

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi/ paperi- ja kartonkituotteiden markkinointi

Anni Sarvilahti

JAUHATUKSEN VAIKUTUS KOIVUN, AKASIAN JA EUKALYPTUKSEN PA-
PERITEKNISIIN OMINAISUUKSIIN

Insinööriö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsä- ja puutalouden markkinointi

SARVILAHTI, ANNI

Jauhatuksen vaikutus koivun, akasian ja eukalyptuksen paperitekniisiin ominaisuuksiin

Insinööriytyö

47 sivua ja 18 liitesivua

Työn ohjaaja

tekniikan lisensiaatti Kauko Mononen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Maaliskuu 2011

Avainsanat

sellun jauhatus, sulfaattimassa, koivu, akasia, eukalyptus, paperitekniset ominaisuudet

Tämän insinööriytyön tarkoituksena on tutkia erilaisten sulfaattimassojen ominaisuuksia. Toisiinsa verrattavia puulajeja ovat koivu, akasia ja eukalyptus, joista valmistettiin työtä varten näytearkit. Keskeisimpänä tutkimuksen kohteena on jauhatusajan vaikutus näytearkkien paperitekniisiin ominaisuuksiin.

Työn kokeellinen osuus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa kevään 2010 aikana. Testattavia massoja jauhettiin viiden, kahdenkymmenen, neljäkymmenen ja kuudenkymmenen minuutin jauhatusajoilla. Tämän jälkeen massoista valmistettiin näytearkit, jokaista massaa ja jauhatusaikaa kohden kuusi kappaletta. Näytearkeista tehtiin SCAN-standardimenetelmien mukaan kalibroiduilla laitteilla laboratoriomittaukset. Näillä mittauksilla testattiin näytearkkien mekaanisia ja optisia ominaisuuksia.

Tulosten käsittelyssä huomioitiin sekä hyvät että huonot ominaisuudet ja niiden soveltuvuudet eri paperi- ja kartonkilajeihin. Tarkoituksena oli löytää eroja ja yhtäläisyyksiä testattavista puulajeista. Tulokset osoittavat, että valmiiseen lopputuotteeseen tarvitaan useimmiten eri puulajien ominaisuuksien yhdistelmiä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Forest Products Marketing

SARVILAHTI, ANNI

The Effect of Beating on the Technical Properties of Paper
in Birch, Acacia and Eucalyptus

Bachelor's Thesis

47 pages and 18 pages appendices

Supervisor

Kauko Mononen, LicSc (Tech.)

Commissioned by

Kymenlaakso University of Applied Sciences

March 2011

Keywords

pulp refining, Birch, Eucalyptus, Acacia, paper technical
properties, sulphate process

The purpose of this Bachelor's thesis is to examine the properties of different sulphate pulps. The tree species examined and compared to each other are Birch, Acacia and Eucalyptus. From these tree species sample sheets were manufactured in order to test the properties in a paper laboratory. The most essential target is to investigate how the beating time of pulp affects the paper technical properties.

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

The sample sheets were tested in the paper laboratory with measuring devices which were calibrated according to SCAN-standards. The mechanical and optical properties of sample sheets were tested with these measuring devices. The purpose was to find similarities and differences of these three wood species. According to the results of this thesis, in most cases it is necessary to combine the properties of different tree species in order to get the best possible end product.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Työn tavoite	7
2	TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS	7
3	TYÖN SIDOSRYHMÄT	8
4	TYÖMENETELMÄT	9
4.1	Tiedonhaku	9
4.2	Arkkien jauhatus ja laboratoriotutkimukset	9
4.3	Tulosten käsittely ja taulukointi	9
4.4	Tulosten luotettavuus ja virhearviointi	10
5	PUULAJIT	10
5.1	Puukuidut	10
5.2	Koivu	12
5.3	Eukalyptus	13
5.4	Akasia	14
6	MASSAN VALMISTUS	15
6.1	Sulfaattiprosessi	15
6.2	Jauhatus	17
6.3	Jauhatuksen vaikutus kuituihin	18
7	NÄYTEARKKIEN VALMISTUS	19
7.1	Jauhatus	19
7.2	Jauhatusasteen mittaaminen	19
7.3	Arkkien valmistus	19
7.4	Arkkien testaus laboratoriossa	20
8	TESTAUSMENETELMÄT	20
8.1	Neliömassa	21
8.2	Paperin paksuus, tiheys ja bulkki	21
8.3	Paperin kosteus	22
8.4	Paperin tuhkapitoisuus	22
8.5	Paperin vetolujuus, vetoindeksi ja murtovenymä	23
8.6	Paperin repäisyjuvu	24
8.7	Paperin karheus	24
8.8	Paperin ilmanläpäisevyys	25
8.9	Paperin ISO-vaaleus	25
8.10	Paperin opasiteetti	25
8.11	Valonsironta- ja valonabsorptiokerroin	25
8.12	Paperin kiilto	26
9	TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	26
9.1	Jauhatusaste	26
9.2	Neliömassa	27
9.3	Paksuus, tiheys ja bulkki	28

9.4	Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö.....	29
9.5	Repäisylujuus	33
9.6	Karheus.....	35
9.7	Ilmanläpäisevyys	36
9.8	ISO-vaaleus	37
9.9	Opasiteetti.....	37
9.10	Kiilto	38
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
11	LISÄAINEIDEN KÄYTTÖ	40
12	PAPERI- JA KARTONKILAJIT.....	41
12.1	Sanomalehtipaperi	41
12.2	Puupitoiset paperilajit	41
12.3	Puuvapaat paperilajit	41
12.4	Pehmopaperit	42
12.5	Kartongit	42
13	PAPERI- JA KARTONKITEOLLISUUDEN TULEVAISUUS	43
	LÄHTEET	45

LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirjat

Liite 2. Minolta Spectrofotometrin tulokset

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Paperinvalmistuksen periaatteet eivät ole kahdessa tuhatta vuodessa muuttuneet huomattavasti. Yksinkertaistettuna paperinvalmistuksessa puukuidut erotetaan toisistaan veden avulla massaseokseksi, joka levitetään paperikoneen viiralle, kuivataan ja luonnollisten lisäaineiden ja liimojen avulla saadaan pysymään tasaisena paperina. Tämän yksinkertaisen ilmiön takia paperi soveltuu myös kierrätettäväksi erittäin hyvin. Historiallisesti paperin keksiminen ajoittuu Kiinaan jo vuodelle 105 eKr. Vaikka tuotantoteknologia on kasvanut ja muuttunut vuosisatojen aikana, valmistetaan paperia yhä samalla tavalla kuin satoja vuosia sitten. Muutokset paperinvalmistuksessa ovat olleet hyvin hitaita. (1, s. 18–19.)

Paperiteollisuus kuitenkin kehittyy jatkuvasti ja tuotteiden laatua ja ominaisuuksia on pyrittävä parantamaan. Tästä syystä on hyvin tärkeää tuntea raaka-aineiden paperitekniset ominaisuudet ja se, kuinka nämä ominaisuudet käyttäytyvät koko valmistusprosessin aikana.

Suomi ei sijaitse viennin kannalta kaikkein keskeisimmällä paikalla, joten se heikentää monien tuotteiden kilpailukykyä. Esimerkiksi kuljetusmatkat ovat pitkiä, mikä vaikuttavaa toimitusaikoihin ajallisesti sekä aiheuttaa korkeita kuljetuskustannuksia. Myös pitkät etäisyydet omassa maassa ja suhteellisen pieni puun kasvu hehtaaria kohden sekä vähäinen kotimainen kysyntä heikentävät osaltaan kilpailukykyä. Etäisyyksien ollessa melko pitkiä Euroopan väestökeskittyymiin, on tärkeää ottaa huomioon vientituotteiden laatua koskevat käyttötottumukset, -vaatimukset ja -normit.

Nämä heikentävät tekijät ovat kuitenkin voitettavissa nykyaikaisilla ja suurilla tehtaila, koneellistamisella, automatisoinnilla, rationalisoinnilla sekä kilpailukykyisellä tuotevalikoimalla, joka kestää pitkien kuljetusmatkojen kustannukset (2, s. 7). Tuotteiden laadun ja muiden ominaisuuksien on vastattava ostajamaiden kuluttajien tottumuksia sekä vaatimuksia (2, s. 46). Mahdollisimman kilpailukykyisen tuotevalikoiman saa-

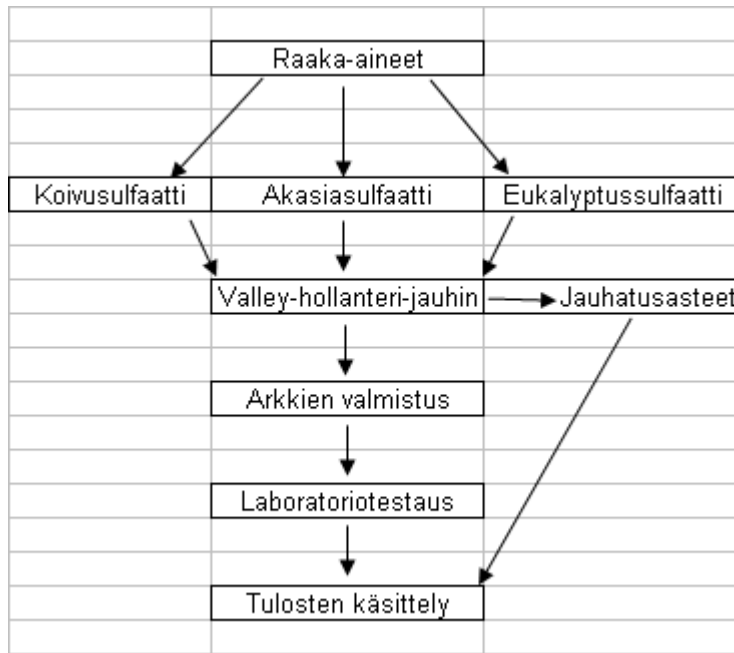
vuttamiseksi tarvitaan tuotteiden raaka-aineiden paperiteknisten ominaisuuksien ymmärrystä koko tuotteen elinkaaren ajalta.

1.2 Työn tavoite

Insinööriyön tavoitteena on tutkia akasian, koivun sekä eukalyptuksen paperitekniisiä ominaisuuksia. Tarkoituksena on löytää niiden ominaisuuksista sekä yhtäläisyyksiä että eroja. Akasianäytteet saatiin KCL:n, eli Keskuslaboratorion kautta, mutta tämän tarkempaa alkuperää ei ole tiedossa. Koivunäytteet ja eukalyptusnäytteet olivat peräisin UPM-Kymmene Oy:n tehtailta: koivunäytteet Kuusankoskelta ja eukalyptusnäytteet Fray Bentosin tehtaalta Uruguaysta. Jokaista näytemassaa jauhatettiin 5, 20, 40 ja 60 minuuttia Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Tarkoitus on tutkia eri jauhatusaikojen vaikutusta paperitekniisiin ominaisuuksiin. Laboratoriokokeilla selvitetään myös mekaanisia sekä optisia ominaisuuksia. Tavoitteena on tutkia eri sellujen ominaisuuksia ja niiden soveltuvuuksia erilaisiin paperi- ja kartonkituotteisiin.

2 TYÖN VIITEKEHYS JA TUTKIMUKSEN RAJAUS

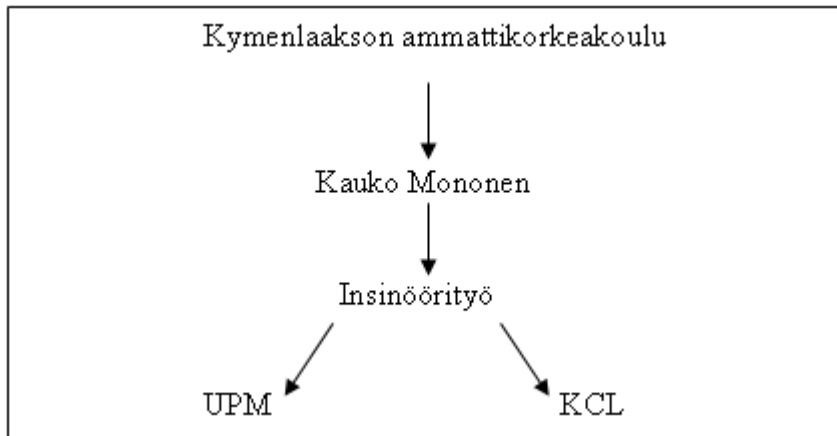
Tutkimus rajattiin kolmeen eri sulfaattimassaan. Tutkittavina puulajeina ovat kotimainen koivu sekä trooppiset puulajit akasia ja eukalyptus. Työ perustuu näiden kolmen puulajin tutkimiseen ja vertailuun eri jauhatusajan funktiona. Kuvassa 1 esitetään insinööriyön viitekehys.



Kuva 1. Insinööriyön viitekehys

3 TYÖN SIDOSRYHMÄT

Insinööriyön toimeksiantajana toimi Kymenlaakson ammattikorkeakoulu ja ohjaavana opettajana tekniikan lisensiaatti Kauko Mononen. Insinööriyötä varten saadut massanäytteet tulivat KCL:n ja UPM:n kautta. Tässä sidosryhmäkaaviossa UPM ja KCL toimivat ainoastaan tavarantoimittajina. Kuvassa 2 esitetään työn sidosryhmät.



Kuva 2. Insinöörityön sidosryhmät

4 TYÖMENETELMÄT

4.1 Tiedonhaku

Työtä varten käytössä ovat olleet alan kirjallisuus sekä Internet tiedonlähteinä. Laboratoriokokeita varten on tutustuttu huolellisesti käyttöohjeisiin sekä laitteiden kalibrointiin.

4.2 Arkkien jauhatus ja laboratoriotutkimukset

Laboratoriokokeet ja arkkien jauhatus suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun paperitekniiikan laboratoriossa standardin mukaisilla laitteilla. Näiden laitteiden avulla itse valmistetuista näytearkeista kerättiin tietoa ja tuloksia.

4.3 Tulosten käsittely ja taulukointi

Testeistä saadut tulokset taulukoitiin MS Excel -ohjelmalla. Excel-ohjelman avulla on myös käsitelty tuloksia esittäen niitä graafisesti erilaisten taulukoiden avulla.

4.4 Tulosten luotettavuus ja virhearviointi

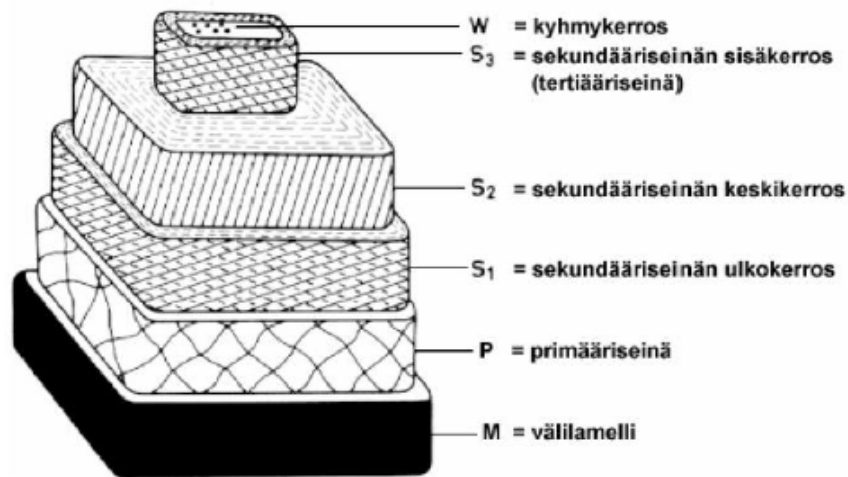
Virhearvioita esiintyy jokaisessa työssä. Yleensä erilaisten virheiden määrä voi olla noin 5 – 8 % yhteensä. Laitteistosta aiheutuvia mittavirheitä voi esiintyä noin 2 %. Mittausvirheet voidaan jakaa karkeisiin, systemaattisiin, inhimillisiin sekä tilastollisiin virheisiin. Online-analytiikka aiheuttaa noin 3 – 4 % virhearvioita. Näytteiden valmistuksessa voi esiintyä virheitä ja laboratorioden ilmastointiolosuhteissa voi olla epätarkkuutta. Myös näytteiden rajallisuus saattaa aiheuttaa tilastollisia virheitä. Jokaista näytekappaletta tarkastellaan yksittäin, mutta tuloksia analysoidessa käytetään aritmeettista keskiarvoa.

5 PUULAJIT

5.1 Puukuidut

Puu koostuu muodoltaan ja tehtäviltään erilaisista, melko pitkistä soluista. Näitä soluja kutsutaan usein kuiduiksi. Kuitu näin ollen on siis yhtä ainoata solua. Tärkeimmät puukuidun ainesosat ovat ligniini, selluloosa sekä hemiselluloosa. Lisäksi puukuitu sisältää uuteaineita puulajin mukaan. Ligniini ja hemiselluloosa muodostavat väliaineen, joka ympäröi selluloosarunkoa. Fibrillit, joita selluloosa muodostaa, ovat yhteenliittymiä. (3, s. 24–25.)

Puukuidun soluseinämän uloin kerros on nimeltään primääriseinämä. Primääriseinämän sisällä on kolmikerroksinen sekundääriseinämä. Puukuitujen soluseinämien varsinainen runkoaines on selluloosaa. Selluloosa on kuitujen tärkein ainesosa ja mahdollistaa niiden käytön paperinvalmistuksessa. Hemiselluloosa liittyy kuituja toisiinsa ja samoin myös ligniini sitoo kuidut lujasti toisiinsa ja antaa jäykkyyttä. Ligniiniä havupuissa on noin 28 % ja lehtipuissa 20 % puun kuivapainosta. (3, s. 25–26.) Kuvassa 3 esitetään soluseinän rakenne.



Kuva 3. Soluseinän rakenne (13, s. 77.)

Havupuiden solut muodostuvat trakeideista ja tylppysoluista. Trakeidit ovat pitkiä, päistään suippenevia soluja. Tylppysolut ovat lyhyitä ja ohutseinäisiä. Tylppysolut usein ovat suorakaiteen muotoisia. Trakeidit muodostavat 90 % puuaineksen tilavuudesta. (3, s.26)

Lehtipuilla on enemmän erilaisia soluja kuin havupuilla. Pääsolutyypit ovat puusyyt, putkilosolut ja tylppysolut. Lehtipuilla, kuten koivulla, on enemmän hemiselluloosaa ja vähemmän ligniiniä kuin havupuilla. (3, s. 26–27.) Taulukossa 1 esitetään puukuitujen dimensiot.

Kuitulaji	Pituus, mm	Leveys, μm	Pituuden ja leveyden suhde
Koivu	0,9 - 1,3	25 - 30	n. 50
Akasia	0,6 - 0,9	14 - 18	n. 50
Eukalyptus	0,75 - 1,1	16 - 20	n. 50

Taulukko 1. Puukuitujen dimensiot

5.2 Koivu

Koivu kuuluu yleisimpiin puulajeihimme kuusen ja männyn kanssa. Suomessa koivu on levinnyt aina Kittilän korkeudelle saakka. Koivu on myös yleinen puulaji koko Euroopan alueella (4.). Koivut vaativat paljon valoa kasvaakseen ja viihtyvät parhaiten viljavilla kangasmailla (5, s. 136). Rauduskoivu (*Betula pendula*) eroaa hieskoivusta (*Betula pubescens*) kaksoissahalaitaisen lehden ja karheanystyisten nuorten kasvainten perusteella. Myös arvokas visakoivu kuuluu rauduskoivuihin (6, s. 12). Rauduskoivu (kuva 4) on hakkuukypsä 60–80-vuotiaana, mutta viljeltynä jo 40–60-vuotiaana (5, s. 136). Rauduskoivu voi kasvaa lähes 40 metrin pituiseksi (7.). Hieskoivu kasvaa kosteammilla mailla kuin rauduskoivu. Hieskoivun oksankärjet ovat pehmeänukkaiset, eikä niissä ole rauduskoivulle ominaisia hartsinystyjä. Lehdet ovat pehmeät sekä säännöllisen sahalaitaiset. Rauduskoivun tyvi paksuuntuu voimakkaammin kuin hieskoivun. Hieskoivu jää myös yleensä pienemmäksi kuin rauduskoivu. Molemmat näistä koivuista ovat suosittuja sellunvalmistuksen raaka-aineita. Etenkin hienopapereiden, kuten korkealaatuisten kopio- ja painopapereiden valmistukseen käytetään koivusellua. Lyhytkuituinen koivusellu tarjoaa hyvän painokelpoisuuden (6, s. 14.) Viime vuosina koivukuitupuuta on tuotu paljon Venäjältä, mutta jatkossa puutullit voivat vaikuttaa tuontiin ja koivua saatetaan ryhtyä korvaamaan eukalyptuksella.

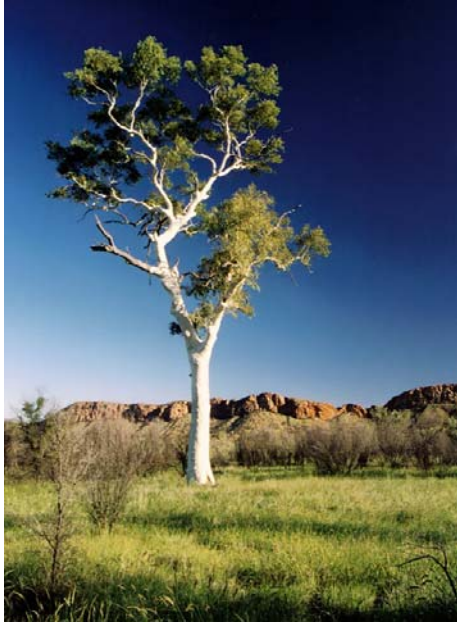


Kuva 4. Rauduskoivu (*Betula pendula*) (7.)

