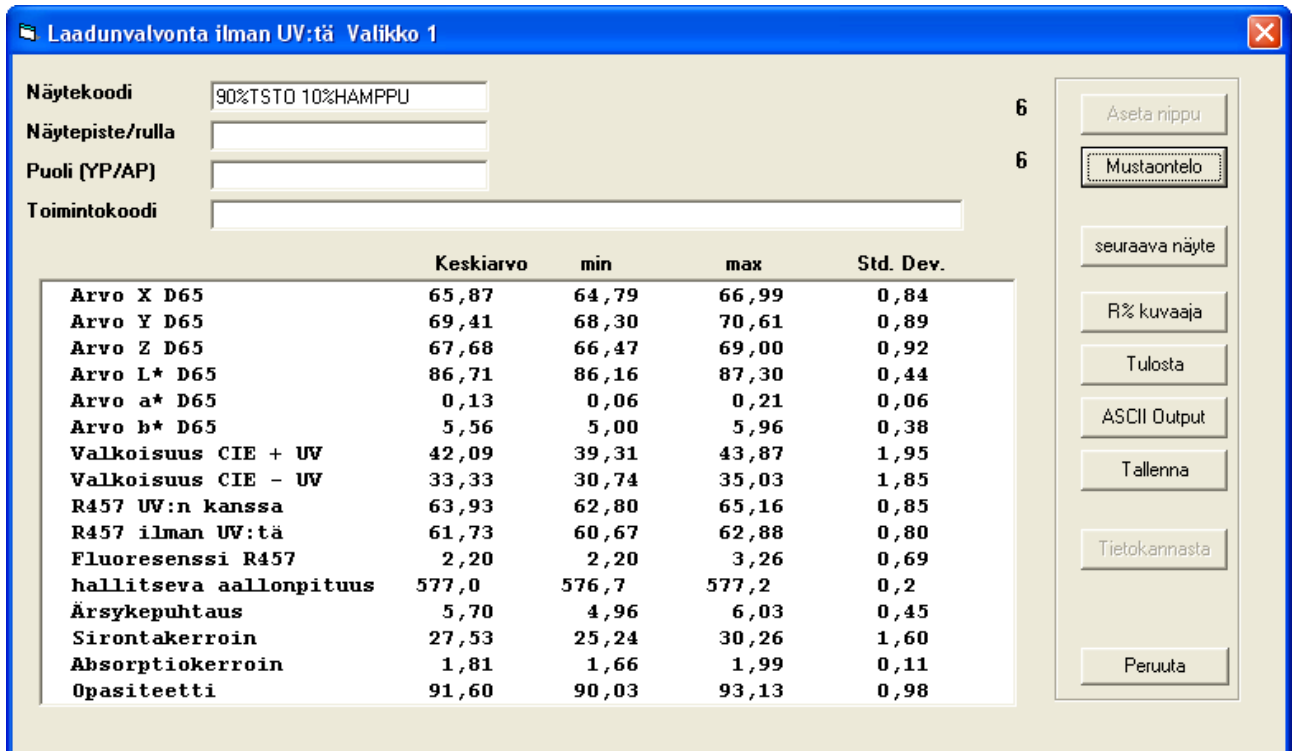
	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	54,46	51,53	55,63	1,49
Arvo Y D65	57,35	54,22	58,59	1,60
Arvo Z D65	51,73	48,38	52,98	1,72
Arvo L* D65	80,38	78,59	81,07	0,91
Arvo a* D65	0,20	0,09	0,33	0,09
Arvo b* D65	9,35	9,04	9,73	0,25
Valkoisuus CIE + UV	8,47	2,39	10,81	3,16
Valkoisuus CIE - UV	5,83	0,27	8,22	2,96
R457 UV:n kanssa	49,09	45,89	50,29	1,64
R457 ilman UV:tä	48,41	45,30	49,60	1,60
Fluoresenssi R457	0,67	0,61	3,77	1,42
hallitseva aallonpituus	576,4	576,3	576,6	0,1
Ärsykepuhtaus	10,39	9,94	11,15	0,44
Sirontakerroin	30,04	0,00	58,04	19,71
Absorptiokerroin	4,63	0,00	8,94	3,04
Opasiteetti	99,08	94,00	102,92	3,22

Kuva 3/11. 50 % koti-RCF ja 50 % hampumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012

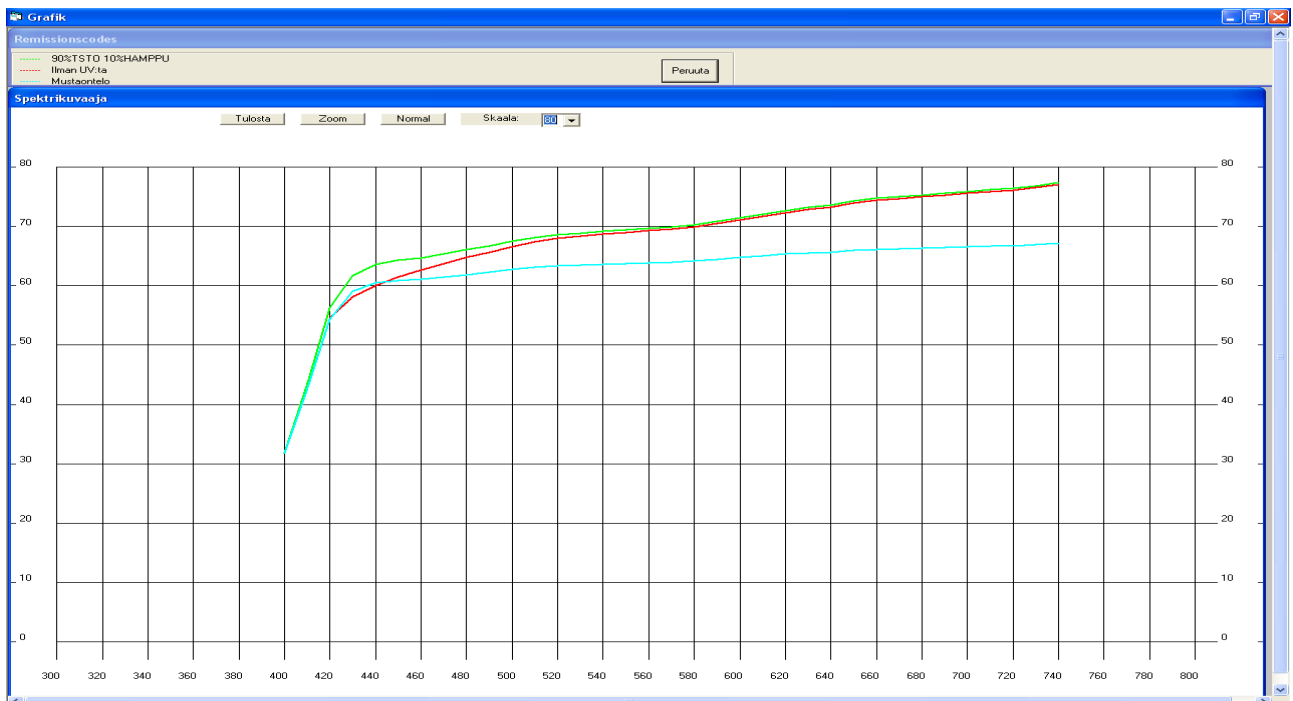


Kuva 3/12. 50 % koti-RCF ja 50 % hampumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 12.6.2012.

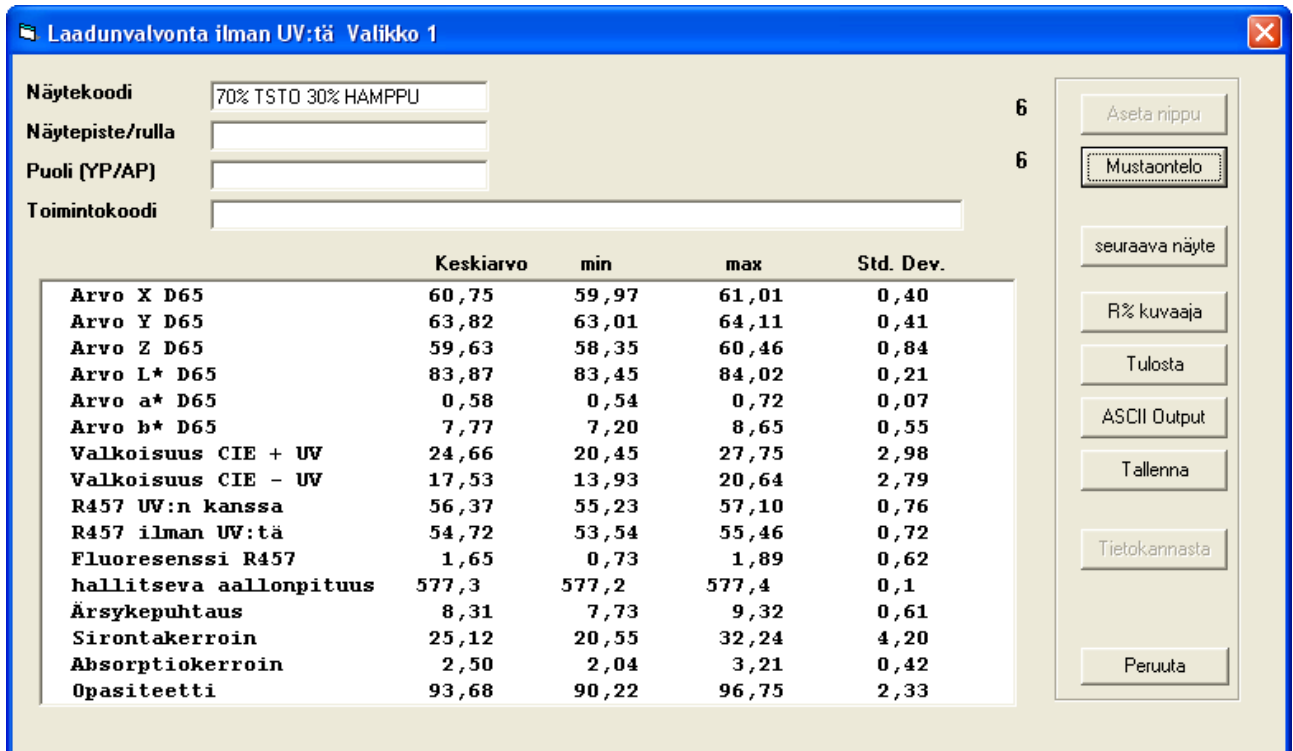




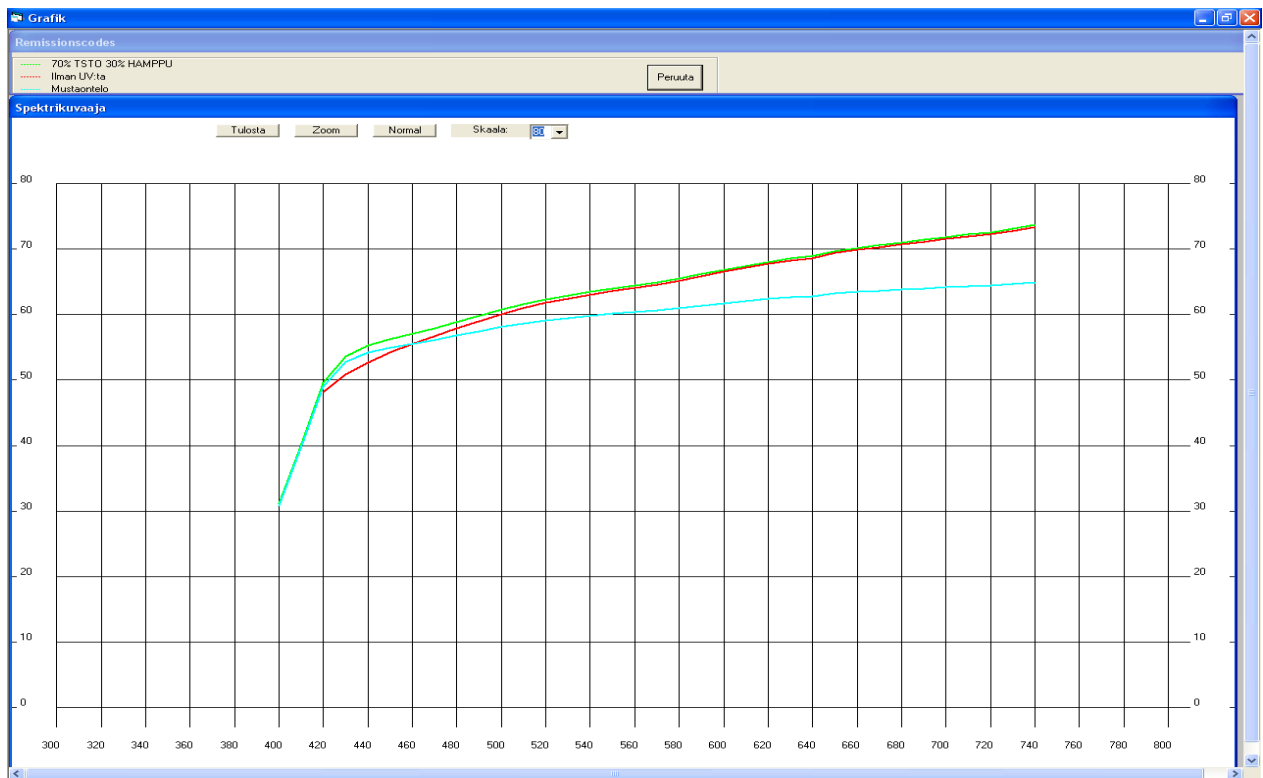
Kuva 3/13. 90 % toimisto-RCF ja 10 % hammumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 13.6.2012



Kuva 3/14. 90 % toimisto-RCF ja 10 % hammumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 13.6.2012.



Kuva 3/15. 70 % toimisto-RCF ja 30 % hammumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 13.6.2012



Kuva 3/16. 70 % toimisto-RCF ja 30 % hammumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 13.6.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 50%TSTO 50%HAMPPU

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

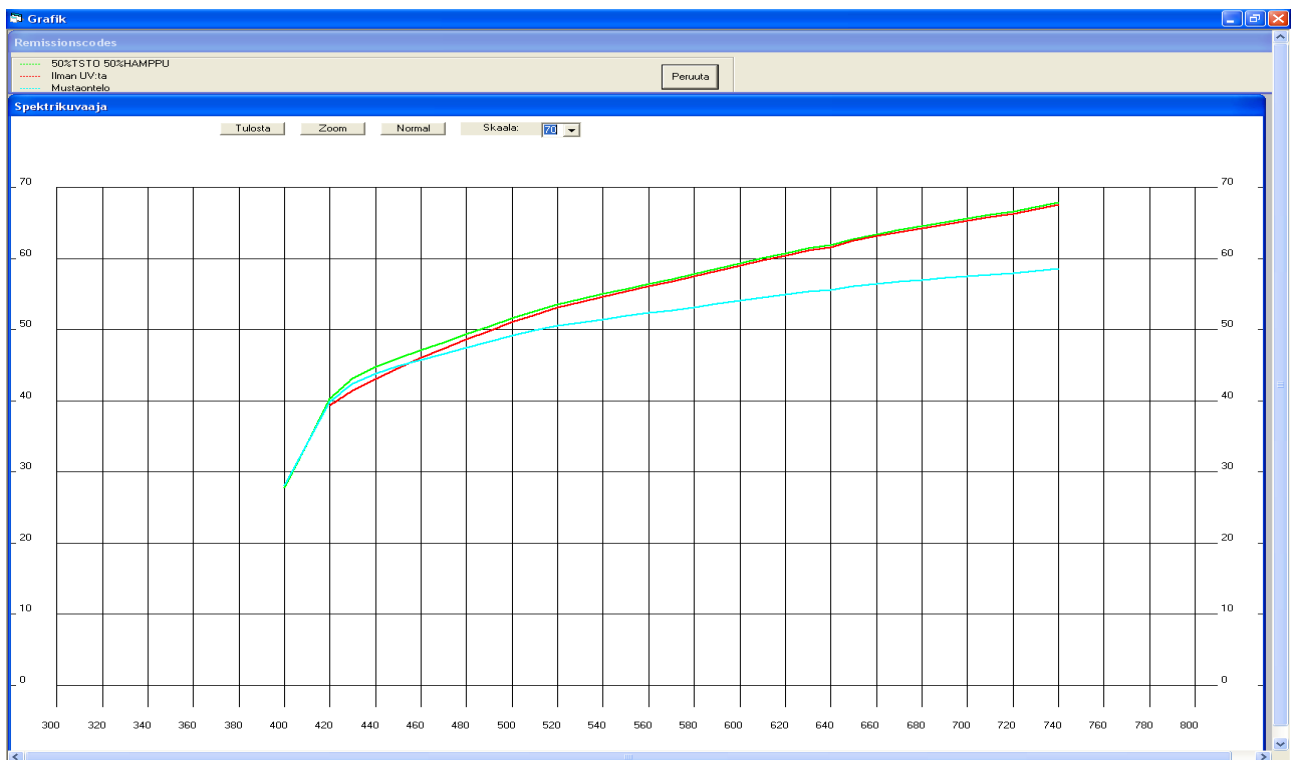
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	53,12	51,89	54,36	0,93
Arvo Y D65	55,56	54,23	56,94	1,01
Arvo Z D65	49,06	47,25	51,36	1,52
Arvo L* D65	79,36	78,60	80,14	0,58
Arvo a* D65	1,14	0,96	1,23	0,10
Arvo b* D65	10,35	9,32	10,95	0,61
Valkoisuus CIE + UV	1,05	-3,87	8,18	4,46
Valkoisuus CIE - UV	-4,27	-8,87	2,44	4,18
R457 UV:n kanssa	46,48	44,81	48,60	1,40
R457 ilman UV:tä	45,38	43,77	47,38	1,34
Fluoresenssi R457	1,10	-0,29	2,87	1,16
hallitseva aallonpituus	577,6	577,6	577,7	0,0
Ärsykepuhtaus	12,01	10,66	12,84	0,81
Sirontakerroin	18,01	13,92	30,86	6,26
Absorptiokerroin	3,09	2,39	5,30	1,08
Opasiteetti	92,82	87,64	98,63	3,87

Kuva 3/17. 50 % toimisto-RCF ja 50 % hammppumassan optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012



Kuva 3/18. 50 % toimisto-RCF ja 50 % hammppumassan valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 14.6.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 90%T 10%M

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

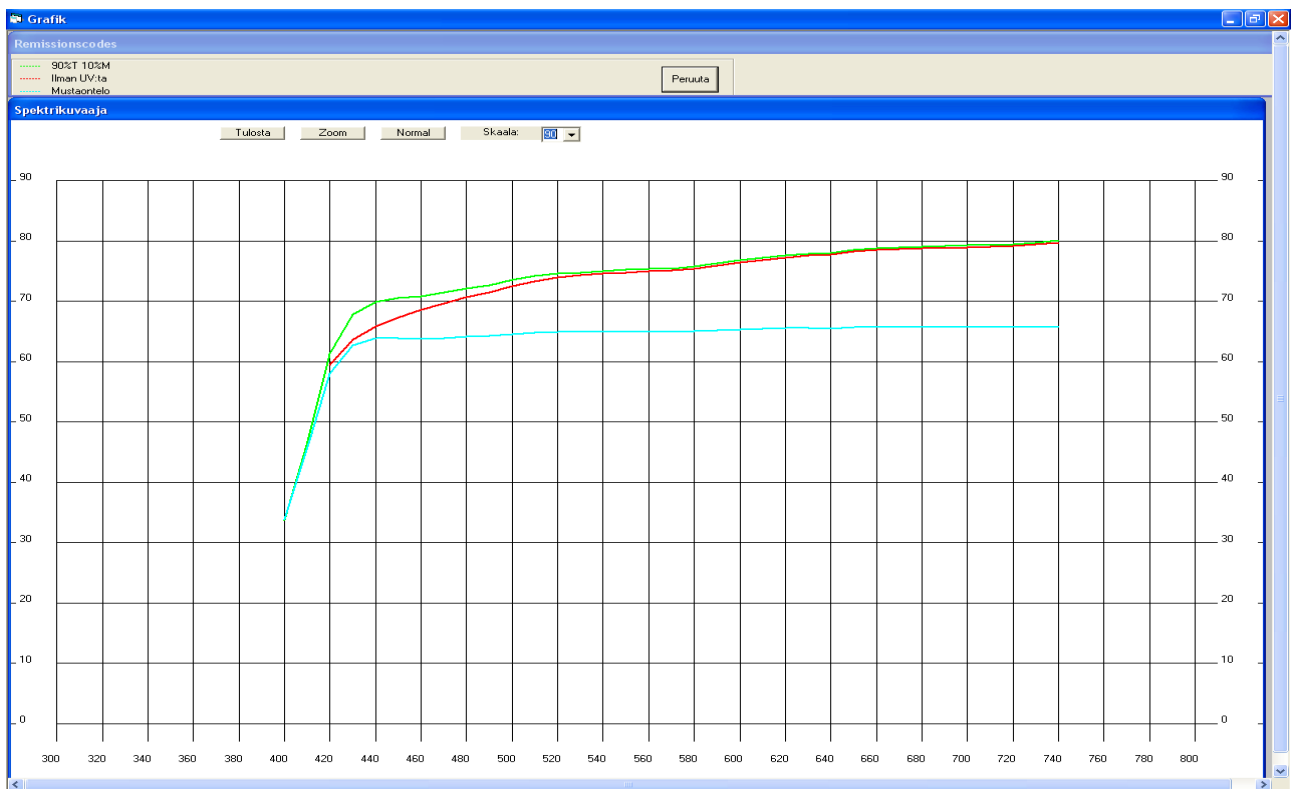
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	71,01	70,65	71,62	0,38
Arvo Y D65	75,09	74,69	75,73	0,39
Arvo Z D65	74,09	73,66	74,78	0,43
Arvo L* D65	89,43	89,25	89,73	0,18
Arvo a* D65	-0,38	-0,45	-0,28	0,06
Arvo b* D65	5,01	4,75	5,49	0,25
Valkoisuus CIE + UV	51,05	48,95	52,07	1,15
Valkoisuus CIE - UV	41,93	39,73	42,96	1,18
R457 UV:n kanssa	69,99	69,60	70,63	0,40
R457 ilman UV:tä	67,52	67,12	68,13	0,39
Fluoresenssi R457	2,47	1,84	2,63	0,31
hallitseva aallonpituus	575,5	575,3	575,7	0,1
Ärsykepuhtaus	4,71	4,38	5,27	0,30
Sirontakerroin	27,53	24,85	33,39	3,04
Absorptiokerroin	1,11	1,00	1,35	0,12
Opasiteetti	86,24	83,97	90,02	2,13

Kuva 3/19. 90 % toimisto-RCF ja 10 % mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä. 5.6.2012



Kuva 3/20. 90 % toimisto-RCF ja 10 % mäntysellun valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 5.6.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 70% TOIMISTO, 30% MÄ

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

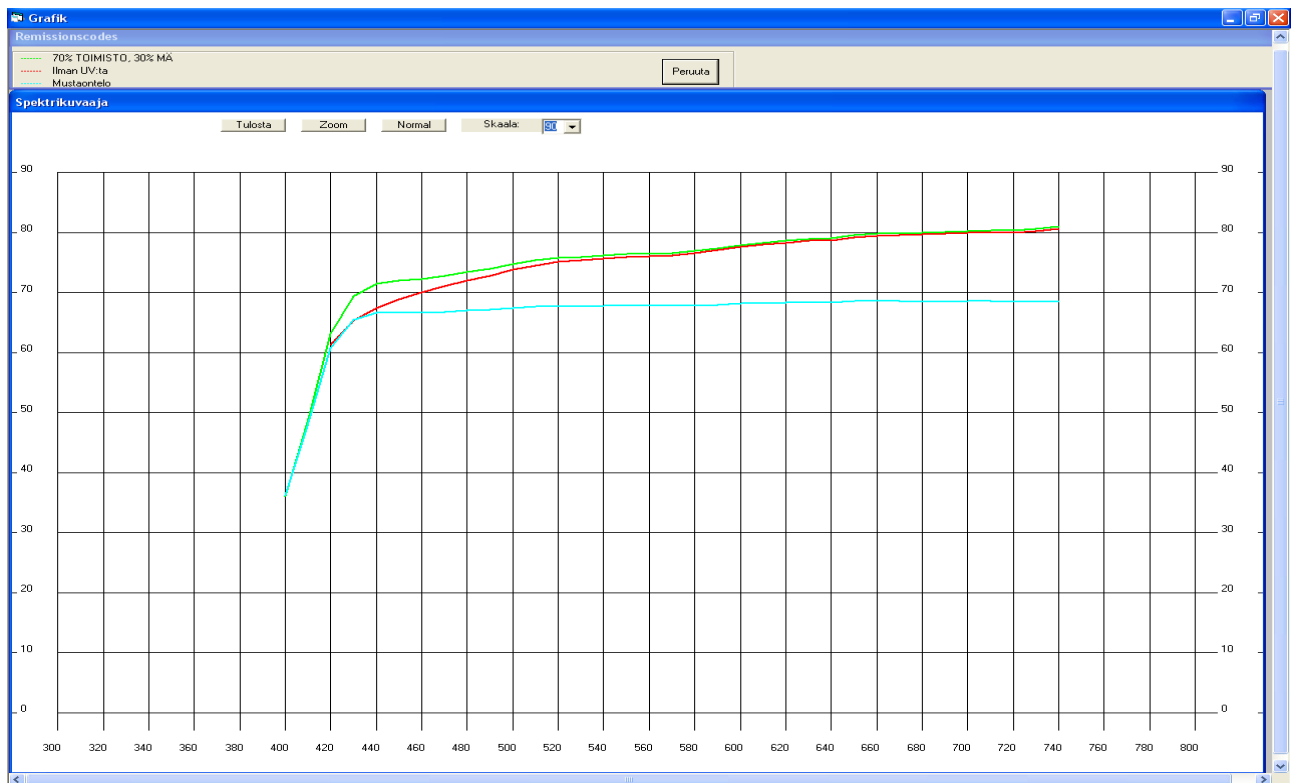
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	72,15	71,82	72,43	0,26
Arvo Y D65	76,25	75,82	76,58	0,31
Arvo Z D65	75,72	75,10	76,22	0,45
Arvo L* D65	89,98	89,78	90,13	0,14
Arvo a* D65	-0,31	-0,43	-0,15	0,11
Arvo b* D65	4,66	4,35	5,04	0,27
Valkoisuus CIE + UV	54,02	52,08	55,55	1,32
Valkoisuus CIE - UV	45,23	43,29	46,72	1,27
R457 UV:n kanssa	71,47	70,94	71,91	0,41
R457 ilman UV:tä	69,04	68,50	69,45	0,39
Fluoresenssi R457	2,43	2,01	2,83	0,33
hallitseva aallonpituus	575,6	575,3	576,2	0,4
Ärsykepuhtaus	4,38	4,07	4,67	0,23
Sirontakerroin	25,86	24,84	29,07	1,56
Absorptiokerroin	0,93	0,90	1,05	0,06
Opasiteetti	88,64	87,86	90,75	1,05

Kuva 3/21. 70 % toimisto-RCF ja 30 % mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 6.6.2012



Kuva 3/22. 70 % toimisto-RCF ja 30 % mäntysellun valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 5.6.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: 50%TOIMISTO 50%MÄNTY

Näytepiste/rulla:

Puoli (YP/AP):

Toimintokoodi:

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

ASCII Output

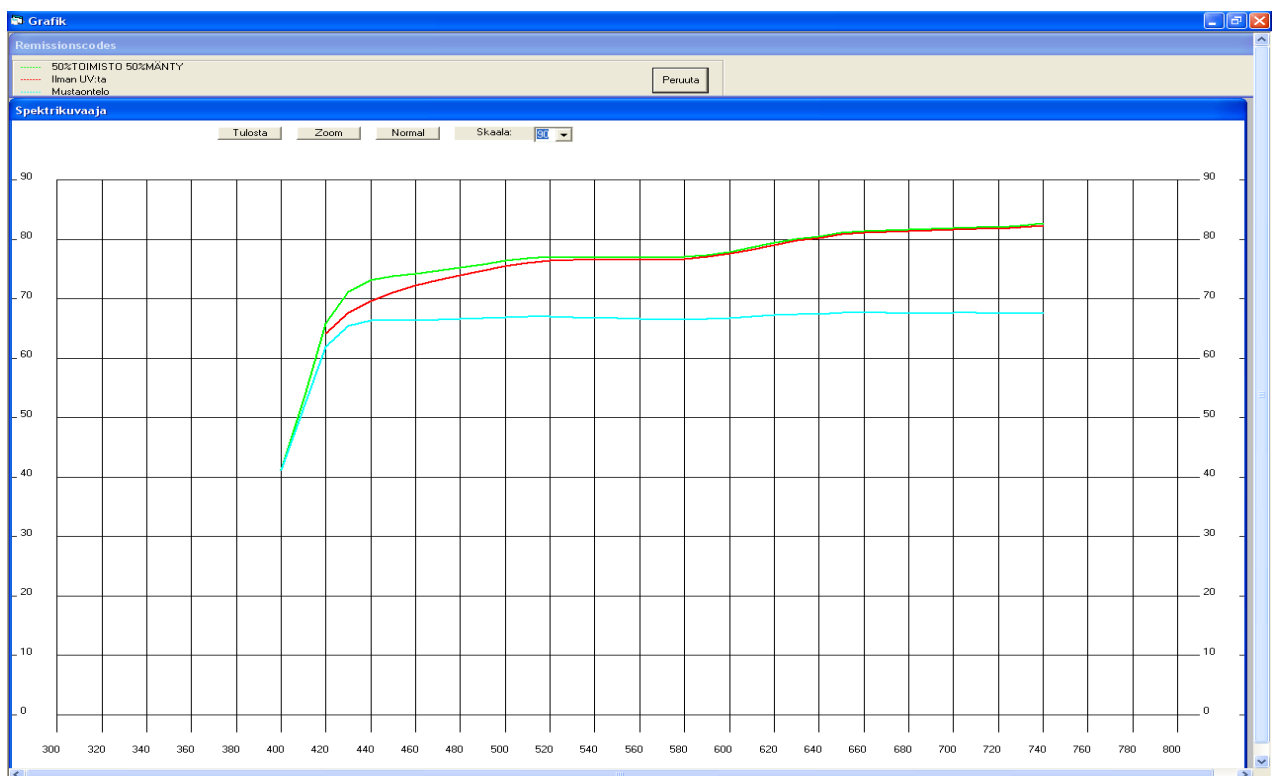
Tallenna

Tietokannasta

Peruuta

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	72,93	71,34	73,89	1,08
Arvo Y D65	77,11	75,41	78,13	1,14
Arvo Z D65	77,82	76,89	78,74	0,68
Arvo L* D65	90,37	89,59	90,84	0,53
Arvo a* D65	-0,39	-0,44	-0,34	0,04
Arvo b* D65	3,71	2,84	4,24	0,52
Valkoisuus CIE + UV	59,45	58,04	61,78	1,52
Valkoisuus CIE - UV	51,92	50,27	54,41	1,61
R457 UV:n kanssa	73,38	72,52	74,21	0,63
R457 ilman UV:tä	71,22	70,40	72,03	0,59
Fluoresenssi R457	2,16	1,45	2,67	0,46
hallitseva aallonpituus	575,6	575,2	577,0	0,7
Ärsykepuhtaus	3,40	2,55	3,88	0,49
Sirontakerroin	21,98	19,83	26,67	2,51
Absorptiokerroin	0,73	0,66	0,89	0,08
Opasiteetti	86,43	84,22	90,13	2,17

Kuva 3/23. 50 % toimisto-RCF ja 50 % mäntysellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 6.6.2012



Kuva 3/24. 50 % toimisto-RCF ja 50 % mäntysellun valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 6.6.2012.