5.3 Eukalyptus

Eukalyptus (*Eucalyptus*) esiintyy luontaisesti Australian, Papua Uuden-Guinean ja Itä-Indonesian alueella. Markkinoilla olevien eukalyptustuotteiden puu tulee istutusmet-
sistä. (8.)

Eukalyptusmassa on kotimaisen koivumassan suurin kilpailija. Eukalyptuslajeista vain harvat soveltuvat massan raaka-aineeksi. Koska eukalyptuksella (kuva 5) on erittäin nopea kasvuvauhti, se voi saavuttaa korjuukelpoisuuden jo seitsemän vuoden iässä. Verrattuna koivuun eukalyptuksella on paljon suurempi saanto sen suuren selluloosa-
pitoisuuden ansiosta (3, s. 30.)



Kuva 5. Eukalyptus (*Eucalyptus*) (9.)

5.4 Akasia

Akasia (*Acacia*) on kuivilla ja puolikuivilla alueilla levinnyt kasvisuku. Sillä on puuntuotannollista merkitystä luontaisesti erityisesti Afrikassa. Aasiasta peräisin oleva akasia tulee viljelymetsistä (10.)

Akasia (kuva 6) on suhteellisen uusi laji sellun maailmanmarkkinoilla. Se on erityisen nopeakasvuinen lehtipuulaji. Akasian kuidut ovat lyhyitä ja ohutseinäisiä ja kuitujen lukumäärä painoyksikköä kohden on suuri. Lukumäärä on selvästi suurempi kuin eukalyptuksella tai trooppisella sekalehtipuulla. Nämä ominaisuudet tarkoittavat suurta valonsirontakerrointa ja siten parempaa opasiteettia eli läpinäkymättömyyttä (3, s. 30–31.)



Kuva 6. Akasia (*Acacia*) (11.)

6 MASSAN VALMISTUS

Massojen valmistusmenetelmä määritellään raaka-aineen sekä kuitujen käyttötarkoituksen perusteella. Massanvalmistus jaetaan karkeasti mekaanisiin ja kemiallisiin valmistusmenetelmiin. Mekaaniseen massanvalmistukseen kuuluvat hioke (SGW), hierre (RMP), painehioke (PGW), kuumahierre (TMP) ja kemialliseen kemiallinen sellu. Välimuotoja ovat esimerkiksi kemihierre ja puolikemiallinen sellu. Mekaanisen massan valmistuksessa puu kuidutetaan täysin mekaanisesti. Kemiallisen massan valmistuksessa puu kuidutetaan lämmön ja kemikaalien avulla. Yleisesti voidaan sanoa, että mekaanisten massojen raaka-aineksi soveltuvat parhaiten vaaleat, pehmeät ja kevyet puulajit. Mekaanisen massan kuidutuksen saanto on 90–97 %, kun taas kemiallisen massan keittosaanto noin 50 %. Valkaisu pienentää saantoa edelleen (5, s. 461–463.)

6.1 Sulfaattiprosessi

Kemiallisen massan valmistuksessa ligniiniä ja puun uuteaineita liuotetaan keittoliemeen kemikaalien ja lämmön avulla. Ennen keittoa puuaines kuoritaan ja haketetaan. Keiton tarkoitus on poistaa ligniiniä ja samalla pyrkiä säilyttämään selluloosapi-

toiset kuidut mahdollisimman pitkinä, ehjinä ja vahvoina. Lisäksi pyritään poistamaan puun uuteaineita, jotka myöhemmin prosessin aikana voivat aiheuttaa vaahtoamista ja saostumia. (12.) Kemiallinen massan valmistus säästää kuituja mekaaniselta rasitukselta ja näin ollen soveltuu hyvin sellaisten papereiden valmistukseen, joilta vaaditaan hyvää lujuutta ja kestävyyttä.

Yleisin sellun valmistusmenetelmä nykyään on sulfaattiprosessi (5, s. 461). Sulfaattiprosessi keitetään voimakkaasti alkalisella liuoksella. Keittokemikaaleina pyritään käyttämään kemikaaleja, jotka liuottavat mahdollisimman paljon ligniiniä ja mahdollisimman vähän selluloosaa. Keittokemikaaleina käytetään valkolipeää, joka koostuu natriumhydroksidin ja natriumsulfidin seoksesta. Natriumhydroksidi pilkkoo ligniiniä ja natriumsulfidi nopeuttaa keittoreaktiota ja vähentää selluloosan liukenemistä. Keittolämpötila on yleensä 150 °C – 170 °C. Keiton alussa lämpötilan tulee kuitenkin olla hyvin matala. Matala lämpötila vähentää selluloosan liukenemistä, joka on hyvin voimakasta keittovaiheen alussa. (12.) Keittoliemenä ja pesussa syntyy mustalipeää, joka pyritään erottamaan massasta tehokkaasti ja pumpataan talteenottolinjalle. Talteenottolinja valmistaa mustalipeästä valkolipeää ja tuottaa lämpöenergiaa jopa yli oman tarpeen. Keitto voi tapahtua eräkeittona tai jatkuvatoimisena vuokeittona. Jatkuvatoimisessa, eli vuokeitossa, haketta ja kemikaaleja syötetään jatkuvasti keittimeen. Massaa poistuu keittimen alapäästä. Keitto tapahtuu eri vyöhykkeissä, joihin keitin on jaettu. Eräkeitossa sellun keittäminen tapahtuu vaihe kerrallaan useissa keittimissä. (12.) Keitoneste on imeytyttävä hakkeeseen hyvin, jotta keitto onnistuu. Suurin osa ligniinistä liukenee pois, kun keiton lämpötila nousee yli 140 °C:n. Jos valkolipeä ei ole imeytynyt hyvin ja nostonopeus on liian suuri, jää kuituuntuminen epätäydelliseksi. (13, s. 75–81.)

Sulfaattiprosessin raaka-aineeksi soveltuvat monet eri puulajit. Erilaisia puulajeja ei kuitenkaan keitetä yhdessä laatusyistä. Suomessa sulfaattimassaa valmistetaan kahta päälaatua, havu- ja lehtisellua (pitkä- ja lyhytkuitusellua). Havusellun pääraaka-aine on mänty, yleensä yhdessä kuusen kanssa, ja lehtipuusellun koivu. 2000-luvulla eukalyptussellun käyttö on sen kasvunopeuden takia lisääntynyt. (5, s. 461–464.) Pitkäkuituisesta havupuusta valmistettu sulfaattisellu on lujaa massaa ja soveltuu hyvin tuotteisiin, joissa lujuus on tärkeää. Lyhytkuituinen lehtipuumassa soveltuu hyvin tuotteisiin, joissa optiset ominaisuudet ovat tärkeitä. Tärkeimmät lehtipuusellun käyttökoh-

teet ovat hienopaperit ja valkoiset kartongit. (3, s. 32.) Ilman valkaisua sulfaattimassa on ruskeaa, joten yleensä se joudutaan valkaisemaan. Valkaisun tavoitteena on parantaa vaaleutta ja puhtautta, alentaa pihkapitoisuutta sekä poistaa jäännösligniiniä. Kemialliset massat valkaistaan yleensä ECF (Elemental Chlorine Free)- tai TCF (Totally Chlorine Free) -menetelmällä. ECF-valkaisussa ei käytetä ollenkaan alkuaineklooria, ja tätä menetelmää käyttää jopa 90 % sulfaattitehtaista. TCF-valkaisu on täysin klooriton valkaisumenetelmä, jossa ei käytetä ollenkaan klooria eikä klooridioksidia. Valkaisu heikentää lujuusominaisuuksia. Keittokemikaalien kierto on tehtaan energia- ja kemikaalitalouden perusta. (5, s. 461–464.)

6.2 Jauhatatus

Ennen arkkien muodostamista kuidut on jauhettava jauhimessa. Kuitumassa kulkee jauhimessa jauhinterien välistä. Jauhinterien paino, leveys, terävyys, pyörimisnopeus kohdistuvat kuituihin katkomalla ja murskaamalla niitä. Katkomisen seurauksena kuidut lyhenevät ja murskaaminen erottaa fibrillit toisistaan. Lujaa paperia saadaan aikaiseksi pitkällä jauhamisella. (14, s.260-262.)

Tätä insinööriötä varten arkit jauhetaan standardimenetelmän SCAN-C 25:76 mukaan varustetulla Valley-hollanterin avulla. Hollanterissa metallihampailla varustettu jauhintukki pyörittää altaassa olevaa massaa ja samalla puristaa kuituja tukin alla oleviin alateriin. Jauhamisen voimaa säädellään nostamalla tai laskemalla painoa. (14, s. 260–262.)

Mitä lujempi kuitu, kuten valkaistu pitkäkuitusulfaatti, sitä enemmän se vaatii jauhatusta ja sitä voidaan jauhaa rajummin kuin lyhytkuitusulfaattia. Erityisesti viljeltyjen lehtipuiden jauhatustarpeet usein poikkeavat toisistaan kuidun luhistumistaipumusten erojen vuoksi. Akasia on puulajeista suhteessa ohutseinäisin, koivu taas hiukan vähemmän herkkä luhistumiselle ja eukalyptus kaikkein jäykin. Jotta akasiaa jauhettaessa säilytettäisiin alkuperäinen hyvä bulkki, jäykkyys ja optiset ominaisuudet, tulisi jauhettaessa käyttää erittäin pientä särmäkuormaa. Erittäin paljon jauhatusta vaativia paperilajeja ovat mm. tarrantaustapaperit, tiivispaperit sekä läpinäkyvyyttä vaativat

glassiinipaperit. Lehtipuu ja havupuu jauhetaan yleensä erikseen, jotta saadaan niiden parhaimmat ominaisuudet esiin. (3, s.115.)

6.3 Jauhatuksen vaikutus kuituihin

Jauhatus parantaa toisia paperin ominaisuuksia ja huonontaa toisia. Yleisesti ottaen jämäkkä jauhatus parantaa arkkien läpäisy-, veto-, sekä repäisyominaisuuksia, mutta huonontaa taitoskestävyyttä. Jauhatus vähentää opasiteettia, alentaa bulkkia ja lisää arkkien kutistumista kuivumisen aikana. Veteen liotettuina olleet kuidut pehmenevät, ja tämä turpoaminen vähentää huomattavasti kuitujen murtumis- ja katkeamisalttiutta jauhatuksen aikana. Tiettyyn pisteeseen asti jauhatuksella pystytään lisäämään arkkien lujuusominaisuuksia. (14, s. 264–266.)

Sellun jauhatuksen primäärivaikutukset voidaan jakaa seuraavasti:

1. Ulkoinen fibrillaatio. Tämä tarkoittaa kuidun ulkokerrosten osittaista irtoamista ja haiventumista ja on toivottu ilmiö, koska se edistää kuitujen välistä sitoutumista.
2. Sisäinen fibrillaatio. Tämä tarkoittaa veden tunkeutumista kuituseinämän lamellien väliin ja näin ollen kuidut notkistuvat.
3. Kuidun suoruuden muutokset. Jauhatusvoimien vaikutuksesta kuidut suoristuvat matalassa sakeudessa ja kähertyvät suuressa sakeudessa.
4. Kuitujen katkeileminen ja keskikuitupituuden lyheneminen. Tämä ei yleensä ole toivottu ilmiö, koska luonnosta saadaan lyhyitä kuituja jo valmiiksi. Pienempi keskikuitupituus parantaa formaatiota, sileyttä, kiiltoa ja rainan tiiveyttä, mutta huonontaa etenkin lujuusominaisuuksista repäisylujuutta.
5. Hienoaineen syntyminen. Tämä tarkoittaa kuitujen ja kuituseinämän osasten jauhautumista pieniksi partikkeleiksi. Hienoaine edistää kuitusidosten syntymistä ja vahvistaa rakennetta.
6. Kuidun liukeneminen osittain tai kokonaan. Kokonaan liukeneminen ei ole toivottu ilmiö, ja osittain liukeneminen muodostaa sitoutuvan kerroksen kuidun pintaan. (3, s. 113–114.)

7 NÄYTEARKKIEIN VALMISTUS

7.1 Jauhatus

Näytearkkien jauhatusta suoritettiin SCAN-C 25:76 standardin mukaan kalibroidulla Valley-hollanteriilla (15, s.19). Paalisellut olivat yön yli liotettuina, jotta niiden koostumus saatiin tarpeeksi pehmeäksi Valley-hollanteriin. Jokaisen massan paino jauhatusta varten oli 360 g kuivana ja massan sakeus hollanterissa 15,7 g/l. Jauhatuksessa massan pyörimisnopeuteen vaikuttava paino oli 4,6 kg. Valley-hollanteri täytettiin vedellä ja revityllä sellulla.

Valley-hollanterin pyöriessä sen jauhamasta sellusta otettiin näytteet viiden, kahdenkymmenen, neljänkymmenen ja kuudenkymmenen minuutin välein.

7.2 Jauhatusasteen mittaaminen

Jauhatusaste eli SR-luku mitattiin jokaisesta näytteestä standardin SCAN-C 19:65 mukaisesti kalibroidulla Schopper-Rieglerillä. SR-luku tarkoittaa mittaa massan suotautumisenopeudelle. Mitä hitaammin massa suotautuu, sitä suuremmaksi SR-luku muodostuu. (15, s. 22.) Schopper-Riegler-laitteessa mitattiin yksi litra huolellisesti sekoitettua sakeudeltaan 2 g/l sulppua. Mittalasin oleva, huolellisesti sekoitettu sulppu kaadettiin nopeasti ja tasaisesti laitteen vedenpoistokammioon sulkukartion akselia ja siipiä vasten. Sulkukartion pidätinvipu laukaistiin viiden sekuntin kuluttua kaatamisesta. SR-luku luettiin mittalasin asteikolta yhden yksikön tarkkuudella, kun vesi oli kokonaan valunut sivuputkesta.

7.3 Arkkien valmistus

Arkkien valmistus suoritettiin SCAN-C 26:n mukaisella välineistöllä (15, s. 29). Arkkimuotissa olevan viiran pinta-ala oli n. 0,026 m². Tärkeää on, että arkkimuotti ja viira ovat hyvin puhdistettuja. Arkkimuotin pohjaventtiili suljettiin ja vesiventtiili avattiin ja näin arkkimuotti täyttyi vedellä. Vettä päästettiin viiraosan läpi sen yläpuolelle noin puoleen väliin arkkimuottia. Tämän jälkeen viiran yläpuolella olevan veden sekaan

kaadettiin 150 ml näytesulppua ja koko seos sekoitettiin. Sekoitusvaiheen jälkeen arkkimuotin pohjaventtiili avattiin ja vesi alkoi poistua, jättäen viiran päälle sulpusta muodostuvan näytearkin. Arkkimuotin yläosa avattiin, kun vesi oli kokonaan poistunut ja viiralle muodostuneen arkin päälle laitettiin imukartonkeja, joita puristettiin viiraa vasten stanssin avulla. Tämän tarkoituksena oli poistaa ylimääräistä vettä arkista. Näytearkin molemmille puolille aseteltiin jälleen uudet imuarkit ja näytearkit kasattiin pinoon.

Näytearkeista muodostetut pinot puristettiin vielä hydraulisella puristimella, jotta ne saatiin mahdollisimman kuivaksi. Lopuksi arkit kuivattiin levyillä muutaman päivän ajan vakioilmastossa 23 °C, 50 % RH, ja jokainen näytearkki numeroitiin huolellisesti. Näin saatiin aikaiseksi ilmastoidut näytearkit laboratoriotestauksia varten.

7.4 Arkkien testaus laboratoriossa

Laboratoriokokeet suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun laboratoriossa standardien mukaan kalibroituilla laitteilla. Jokaista jauhatusaikaa ja puulajia kohden suoritettiin kuusi laboratoriokoetta jokaisella laitteella. Laboratoriokokeet suoritettiin vakioilmastossa 23 °C ±2 °C suhteellisen ilmankosteuden ollessa 50 % ±2 %.

8 TESTAUSMENETELMÄT

Paperi on hygroskooppinen aine, eli sen kosteuspitoisuus pyrkii aina asettumaan tasapainotilaan ympäröivän ilman olosuhteiden kanssa. Tärkeää on, että kaikki mittaukset testiarkeista tehdään samoissa ilmastointioiloissa. Näytteet tulisi ilmastoida (tarpeeksi kauan ilman vaikutuksen alaisena) standardimenetelmän SCAN-P 2:75 mukaisessa testaushuoneessa, jossa lämpötila on 23 °C ±2 °C ja suhteellinen kosteus 50 % ±2 %. (15, s. 39–40.)

8.1 Neliömassa

Paperin neliömassa tarkoittaa ilmastoidun näytteen pinta-alayksikön massaa ilmaistuna g/m^2 . Näytteet punnitaan vähintään 0,2 % tarkkuudella, ja kunkin testikappaleen neliömassa lasketaan kaavasta 1.

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

jossa

w = testikappaleen neliömassa, g/m^2

m = testikappaleen massa, g

A = testikappaleen pinta-ala, cm^2 . (1)

8.2 Paperin paksuus, tiheys ja bulkki

Paperiarkin paksuus on kahden 200 mm^2 :n suuruisen levyn välinen etäisyys, kun ilmastoitunut arkki on levyjen välissä niiden välisen paineen ollessa 100 kPa. Paperiarkin paksuus määritetään kalibroidulla, SCAN-P 7:75 mukaan varustetulla tarkkuusmikrometrillä. Paksuus määritellään jokaisesta näytearkista yhdellä paksuusmittauksella. Paksuusmittari määrittelee paksuuden 1 μm :n perusteella. Paperin tiheys on massa tilavuusyksikköä kohden, laskettuna yksittäisen arkin neliömassan ja paksuuden perusteella.

Paperin tiheys lasketaan kaavasta 2.

$$X = 1000\, w/t,$$

jossa

X = tiheys, kg/m^3

w = neliömassa, g/m^2

t = paksuus. (2)

8.3 Paperin kosteus

Paperin kosteus määritellään painohäviönä, kun näyte on kuivatettu vakiopainoon lämpötilan ollessa $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Kosteuspitoisuus ilmoitetaan prosentteina kostean näytteen painosta. Vakiopaino katsotaan saavutetuksi, kun kahden peräkkäisen punnituksen tulokset eivät eroa enemmän kuin 0,1 % alkuperäisestä painosta. Kosteuden määrittämisessä käytetään vähintään 0,5 g:n painoista kappaletta. Testikappale laitetaan kannen alle punnituslasiin. Lasiin ei tulisi päästää kosteutta. Astian saavuttaessa lämpötapainon ympäröivän ilman kanssa, se punnitaan. Virheprosentti saa olla enintään 0,05. Näytteen kosteus lasketaan kaavasta 3.

$$X = \{ (a-b) / (a-c) \} \cdot 100,$$

jossa

X = näytteen kosteuspitoisuus, %

a = astian, kannen ja näytteen paino ennen kuivatusta, g

b = astian, kannen ja näytteen paino kuivatuksen jälkeen, g

c = astian ja kannen paino, g.

(3)

8.4 Paperin tuhkapitoisuus

Paperin tuhkapitoisuuden mittaamiseksi näyte poltetaan täydellisesti $925^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$. Tämän jälkeen tuhka punnitaan ja tuhkapitoisuus ilmoitetaan prosentteina kuivan paperin painosta. Tuhkapitoisuus määrittelee paperin epäorgaanisten aineiden määrää. Paperinäytteen tuhka lasketaan kaavasta 4.

$$X = a/m \cdot 100,$$

jossa

X = näytteen tuhkapitoisuus, %

a = tuhkan paino, g

m = kuivatun näytteen paino, g.

(4)

8.5 Paperin vetolujuus, vetoindeksi ja murtovenymä

Paperin vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormitusta, jonka paperista leikattu liuska kykenee kestävänsä murtumatta pinnan suuntaisesti vedettäessä. Murtovenymällä tarkoitetaan liuskan vetokokeessa, maksimivoiman hetkellä saavuttaman pituudenlisäyksen suhdetta liuskan alkuperäiseen pituuteen. Kalibroitu SCAN-P 16:76:n mukaan varustettu vetolaite mittaa tiedon näytteestä murtumahetkellä. Mittaamiseen käytettävät paperiliuskat ovat 1,5 cm leveitä ja vähintään 10 cm pitkiä. Niiden on oltava ehjiä ja suoriksi leikattuja. Jokaisesta tehdään 6 määrittystä.

Vetolujuus lasketaan kaavasta 5.

$$X = a/b \text{ tai } X = 9,81 c/b,$$

jossa

X = vetolujuus, kN/m

a = asteikon lukemien keskiarvo, N

b = liuskan leveys, mm

c = asteikon lukemien keskiarvo, kp. (5)

Vetolujuus ilmoitetaan 0,1 kN/m:n tarkkuudella, jos arvo on yli 5 kN/m, 0,05 kN/m:n tarkkuudella, jos arvo on välillä 1-5 kN/m ja 0,01 kN/m tarkkuudella, jos arvo on alle 1 kN/m. Vetoindeksi lasketaan kaavasta 6.

$$Y = 1000 X/w,$$

jossa

Y = vetoindeksi, N·m/g

X = keskimääräinen vetolujuus, kN/m

w = neliömassa, g/m². (6)

Vetoindeksi ilmoitetaan 1 Nm/g:n tarkkuudella, jos arvo on yli 50 Nm/g, 0,5 Nm/g:n tarkkuudella, jos arvo on välillä 10–50 Nm/g ja 0,1 Nm/g:n tarkkuudella, jos arvo on alle 10 Nm/g. Murtovenymä ilmoitetaan prosentteina alkuperäisen kiinnitysvälin pituudesta, yhdellä desimaalilla.