## Näyte: 100 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	78,1	66,9	66,9	111,5	100,4	85,5	84,9	18,12	21,34 %
Paksuus	um	202,4	156,6	153,0	275,0	221,0	198,2	201,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,386	0,427	0,437	0,406	0,454	0,431	0,424		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,591	2,342	2,288	2,463	2,203	2,320	2,368		
Vaaleus	%	min -45,92 max -27,23						-38,91	6,40	
Opasiteetti	%	min 76,99 max 105,84						92,63	9,69	
Kiilto	%	3,1	3,4	3,2	3,1	3,4	3,0	3,2	0,17	
Sileys	0,5 Mpa	14,03	13,07	13,72	15,00	15,00	14,18	14,17		
	1,0 Mpa	12,53	11,84	12,50	14,04	13,99	12,69	12,93		
	2,0 Mpa	10,43	10,75	11,42	13,46	12,47	11,17	11,61		
Karheus	ml/min	min 2681 max 3515						3072	11,20 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 9 max 19						12	29,00 %	
Vetolujuus	kN/m	2,613	2,239	3,248	3,215	3,769	2,116	2,867	0,649	22,62 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0335	0,0335	0,0485	0,0288	0,0375	0,0247	0,0344		
Venymä	%	1,49	1,87	2,58	0,51	2,12	1,01	1,60	0,76	47,40 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	25,9	28,9	61,9	9,6	57,0	13,9	32,9	21,86	66,55 %
Vetolujuus	kN/m	3,191	2,694	2,344	2,589	3,028	3,801	2,941	0,520	17,68 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0409	0,0403	0,0350	0,0232	0,0302	0,0445	0,0357		
Venymä	%	2,15	2,33	1,57	0,47	1,75	3,43	1,95	0,98	50,50 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	46,8	43,9	25,3	7,0	37,0	94,5	42,4	29,36	69,18 %
Repäisylujuus	mN	1290	1623	2391	1974	2666	2090	2006		*
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	14,923	18,775	27,660	22,836	30,841	24,178	23,202		
Repäisylujuus	mN	1733	2751	2912	2230	2558	1342	2254	613	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	19,421	30,830	32,634	24,991	28,667	15,039	25,264		
Tuhkapitoisuus	%							8,85		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

\*Yksi koekappale ei revennyt

## Näyte: 100 % Mänty

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	111,6	104,1	100,4	96,7	102,3	111,5	104,4		
Paksuus	um	170,0	168,4	158,4	149,6	163,2	172,4	163,4		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,658	0,618	0,634	0,651	0,627	0,647	0,639		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,520	1,618	1,577	1,536	1,595	1,546	1,565		
Vaaleus	%	min 48,71 max 55,22						52,74	2,60	
Opasiteetti	%	min 82,11 max 84,27						83,20	0,95	
Kiilto	%	4,3	3,9	3,9	3,9	3,9	4,3	4,0		
Sileys	0,5 Mpa	12,92	13,29	12,43	12,23	12,75	13,17	12,80		
	1,0 Mpa	10,82	11,42	11,37	11,00	11,57	11,90	11,35		
	2,0 Mpa	9,31	9,61	9,50	9,59	9,63	10,26	9,65		
Karheus	ml/min	min 1695 max 2256						2016	11,30 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 75 max 127						94	24,50 %	
Vetolujuus	kN/m	9,214	9,475	10,000	9,239	8,506	9,149	9,265	0,486	5,25 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0826	0,0910	0,0996	0,0956	0,0832	0,0820	0,0890		
Venymä	%	4,21	4,58	4,90	4,07	6,21	4,26	4,71	0,80	16,90 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	240,1	268,0	304,8	238,0	305,5	245,8	267,0	31,40	11,76 %
Vetolujuus	kN/m	10,040	9,809	9,491	8,734	9,263	10,140	9,581	0,530	5,54 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0900	0,0942	0,0945	0,0903	0,0906	0,0909	0,0918		
Venymä	%	4,49	4,76	5,19	4,21	5,07	4,34	4,68	0,40	8,51 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	274,0	284,0	296,2	229,1	283,8	280,3	274,6	23,43	8,53 %
Repäisylujuus	mN	1110	1078	1124	1143	1103	1086	1107	24	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	10,758	10,448	10,894	11,078	10,691	10,526	10,730		
Repäisylujuus	mN	1232	1166	1252	1232	1250	1177	1218	37	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	11,678	11,052	11,867	11,678	11,848	11,156	11,547		
Tuhkapitoisuus	%							6,06		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio



## Näyte: 100 % Koivu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	107,8	104,1	96,7	104,1	106,0	104,1	103,8		
Paksuus	um	171,2	165,2	164,6	169,4	167,4	165,0	167,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,630	0,630	0,587	0,615	0,633	0,631	0,621		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,587	1,587	1,704	1,626	1,580	1,585	1,612		
Vaaleus	%	min 58,35 max 61,61						60,00	1,07	
Opasiteetti	%	min 78,27 max 86,00						83,55	3,25	
Kiilto	%	3,4	3,5	3,9	4,1	3,8	3,6	3,7	0,26	
Sileys	0,5 Mpa	12,83	12,80	13,11	12,87	12,70	12,48	12,80		
	1,0 Mpa	11,29	11,29	11,40	11,80	10,86	10,85	11,25		
	2,0 Mpa	9,73	9,29	10,03	9,85	9,36	9,05	9,55		
Karheus	ml/min	min 2051 max 2962						2373	14,70 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 149 max 862						490	58,80 %	
Vetolujuus	kN/m	5,454	4,550	8,604	8,287	6,138	5,413	6,408	1,66	25,90 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0506	0,0437	0,0890	0,0796	0,0579	0,0520	0,0621		
Venymä	%	3,95	3,45	4,81	5,23	4,06	3,77	4,21	0,67	15,93 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	148,1	105,8	248,7	257,2	174,9	143,9	179,8	69,86	33,85 %
Vetolujuus	kN/m	6,195	5,454	9,280	8,921	6,178	4,453	6,747	1,934	28,67 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0575	0,0524	0,0959	0,0857	0,0583	0,0423	0,0654		
Venymä	%	4,47	3,73	4,83	4,72	3,96	2,66	4,10	0,83	20,35 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	199,90	138,50	268,10	254,90	173,60	85,36	186,70	69,59	37,27 %
Repäisylujuus	mN	701	687	727	665	623	699	684	36	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	6,645	6,512	6,891	6,303	5,905	6,626	6,480		
Repäisylujuus	mN	925	820	885	849	904	800	864	42	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	8,965	7,948	8,578	8,229	8,762	7,754	8,373		
Tuhkapitoisuus	%							8,52		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 95 % Koivu, 5 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	102,2	100,4	104,1	104,1	104,1	104,1	103,2		
Paksuus	um	163,2	162,6	172,2	163,2	166,4	176,2	167,3		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,626	0,617	0,605	0,638	0,626	0,591	0,617		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,597	1,621	1,653	1,567	1,597	1,692	1,621		
Vaaleus	%	min 50,17 max 51,76						51,08	0,53	
Opasiteetti	%	min 87,15 max 88,17						87,74	0,38	
Kiilto	%	3,5	3,4	3,4	3,8	3,6	3,4	3,5	0,16	
Sileys	0,5 Mpa	12,58	12,90	12,77	12,55	12,54	12,97	12,72		
	1,0 Mpa	11,31	11,15	11,44	10,79	10,89	11,31	11,15		
	2,0 Mpa	9,41	9,16	9,55	8,85	9,31	9,44	9,28		
Karheus	ml/min	min 1709 max 2308						2032	12,50 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 367 max 415						402	4,30 %	
Vetolujuus	kN/m	5,332	5,617	5,128	5,397	5,779	5,845	5,516	0,278	5,04 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0523	0,0559	0,0493	0,0518	0,0555	0,0561	0,0535		
Venymä	%	3,68	3,48	2,97	4,02	3,49	3,66	3,55	0,35	9,74 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	139,3	134,6	109,9	152,6	143,1	152,3	138,6	15,77	11,37 %
Vetolujuus	kN/m	4,883	4,567	5,747	5,674	5,641	5,267	5,296	0,483	9,12 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0478	0,0455	0,0552	0,0545	0,0542	0,0506	0,0513		
Venymä	%	3,60	2,44	3,83	3,41	3,30	3,02	3,27	0,49	14,98 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	124,5	78,4	157,8	138,6	132,3	115,5	124,5	26,75	21,48 %
Repäisylujuus	mN	816	794	814	828	781	747	797	30	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	7,909	7,696	7,890	8,026	7,570	7,240	7,722		
Repäisylujuus	mN	767	759	749	747	741	703	744	22	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	7,415	7,356	7,260	7,240	7,182	6,814	7,211		
Tuhkapitoisuus	%							8,60		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 90 % Koivu, 10 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	96,7	102,3	100,4	100,4	100,4	100,4	100,1		
Paksuus	um	154,4	189,6	160,8	169,0	163,0	168,6	168,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,626	0,539	0,624	0,594	0,616	0,595	0,599		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,597	1,855	1,603	1,684	1,623	1,681	1,674		
Vaaleus	%	min 43,35 max 45,21						44,25	0,83	
Opasiteetti	%	min 87,31 max 90,39						89,42	1,07	
Kiilto	%	3,5	3,7	3,2	3,4	3,4	3,5	3,5		
Sileys	0,5 Mpa	12,35	12,93	12,89	13,14	12,63	12,86	12,80		
	1,0 Mpa	10,86	10,65	11,16	11,16	11,49	10,93	11,04		
	2,0 Mpa	9,50	8,73	9,50	9,30	9,43	9,11	9,19		
Karheus	ml/min	min 1648 max 2583						2075	18,00 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 316 max 432						346	12,50 %	
Vetolujuus	kN/m	3,175	5,568	5,413	5,551	5,014	4,648	4,895	0,915	18,70 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0328	0,0545	0,0539	0,0553	0,0499	0,0463	0,0488		
Venymä	%	1,57	3,58	3,08	3,60	3,14	2,44	2,90	0,78	26,77 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	34,1	142,6	121,4	145,0	114,6	82,3	106,7	42,20	39,57 %
Vetolujuus	kN/m	4,900	5,153	6,284	5,389	5,576	5,983	5,547	0,516	9,31 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0507	0,0504	0,0626	0,0537	0,0555	0,0596	0,0554		
Venymä	%	3,13	2,99	4,08	3,48	3,45	3,85	3,50	0,41	11,84 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	110,9	111,2	179,6	136,1	140,1	161,4	139,9	27,29	19,51 %
Repäisyjuuus	mN	733	926	794	849	781	830	819	66	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	7,335	9,266	7,946	8,496	7,815	8,306	8,194		
Repäisyjuuus	mN	717	763	755	749	700	808	749	38	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	7,142	7,600	7,520	7,461	6,973	8,049	7,458		
Tuhkapitoisuus	%							7,30		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 75 % Koivu, 25 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	94,8	96,7	107,8	104,1	98,5	100,4		
Paksuus	um	189,0	180,0	160,0	221,0	216,0	172,5	190,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,521	0,527	0,604	0,488	0,482	0,571	0,534		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,883	1,898	1,656	2,049	2,075	1,751	1,885		
Vaaleus	%	min 26,74 max 29,07						27,64	0,82	
Opasiteetti	%	min 90,81 max 94,75						92,90	1,45	
Kiilto	%	3,3	3,4	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4	0,06	
Sileyks	0,5 Mpa	12,76	12,90	12,66	13,07	13,30	13,59	13,05		
	1,0 Mpa	11,12	11,05	11,72	11,44	11,72	12,38	11,57		
	2,0 Mpa	9,20	9,34	10,07	9,43	10,73	9,77	9,76		
Karheus	ml/min	min 1954 max 3027						2503	17,80 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 240 max 256						247	2,50 %	
Vetolujuus	kN/m	4,770	4,233	5,389	4,811	5,722	5,039	4,994	0,520	10,41 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0475	0,0446	0,0557	0,0446	0,0550	0,0511	0,0498		
Venymä	%	3,99	2,96	4,37	2,97	4,20	3,00	3,58	0,67	18,84 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	137,9	89,1	166,9	108,6	170,4	108,6	130,2	33,61	25,80 %
Vetolujuus	kN/m	5,226	4,843	4,917	5,649	6,138	4,746	5,253	0,544	10,38 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0521	0,0511	0,0509	0,0524	0,0590	0,0482	0,0523		
Venymä	%	3,57	3,32	2,93	4,06	3,46	3,01	3,39	0,41	12,19 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	131,8	115,4	105,5	164,7	152,1	105,5	129,2	24,90	19,28 %
Repäisylujuus	mN	1316	937	916	933	887	816	968	176	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	12,989	9,248	9,041	9,209	8,755	8,054	9,549		
Repäisylujuus	mN	855	1045	997	1101	906	828	955	109	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	8,478	10,362	9,886	10,917	8,984	8,210	9,518		
Tuhkapitoisuus	%							7,80		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 50 % Koivu, 50 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	91,1	96,7	102,3	100,4	89,2	89,2	94,8		
Paksuus	um	213,0	209,0	210,0	219,0	190,0	195,0	206,0		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,427	0,462	0,488	0,459	0,470	0,457	0,461		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	2,342	2,165	2,049	2,179	2,128	2,188	2,175		
Vaaleus	%	min 1,61 max 5,05						3,78	1,28	
Opasiteetti	%	min 91,71 max 97,96						94,30	2,22	
Kiilto	%	3,1	3,0	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	0,12	
Sileys	0,5 Mpa	13,90	15,00	14,29	13,54	13,63	13,89	14,04		
	1,0 Mpa	11,89	12,85	12,07	12,26	11,79	12,59	12,24		
	2,0 Mpa	10,62	10,89	10,12	10,43	10,17	10,72	10,49		
Karheus	ml/min	min 2777 max 3374						3088	6,50 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 153 max 192						163	9,00 %	
Vetolujuus	kN/m	4,249	3,647	4,868	4,526	4,135	4,103	4,255	0,414	9,73 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0466	0,0377	0,0476	0,0451	0,0463	0,0460	0,0449		
Venymä	%	4,28	2,29	3,51	3,48	2,90	3,54	3,33	0,67	20,18 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	130,6	59,4	124,2	114,5	88,2	104,2	103,5	26,31	25,41 %
Vetolujuus	kN/m	4,314	4,208	4,762	4,371	4,347	4,339	4,390	0,191	4,34 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0474	0,0435	0,0466	0,0435	0,0487	0,0486	0,0464		
Venymä	%	3,70	2,82	3,21	2,95	4,13	3,46	3,38	0,49	14,54 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	114,3	86,7	110,8	94,1	128,0	109,1	107,2	14,79	13,79 %
Repäisylujuus	mN	1461	1312	1721	1571	1200	1175	1407	216	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	15,562	13,975	18,332	16,734	12,782	12,516	14,983		
Repäisylujuus	mN	1038	1053	1353	1200	1330	1963	1323	341	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	10,635	10,789	13,863	12,295	13,627	20,113	13,554		
Tuhkapitoisuus	%							6,80		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 95 % Mänty, 5 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	100,4	100,4	94,8	93,0	100,4	100,4	98,2		
Paksuus	um	156,0	145,6	141,6	137,4	151,2	147,6	146,6		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,643	0,689	0,669	0,068	0,664	0,680	0,670		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,555	1,451	1,495	1,479	1,506	1,471	1,493		
Vaaleus	%	min 43,99 max 46,96						45,61	1,06	
Opasiteetti	%	min 79,23 max 81,91						80,33	0,99	
Kiilto	%	4,4	4,6	4,9	4,5	4,2	4,7	4,6	0,24	
Sileys	0,5 Mpa	13,18	12,35	12,69	12,53	11,79	12,66	12,53		
	1,0 Mpa	11,72	11,18	11,02	10,89	10,91	11,00	11,12		
	2,0 Mpa	10,09	9,19	9,56	9,22	9,38	9,44	9,48		
Karheus	ml/min	min 1790 max 2132						1951	6,90 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 26 max 78						49	35,10 %	
Vetolujuus	kN/m	9,312	8,124	9,711	8,653	8,059	10,670	9,088	1,012	11,14 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0928	0,0809	0,1024	0,0931	0,0803	0,1063	0,0926		
Venymä	%	3,77	2,62	4,18	3,65	3,30	3,87	3,56	0,55	15,33 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	223,8	142,8	251,3	201,3	176,4	250,8	207,7	47,01	20,70 %
Vetolujuus	kN/m	8,791	9,955	9,573	9,190	10,360	8,734	9,434	0,650	6,89 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0876	0,0992	0,1010	0,0989	0,1032	0,0870	0,0962		
Venymä	%	3,65	4,46	4,19	4,13	4,42	3,74	4,10	0,34	8,25 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	200,4	266,5	246,2	235,0	278,1	204,1	238,4	31,80	13,34 %
Repäisylujuus	mN	970	986	970	991	959	910	964	29	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,987	10,151	9,987	10,230	9,873	9,369	9,925		
Repäisylujuus	mN	962	1022	1015	1063	1066	1078	1034	43	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,765	10,374	10,302	10,790	10,820	10,942	10,499		
Tuhkapitoisuus	%							5,50		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