8.6 Paperin repäisylujuus

Paperin repäisylujuus tarkoittaa sitä keskimääräistä työtä, joka tarvitaan tietyn pituisen repeämän aikaansaamiseen paperiin tehdystä alkuviillosta lähtien. Mittaus suoritetaan niin, että neljän testikappaleen muodostamaan nippuun tehdään alkuviilto ja testikappaleet repäistään tästä määräpituudella. Repäisyyn käytetty työ mitataan heilurin potentiaalienergian vähenemisenä. Jokaisesta näytteestä tehdään kuusi koetta.

Repäisylujuus lasketaan kaavasta 7.

$$a = s \cdot p,$$

jossa

a = repäisylujuus, mN

s = asteikon lukemien keskiarvo

p = heilurikerroin.

(7)

Repäisyindeksi lasketaan kaavasta 8.

$$X = a/w,$$

jossa

X = repäisyindeksi, mN·m²/g

a = repäisylujuus, mN

w = näytteen neliömassa, g/m².

(8)

8.7 Paperin karheus

Paperin karheus määritellään SCAN-P 21:67:n mukaan varustetulla ja kalibroidulla Bendtsen-laitteella ilman virtaamana paperin ja sen päälle asetetun metallirenkaan välistä 150 mm wp:n paine-eron vallitessa. Näyterkki laitetaan lasilevyn päälle ja mitta-

laite näytteen päälle. Karheus mitataan liikuttamalla mittapäätä arkin eri kohdissa jokaisesta näytearkista yksi kerrallaan.

8.8 Paperin ilmanläpäisevyys

Paperin ilmanläpäisevyydellä tarkoitetaan sitä ilman tilavuusvirtaa, jonka 150 mm wp:n paine-ero saa aikaan 10 cm² pinta-alan läpi. Jokaisesta näytearkista tehdään oma mittaus. Ilmanläpäisevyys mitataan myös Bendtsen-mittarilla. Jos ilmanläpäisevyys on alle 50 ml/min, tulos ilmoitetaan suoritettujen määritysten keskiarvona 2 ml/min tarkkuudella. Jos tulos on 50 ml/min tai yli, ilmoitetaan tulos 5 ml/min tarkkuudella. (15, s.40–64.)

8.9 Paperin ISO-vaaleus

ISO-vaaleus mitataan Minolta Spectrofotometerillä. ISO-vaaleus on paperin ominaisheijastusluku mitattuna 457 nm:n vaikuttavalla aallonpituudella. Testikappaleet laitetaan nippuun ja siitä mitataan ominaisheijastusluku 0,1 heijastuslukuyksikön tarkkuudella. Mitattu kappale siirretään nipun pohjalle ja mittaus toistetaan seuraavalla arkilla.

8.10 Paperin opasiteetti

Opasiteetti mitataan mustaa taustaa vasten, josta saadaan yksittäisen arkin valoheijastusluvun suhde saman arkin Y-arvoon. Opasiteetti mitataan myös Minolta Spectrofotometrillä. Opasiteetti kuvaa paperin läpinäkymättömyyttä.

8.11 Valonsironta- ja valonabsorptiokerroin

Kubelka-Munkin mallin mukaisesti paperista mitattu valonsironta- ja absorptiokerroin kuvaavat yhdessä paperin neliömassan kanssa paperin heijastuskykyä ja opasiteettia. Mustaa taustaa vasten mitataan heijastusluku, ominaisheijastusluku ja neliömassa, joista mitataan valonsironta- ja absorptiokerroin. Valonsirontakerroin pyöristetään lä-

himpään $0,5 \text{ m}^2 / \text{kg}$:aan. Valonabsorptiokertoimen kolmas merkitsevä numero pyöristetään 0:aan tai 5:een.

8.12 Paperin kiilto

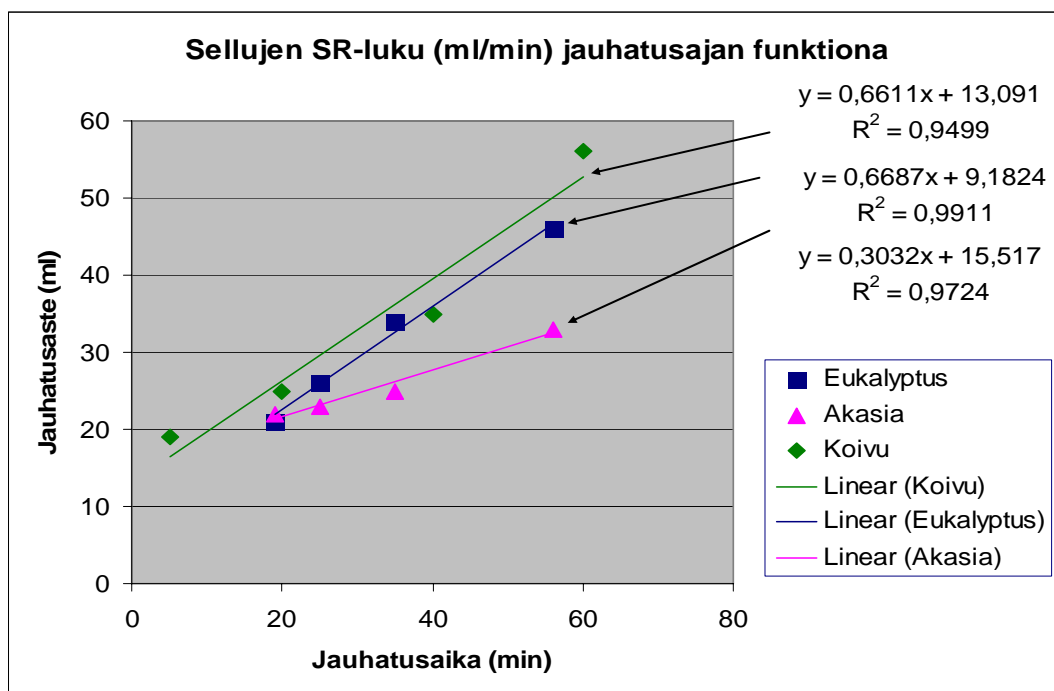
Paperin kiilto testataan Zehntner-mittarilla jokaisesta näytearkista yksi näytekappale kerrallaan. Koe toistetaan näytearkkien määrän mukaisesti, eli kuusi kertaa. Zehntner-mittari laskee jokaisesta arkista kiiltoarvon, keskiarvon sekä -hajonnan.

(15, s. 73–77.)

9 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

9.1 Jauhatusaste

Lähes jokaista ominaisuutta on tässä työssä tutkittu suhteessa jauhatusaikaan. Jauhauksella on lisäksi suuri vaikutus energian kulutukseen. Kuvassa 8 esitetään eri puulaajeista valmistettujen sellujen jauhatusasteet jauhatusajan funktiona.



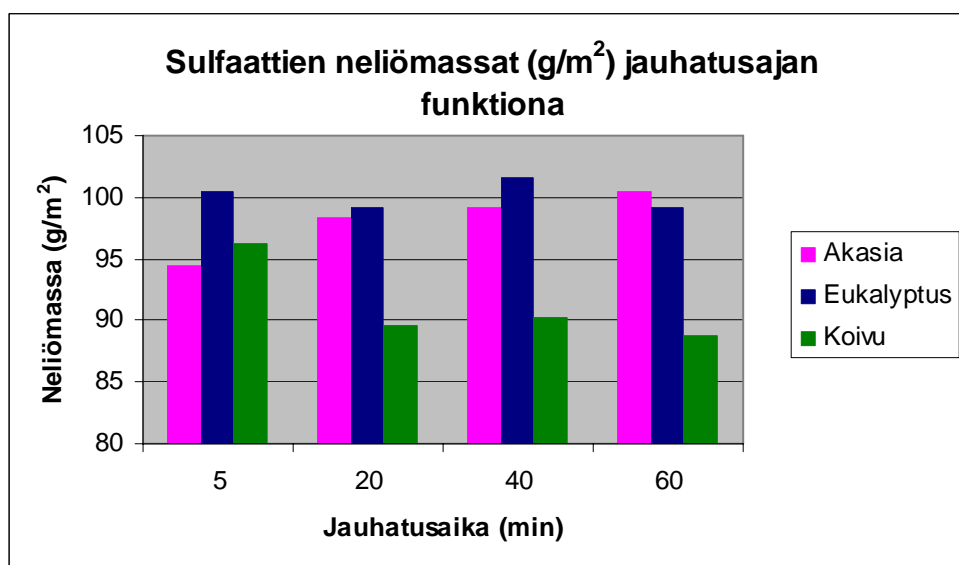
Kuva 7. Eri sulfaattien jauhatusasteet jauhatusajan funktiona

Kuvasta 7 voidaan todeta akasian olevan kaikkein hitaimmin jauhautuva ja koivun ja eukalyptuksen lähes yhtä nopeasti jauhautuvia. Koivusellun jauhatusajan korrelaatioksi saadaan 94,99 %. Eukalyptussellun korrelaatio on vastaavasti jopa 99,11 % ja akasiassellun 97,24 %. Jokaisen sellun jauhatuksessa jauhatussakeus oli 15,7 g/l ja jauhatuskuorma 4,6 kg.

Eukalyptus ja koivu saavuttavat SR-luvun 30 lähes samanaikaisesti noin 25 minuutin jauhatusajan jälkeen. Paperi- ja kartonkikoneilla yleisesti käytetään kemiallista massaa, joka on ajettu 30–35 SR-asteeseen. Koska akasia on kaikkein hitaimmin jauhautuva, se saavuttaa 30 asteen SR-luvun vasta noin 55 minuutin jauhatusajalla.

9.2 Neliömassa

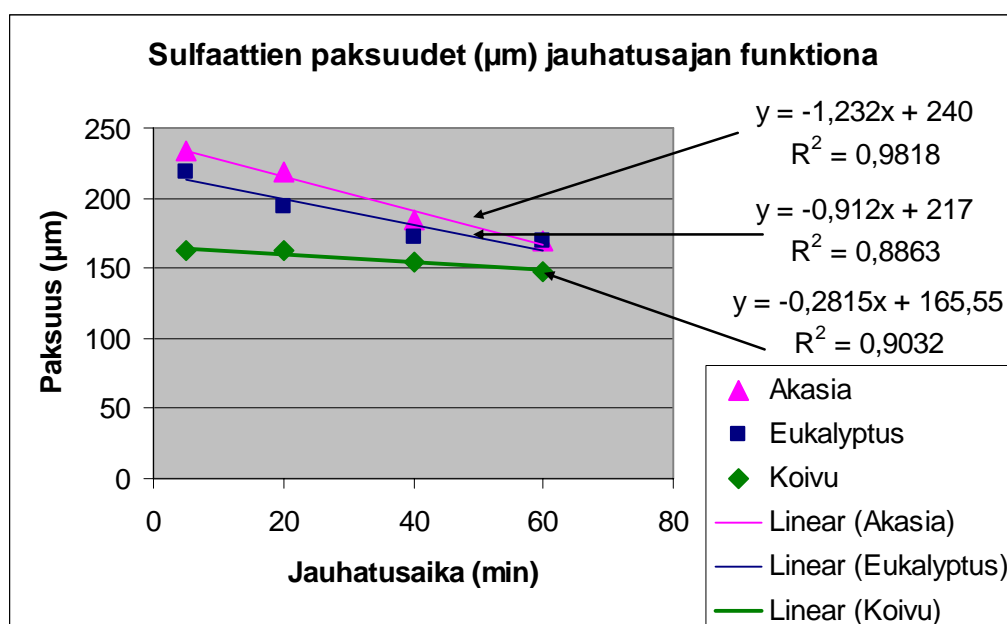
Kuvasta 8 voidaan todeta, että jauhatusajan ja neliömassan välillä ei ole riippuvuutta. Koivun neliömassa näyttää laskevan jauhatusajan pidentyessä, ja varsinkin suuri muutos tapahtuu viiden ja kahdenkymmenen minuutin jauhatusajan välillä. Vastaavasti taas akasian neliömassa suurenee, mitä kauemmin sitä jauhetaan. Vaihtelut ovat kuitenkin hyvin pieniä, varsinkin eukalyptuksella.



Kuva 8. Eri sulfaattien neliömassat jauhatusajan funktiona

9.3 Paksuus, tiheys ja bulkki

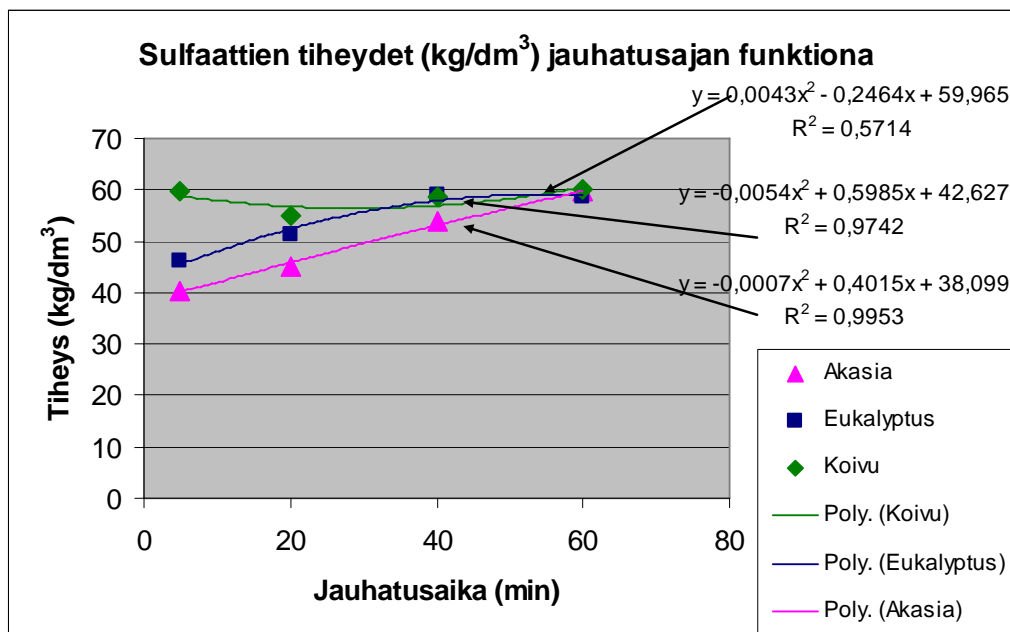
Kuvasta 9 huomataan hyvin, kuinka jauhatusaika vaikuttaa massojen paksuuteen. Jo aikaisemminkin todettiin, että mitä pidempi kuitu, sitä pidempään ja rajummin sitä voidaan jauhaa kuin lyhytkuitua. Ohutseinäinen akasiakuitu on hyvin herkkä lommah- tamiselle, koivu ja eukalyptus taas kestävät jauhatuksen vaikutuksia hieman parem- min. Varsinkin jos akasian hyvät bulkkiominaisuudet halutaan säilyttää, tulisi jauha- tuksessa käyttää mahdollisimman pientä särmäkuormaa.



Kuva 9. Eri sulfaattien paksuudet jauhatusaajan funktiona.

Kuvassa 10 esitetyn kaavion mukaan koivun tiheyteen jauhatusajalla ei ole vaikutusta, vaan se pysyy lähes samana jauhatusajasta riippumatta. Trooppisten viljeltyjen massojen tiheys taas näyttää kasvavan jauhatusaajan pidentyessä. Koivumassan tiheys on suurin, kun taas akasian on alhaisin.

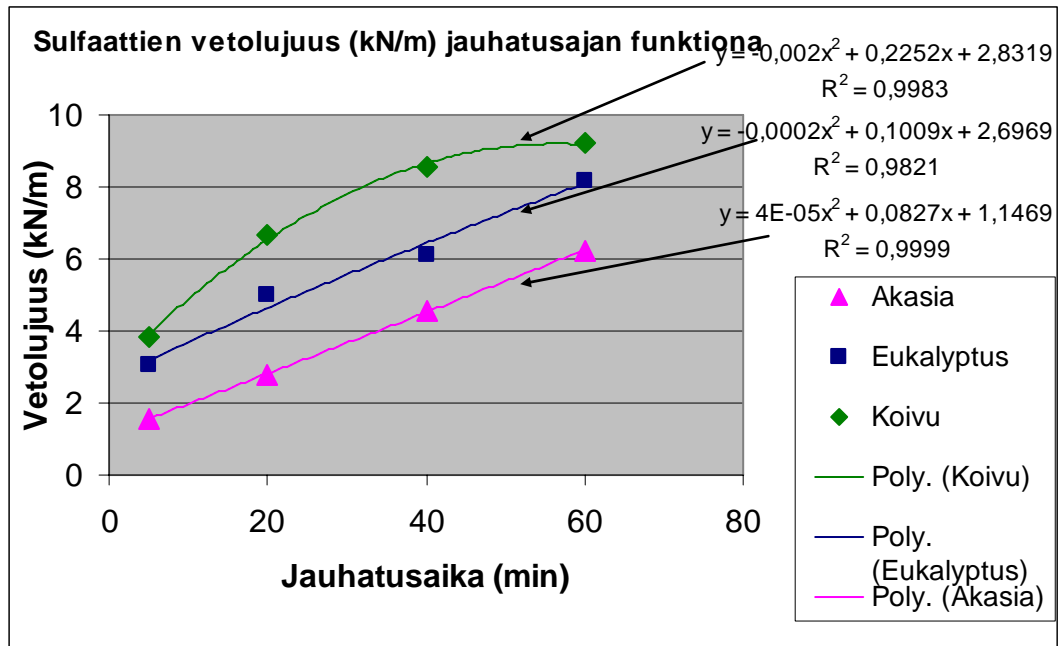
Jauhatusaajan voidaan myös olettaa vaikuttavan bulkkiin, joten tässä tapauksessa myöskään jauhatusajalla ei ole koivun bulkkisuuteen vaikutusta. Akasian ja eukalyptuksen tapauksissa bulkkisuus laskee hieman jauhatusaajan pidentyessä.



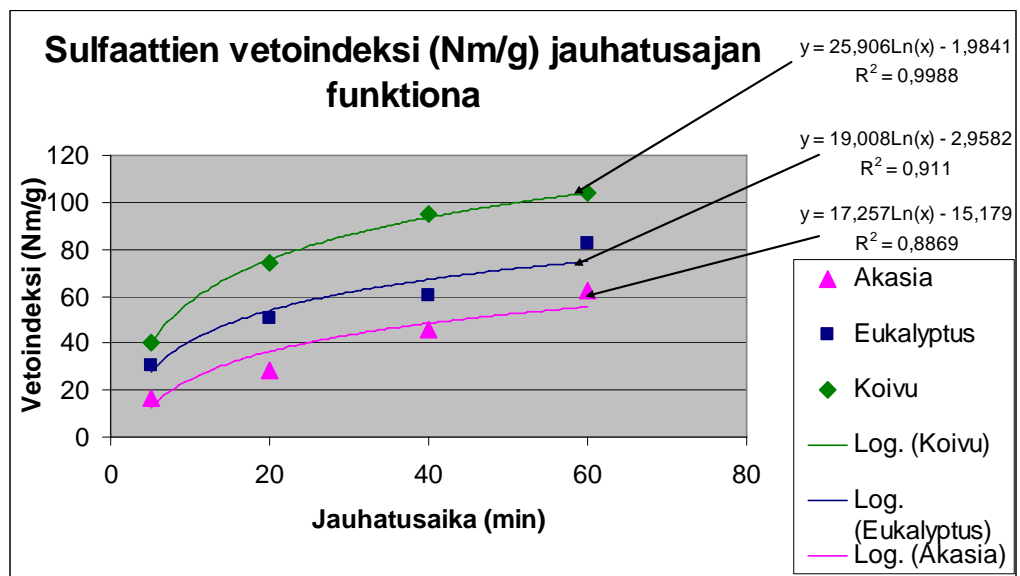
Kuva 10. Eri sulfaattien tiheydet jauhatusaajan funktiona

9.4 Vetolujuus, murtovenymä ja murtotyö

Jokaisen sulfaatin vetolujuus kasvaa, mitä kauemmin sitä jauhetaan. Akasiasta tehdyn arkin vetolujuus kasvaa jopa 99,5 %:n suhteessa jauhatusaikaan. Kuvan 12 ja 13 mukaan koivulla on kaikista suurin vetolujuus ja akasialla kaikista heikoin. Vetolujuuden kasvu on erinomainen esimerkki jauhatusaajan vaikutuksesta lyhytkuituisiin puulajeihin.



Kuva 11. Eri sulfaattien vetolujuudet jauhatusajan funktiona



Kuva 12. Eri sulfaattien vetoindeksit jauhatusajan funktiona

Taulukosta 2 huomataan minkälainen vetolujuus eri puulajeilla on, kun SR-luku on 30. Koivulla saavutetaan vetolujuus noin 7 kN/m jo 25 minuutin jauhatuserällä. Eukalyptuksella vastaavalla jauhatuserällä saavutetaan 21,4 % heikompi lujuus, eli noin 5,5 kN/m. Akasian vetolujuus samalla SR-luvulla on jopa 44,3 % heikompi, ja sekin saavutetaan yli kaksinkertaisella jauhatuserällä koivuun ja eukalyptukseen verrattuna.