## Näyte: 90 % Mänty, 10 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	93,0	94,8	96,7	104,1	104,1	96,7	98,2		
Paksuus	um	148,6	153,8	139,6	151,6	158,2	146,4	149,7		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,626	0,616	0,692	0,687	0,658	0,660	0,657		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,597	1,623	1,445	1,456	1,152	1,515	1,526		
Vaaleus	%	min 31,46 max 36,30						32,93	1,82	
Opasiteetti	%	min 80,78 max 85,40						83,25	1,80	
Kiilto	%	4,4	4,6	4,3	3,9	4,0	4,1	4,2	0,26	
Sileys	0,5 Mpa	12,96	13,14	12,86	12,35	12,82	12,76	12,82		
	1,0 Mpa	11,51	11,67	11,34	11,02	11,28	10,97	11,30		
	2,0 Mpa	9,93	10,01	9,87	9,59	10,14	9,61	9,86		
Karheus	ml/min	min 1916 max 2361						2033	8,00 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 18 max 31						25	25,70 %	
Vetolujuus	kN/m	9,198	8,230	9,345	10,330	7,049	10,470	9,103	1,297	14,25 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0990	0,0868	0,0967	0,0992	0,0677	0,1083	0,0930		
Venymä	%	4,60	3,71	3,47	4,01	3,05	4,38	3,87	0,58	14,97 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	251,9	201,5	206,6	262,0	148,0	280,3	225,0	48,92	21,74 %
Vetolujuus	kN/m	9,019	9,361	8,230	10,360	8,091	8,555	8,936	0,846	9,47 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0970	0,0987	0,0851	0,0995	0,0777	0,0885	0,0911		
Venymä	%	4,51	4,47	3,97	4,32	4,11	4,47	4,31	0,22	5,18 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	237,2	251,0	205,1	278,7	207,7	235,6	235,9	27,60	11,70 %
Repäisylujuus	mN	926	957	949	1024	1171	1045	1012	91	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	9,534	9,853	9,770	10,543	12,056	10,758	10,419		
Repäisylujuus	mN	1116	1173	1105	1265	1124	1101	1147	63	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	11,118	11,686	11,008	12,602	11,197	10,968	11,430		
Tuhkapitoisuus	%							5,70		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

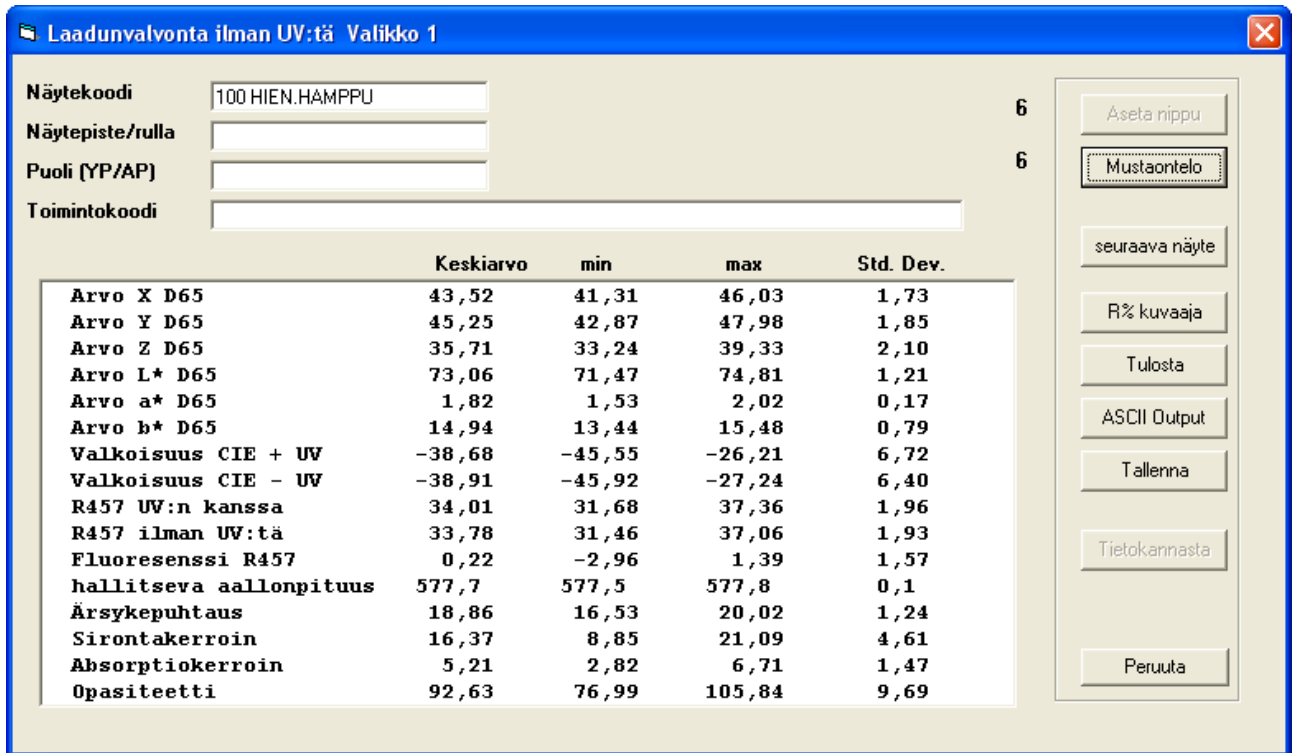
## Näyte: 75 % Mänty, 25 % Hienonnettu hamppu

Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	81,8	94,8	96,7	89,2	89,2	93,0	90,8		
Paksuus	um	143,0	141,0	140,0	155,0	145,5	167,5	148,7		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,572	0,672	0,691	0,576	0,613	0,555	0,613		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,748	1,488	1,447	1,736	1,631	1,802	1,642		
Vaaleus	%	min 14,30 max 20,16						17,44	2,15	
Opasiteetti	%	min 81,79 max 85,74						84,03	1,31	
Kiilto	%	4,0	4,5	4,3	4,0	4,4	3,9	4,2	0,25	
Sileys	0,5 Mpa	12,72	13,10	13,03	13,33	13,49	13,45	13,19		
	1,0 Mpa	11,00	11,69	11,29	11,64	11,79	11,67	11,51		
	2,0 Mpa	9,70	10,06	9,80	9,91	10,25	10,17	9,98		
Karheus	ml/min	min 2173 max 2606						2408	6,70 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 14 max 21						18	16,70 %	
Vetolujuus	kN/m	7,660	7,570	8,938	7,578	7,261	8,270	7,880	0,615	7,80 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0936	0,0792	0,0925	0,0849	0,0814	0,0890	0,0868		
Venymä	%	4,13	3,34	4,09	3,22	3,81	4,10	3,78	0,41	7,50 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	200,4	168,2	230,7	159,5	182,7	218,4	193,3	28,17	14,57 %
Vetolujuus	kN/m	7,595	8,799	8,425	7,163	8,164	8,433	8,079	0,607	7,50 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0929	0,0928	0,0872	0,0803	0,0915	0,0907	0,0892		
Venymä	%	4,20	4,20	4,16	3,62	4,08	4,12	4,06	0,22	5,52 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	200,7	232,1	220,5	169,6	210,9	217,7	208,6	21,74	10,42 %
Repäisylujuus	mN	1036	953	1099	1137	1003	1158	1064	80	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	11,315	10,408	12,003	12,410	10,955	12,650	11,624		
Repäisylujuus	mN	1262	1070	1135	1139	1218	1314	1190	91	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	13,510	11,455	12,151	12,194	13,039	14,067	12,736		
Tuhkapitoisuus	%							5,40		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio

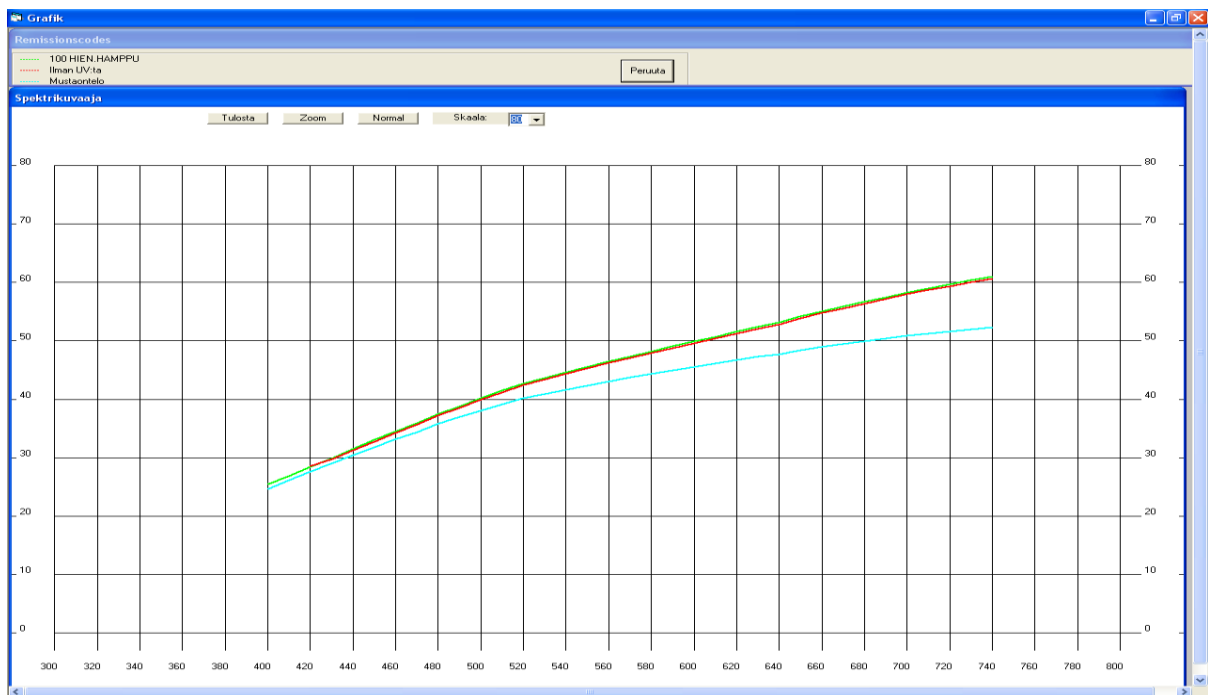


## Näyte: 50 % Mänty, 50 % Hienonnettu hamppu

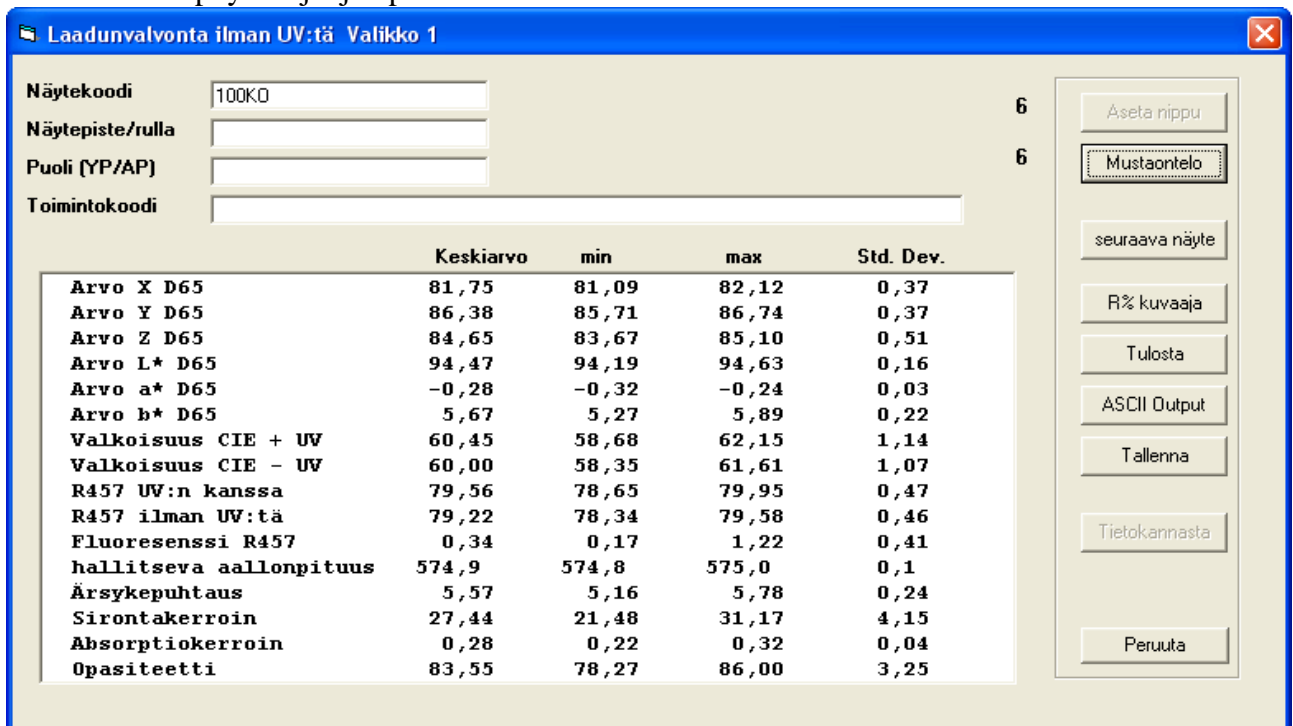
Suure	yksikkö	1	2	3	4	5	6	x	s	huom
Neliömassa	g/m <sup>2</sup>	93,0	96,7	115,3	100,4	96,7	96,7	99,8		
Paksuus	um	162,2	160,0	240,0	215,0	185,0	205,0	194,5		
Tiheys	kg/dm <sup>3</sup>	0,573	0,604	0,480	0,467	0,523	0,471	0,520		
Bulkki	dm <sup>3</sup> /g	1,745	1,656	2,083	2,141	1,912	2,123	1,943		
Vaaleus	%	min -10,70 max -6,49						-9,48	1,54	
Opasiteetti	%	min 87,32 max 97,59						91,10	4,03	
Kiilto	%	3,7	3,9	3,7	3,6	3,9	3,9	3,8	0,13	
Sileys	0,5 Mpa	13,76	14,18	15,00	14,67	13,37	13,46	14,07		
	1,0 Mpa	12,65	11,79	12,62	13,76	11,91	12,41	12,52		
	2,0 Mpa	10,68	11,01	12,29	11,84	10,46	10,87	11,19		
Karheus	ml/min	min 2820 max 3389						3097	8,70 %	
Ilmanläpäisevyys	ml/min	min 7 max 18						12	35,90 %	
Vetolujuus	kN/m	6,265	6,032	5,950	5,950	6,040	5,958	6,049	0,160	2,65 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0685	0,0624	0,0516	0,0593	0,0625	0,0616	0,0610		
Venymä	%	3,73	3,35	2,51	3,41	3,36	3,85	3,37	0,47	13,96 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	155,5	139,8	108,7	143,7	148,9	159,7	142,7	18,21	12,76 %
Vetolujuus	kN/m	5,926	5,519	6,325	4,965	7,000	6,935	6,112	0,802	13,12 %
Vetoindeksi	Nm/g	0,0638	0,0571	0,0549	0,0495	0,0724	0,0717	0,0616		
Venymä	%	3,73	3,56	3,67	2,51	4,03	3,57	3,51	0,52	14,81 %
Murtotyö	J/m <sup>2</sup>	146,1	130,2	156,1	90,4	190,5	164,3	146,3	33,92	23,19 %
Repäisylujuus	mN	1530	1987	3012	2469	1868	1535	2067	587	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	15,102	19,613	29,731	24,371	18,438	15,151	20,401		
Repäisylujuus	mN	1443	1657	1846	2062	2400	2332	1957	378	
Repäisyindeksi	mNm <sup>2</sup> /g	14,113	16,206	18,055	20,167	23,473	22,808	19,137		
Tuhkapitoisuus	%							7,30		virhe
Kosteus	%							6 - 7		vakio



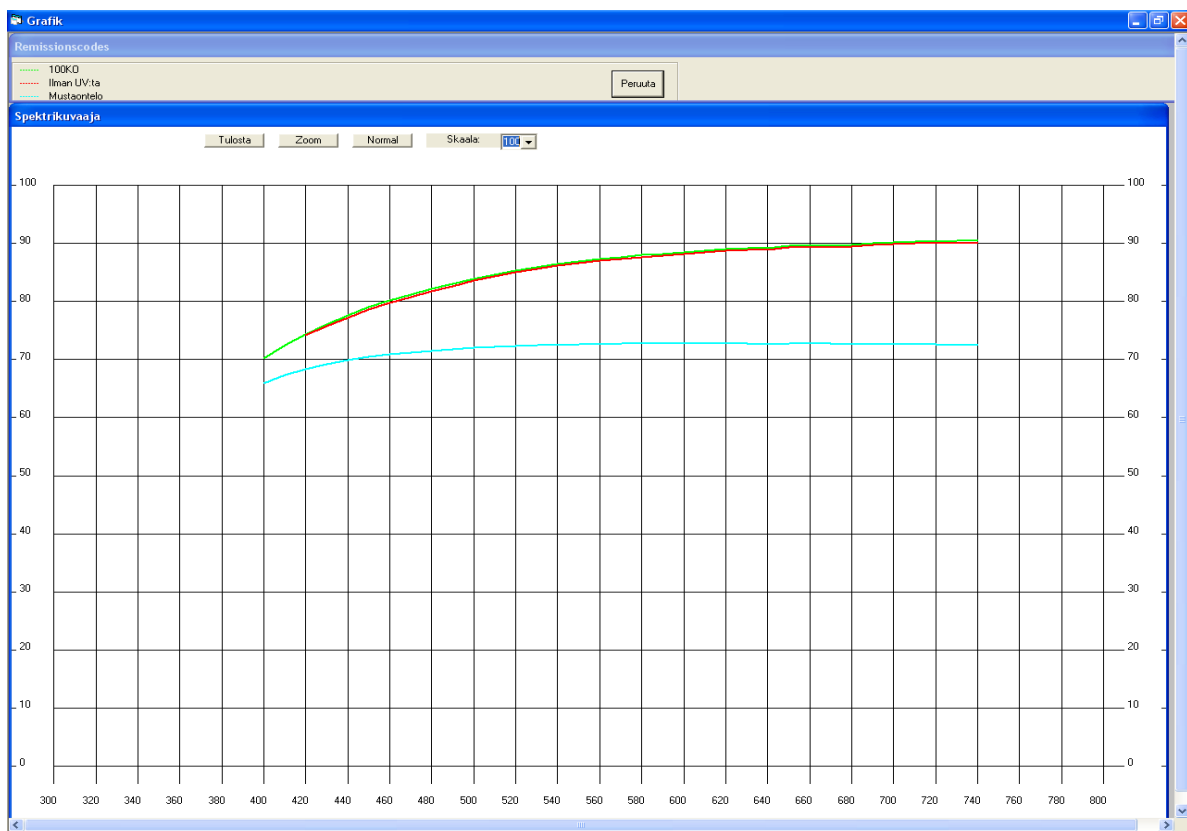
Kuva 4/1. Hienonnetun 100 % hamppusellun optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012



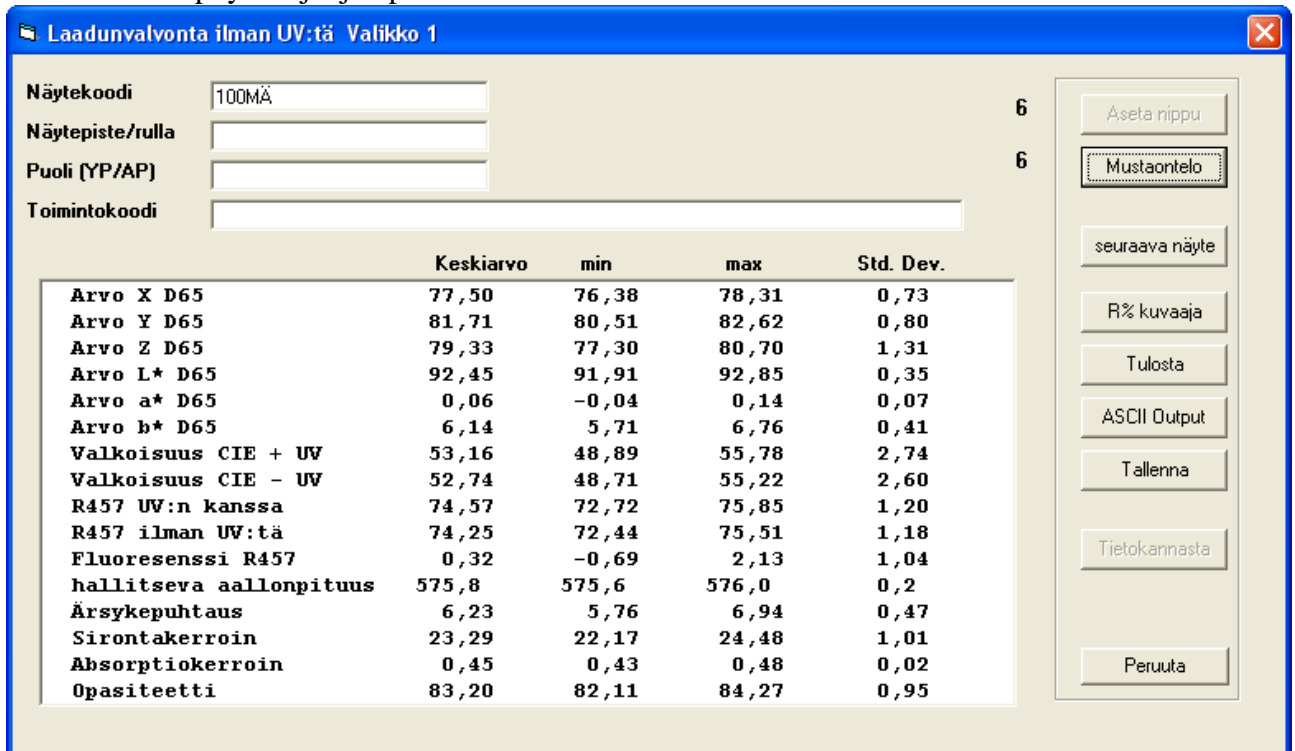
Kuva 4/2. Hienonnetun 100 % hamppusellun valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



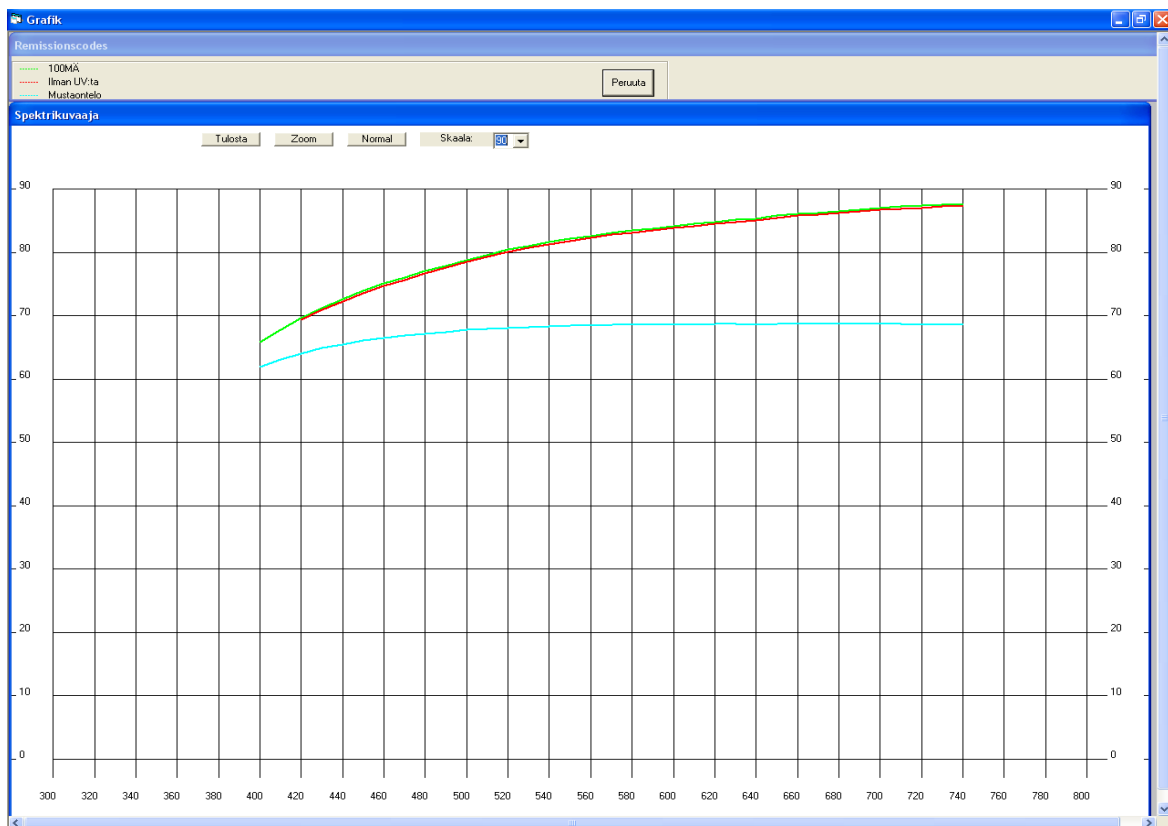
Kuva 4/3. 100% koivuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/4. 100% koivuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/5. 100% mäntyarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/6. 100% mäntyarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