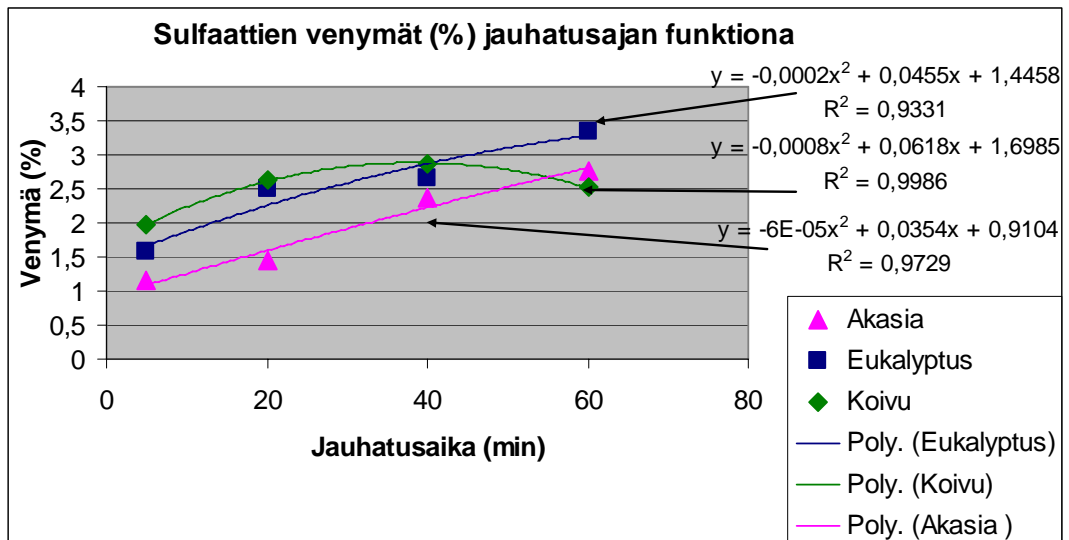
Puulaji	Koivu	Eukalyptus	Akasia
SR-luku ml/min	30	30	30
Jauhatuserä min	25	25	55
Vetolujuus kN/m	7	5,5	3,9

Taulukko 2. Eri sulfaattien vetolujuudet jauhatuserän ollessa 30

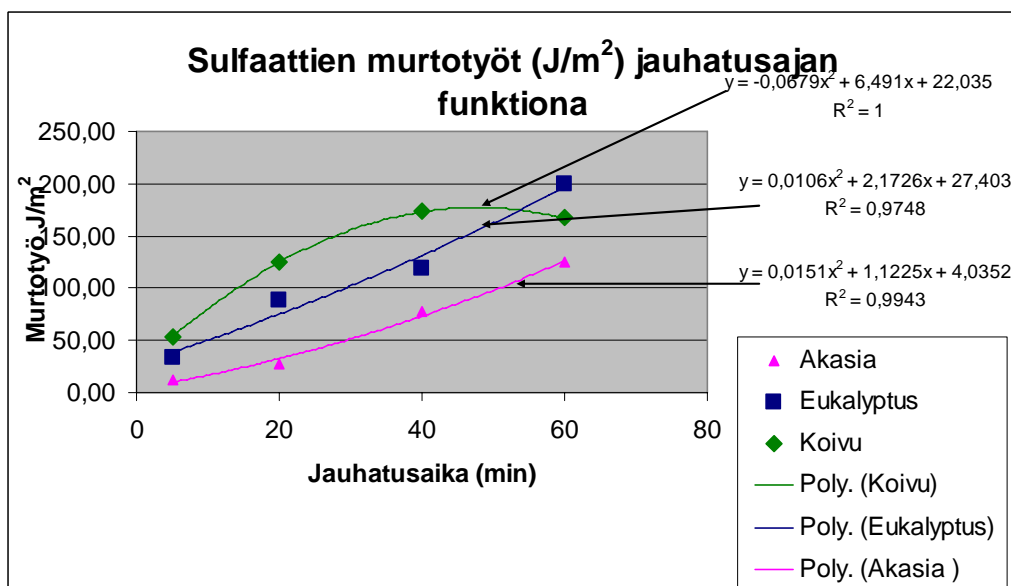
Puulaji	Koivu	Eukalyptus	Akasia
Vetolujuus kN/m	6	6	6
Jauhatuserä min	20	35	60

Taulukko 3. Eri sulfaattien jauhatuserät vetolujuuden ollessa vakio

Taulukko 3 esittää myös saman asian eri tavalla. Jos vetolujuudeksi asetetaan vakio 6 kN/m, saavutetaan koivulla tämä lujuus kaikkein nopeimmin. Koivu jauhautuu tähän vetolujuuteen jo 20 minuutissa. Eukalyptuksella tämä lujuus saavutetaan vasta 35 minuutin jauhatuserällä ja akasian jauhatuserään menisi peräti 60 minuuttia. Eukalyptuskuidun jauhautuvuus on näin ollen 15 minuuttia koivua hitaampaa ja akasiakuidun jopa 40 minuuttia hitaampaa. Kuitujen jauhautuvuusnopeus eroaa toisistaan merkittävästi. Koivukuitu antaa tietyn lujuustason kaikkein nopeimmin. Jauhatuserä taas on suoraan suhteessa energiankulutukseen, ja tämän esimerkin mukaan akasiakuitu vaatii kaikkein suurimman energiatarpeen jauhatusta varten.



Kuva 13. Eri sulfaattien murtovenymäprosentit jauhatusajan funktiona



Kuva 14. Eri sulfaattien murtotyöt jauhatusajan funktiona

Kuvat 13 ja 14 esittävät, kuinka sulfaattien murtotyö ja murtovenymä riippuvat jauhatusajasta.

Murtovenymä ja -työ kasvavat akasialla ja eukalyptuksella hyvin lineaarisesti, kun taas koivulla jauhatusajan vaikutus ei ole yhtä suurta. Koivun murtovenymäprosentti

kasvaa aina 40 minuutin jauhatusaikaan saakka, kunnes se näyttäisi kääntyvän laskuun. 60 minuutin kohdalla murtovenymä on alhaisempi kuin 40 minuutin kohdalla.

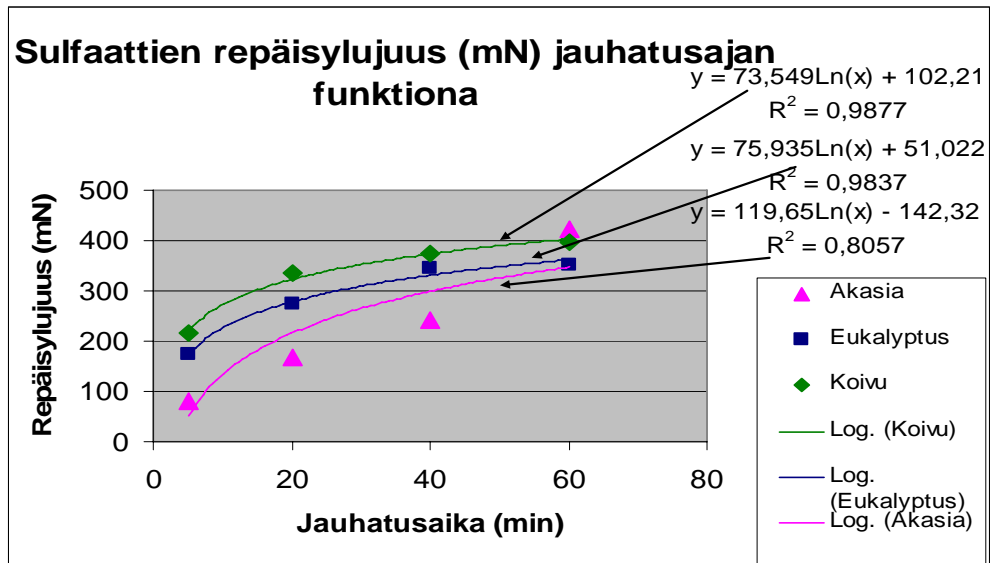
Puulaji	Koivu	Eukalyptus	Akasia
SR-luku ml/min	30	30	30
Jauhatusaika min	25	25	55
Murtotyö J/m ²	125	100	125

Taulukko 4. Eri sulfaattien murtotyöt jauhatusasteen ollessa 30

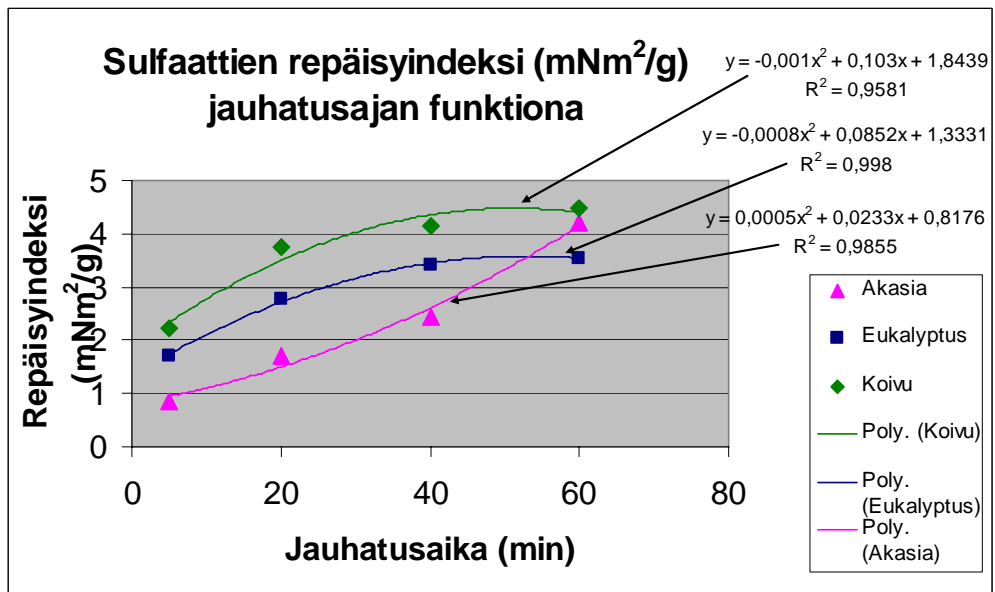
Taulukosta 4 huomataan, minkälainen murtotyö (J/m²) saavutetaan SR-luvun ollessa 30. Koivulla saavutetaan noin 125 J/m² murtotyö jo 25 minuutin jauhatusajalla. Eukalyptuksella vastaavalla SR-luvulla saavutetaan 20 % heikompi murtotyö, eli noin 100 J/m². Akasian murtotyö samalla SR-luvulla on sama kuin koivulla, mutta se saavutetaan vasta 30 minuuttia myöhemmin, eli 55 minuutin jauhatusajalla.

9.5 Repäisylujuus

Jauhatusaika vaikuttaa myös repäisylujuuteen. Akasian repäisylujuusominaisuudet ovat selvästi heikommat kuin koivun ja eukalyptuksen. Akasia saavuttaa vasta pitkän jauhatusajan jälkeen yhtä suuren repäisylujuuden kuin eukalyptus. Koivun ja eukalyptuksen repäisylujuudet näyttäisivät kasvavan aina 40 minuuttiin asti, kunnes ne kääntyvät hieman laskuun. Tämä johtuu kuitujen katkeilusta jauhatusajan kasvaessa. Näistäkin kuvista voidaan nähdä, kuinka akasia on selvästi hitaimmin jauhautuva. Jos repäisylujuuden tavoite olisi esimerkiksi 300 mN, koivulla se saavutettaisiin jo 20 minuutin jauhatusajalla. Eukalyptuksella menisi jälleen 15 minuuttia kauemmin saman lujuuden saavuttamiseen ja akasialla jopa 40 minuuttia kauemmin.



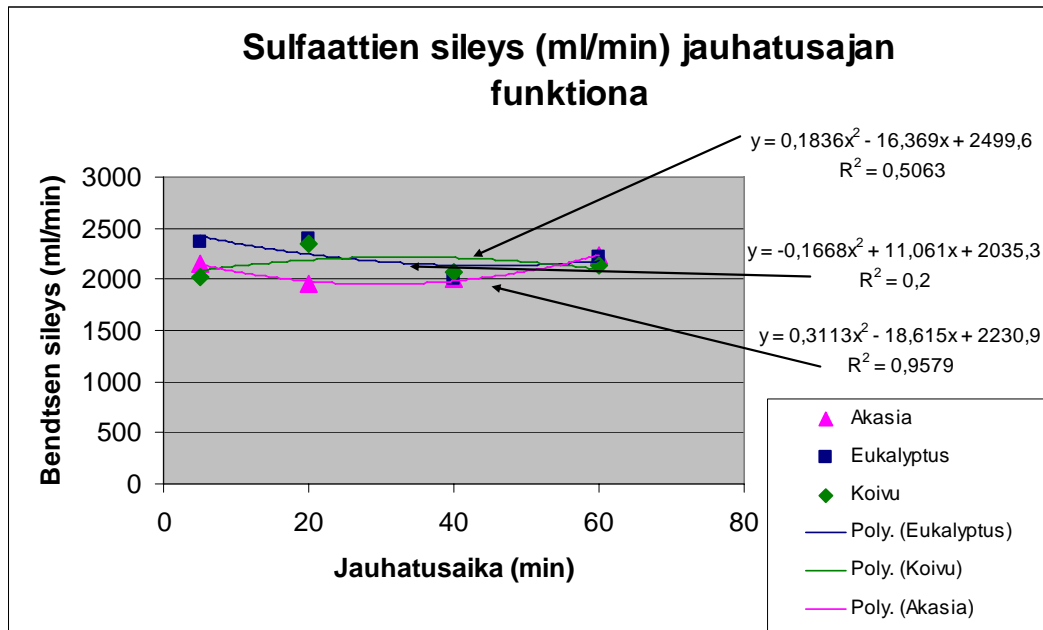
Kuva 15. Eri sulfaattien repäisylujuudet jauhatusaajan funktiona



Kuva 16. Eri sulfaattien repäisyindeksit jauhatusaajan funktiona

9.6 Karheus

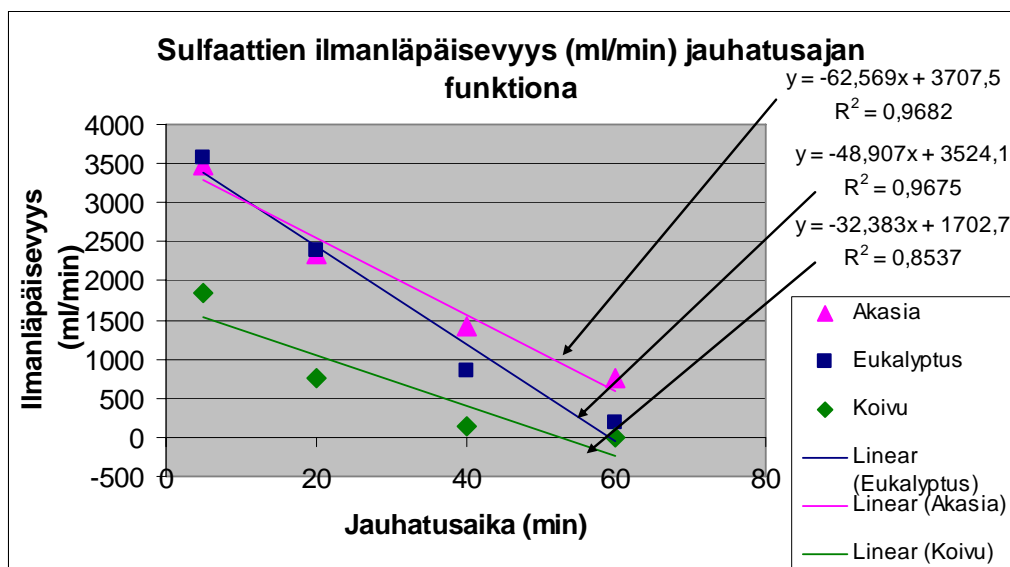
Kuvasta 17 voidaan päätellä, että sileysominaisuudet eivät riipu jauhatusaajasta. Pieniä vaihteluja voidaan havaita eri jauhatusaajoilla, mutta merkittävästi jauhatusaajalla ei ole vaikutusta sileyteen.



Kuva 17. Eri sulfaattien karheudet jauhatusaajan funktiona.

9.7 Ilmanläpäisevyys

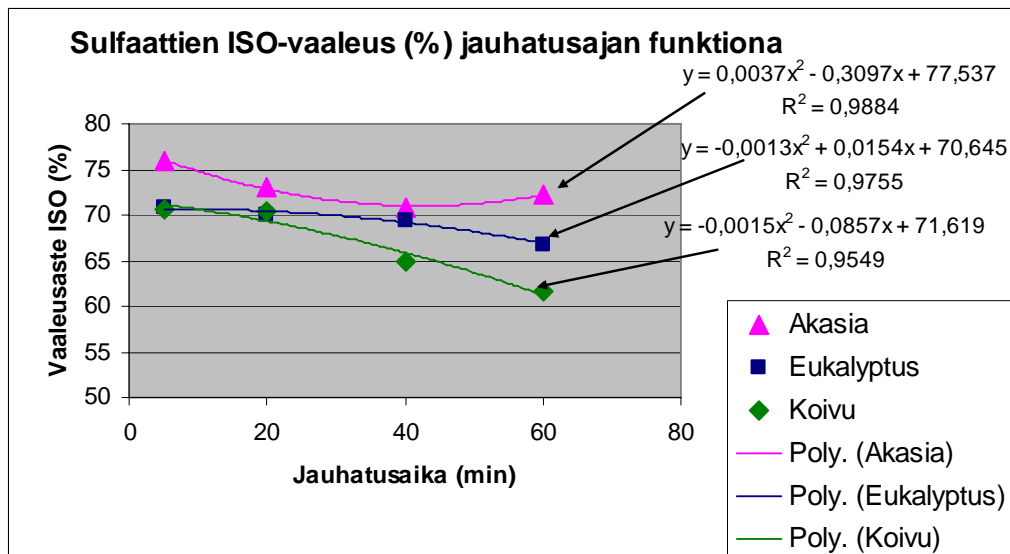
Kuvan 18 mukaan ilmanläpäisevyys riippuu jauhatusaajasta. Kaikilla puulajeilla ilmanläpäisevyys heikkenee, mitä pidempi jauhatusaika on. Jauhatusaika vaikuttaa hyvin jyrkästi ilmanläpäisevyyteen heikentäen arkin huokoisuutta. Eukalyptuksella lasku on kaikkein jyrkin ja koivun 60 minuutin jauhatusajalla ilmanläpäisevyys on jo nolla. Kaikilla puulajeilla lasku on aluksi nopeaa, mutta hidastuu 40 minuutin kohdalla. Akasia näyttäisi kestävän jauhatuksen vaikutuksen tässä tapauksessa kaikista parhaiten.



Kuva 18. Eri sulfaattien ilmanläpäisevyydet jauhatusajan funktiona

9.8 ISO-vaaleus

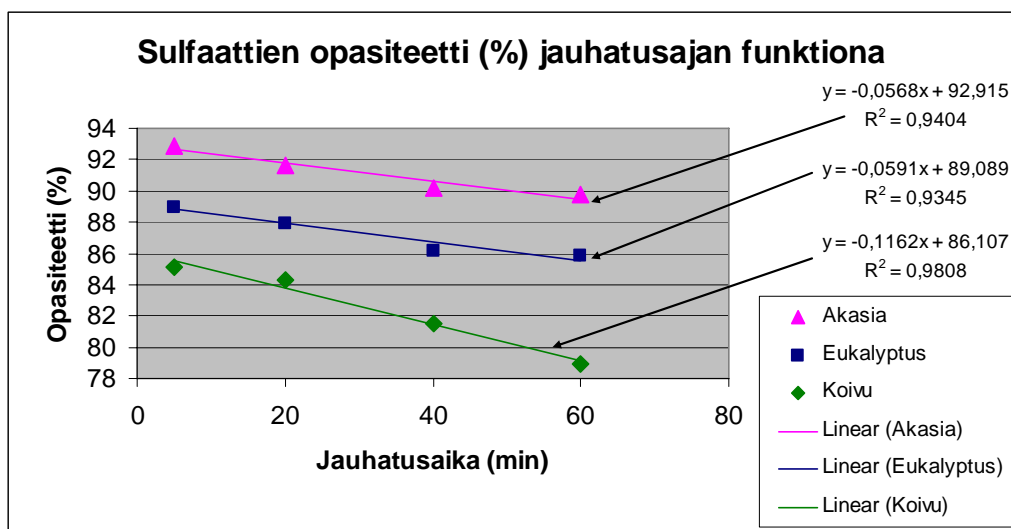
Vaaleus on monille paperilajille tärkeä ominaisuus. Kuten kuvasta 19 nähdään, vaikuttaa jauhatus vaaleusasteeseen sitä huonontaen. Koivulla vaaleusasteen lasku on kaikista suurinta ja akasialla vastaavasti kaikista vähäisintä. Tämä voi johtua siitä, että akasia on jo sellunvalmistusvaiheessa valkaistu korkeaan vaaleusasteeseen. Vaaleusominaisuuksiin voidaan vaikuttaa vielä jauhatuksen jälkeen paperinvalmistuksen loppuvaiheessa.