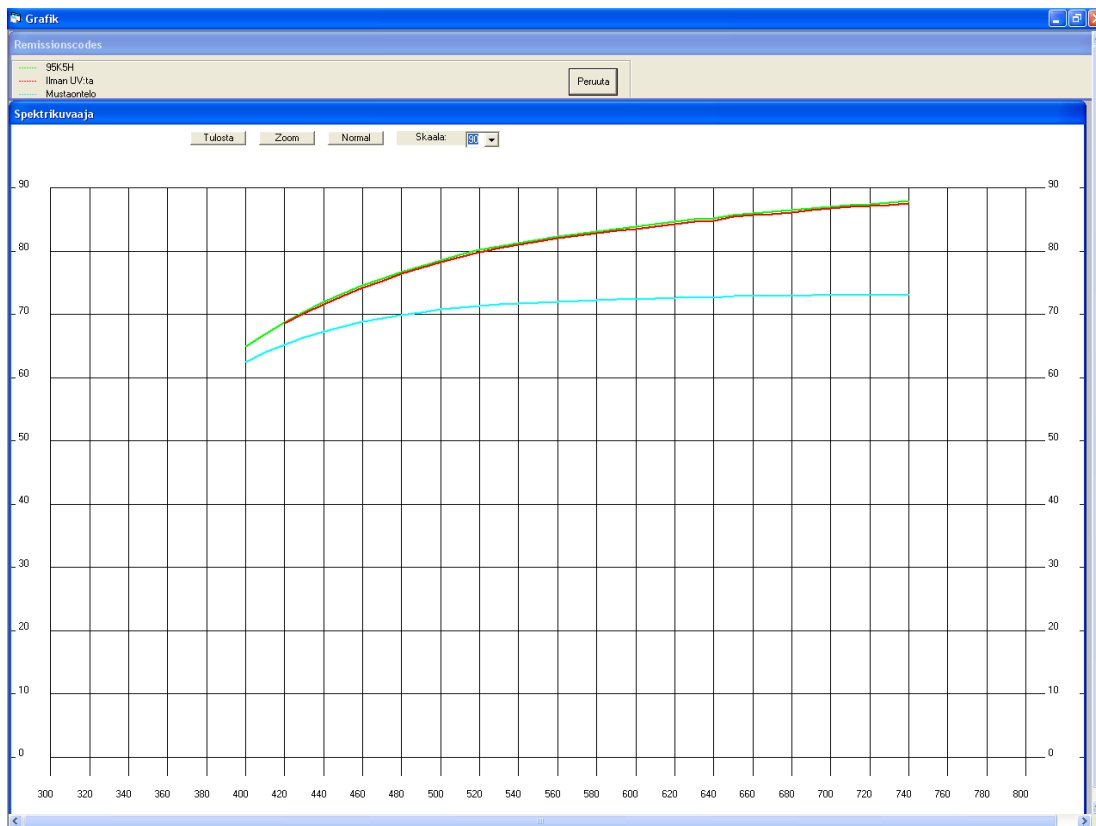
Näytekoodi: 95K5H  
 Näytepiste/rulla:   
 Puoli (YP/AP):   
 Toimintokoodi:

6  
6

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

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	77,20	76,92	77,51	0,23
Arvo Y D65	81,43	81,13	81,73	0,23
Arvo Z D65	78,69	78,21	78,95	0,28
Arvo L* D65	92,32	92,19	92,45	0,10
Arvo a* D65	0,00	-0,07	0,05	0,05
Arvo b* D65	6,41	6,26	6,54	0,10
Valkoisuus CIE + UV	51,57	50,61	52,22	0,55
Valkoisuus CIE - UV	51,08	50,17	51,76	0,53
R457 UV:n kanssa	74,01	73,58	74,26	0,26
R457 ilman UV:tä	73,66	73,22	73,89	0,25
Fluoresenssi R457	0,35	0,04	0,53	0,21
hallitseva aallonpituus	575,7	575,6	575,8	0,1
Ärsykepuhtaus	6,46	6,26	6,59	0,12
Sirontakerroin	29,20	28,29	29,89	0,59
Absorptiokerroin	0,59	0,57	0,60	0,01
Opasiteetti	87,74	87,15	88,17	0,38

Kuva 4/7. 95 % koivu ja 5 % hamppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/8. 95 % koivu ja 5 % hamppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

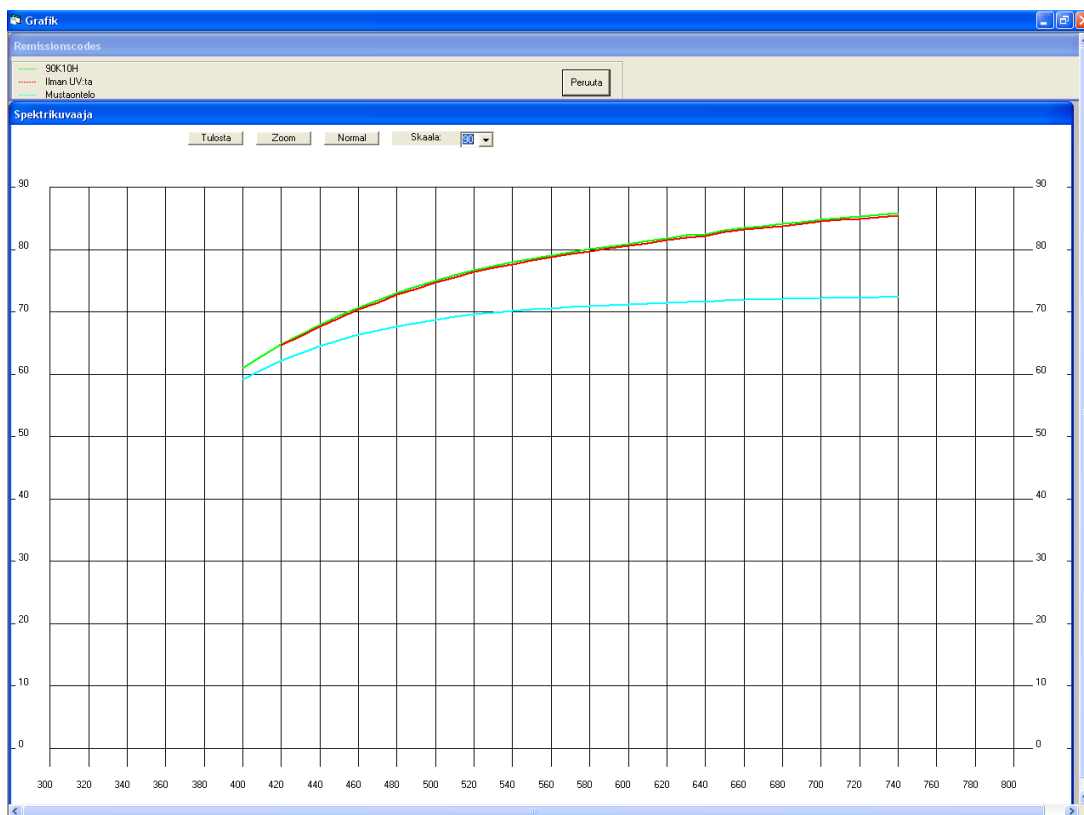
Näytekoodi: 90K10H  
 Näytepiste/rulla:   
 Puoli (YP/AP):   
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	74,18	73,98	74,54	0,20
Arvo Y D65	78,17	77,96	78,56	0,22
Arvo Z D65	74,56	74,17	75,10	0,36
Arvo L* D65	90,86	90,76	91,04	0,10
Arvo a* D65	0,14	0,12	0,19	0,02
Arvo b* D65	7,09	6,94	7,23	0,14
Valkoisuus CIE + UV	44,70	43,80	45,71	0,86
Valkoisuus CIE - UV	44,25	43,35	45,21	0,83
R457 UV:n kanssa	70,19	69,85	70,68	0,33
R457 ilman UV:tä	69,85	69,50	70,33	0,32
Fluoresenssi R457	0,34	-0,19	0,37	0,28
hallitseva aallonpituus	576,1	576,0	576,1	0,0
Ärsykepuhtaus	7,11	6,95	7,25	0,15
Sirontakerroin	29,69	26,54	31,39	1,67
Absorptiokerroin	0,86	0,77	0,91	0,05
Opasiteetti	89,42	87,31	90,39	1,07

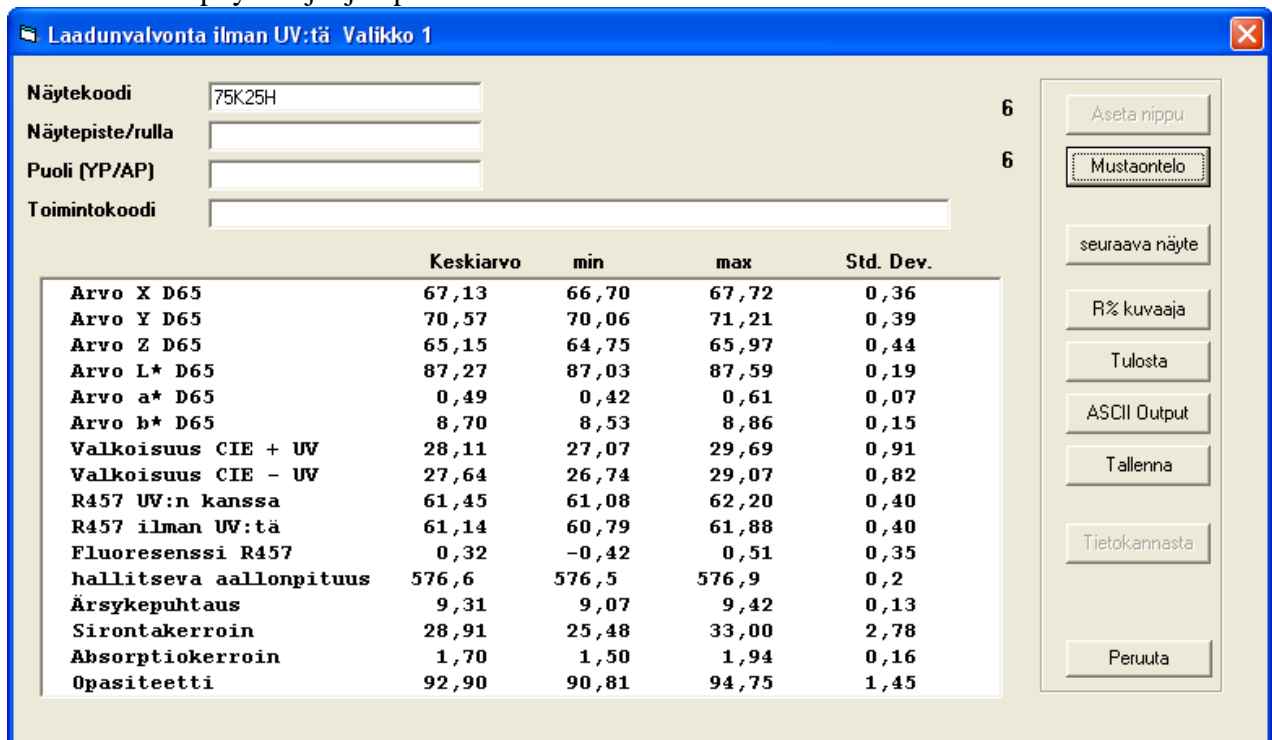
6  
6

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

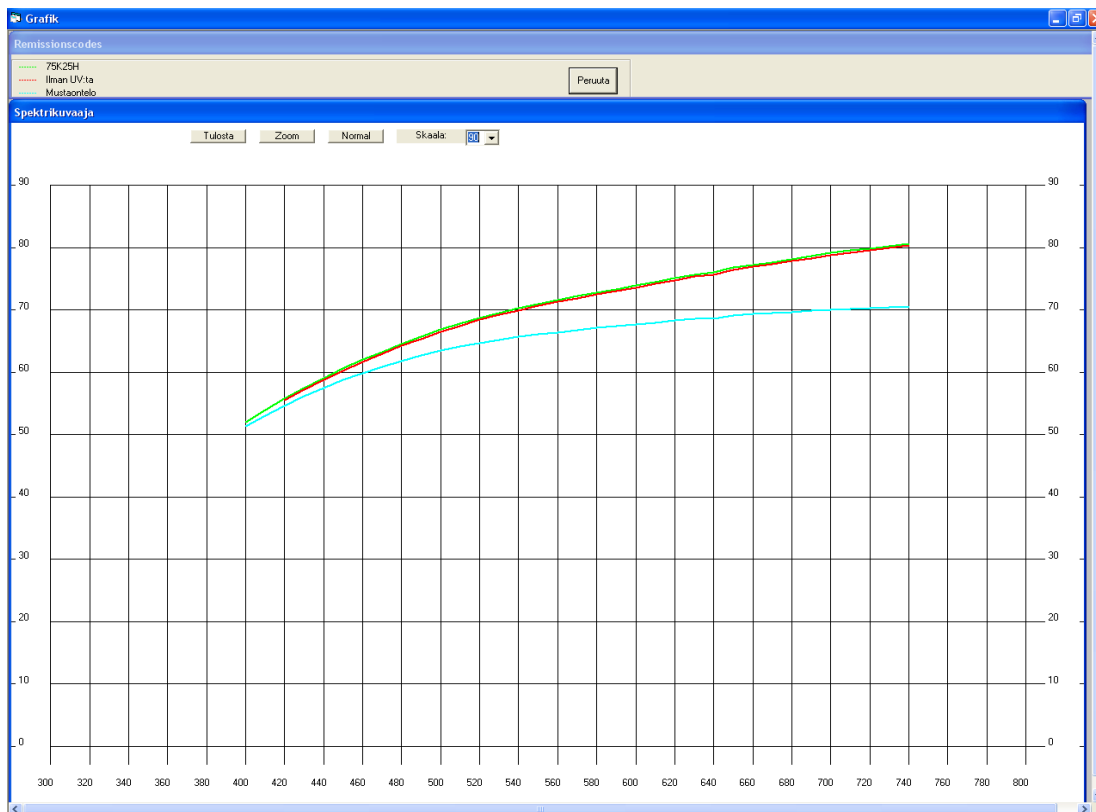
Kuva 4/9. 90 % koivu ja 10 % hamppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



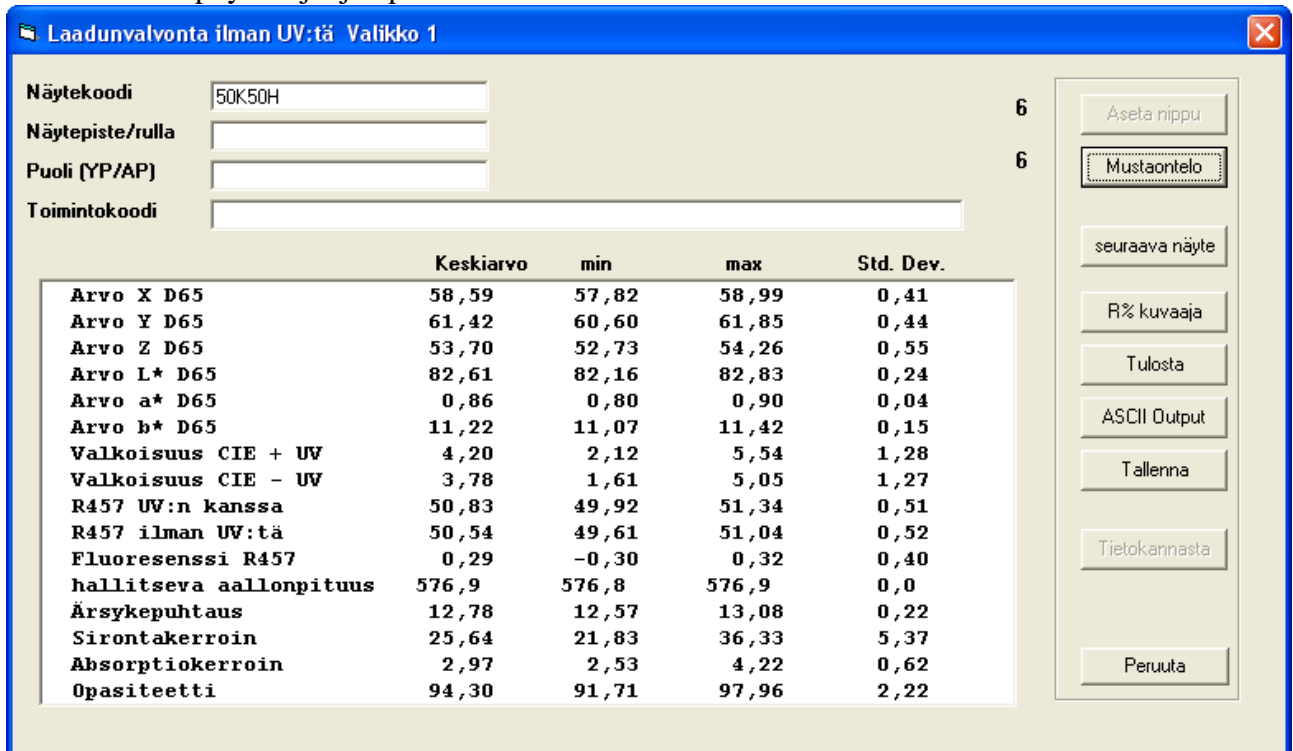
Kuva 4/10. 90 % koivu ja 10 % hamppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



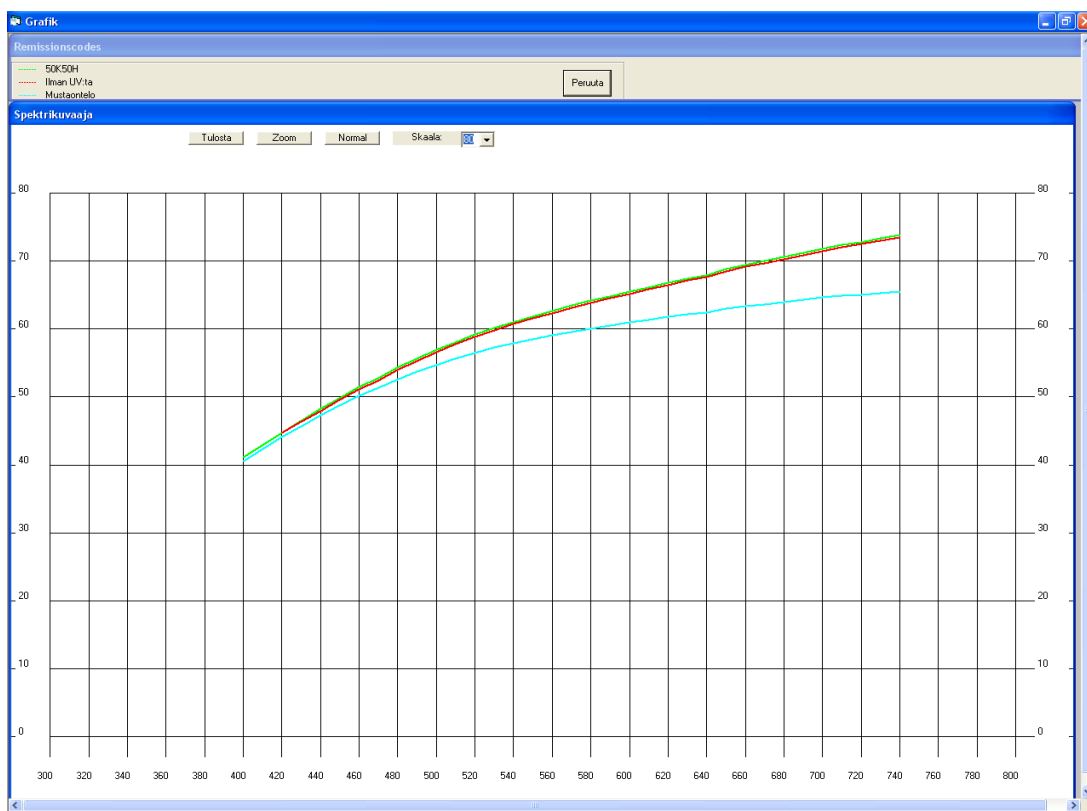
Kuva 4/11. 75 % koivu ja 25 % hamppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/12. 75 % koivu ja 25 % hamppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.

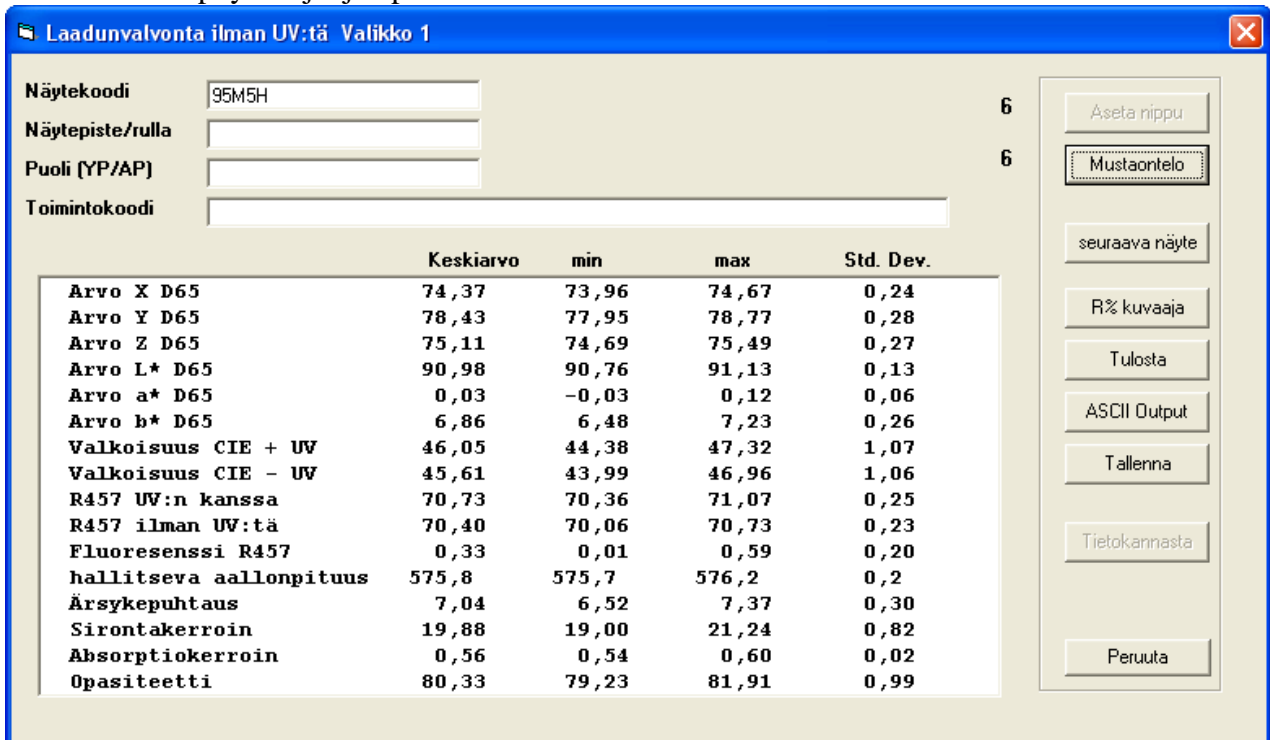


Kuva 4/13. 50 % koivu ja 50 % hamppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.

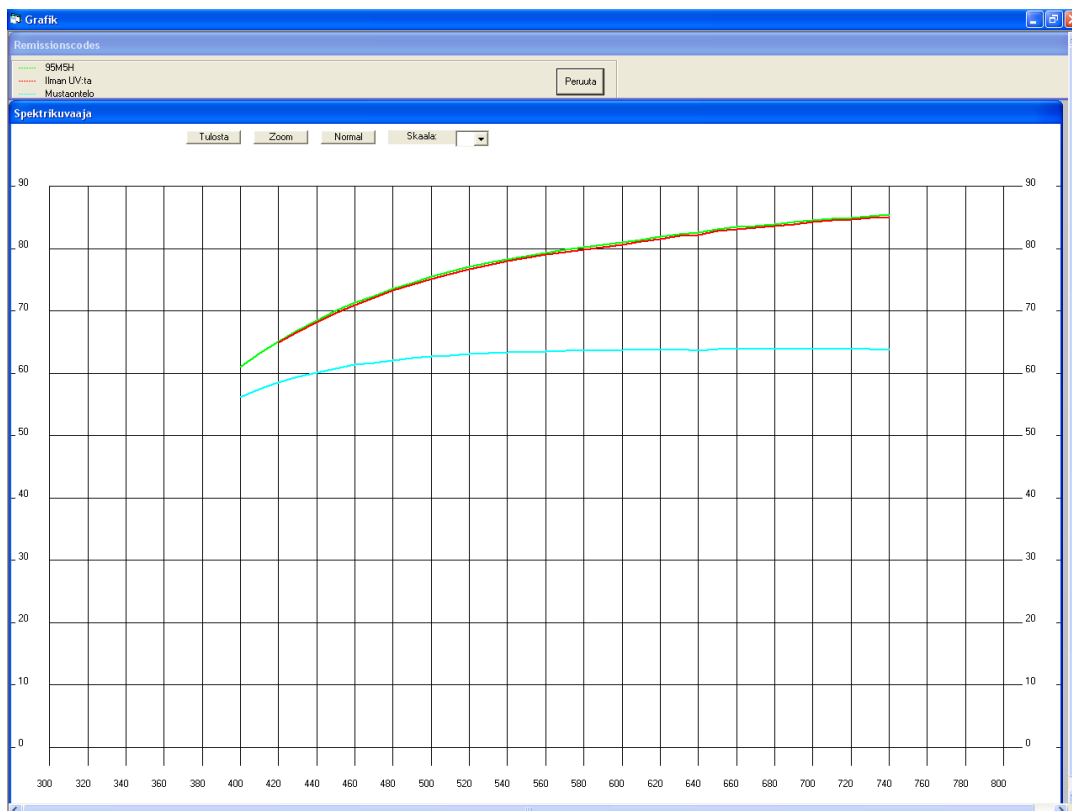


Kuva 4/14. 50 % koivu ja 50 % hamppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.

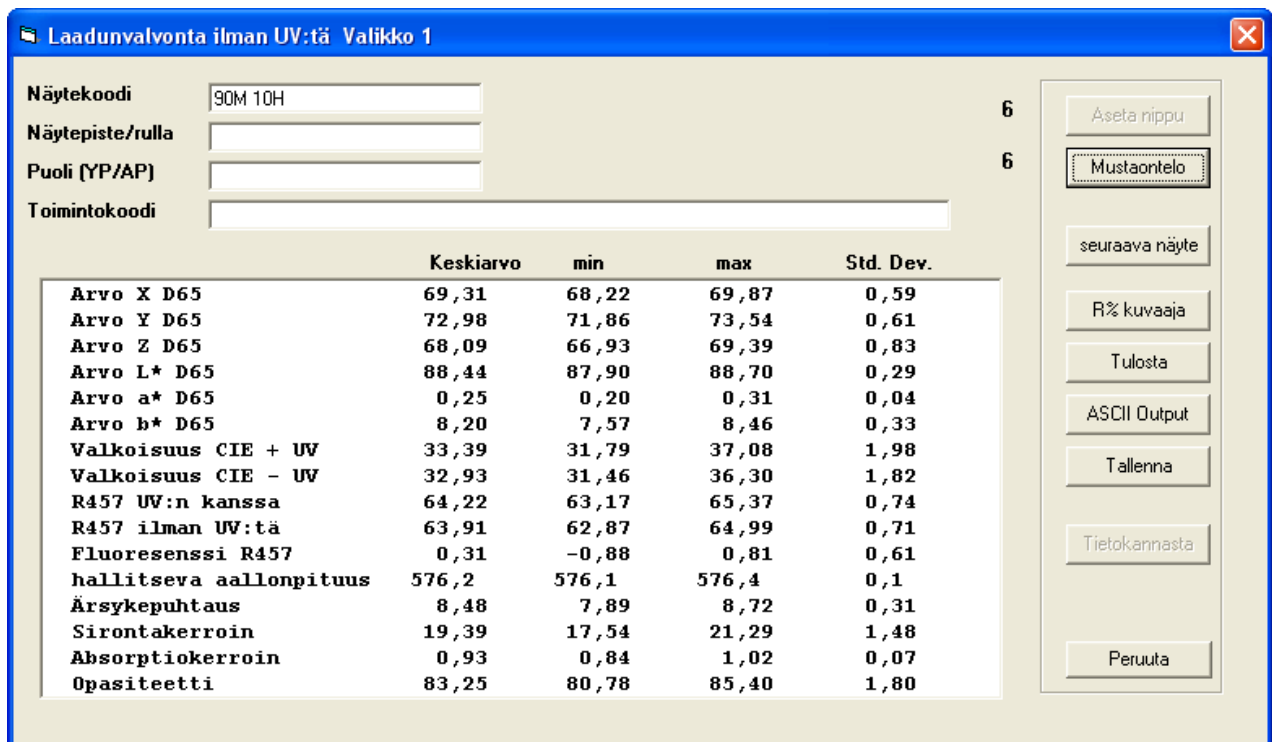




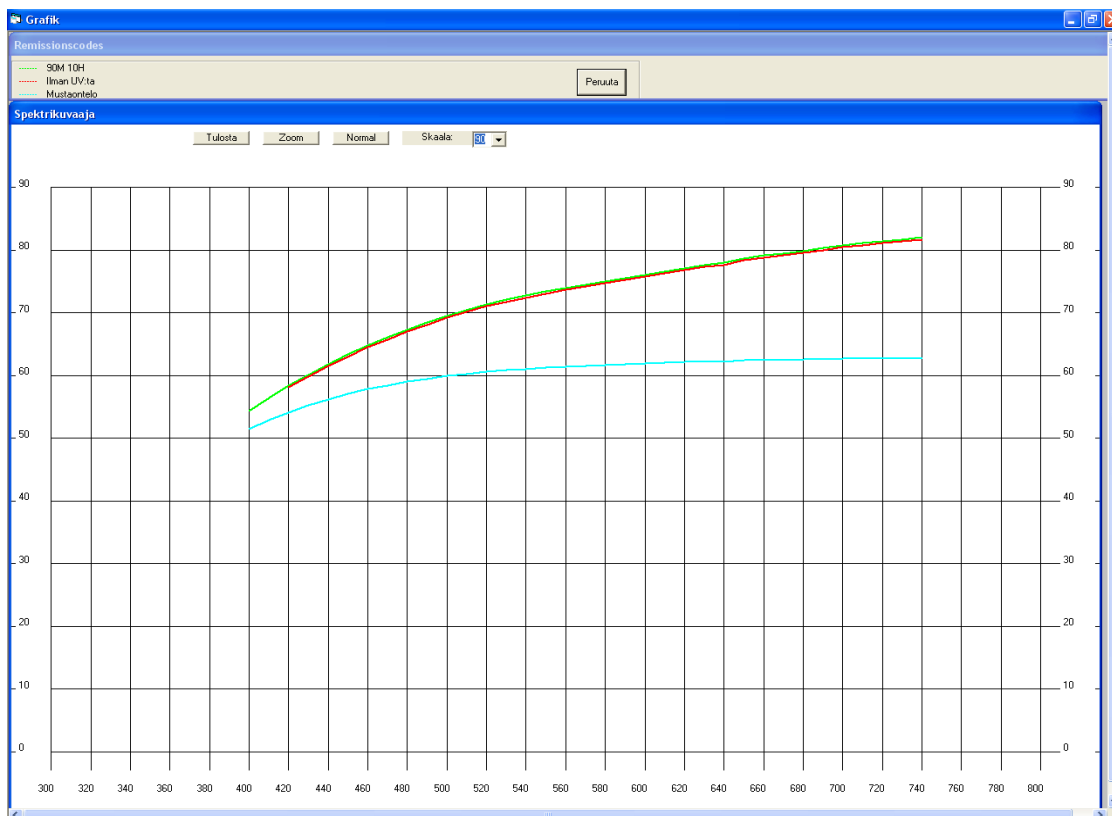
Kuva 4/15. 95 % mänty ja 5 % hamppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