Kuva 19. Eri sulfaattien ISO-vaaleudet jauhatusajan funktiona

9.9 Opasiteetti

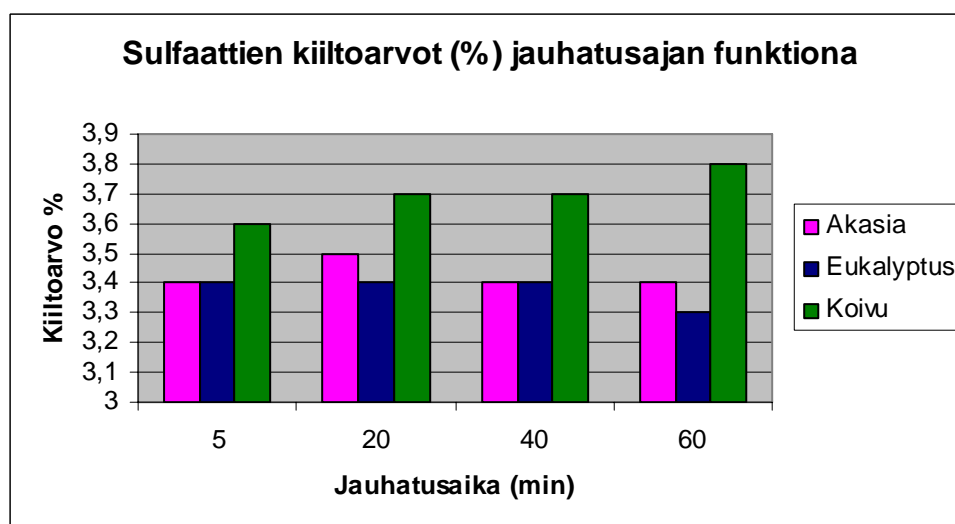
Jauhatus vaikuttaa opasiteettiin samoin kuin ISO-vaaleuteen sitä huonontaen. Tässäkin tapauksessa akasia säilyttää opasiteettinsa parhaiten. Koivulla opasiteetin lasku on kaikkein suurinta ja jyrkintä. Kuvasta 20 voidaan todeta, että opasiteetti riippuu jauhatusajasta.



Kuva 20. Eri sulfaattien opasiteetti jauhatusaajan funktiona

9.10 Kiilto

Akasian ja eukalyptuksen kiiltoarvot pysyvät koko jauhatusaajan lähes samoina, pieniä heittoja lukuun ottamatta. Koivulla taas kiiltoarvo näyttäisi kasvavan jauhatusaajan pidentyessä. Koivulla siis saadaan parhaimmat kiiltoarvot ja akasialla ja eukalyptuksella lähes samanarvoiset.



Kuva 21. Eri sulfaattien kiiltoarvot jauhatusaajan funktiona

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Paperin- ja kartonginvalmistuksessa yleistä on, että yhdessä käytetään sekä pitkäkuituisia havupuita että lyhytkuituisia lehtipuita raaka-aineina. Ei ole olemassa yhtä puulajia tai menetelmää, jolla saavutetaan sekä optiset että mekaaniset ominaisuudet erinomaisesti, vaan on käytettävä eri puulajien yhdistelmiä. Jokainen paperi- ja kartonkilaji vaatii oman kuitukoostumuksen, täyteaineen, liimauksen ja lisäaineet. Myös massanvalmistusmenetelmällä on suuri vaikutus massan ominaisuuksiin.

Mekaaninen massanvalmistusmenetelmä sopii hyvin tuotteisiin, jotka vaativat hyvät pintaominaisuudet paperille. Toisaalta taas mekaanista massaa sisältävät tuotteet kestävät helposti suuren ligniinipitoisuuden takia. Kemiallisilla massoilla taas vaaleuden pysyvyys on hyvä. Lehtipuusellusta saadaan hyvät painettavuusominaisuudet ja havupuusellusta hyvät lujuusominaisuudet. Kuitujen lisäksi useimpien paperi- ja kartonkilajien valmistukseen käytetään myös paljon lisä- ja täyteaineita. (3, s. 14–15.) Lehtipuukuituja on samassa määrässä noin 4-12 kertaa enemmän kuin havupuukuituja. Tämä antaa lehtipuukuiduista valmistetuille lajeille hyvän formaation, tasaisen arkin pinnan, pienen huokoskoon sekä paremman opasiteetin. (3, s. 27–28.)

Suomessa pääosin sulfaattimassan valmistukseen käytetään mäntyä ja koivua sekä jonkin verran kuusta. Mäntysellusta saadaan lujaa massaa ja koivusellu on yleinen puuvapaissa papereissa sen pintaominaisuuksien sekä optisten ominaisuuksien vuoksi. Yleisesti taivekartongin pintakerroksissa ja nestepakkauskartongeissa käytetään koivusellua. Koivusellun tärkeimpänä kilpailijana on eukalyptusmassa. Etenkin hienopapereissa eukalyptus ja akasia kilpailevat koivun kanssa. Näiden puulajien etuna koivuun verrattuna on niiden huomattavasti nopeampi kasvuvauhti. Eukalyptusmassan saanto on myös parempi kuin koivun, koska sillä on suuri selluloosapitoisuus ja pieni hemiselluloosapitoisuus. Eukalyptuskuidut ovat myös pienempiä kuin koivukuidut ja näin ollen niiden määrä paperin painoyksikköä kohden on suurempi. Tämä antaa eukalyptusmassalle jälleen etuja koivumassaan nähden, kuten paremman formaation sekä korkeamman opasiteetin. Eukalyptuksella on myös suhteessa paksumpi kuituseinä, mikä antaa hyvän jäykkyyden. Akasian kuidut taas ovat lyhyitä ja ohutseinäisiä. Tämä tarkoittaa, että niiden lukumäärä painoyksikköä

kohden on suuri, jopa suurempi kuin eukalyptuksella, ja näin ollen akasiasta saadaan hyvä valonsirontakerroin ja opasiteetti. (3, s. 30–31.)

11 LISÄAINEIDEN KÄYTTÖ

Jos paperimassaan ei lisätä liima-aineita, siitä syntyy nestettä voimakkaasti imevää imupaperia. Liima-aineiden ansiosta paperimassasta saadaan kirjoituskelpoista sillä nämä aineet vähentävät paperin imevyyttä. Yleisin massaliimausaine on hartsi-aluna. Jauhatuksen aikana lisätään hartsi paperimassaan ja alunan avulla säädetään kuidut oikeaan pH-arvoon. Neutraaliliimauksessa alunan tilalla käytetään natriumaluminaattia, jonka pH-arvo on korkeampi. Neutraaliliimaus ei murra selluloosaketjuja eikä kellastuta paperia yhtä lailla kuin hartsi-alunaliimaus.

Useissa tapauksissa myös paperin märkälujuuutta tarvitsee parantaa. Märkälujuuutta parantavat aineet ovat yleensä tärkkelyspohjaisia, joihin on lisätty vaha-aineksia. Nämä seokset liitetään kuituihin useasti kalsiumkarbonaatilla.

Pintaliimaus on myös yleistä, jos paperi vaatii sileän ja nukkaantumattoman pinnan. Pintaliimaus myös parantaa merkittävästi paperin kuiva- ja märkälujuuutta. Yleisin pintaliima on tärkkelys. (14, s. 258–259.)

Täyteaineita lisätään nimensä mukaisesti täyttämään kuitujen väliin jääviä tyhjiä tiloja. Täyteaineet alentavat arkin lujuuutta, kun täyteaine korvaa kuitua. Täyteaineita kuitenkin käytetään parempien optisten ominaisuuksien saavuttamiseksi. Myös painettavuusominaisuuksia voidaan parantaa täyteaineita lisäämällä. Täyteaineen käyttömäärät vaihtelevat paperilajeittain, mutta yleensä osuus jää alle kolmannekseen päällystämättömän paperin painosta. Nykyään yleisin täyteaine on kalsiumkarbonaatti, mutta kaoliinia ja talkkia käytetään myös paljon. (3, s.37.)

12 PAPERI- JA KARTONKILAJIT

12.1 Sanomalehtipaperi

Sanomalehtipaperilta vaaditaan hyvää painettavuutta ja hyvää ajettavuutta sekä tiettyä vaaleutta ja puhtautta. Sanomalehtipaperin päämassakomponenttina on valkaisuaineaton mekaaninen havupuumassa. Kemiallista massaa sanomalehtipaperi sisältää vain 0-20 % ja mekaanista 80–100 %. Mekaaninen massa antaa sanomalehtipaperin vaatiman hyvän painettavuuden sekä ajettavuuden. Kemiallisen massan lisääminen nostaa lujuutta, mutta alentaa valonsirontaa ja opasiteettia. Sanomalehtipaperin valmistukseen käytetään hyvin paljon kierrätyskuitua. (3, s. 61–62.)

12.2 Puupitoiset paperilajit

Puupitoisia paperilajeja ovat esimerkiksi päällystämätön SC-paperi ja kevyesti päällystetty LWC-paperi. Päällystämätön puupitoinen paperi valmistetaan yleensä mekaanisesta massasta, mutta lujuusominaisuuksia parannetaan pienellä määrällä kemiallista massaa. Päällystetty puupitoinen paperi valmistetaan pääosin mekaanisesta massasta (45–80 %) ja havupuusellusta (55–20 %). Päällystettävältä paperilta vaaditaan hyvää lujuutta, ja tämän takia mekaanisen massan osuus on pienempi kuin päällystämättömillä lajeilla. SC-papereissa käytetään kuituraaka-aineen lisäksi paljon täyteaineita. Puupitoisia paperilajeja käytetään aikakauslehtien ja luetteloiden valmistukseen. (3, s.64–65, 24, s. 158.)

12.3 Puuvapaat paperilajit

Puuvapaita papereita kutsutaan yleisesti myös hienopapereiksi. Päällystämättömät puuvapaat paperilajit yleensä valmistetaan lyhytkuituisesta sulfaattisellusta ja lujuusominaisuuksia parantamaan lisätään pitkäkuitusellua. Mekaanisen massan osuus on 0 – 10 %.

Täysin puuvapaat paperit eivät sisällä ollenkaan ligniiniä, niiden arkistoitavuus on hyvä, eivätkä ne kellastu UV-valossa. Päällystämättömiä papereita käytetään toimistopa-

pereina, kuten kirjoitus-, kopio- ja tulostuspaperit. Päälystettyjä papereita käytetään korkealuokkaisissa paino- ja mainosjulkaisuissa. Puuvapaille papereille ominaista on korkea vaaleus. (3, s. 66, 24, s. 158-159.)

Akasiassellulla saadaan hyvä sileys ja opasiteetti, mutta painettavuus ei välttämättä ole halutunlainen. Eukalyptussellulla taas saadaan melko hyvä painettavuus ja optiset ominaisuudet. Koivu- ja eukalyptussellulla saadaan myös paremmat lujuusominaisuudet kuin akasiassellulla. Akasiassellulla on kuitenkin parempi bulkki kuin koivulla ja eukalyptuksella.

12.4 Pehmopaperit

Pehmopaperit valmistetaan suurimmaksi osaksi lehtipuusellusta. Kierrätyskuidun käyttö on myös yleistynyt huomattavasti. Pehmopapereilta usein tärkeimmäksi vaadittu ominaisuus on pehmeys, joka saadaan aikaan lehtipuusellulla. Pehmopapereille tyypillistä on niiden hyvin alhainen neliömassa, ja ne valmistetaan helposti suotautuvista massoista.

12.5 Kartongit

Sisäpakkaukskartonkeja on monia erilaisia. Yleisimpiä näistä ovat taivekartonki (FBB), sellukartonki (SBS), valkaisuaton sellukartonki (CNK) sekä valkopintainen kierrätyskuitukartonki (WLC). SBS-kartonki sisältää lähes yhtä suuret määrät valkaistua lehti- ja havupuusellua. SBS-kartongin käyttökohteita ovat nestepakkaukset, juomakupit ja lautaset. Taivekartonkia käytetään mm. elintarvike-, lääke-, kosmetiikka-, alkoholi- ja tupakkapakkauksiin. Taivekartongilta vaaditaan monia ominaisuuksia. Pää-tarkoitus on suojata tuotetta, joten pakkauksen on oltava jäykkä. Ulkonäkö on myös erittäin tärkeä, ja tämän takia vaaditaan hyvää painettavuutta. Taivekartonki koostuu useasta eri kerroksesta. Keskikerros koostuu yleensä jäykkyyden kannalta bulkkisesta massasta. Keskikerros on useasti mekaanista massaa ja pinta- ja taustakerros valkaistua havupuu- tai lehtipuusellua. WLC-kartongin käyttökohteet ovat lähes samat kuin taivekartongin. Kierrätyskuidun takia niitä ei kuitenkaan käytetä kaikista vaativimpiin pakkauksiin. Koivu ja eukalyptussellu soveltuvat hyvin kartongin raaka-aineeksi.

Ulkopakkauskartongeissa lähinnä pintakerrokseen käytetään lehtipuusellua. Muuten kerrokset koostuvat havupuusellusta sekä keräyskuidusta.

Nestepakkauskartongit valmistetaan havu- ja lehtipuusellusta. Keskikerros on yleensä kemimekaanista massaa. (3, s. 72–76.)

13 PAPERI- JA KARTONKITEOLLISUUDEN TULEVAISUUS

Missään muualla maailmassa metsäteollisuuden merkitys ei ole niin suuri kuin Suomessa. Suomessa metsäteollisuuden arvo henkeä kohti on lähes 2 300 € ja viennin osuus koko Suomen viennistä 20 %. (17.) Suomen metsäteollisuudessa paperin tuotanto vuonna 2009 oli 8100 t/m³, josta viennin osuus oli 91 %. Kartongin valmistus vuonna 2009 oli 2 500 t/m³, josta 90 % meni vientiin. (18.) Metsäteollisuus työllistää Suomessa suoraan 48 500 henkilöä, joista 24 500 paperiteollisuudessa. Suomessa sijaitsee 50 paperi-, kartonki- ja sellutehdasta. Massa- ja paperiteollisuuden tuotannon arvo Suomessa vuonna 2010 oli yhteensä 14 miljardia euroa. (19.) Metsäteollisuuden tarvitsemasta puusta noin 84 % ostetaan kotimaasta. Kotimaisen puun tarjonta ei ole ollut riittävää, joten puuta on myös tuotu Suomeen. Valtaosa Suomeen tuotavasta tuontipuusta on ollut kuitupuuta, esimerkiksi koivua, jota ei Suomesta saada riittävästi tarpeisiin nähden. Suomen metsävarat kuitenkin kasvavat vuosittain enemmän kuin niitä kulutetaan. Tämä antaa mahdollisuuden kotimaisen raaka-aineen monipuolisen käytön lisäämiseen. (20.)

Halpaa puuraaka-ainetta on saatavilla nopeakasvuisista istutusmetsistä. Esimerkiksi Etelä-Amerikka, Etelä-Afrikka, Australia, Uusi-Seelanti, Indonesia ja Thaimaa tarjoavat suotuisat kasvuolosuhteet nopeaan kiertoon.

Pohjois-Amerikan ja Länsi-Euroopan osuus kokonaiskysynnästä on edelleen noin 60 %. Paino- ja toimistopapereiden osuus koko maailman kysynnästä on noin 40 %. Tärkeimmät paperilajit ovat sanomalehtipaperi, päällystämätön puupitoinen paperi, päällystetty puupitoinen paperi, päällystämätön hienopaperi ja päällystetty hienopaperi. Pakkauspapereiden ja kartonkien osuus maailman kysynnästä on myös 40 %, ja tämän kysynnän ennustetaan kasvavan entisestään. (3, s. 21.) Paperin ja kartongin tuotanto ja

kulutus maailmalla on kasvanut 2000-luvulla noin 2,6 % vuodessa. Suurinta kulutuksen kasvu on ollut Aasiassa ja Itä-Euroopassa. Paperin ja kartongin kulutusta ja käyttöä lisäävät väestön kasvu, elintapojen muutokset ja uudet tuotteet. Paperin ja kartongin kysynnän kasvu jatkuu globaalisti pitkän aikavälin ennusteiden mukaisesti. Pääpaino kasvussa on Aasiassa, Itä-Euroopassa ja Latinalaisessa Amerikassa.

Ennusteiden mukaan näiden osuus kysynnästä kasvaisi vuoteen 2025 mennessä kahteen kolmannekseen. Muualla maailmassa kysynnän kasvun oletetaan pysyvän suhteellisen tasaisena. Suomessa valmistetuista paperi- ja kartonkituotteista merkittävä osa sijoittuu kasvaviin tuoteryhmiin, kuten erikoispapereihin, pakkausmateriaaleihin ja hygieniatuotteisiin. (21.)

Sanomalehtipaperin kulutus maailmanlaajuisesti ei ole kasvanut merkittävästi, toisin kuin kirjoitus- ja painopapereiden, pakkauspapereiden ja – kartonkien sekä pehmopapereiden kulutus (22, s. 177–187).

Suomessa metsäteollisuuden kysyntä kasvoi edelleen vuoden 2010 kolmannella neljänneksellä. Suomessa sellua tuotettiin jopa 20 % enemmän kuin samaan aikaan edellisenä vuonna ja paperia ja kartonkia 8 % enemmän. Suurin syy näihin kasvulukemiin on taantumien jälkeinen nopea talouskasvu. (23.)

Ennusteiden mukaan kehitys ja kasvu on tulevaisuudessa siellä, missä on parhaiten raaka-aineita saatavilla edullisesti. Tämä tarkoittaa käytännössä trooppisten puulajien alueita, kuten Etelä-Amerikkaa ja Aasiaa. Suomen on vastattava muilta alueilta tulevaan kilpailuun omalla erityisosaamisellaan. Suomessa on hyvät edellytykset laadukkaaseen tuotekehitykseen. Tulevaisuudessa kierrätykseen ja uusiokäyttöön panostetaan entistä enemmän. Itä-Euroopassa kysynnän oletetaan kasvavan tulevaisuudessa. Suomen erinomainen sijainti tulisi ottaa huomioon.

LÄHTEET

1. Nykänen P, Paulapuro H. A century of Finnish paper machine and papermaking technology. Gummerrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2005.
2. Kuusela, K. Suomen metsä- ja puutalous Euroopassa. Gummerrus kirjapaino Oy, Jyväskylä 1998.
3. Häggblom-Ahnger U, Komulainen P. Paperin ja kartongin valmistus. Gummerrus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2005.
4. <http://www.puuproffa.fi/arkisto/puulajit.php>
[viitattu 24.1.2011].
5. Rantala, Satu. Tapion taskukirja. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna 2008.
6. Suomen Metsäyhdistys ry. Puulajit. Kirjapaino OMA, Jyväskylä 2000.
7. http://cc.joensuu.fi/~ehuttune/j_luonnonvar_puita_ja_isoja_pensaita/rauduskoivu.htm [viitattu 25.1.2011].
8. <http://www.sademetsa.fi/puut/index.html#eukalyptus>
[viitattu 10.1.2011].
9. <http://www.treesdirect.co.uk/shop/ornamentals/eucalyptus>
[viitattu 10.1.2011].
10. <http://www.sademetsa.fi/puut/index.html#akaasia>
[viitattu 10.1.2011].
11. <http://www.planetware.com/picture/zimbabwe-acacia-tree-in-hwange-national-park-zim-zim152.htm>
[viitattu 25.1.2011].

12. http://www.knowpulp.com/suomi/demo/suomi/pulping/cooking/1_process/1_principle/fr_text.m
[viitattu 7.2.2011].
13. Seppälä, M. Paperimassan valmistus. Gummerrus Kirjapaino Oy, Saarijärvi 2005.
14. Putkonen, V. Paperia! Lyhyt johdatus paperin historiaan ja valmistusmenetelmiin. Tammer-Paino, Tampere 1997.
15. Aaltonen, P. Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä. Otakustantamo Oy, Vaasa 1986.
16. Biermann, C. Handbook of Pulping and Papermaking. 1996 Academic Press Inc.
17. http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/Perustietoa/Julkinen-FI/a10SuomenMetsateollisuus_008.ppt#256
[viitattu 24.1.2011].
18. http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu2/tilastokuviot/Perustietoa/Julkinen-FI/a10SuomenMetsateollisuus_036.ppt#256
[viitattu 24.1.2011].
19. <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/metsateollisuusnumeroina/Sivut/default.aspx?imported=True>
[viitattu 24.1.2011].
21. <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/tuontipuutaydentaa/Sivut/default.aspx>
[viitattu 24.1.2011].
22. <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/paperionkasvubisnesta/Sivut/default.aspx>
[viitattu 24.1.2011].
22. Kärkkäinen, M. Maailman metsäteollisuus. Karisto Oy, Hämeenlinna 2005.

23. <http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/ajankohtaiskatsausheina-syyskuu2010paperikartonkijajalosteet/Sivut/default.aspx>
[viitattu 24.1.2011].