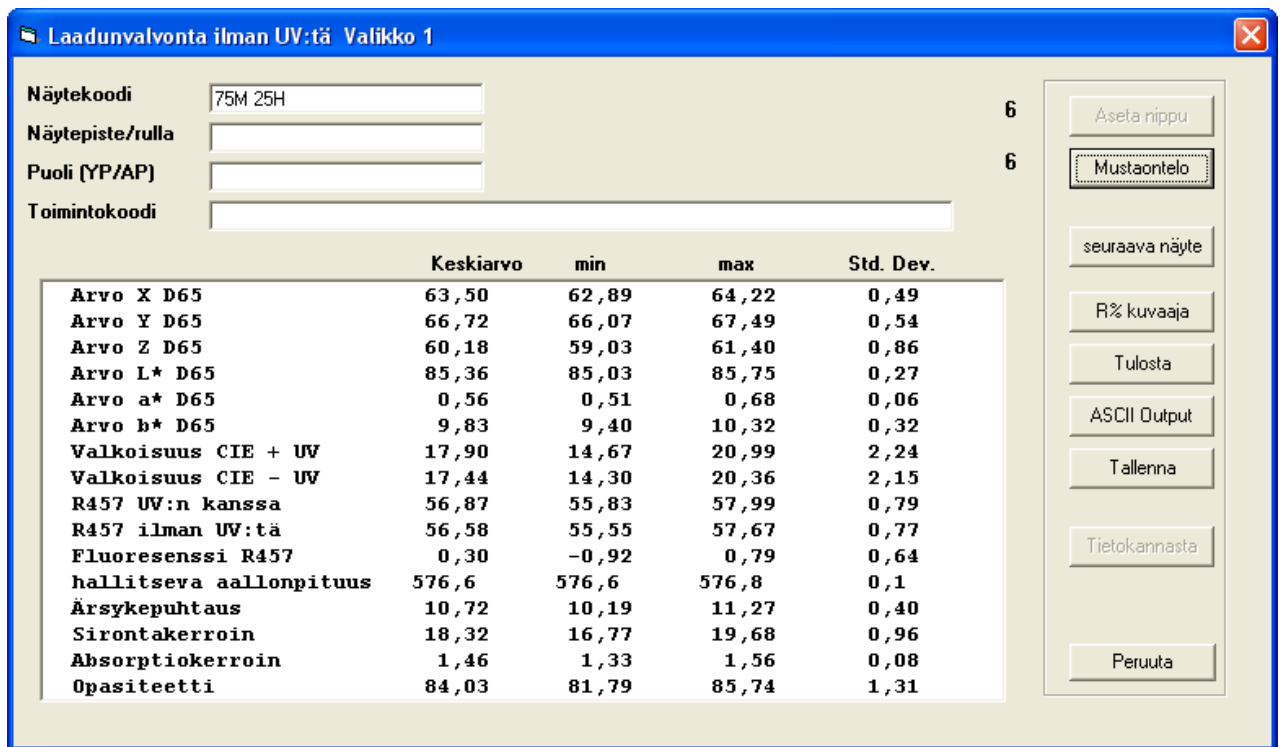
Kuva 4/16. 95 % mänty ja 5 % hamppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



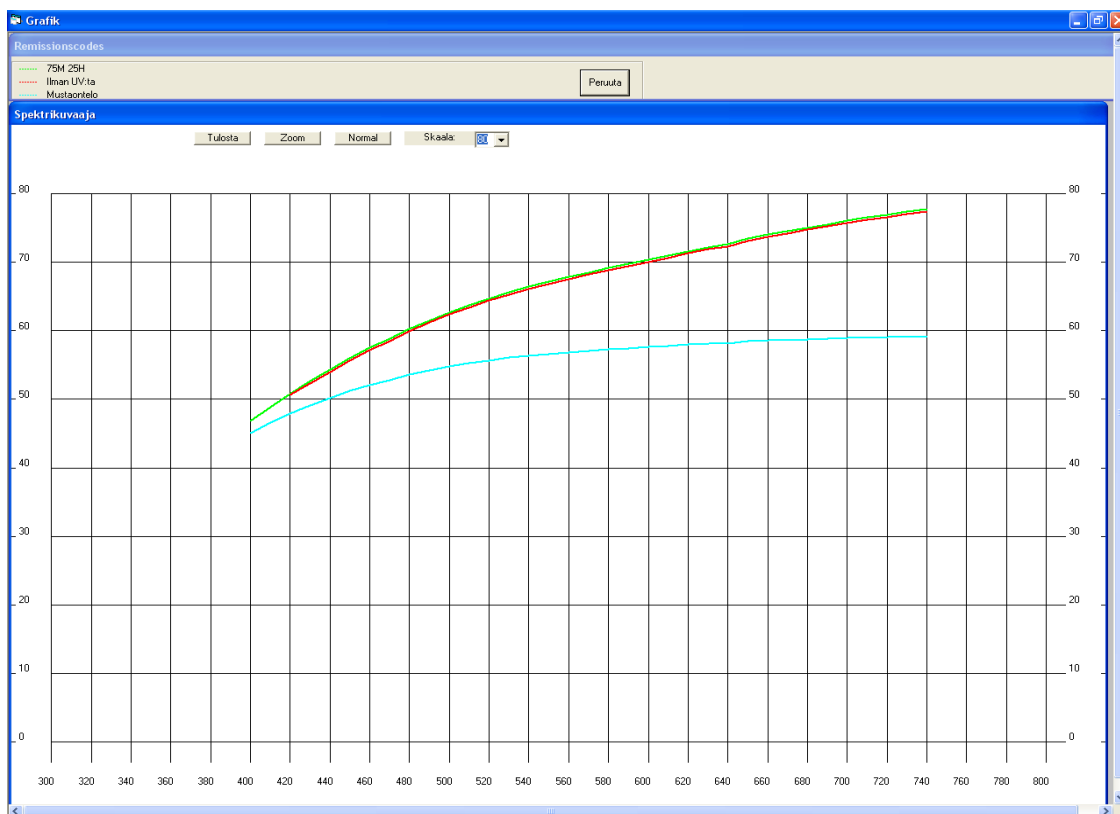
Kuva 4/17. 90 % mänty ja 10 % hammppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



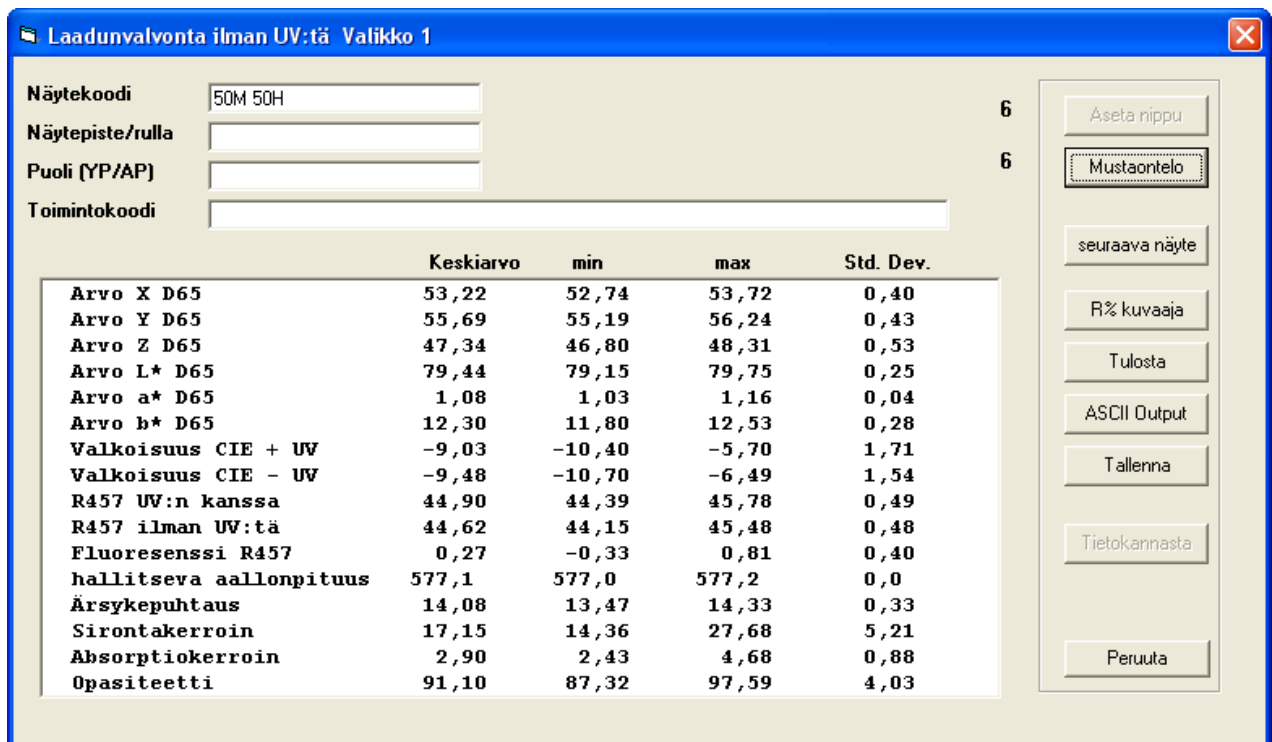
Kuva 4/18. 90 % mänty ja 10 % hammppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



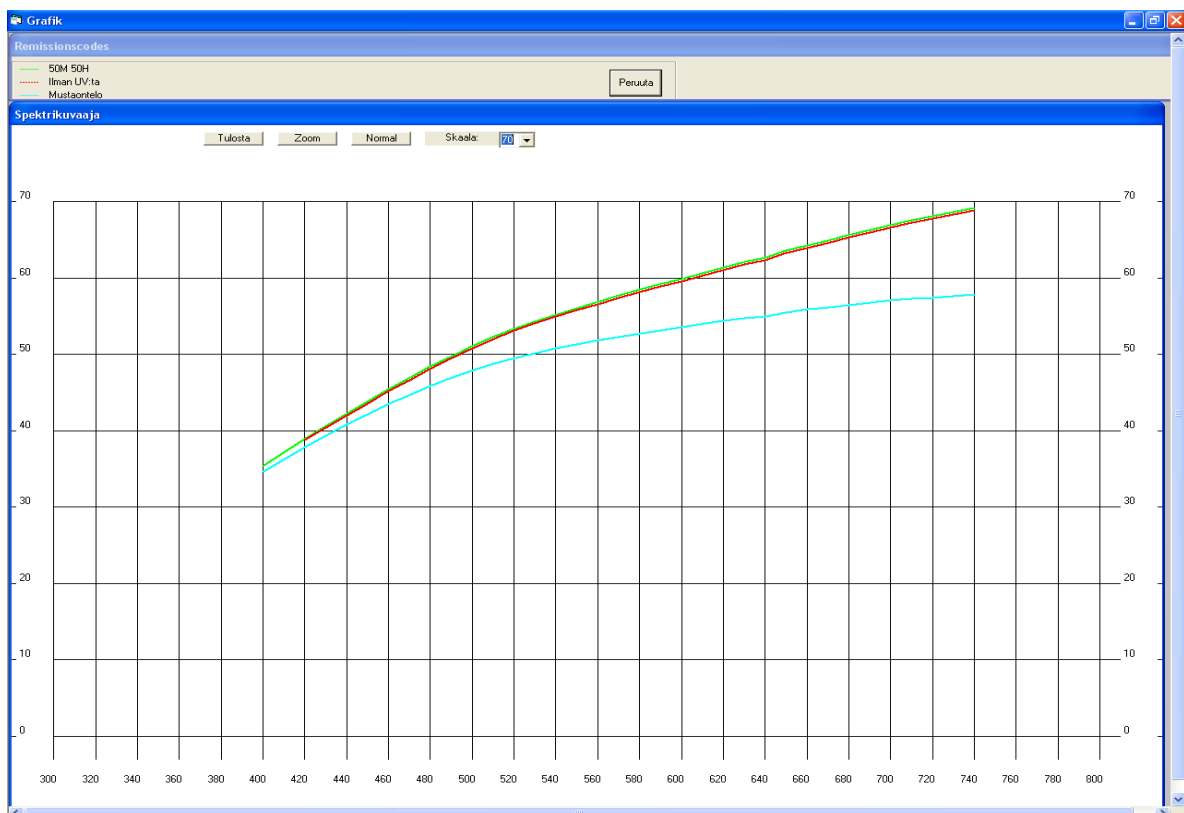
Kuva 4/19. 75 % mänty ja 25 % hammppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/20. 75 % mänty ja 25 % hammppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/21. 50 % mänty ja 50 % hammppuarkkien optiset ominaisuudet mitattuna Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.



Kuva 4/22. 50 % mänty ja 50 % hammppuarkkien valon intensiteettijakauma mitattuna valon aallonpituuden funktiona, aallonpituuden ollessa 400 – 740 nm. Mitattu Minolta spektrofotometrillä 10.10.2012.