MITTAUSPÖYTÄKIRJA 1

Näyte: Koivu 5 min 16.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	99,6	103,5	92,8	96,1	92,8	92,8	96,3	
Paksuus	um	155	154	162	168	164	166	162	
Tiheys	kg/dm ³	64,26	67,21	57,28	57,20	56,59	55,90	59,63	
Bulkki	dm ³ /g	0,016	0,015	0,017	0,017	0,018	0,018	0,017	
Kiilto	%	3,7	3,3	3,4	3,7	3,6	3,6	3,6	0,16
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,91	12,44	12,72	12,92	12,50	12,53	12,5	0,34
	1,0 Mpa	10,32	10,85	11,38	11,06	10,93	11,62	11,03	0,45
	2,0 Mpa	8,35	9,19	9,47	9,11	9,09	9,69	9,15	0,46
Sileys Bendtsen	ml/min	1707	1712	2024	2375	2460	2471	2022	336
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1894	2122	1653	1758	1902	1764	1849	163,3
Vetolujuus	kN/m	3,858	3,492	4,168	3,793	4,330	3,508	3,858	340,4
Vetoindeksi	Nm/g	38,73	33,74	44,91	39,47	46,66	37,80	40,06	
Venymä	%	2,2	2,04	1,94	1,77	2,07	1,85	1,98	0,16
TEA	J/m ²	59,75	49,35	55,74	46,11	62,88	43,17	52,83	7,847
Repäisylujuus	mN	265	211	195	220	207	193	215	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	2,66	2,04	2,10	2,29	2,23	2,08	2,23	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							4,3	

Näyte: Koivu 20 min 16.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	96,1	86,8	86,8	96,1	81,5	89,7	89,5	
Paksuus	um	154	163	170	150	176	166	163	
Tiheys	kg/dm ³	62,40	53,25	51,06	64,07	46,31	54,04	54,84	
Bulkki	dm ³ /g	0,016	0,019	0,02	0,016	0,022	0,019	0,019	
Kiilto	%	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7	0,08
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,66	12,59	13,06	12,68	13,17	13,14	12,88	0,27
	1,0 Mpa	11,34	11,12	11,67	11,08	12,07	11,67	11,49	0,38
	2,0 Mpa	9,43	9,35	10,02	9,40	10,71	9,96	9,81	0,53
Sileys Bendtsen	ml/min	1738	2546	2179	2457	2372	2779	2345	357
Ilmanläpäisevyys	ml/min	779	723	716	864	594	937	761	111,9
Vetolujuus	kN/m	5,576	7,416	7,114	6,431	6,919	6,512	6,661	647,2
Vetoindeksi	Nm/g	58,02	85,44	81,96	66,92	84,90	72,60	74,42	
Venymä	%	1,93	3,07	2,70	3,02	2,39	2,65	2,63	0,42
TEA	J/m ²	75,55	158,00	136,00	137,70	118,70	121,70	124,60	27,82
Repäisylujuus	mN	342	335	354	325	335	321	335	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,56	3,86	4,08	3,38	4,11	3,58	3,75	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							4,3	

MITTAUSPÖYTÄKIRJA 4

Näyte: Koivu 40 min 16.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	89,7	96,1	86,8	89,7	89,7	89,7	90,3	
Paksuus	um	169	144	163	154	147	148	154	
Tiheys	kg/dm ³	53,08	66,74	53,25	58,25	61,02	60,61	58,56	
Bulkki	dm ³ /g	0,019	0,015	0,019	0,017	0,016	0,016	0,017	
Kiilto	%	3,8	3,7	3,5	3,9	3,6	3,6	3,7	0,15
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,66	12,99	13,49	13,61	12,65	12,89	13,21	0,42
	1,0 Mpa	11,79	11,45	12,15	12,02	11,12	11,47	11,67	0,39
	2,0 Mpa	10,21	10,13	10,71	10,69	9,64	9,80	10,19	0,44
Sileys Bendtsen	ml/min	2570	1883	2191	2227	1789	1807	2078	307,1
Ilmanläpäisevyys	ml/min	221	128	124	160	179	111	148	41
Vetolujuus	kN/m	7,643	8,107	7,570	8,685	9,467	9,833	8,551	946,9
Vetoindeksi	Nm/g	85,21	84,36	87,21	96,82	105,54	109,62	94,70	
Venymä	%	2,44	2,96	2,13	3,06	3,27	3,36	2,87	0,49
TEA	J/m ²	128,4	171,0	109,2	179,7	215,6	235,0	173,1	48,52
Repäisylujuus	mN	391	358	385	387	329	391	374	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	4,36	3,73	4,44	4,31	3,67	4,36	4,14	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							4,6	

Näyte: Koivu 60 min 16.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	89,7	86,3	89,7	89,7	86,8	89,7	88,7	
Paksuus	um	142	153	139	146	144	163	148	
Tiheys	kg/dm ³	63,17	56,41	64,53	61,44	60,28	55,03	60,01	
Bulkki	dm ³ /g	0,016	0,018	0,015	0,016	0,017	0,018	0,017	
Kiilto	%	3,8	3,3	3,8	4,2	4	3,7	3,8	0,3
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,02	13,88	12,92	12,92	12,99	13,88	13,27	0,47
	1,0 Mpa	11,69	12,72	11,86	11,84	11,72	12,41	12,04	0,42
	2,0 Mpa	10,04	9,85	10,31	9,95	10,32	11,28	10,29	0,52
Sileys Bendtsen	ml/min	1556	2690	1853	1916	2139	2692	2141	465
Ilmanläpäisevyys	ml/min	7	5	5	4	4	3	5	1,5
Vetolujuus	kN/m	8,864	9,735	9,556	8,246	9,516	9,337	9,209	557,6
Vetoindeksi	Nm/g	98,82	112,80	106,53	91,93	109,63	104,09	103,82	
Venymä	%	2,43	2,85	2,51	2,25	2,68	2,42	2,52	0,21
TEA	J/m ²	154,7	197,5	171,8	130,7	183,6	163,7	167	23,28
Repäisylujuus	mN	499	419	356	366	411	327	396	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	5,56	4,86	3,97	4,08	4,74	3,65	4,47	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							4,7	

MITTAUSPÖYTÄKIRJA 4

Näyte: Eukalyptus 40 min 18.2.2010

Suure		Mittaus		1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	99,6	99,6	99,6	99,6	103,4	107,6	101,6			
Paksuus	um	179	168	176	177	167	167	172			
Tiheys	kg/dm ³	55,64	59,29	56,59	56,27	61,92	64,43	58,97			
Bulkki	dm ³ /g	0,018	0,017	0,018	0,018	0,016	0,016	0,017			
Kiilto	%	3,5	3,4	3,5	3,4	3,2	3,3	3,4	0,12		
Sileys, PPS	0,5 Mpa	13,18	12,54	12,41	12,32	12,30	13,21	12,66	0,42		
	1,0 Mpa	11,70	11,03	11,11	11,09	10,52	11,61	11,18	0,43		
	2,0 Mpa	9,53	9,23	9,31	9,62	8,99	9,83	9,42	0,3		
Sileys Bendtsen	ml/min	2156	1799	1661	2187	1735	2509	2008	333		
Ilmanläpäisevyys	ml/min	937	754	942	876	832	787	855	77,6		
Vetolujuus	kN/m	5,250	6,512	6,911	6,813	6,659	4,664	6,135	940,6		
Vetoindeksi	Nm/g	52,71	65,38	69,39	68,40	64,40	43,35	60,38			
Venymä	%	1,93	2,80	3,00	3,23	3,17	1,90	2,67	0,6		
TEA	J/m ²	69,0	130,1	147,6	159,0	149,6	62,18	119,6	42,9		
Repäisylujuus	mN	315	321	305	399	436	300	346			
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,16	3,22	3,06	4,01	4,22	2,79	3,41			
Tuhka	%							0			
Kosteus	%							5,33			

Näyte: Eukalyptus 60 min 18.2.2010

Suure		Mittaus		1	2	3	4	5	6	x	s
Neliömassa	g/m ²	99,6	96,1	99,6	96,1	103,4	99,6	99,1			
Paksuus	um	163	180	166	172	166	166	169			
Tiheys	kg/dm ³	61,10	53,39	60,00	55,87	62,29	60,00	58,71			
Bulkki	dm ³ /g	0,016	0,019	0,017	0,018	0,016	0,017	0,017			
Kiilto	%	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,2	3,3	0,08		
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,86	13,89	12,27	12,70	13,18	13,58	13,08	0,59		
	1,0 Mpa	11,73	12,19	11,31	11,85	11,82	11,82	11,79	0,28		
	2,0 Mpa	9,95	10,54	9,78	9,83	9,91	10,33	10,06	0,3		
Sileys Bendtsen	ml/min	1948	2693	1714	2368	2245	2352	2220	345		
Ilmanläpäisevyys	ml/min	209	197	205	195	214	162	197	18,5		
Vetolujuus	kN/m	8,278	7,668	8,555	8,791	8,417	7,391	8,183	541,2		
Vetoindeksi	Nm/g	83,11	79,79	85,89	91,48	81,40	74,21	82,57			
Venymä	%	3,72	3,09	3,09	3,83	3,52	2,83	3,35	0,4		
TEA	J/m ²	224,0	173,6	191,6	244,1	214,1	150,2	199,6	34,52		
Repäisylujuus	mN	372	317	319	360	346	399	352			
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,73	3,30	3,20	3,75	3,35	4,01	3,55			
Tuhka	%							0			
Kosteus	%							6,05			

MITTAUSPÖYTÄKIRJA 5

Näyte: Akasia 5 min 18.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	99,6	99,6	92,7	92,7	92,7	89,7	94,5	
Paksuus	um	229	225	242	230	233	245	234	
Tiheys	kg/dm ³	43,49	44,27	38,31	40,3	39,79	89,7	40,39	
Bulkki	dm ³ /g	0,023	0,023	0,026	0,025	0,025	0,027	0,025	
Kiilto	%	3,1	3,2	3,6	3,4	3,5	3,6	3,4	0,18
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,95	11,66	11,07	11,36	11,19	11,19	11,4	0,34
	1,0 Mpa	9,85	8,81	9,15	9,26	8,87	8,66	9,10	0,43
	2,0 Mpa	7,22	6,80	6,86	6,86	6,76	6,74	6,87	0,18
Sileys Bendtsen	ml/min	2760	2423	2060	1799	1951	1961	2159	361
Ilmanläpäisevyys	ml/min	3514	3577	3579	3378	3456	3438	3490	80,6
Vetolujuus	kN/m	1,644	1,425	1,514	1,481	1,677	1,693	1,572	113,3
Vetoindeksi	Nm/g	16,51	14,31	16,33	15,98	18,09	18,87	16,63	
Venymä	%	1,29	1,25	1,06	0,86	1,06	1,35	1,15	0,18
TEA	J/m ²	14,45	11,61	10,51	8,083	11,69	15,63	12,0	2,719
Repäisylujuus	mN	84	84	80	76	82	82	81	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	0,84	0,84	0,86	0,82	0,88	0,91	0,86	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							5,14	

Näyte: Akasia 20 min 18.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	99,6	99,6	99,6	96,1	99,6	96,1	98,4	
Paksuus	um	204	210	200	280	210	204	218	
Tiheys	kg/dm ³	48,82	47,43	49,8	34,32	47,43	47,11	45,14	
Bulkki	dm ³ /g	0,02	0,021	0,02	0,029	0,021	0,021	0,022	
Kiilto	%	3,5	3,5	3,7	3,5	3,3	3,5	3,5	0,13
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,21	11,8	11,02	12,55	11,48	11,04	11,52	0,59
	1,0 Mpa	9,75	9,42	9,05	10,57	10,12	9,42	9,72	0,55
	2,0 Mpa	7,75	7,41	7,12	7,83	7,81	7,58	7,58	0,28
Sileys Bendtsen	ml/min	1982	1890	1786	2190	1920	1939	1951	134,2
Ilmanläpäisevyys	ml/min	2498	2422	2398	2196	2289	2209	2335	122,7
Vetolujuus	kN/m	3,004	2,702	2,857	2,930	2,532	2,727	2,792	172,2
Vetoindeksi	Nm/g	30,16	27,13	28,68	30,49	25,42	28,38	28,37	
Venymä	%	1,79	1,37	1,49	1,66	1,12	1,22	1,44	0,26
TEA	J/m ²	36,84	25,26	29,42	33,98	19,01	22,20	27,78	6,893
Repäisylujuus	mN	180	149	151	159	174	195	168	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	1,81	1,50	1,52	1,65	1,75	2,03	1,71	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							6,2	

MITTAUSPÖYTÄKIRJA 6

Näyte: Akasia 40 min 18.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	103,4	99,6	99,6	96,1	99,6	96,1	99,1	
Paksuus	um	177	178	185	186	181	200	185	
Tiheys	kg/dm ³	58,42	55,96	53,84	51,67	55,03	48,05	53,71	
Bulkki	dm ³ /g	0,017	0,018	0,019	0,019	0,018	0,021	0,019	
Kiilto	%	3,4	3,4	3,3	3,3	3,5	3,5	3,4	0,09
Sileys, PPS	0,5 Mpa	12,2	11,93	11,93	12,67	11,86	12,12	12,12	0,3
	1,0 Mpa	10,03	9,73	10,29	11,13	10,08	10,13	10,23	0,48
	2,0 Mpa	8,02	7,71	7,89	8,58	8,17	8,24	8,10	0,3
Sileys Bendtsen	ml/min	1888	2308	1836	2232	1885	1922	2012	203,3
Ilmanläpäisevyys	ml/min	1595	1300	1409	1358	1350	1456	1411	104,5
Vetolujuus	kN/m	4,444	4,428	5,128	4,607	4,469	4,176	4,542	319,3
Vetoindeksi	Nm/g	42,98	44,46	51,49	47,94	44,87	43,45	45,83	
Venymä	%	2,27	2,23	2,93	2,44	2,63	1,66	2,36	0,43
TEA	J/m ²	71,46	70,56	108,4	80,82	84,51	74,72	77,19	20,01
Repäisylujuus	mN	222	296	230	222	243	230	241	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	2,15	2,97	2,31	2,31	2,44	2,39	2,43	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							6,35	

Näyte: Akasia 60 min 18.2.2010

Suure	Mittaus							x	s
		1	2	3	4	5	6		
Neliömassa	g/m ²	107,6	99,6	99,6	103,4	96,1	96,1	100,4	
Paksuus	um	153	180	170	174	161	173	169	
Tiheys	kg/dm ³	70,33	55,33	58,59	59,43	59,69	55,55	59,59	
Bulkki	dm ³ /g	0,014	0,018	0,017	0,017	0,017	0,018	0,017	
Kiilto	%	3,6	3,4	3,5	3,1	3,4	3,3	3,4	0,17
Sileys, PPS	0,5 Mpa	11,91	12,91	11,83	13,02	12,25	12,67	12,43	0,51
	1,0 Mpa	9,79	11,21	10,47	11,31	10,42	10,60	10,63	0,56
	2,0 Mpa	8,21	9,59	8,29	9,32	8,31	8,73	8,74	0,59
Sileys Bendtsen	ml/min	2493	2487	1767	2404	2120	2084	2226	287,4
Ilmanläpäisevyys	ml/min	803	772	741	704	804	660	747	57,2
Vetolujuus	kN/m	5,560	6,439	6,422	7,074	5,560	6,439	6,249	588,7
Vetoindeksi	Nm/g	51,67	64,65	64,48	68,41	57,86	67,00	62,24	
Venymä	%	1,7	2,87	2,91	2,93	2,53	3,67	2,77	0,64
TEA	J/m ²	65,81	131,50	134,80	148,70	100,10	166,10	124,50	36,08
Repäisylujuus	mN	401	415	497	415	434	376	423	
Repäisyindeksi	mNm ² /g	3,73	4,17	4,99	4,01	4,52	3,91	4,21	
Tuhka	%							0	
Kosteus	%							5,84	

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

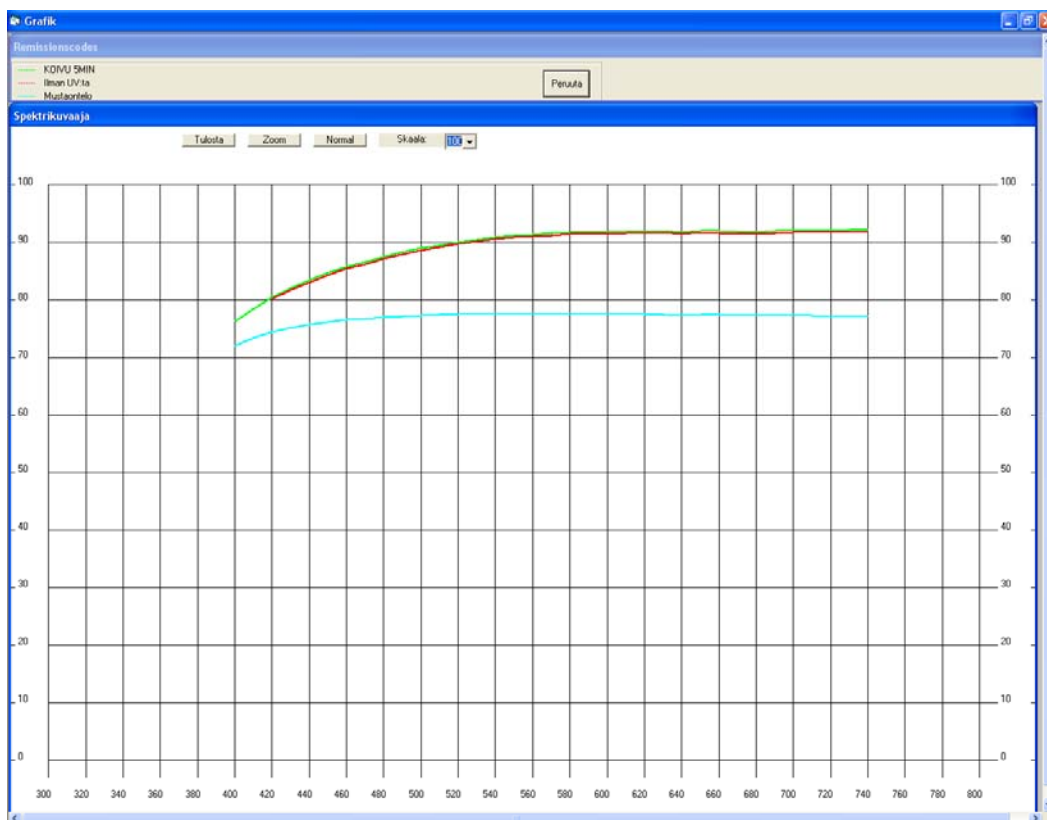
Näytekoodi: KOIVUSELLU 5MIN
 Näytepiste/rulla: _____
 Puoli (YP/AP): _____
 Toimintokoodi: _____

6
6

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,64	85,51	85,78	0,09
Arvo Y D65	90,72	90,44	90,90	0,15
Arvo Z D65	90,92	90,54	91,06	0,19
Arvo L* D65	96,29	96,18	96,37	0,06
Arvo a* D65	-0,69	-0,75	-0,45	0,12
Arvo b* D65	4,35	4,28	4,42	0,06
Valkoisuus CIE + UV	71,10	70,50	71,38	0,32
Valkoisuus CIE - UV	70,67	70,44	70,90	0,18
R457 UV:n kanssa	85,35	84,96	85,48	0,19
R457 ilman UV:tä	85,03	84,82	85,12	0,11
Fluoresenssi R457	0,32	0,25	0,50	0,09
hallitseva aallonpituus	573,1	572,9	574,0	0,4
Ärsykepuhtaus	3,94	3,90	4,23	0,17
Sirontakerroin	37,78	35,58	38,95	1,28
Absorptiokerroin	0,17	0,16	0,17	0,01
Opasiteetti	85,13	84,06	85,66	0,61

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

Kuva 1. Koivusellu 5 min 96,3 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010



Kuva 2. Koivusellu 5 min 96,3 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOIVUSELLU 20MIN

Näytepiste/rolla: _____

Puoli (YP/AP): _____

Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,21	85,18	85,29	0,05
Arvo Y D65	90,23	90,15	90,32	0,06
Arvo Z D65	89,83	89,62	89,99	0,12
Arvo L* D65	96,09	96,06	96,13	0,03
Arvo a* D65	-0,63	-0,66	-0,55	0,04
Arvo b* D65	4,77	4,72	4,86	0,06
Valkoisuus CIE + UV	68,71	68,22	69,00	0,28
Valkoisuus CIE - UV	70,49	67,70	82,73	5,96
R457 UV:n kanssa	84,37	84,17	84,52	0,11
R457 ilman UV:tä	86,60	83,78	99,73	6,43
Fluoresenssi R457	-2,23	-15,34	0,59	6,44
hallitseva aallonpituus	573,6	573,5	573,8	0,1
Ärsykepuhtaus	4,45	4,38	4,61	0,09
Sirontakerroin	38,17	35,47	41,33	2,26
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,20	0,01
Opasiteetti	84,29	82,92	85,70	1,07

6

6

Aseta nippu

Mustaontelo

seuraava näyte

R% kuvaaja

Tulosta

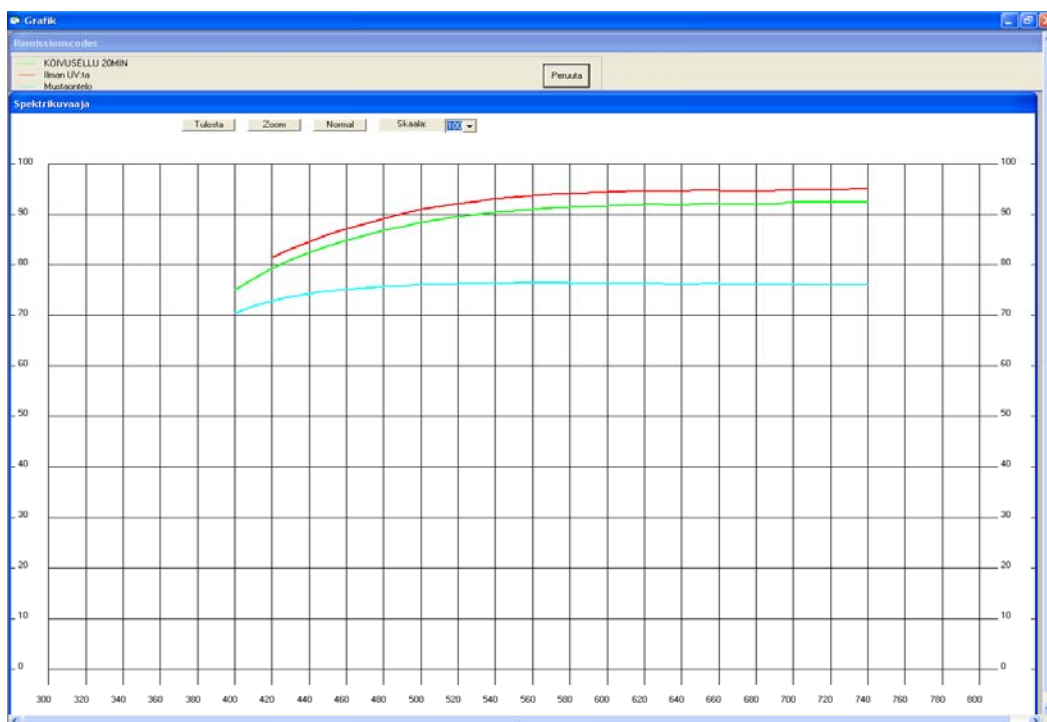
ASCII Output

Tallenna

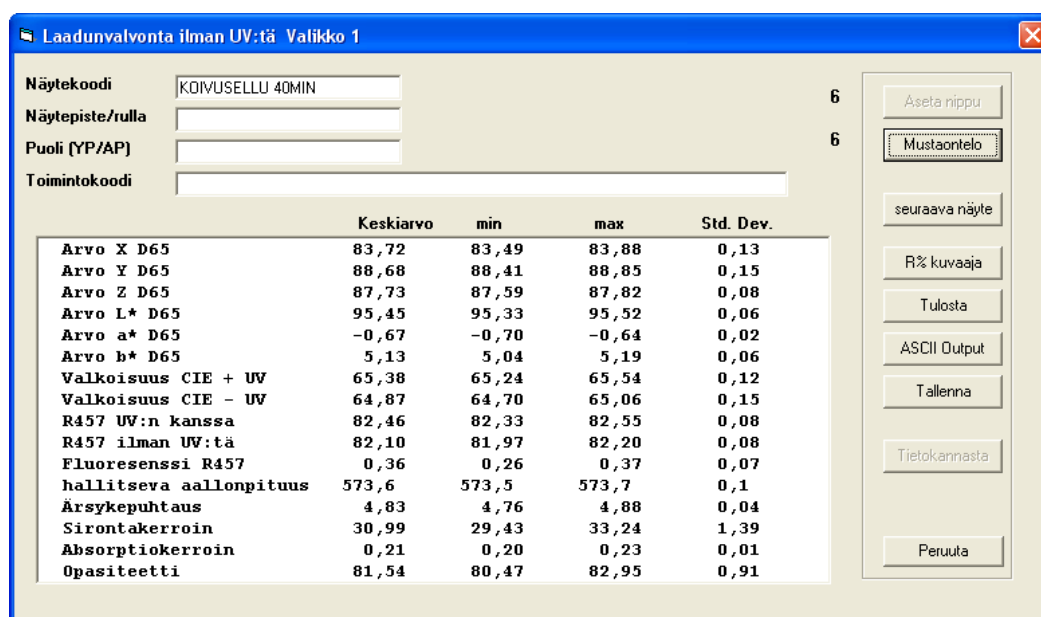
Tietokannasta

Peruuta

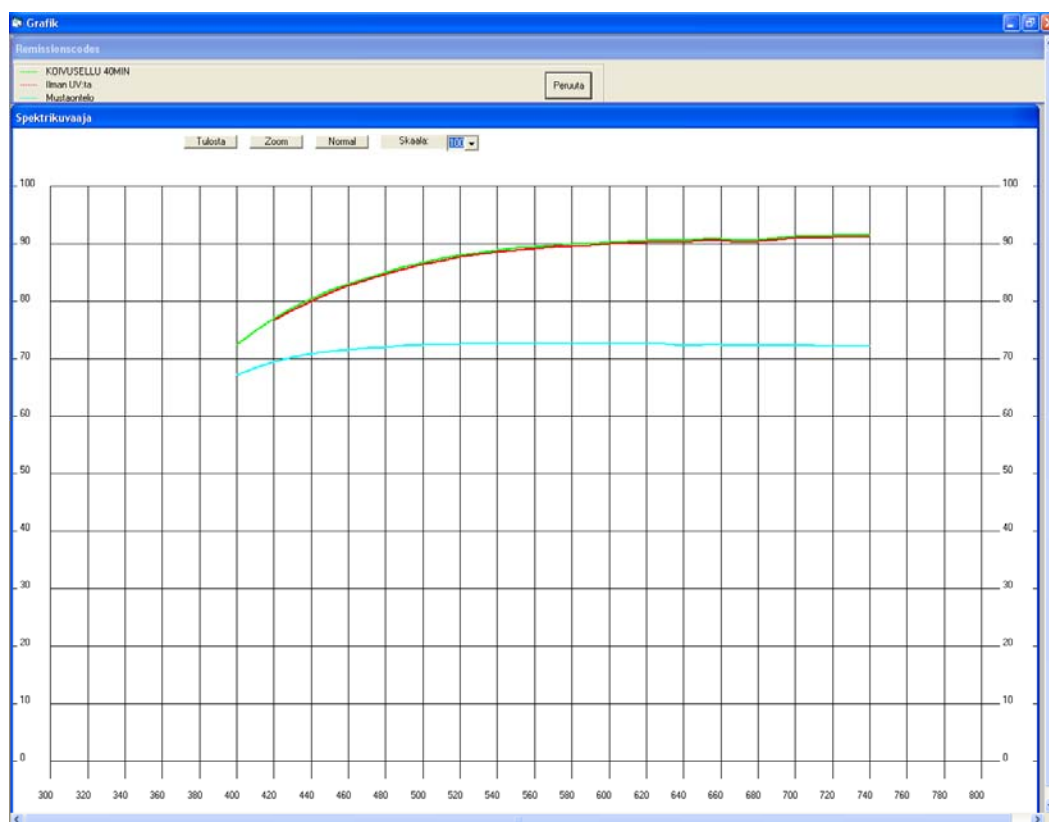
Kuva 3. Koivusellu 20 min 89,5g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010



Kuva 4. Koivusellu 20 min 89,5 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010



Kuva 5. Koivusellu 40 min 90,3 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010



Kuva 6. Koivusellu 40 min 90,3 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010

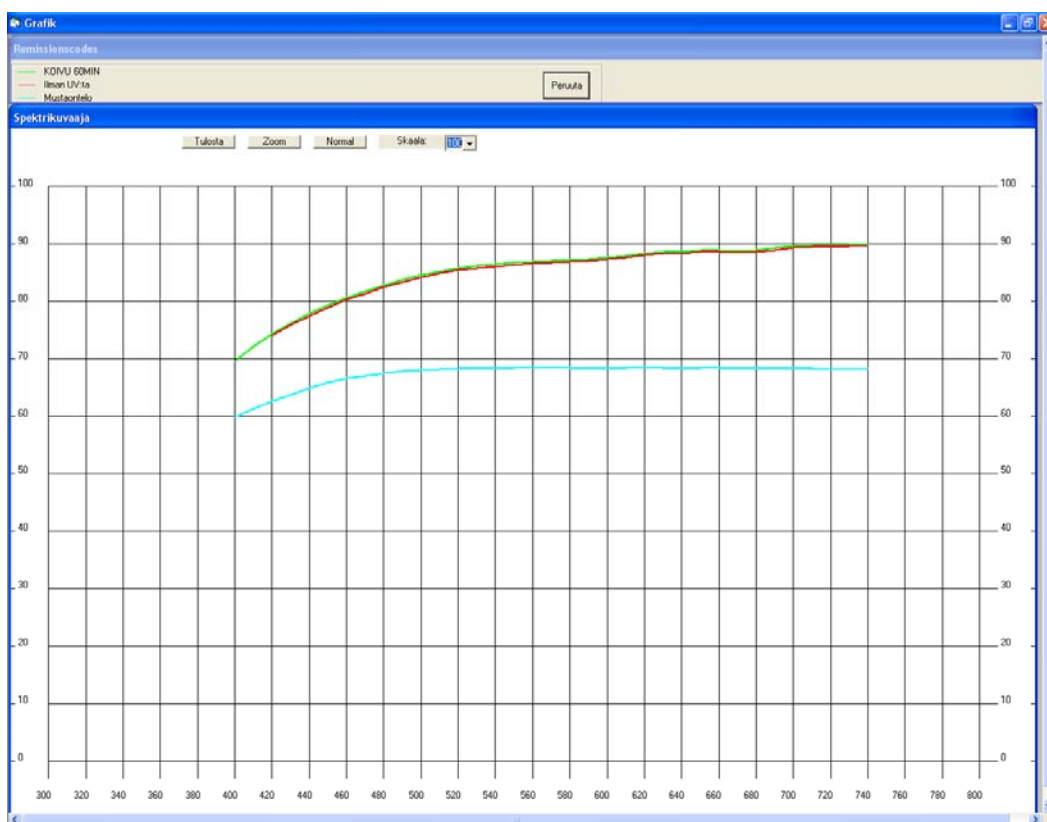
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: KOIVU 60MIN
 Näytepiste/rulla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	81,33	80,42	82,34	0,84
Arvo Y D65	86,20	85,15	87,30	0,92
Arvo Z D65	85,06	84,30	85,70	0,63
Arvo L* D65	94,40	93,95	94,86	0,39
Arvo a* D65	-0,77	-0,90	-0,62	0,11
Arvo b* D65	5,25	5,00	5,58	0,25
Valkoisuus CIE + UV	62,15	61,81	62,70	0,40
Valkoisuus CIE - UV	61,57	61,10	62,19	0,43
R457 UV:n kanssa	80,02	79,29	80,64	0,61
R457 ilman UV:tä	79,63	78,93	80,22	0,60
Fluoresenssi R457	0,38	-0,15	0,98	0,51
hallitseva aallonpituus	573,5	573,1	574,1	0,4
Ärsykepuhtaus	4,92	4,58	5,19	0,24
Sirontakerroin	25,96	22,91	27,55	1,74
Absorptiokerroin	0,27	0,24	0,29	0,02
Opasiteetti	78,95	76,01	80,28	1,60

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

Kuva 7. Koivusellun 60 min 88,7 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010



Kuva 8. Koivusellun 60 min 88,7 g/m² Minolta Spectrophotometrillä mitattuna 16.2.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

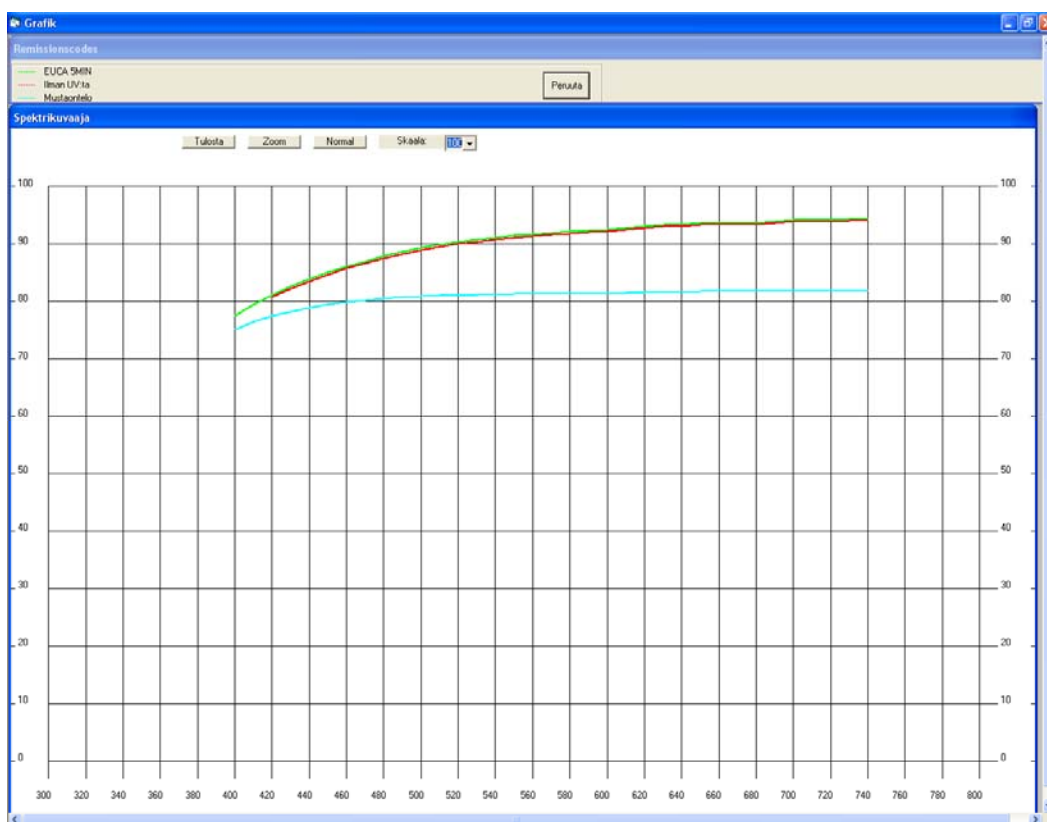
Näytekoodi: EUCA 5MIN
 Näyteste/rolla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	86,09	85,63	86,40	0,32
Arvo Y D65	91,00	90,55	91,35	0,33
Arvo Z D65	91,20	90,93	91,44	0,19
Arvo L* D65	96,41	96,22	96,55	0,14
Arvo a* D65	-0,36	-0,41	-0,26	0,06
Arvo b* D65	4,37	4,15	4,56	0,16
Valkoisuus CIE + UV	71,36	70,74	71,91	0,46
Valkoisuus CIE - UV	70,83	70,20	71,38	0,46
R457 UV:n kanssa	85,58	85,34	85,80	0,17
R457 ilman UV:tä	85,20	84,91	85,42	0,19
Fluoresenssi R457	0,38	0,12	0,42	0,15
hallitseva aallonpituus	574,5	574,4	574,8	0,2
Ärsykepuhtaus	4,11	3,86	4,27	0,16
Sirontakerroin	46,61	42,21	50,59	3,07
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,21	0,01
Opasiteetti	88,95	87,45	90,11	0,98

6
6

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

Kuva 9. Eucasellu 5 min $100,5 \text{ g/m}^2$ ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 10. Eucasellu 5 min $100,5 \text{ g/m}^2$ värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

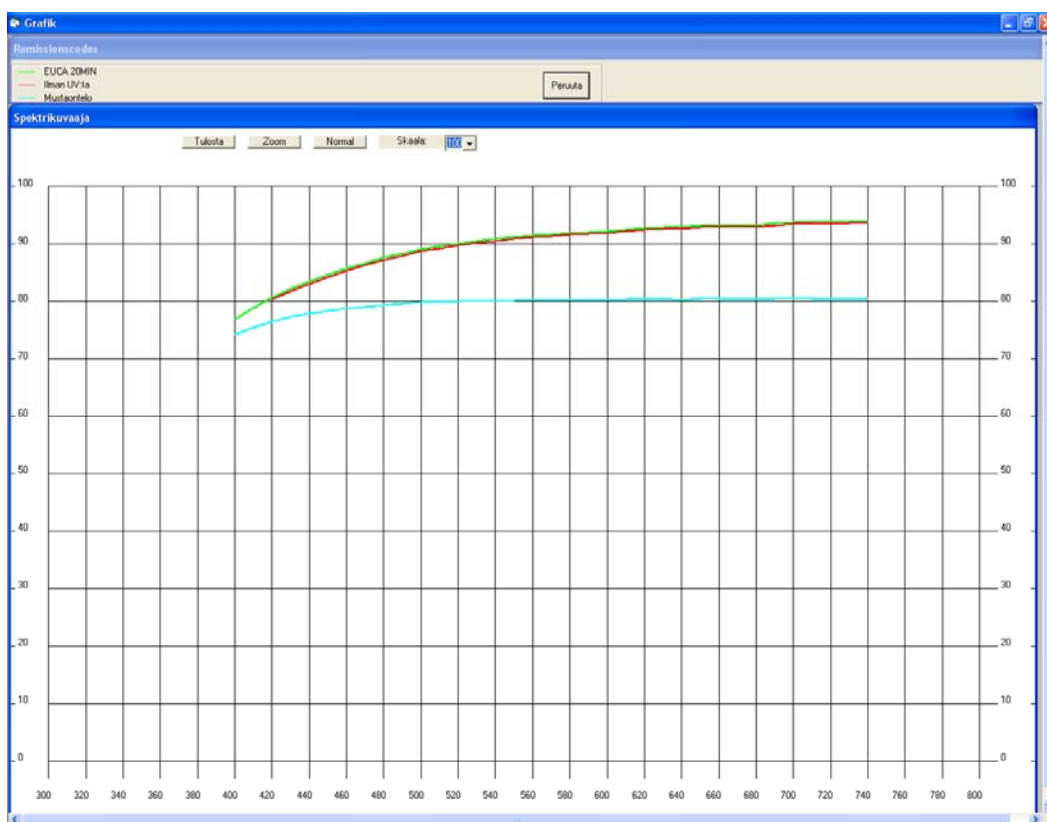
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA 20MIN
 Näytepiste/rolla: _____
 Puoli (YP/AP): _____
 Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,80	85,64	85,98	0,13
Arvo Y D65	90,73	90,58	90,93	0,13
Arvo Z D65	90,79	90,66	90,88	0,07
Arvo L* D65	96,30	96,24	96,38	0,05
Arvo a* D65	-0,43	-0,58	-0,27	0,10
Arvo b* D65	4,46	4,37	4,59	0,09
Valkoisuus CIE + UV	70,65	70,27	71,03	0,28
Valkoisuus CIE - UV	70,10	69,69	70,43	0,26
R457 UV:n kanssa	85,22	85,11	85,31	0,06
R457 ilman UV:tä	84,84	84,76	84,92	0,05
Fluoresenssi R457	0,38	0,30	0,40	0,05
hallitseva aallonpituus	574,3	573,6	574,8	0,4
Ärsykepuhtaus	4,14	4,07	4,24	0,07
Sirontakerroin	43,56	41,17	46,47	2,14
Absorptiokerroin	0,19	0,18	0,21	0,01
Opasiteetti	87,96	87,07	88,94	0,75

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

Kuva 11. Eucasellu 20 min 99,2 g/m² ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 12. Eucasellu 20 min 99,2 g/m² värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

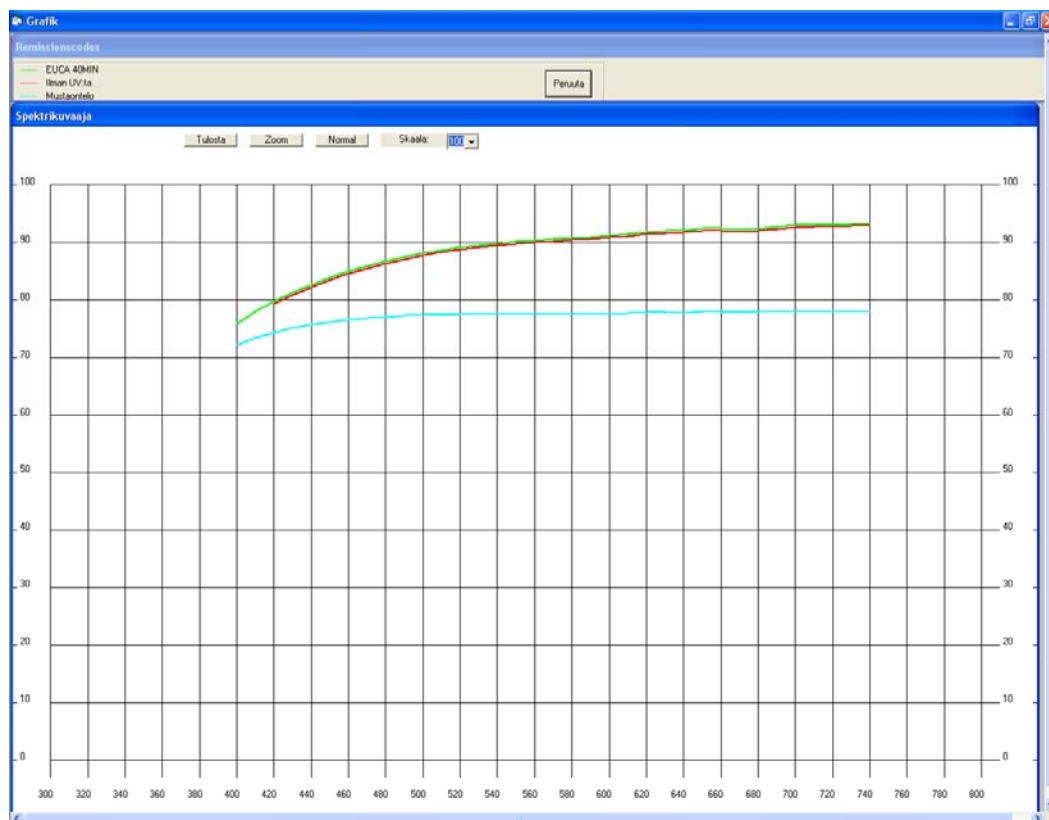
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: EUCA 40MIN
 Näytepiste/rulla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,87	84,16	85,31	0,46
Arvo Y D65	89,75	88,95	90,25	0,54
Arvo Z D65	89,93	89,59	90,33	0,29
Arvo L* D65	95,89	95,56	96,10	0,22
Arvo a* D65	-0,41	-0,49	-0,19	0,12
Arvo b* D65	4,35	3,85	4,83	0,36
Valkoisuus CIE + UV	70,08	68,49	71,50	1,16
Valkoisuus CIE - UV	69,48	67,98	70,80	1,10
R457 UV:n kanssa	84,44	84,15	84,77	0,25
R457 ilman UV:tä	84,00	83,74	84,34	0,22
Fluoresenssi R457	0,43	0,18	0,74	0,19
hallitseva aallonpituus	574,4	573,9	575,2	0,5
Ärsykepuhtaus	4,06	3,65	4,46	0,29
Sirontakerroin	36,72	35,27	38,76	1,48
Absorptiokerroin	0,20	0,19	0,21	0,01
Opasiteetti	86,19	85,49	87,10	0,68

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

Kuva 13. Eucasellu 40 min 101,6 g/m² ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 14. Eucasellu 40 min 101,6 g/m² värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740(nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

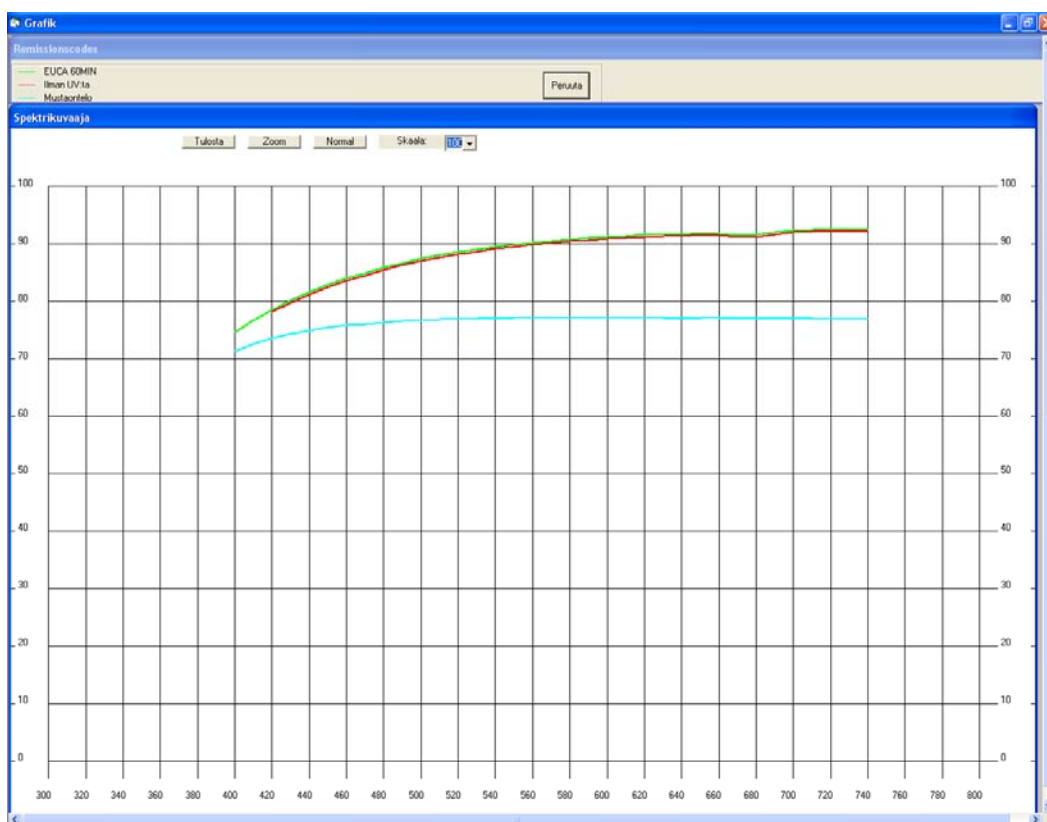
Näytekoodi: EUCA 60MIN
 Näytepiste/rolla: _____
 Puoli (YP/AP): _____
 Toimintokoodi: _____

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,55	84,26	85,08	0,29
Arvo Y D65	89,38	88,80	89,98	0,38
Arvo Z D65	88,84	87,70	89,71	0,73
Arvo L* D65	95,74	95,50	95,99	0,16
Arvo a* D65	-0,38	-0,53	0,12	0,25
Arvo b* D65	4,86	4,48	5,25	0,34
Valkoisuus CIE + UV	67,39	65,05	69,05	1,72
Valkoisuus CIE - UV	66,82	64,61	68,48	1,66
R457 UV:n kanssa	83,43	82,33	84,24	0,68
R457 ilman UV:tä	83,04	81,97	83,84	0,66
Fluoresenssi R457	0,39	0,22	1,46	0,59
hallitseva aallonpituus	574,5	573,8	575,9	0,8
Ärsykepuhtaus	4,60	4,17	5,21	0,41
Sirontakerroin	36,31	34,87	38,01	1,08
Absorptiokerroin	0,21	0,21	0,22	0,01
Opasiteetti	85,87	85,15	86,66	0,52

6
6

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

Kuva 15. Eucasellu 60 min $99,1 \text{ g/m}^2$ ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 16. Eucasellu 60 min $99,1 \text{ g/m}^2$ värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.8.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

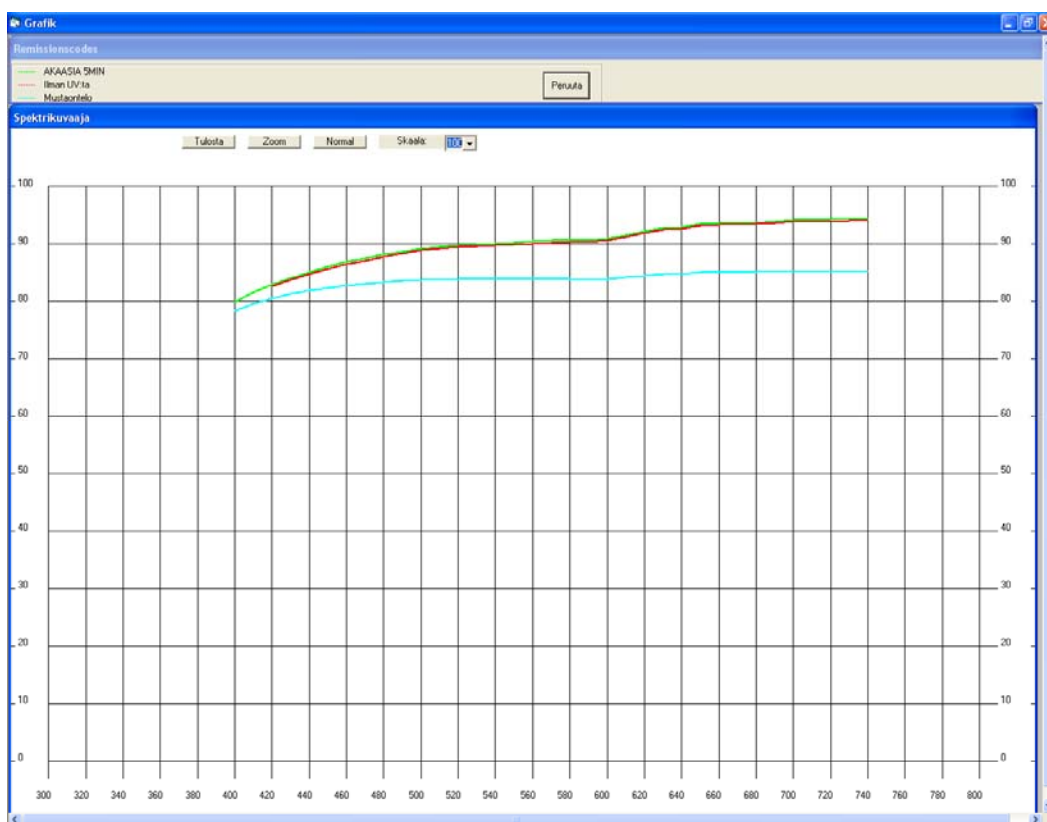
Näytekoodi: AKAASIA 5MIN
 Näyteste/rolla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,38	84,28	86,77	1,04
Arvo Y D65	90,12	89,03	91,58	1,09
Arvo Z D65	92,23	92,05	92,40	0,12
Arvo L* D65	96,05	95,59	96,65	0,45
Arvo a* D65	-0,13	-0,25	-0,04	0,08
Arvo b* D65	3,03	2,28	3,95	0,73
Valkoisuus CIE + UV	76,44	73,87	78,66	2,13
Valkoisuus CIE - UV	75,96	73,35	78,23	2,14
R457 UV:n kanssa	86,41	86,26	86,56	0,11
R457 ilman UV:tä	86,05	85,88	86,20	0,10
Fluoresenssi R457	0,36	0,20	0,37	0,09
hallitseva aallonpituus	575,6	575,0	576,3	0,6
Ärsykepuhtaus	2,88	2,10	3,72	0,70
Sirontakerroin	63,91	57,53	69,92	5,37
Absorptiokerroin	0,33	0,30	0,36	0,03
Opasiteetti	92,89	91,62	93,87	0,96

6
6

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

Kuva 17. Akasiasellu 5 min 94,5 g/m² ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 18. Akasiasellu 5 min 94,5 g/m² värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

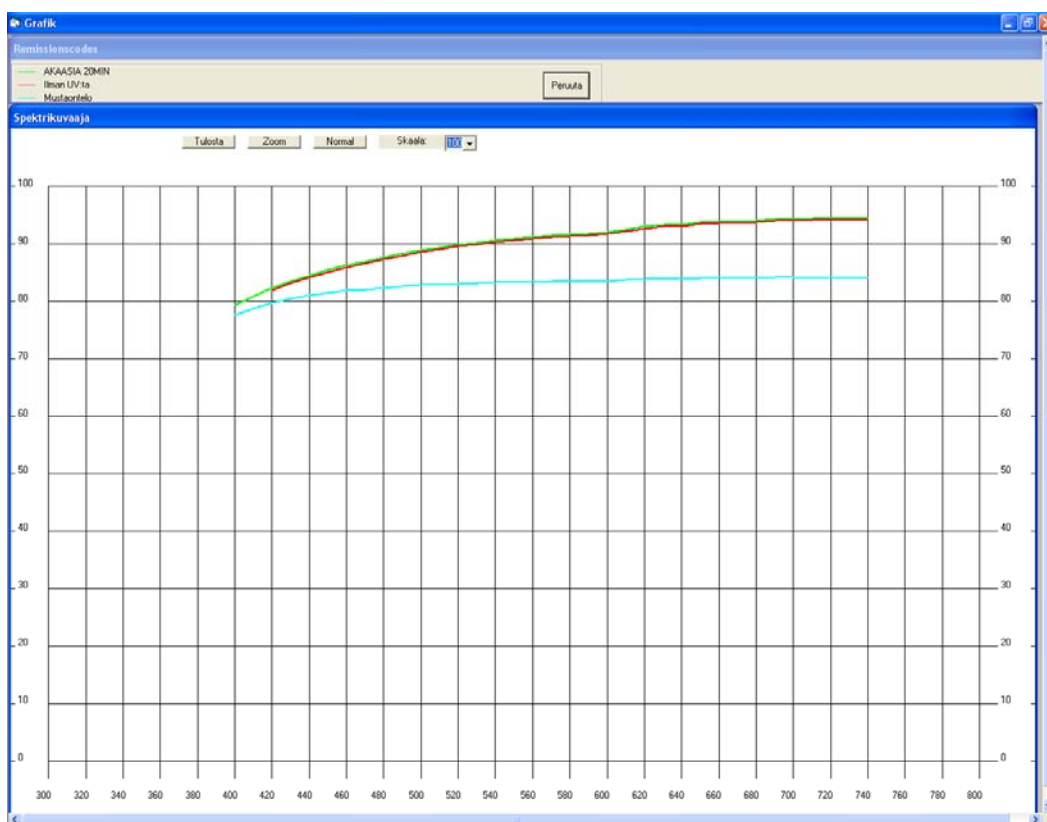
Näytekoodi: AKAASIA 20MIN
 Näytepiste/rolla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,92	85,68	86,31	0,27
Arvo Y D65	90,62	90,35	91,06	0,30
Arvo Z D65	91,64	91,42	91,87	0,19
Arvo L* D65	96,25	96,14	96,43	0,13
Arvo a* D65	0,00	-0,04	0,10	0,06
Arvo b* D65	3,79	3,65	3,94	0,10
Valkoisuus CIE + UV	73,56	73,36	73,90	0,22
Valkoisuus CIE - UV	73,10	72,88	73,53	0,25
R457 UV:n kanssa	85,86	85,65	86,08	0,18
R457 ilman UV:tä	85,52	85,30	85,73	0,19
Fluoresenssi R457	0,34	0,13	0,42	0,16
hallitseva aallonpituus	575,9	575,6	576,2	0,3
Ärsykepuhtaus	3,70	3,49	3,79	0,12
Sirontakerroin	56,83	54,96	59,17	1,53
Absorptiokerroin	0,26	0,25	0,27	0,01
Opasiteetti	91,63	91,21	92,12	0,33

6
6

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

Kuva 19. Akasiasellu 20 min 98,4 g/m² ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 20. Akasiasellu 20 min 98,4 g/m² värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

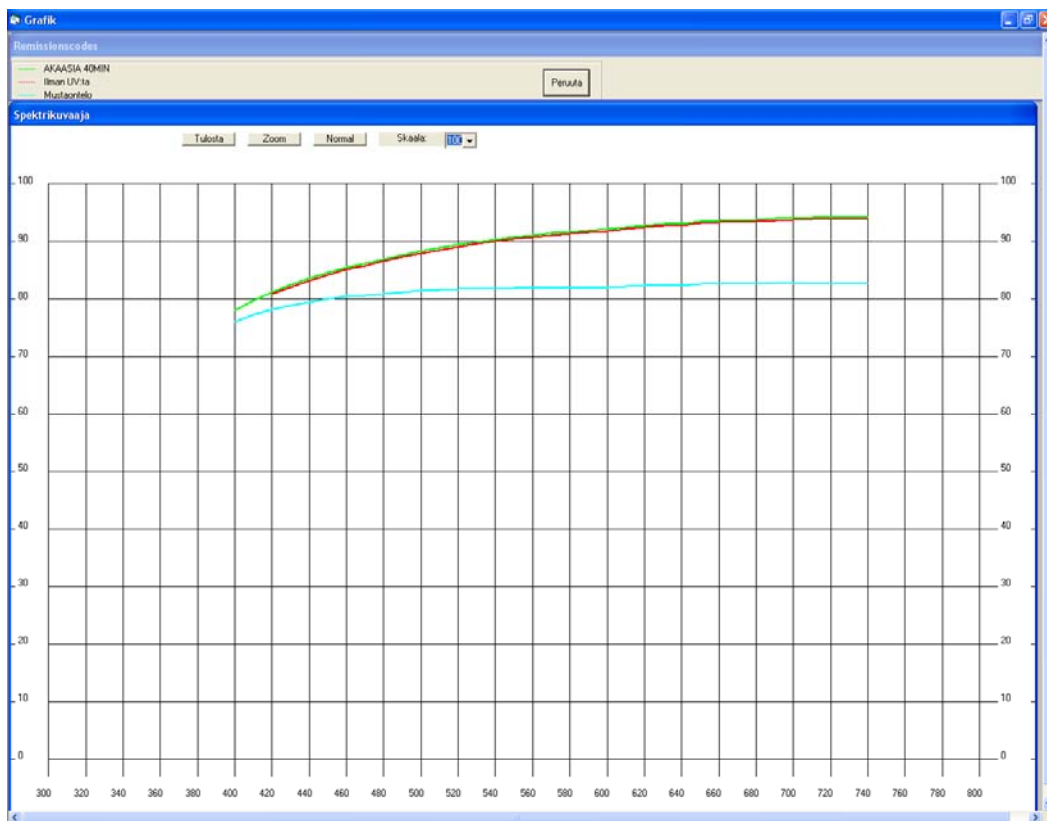
Näytekoodi: AKAASIA 40MIN
 Näytepiste/rulla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	85,68	85,32	86,10	0,31
Arvo Y D65	90,36	90,03	90,79	0,31
Arvo Z D65	90,71	89,82	91,09	0,46
Arvo L* D65	96,15	96,01	96,32	0,13
Arvo a* D65	0,01	-0,08	0,10	0,07
Arvo b* D65	4,25	3,94	4,64	0,23
Valkoisuus CIE + UV	71,24	69,12	72,34	1,09
Valkoisuus CIE - UV	70,77	68,96	71,80	0,95
R457 UV:n kanssa	85,04	84,29	85,36	0,39
R457 ilman UV:tä	84,69	84,02	85,00	0,35
Fluoresenssi R457	0,35	0,16	0,97	0,30
hallitseva aallonpituus	575,7	575,4	576,0	0,2
Ärsykepuhtaus	4,14	3,82	4,44	0,21
Sirontakerroin	50,03	47,59	53,20	1,90
Absorptiokerroin	0,24	0,23	0,26	0,01
Opasiteetti	90,23	89,52	91,05	0,52

6
6

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

Kuva 21. Akasiasellun 40 min 99,1 g/m² ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 22. Akasiasellun 40 min 99,1 g/m² värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010

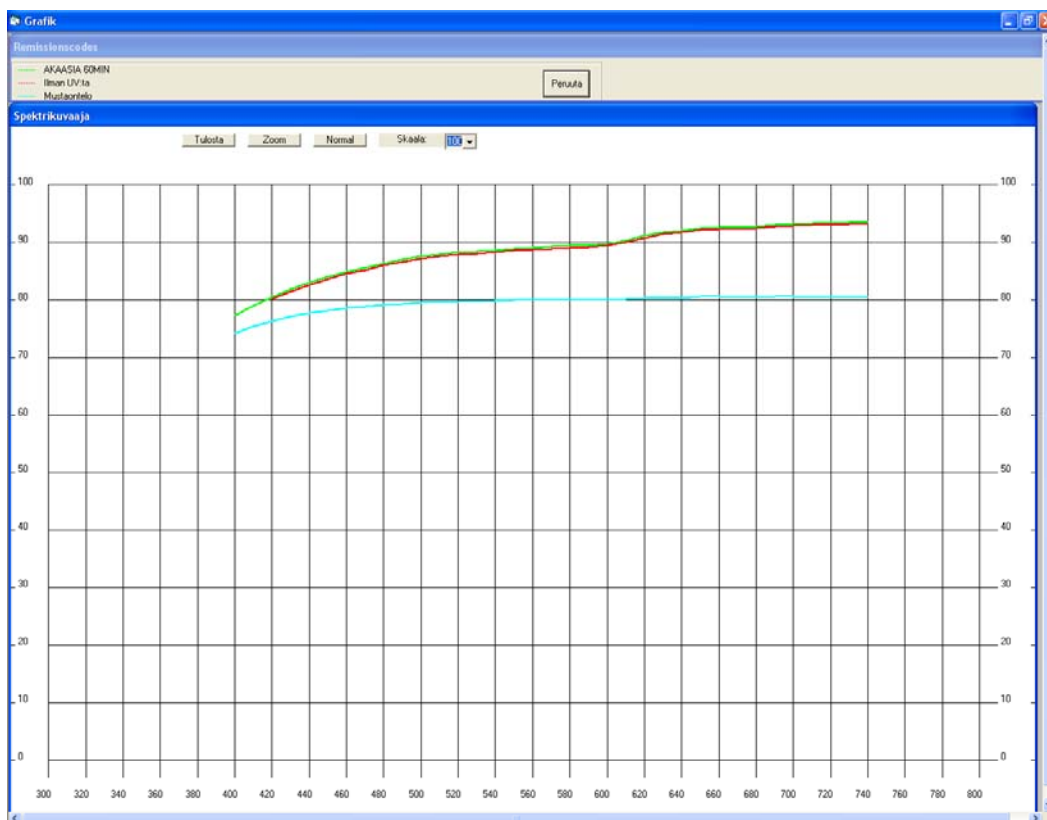
Laadunvalvonta ilman UV:tä Valikko 1

Näytekoodi: AKAASIA 60MIN
 Näytenpiste/rulla:
 Puoli (YP/AP):
 Toimintokoodi:

	Keskiarvo	min	max	Std. Dev.
Arvo X D65	84,11	82,78	85,34	0,95
Arvo Y D65	88,75	87,38	90,12	1,05
Arvo Z D65	90,06	89,50	90,35	0,31
Arvo L* D65	95,48	94,90	96,05	0,44
Arvo a* D65	-0,08	-0,20	0,20	0,15
Arvo b* D65	3,55	2,35	4,45	0,85
Valkoisuus CIE + UV	72,67	70,03	76,66	2,80
Valkoisuus CIE - UV	72,24	69,65	76,18	2,75
R457 UV:n kanssa	84,44	83,93	84,69	0,28
R457 ilman UV:tä	84,09	83,62	84,31	0,27
Fluoresenssi R457	0,35	0,23	0,82	0,23
hallitseva aallonpituus	575,8	575,0	578,0	1,1
Ärsykepuhtaus	3,45	2,22	4,17	0,78
Sirontakerroin	44,53	38,27	50,06	4,77
Absorptiokerroin	0,30	0,26	0,34	0,03
Opasiteetti	89,81	87,44	91,45	1,64

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

Kuva 23. Akasiasellun 60 min $100,4 \text{ g/m}^2$ ominaisuudet mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010



Kuva 24. Akasiasellun 60 min $100,4 \text{ g/m}^2$ värin intensiteettijakauma aallonpituusalueella 400–740 (nm) mitattuna Minolta Spectrophotometrillä 18.2.2010