

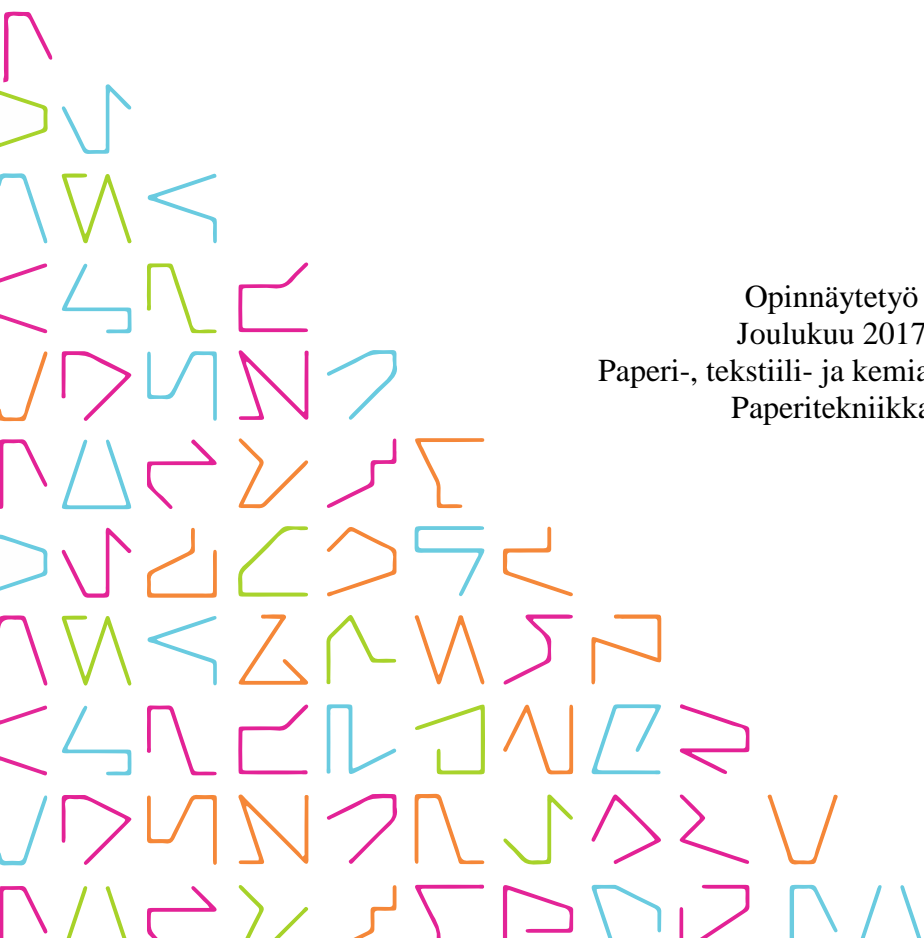


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# JAUHETUN OHRAN- JA KAURANKUOREN VAIKUTUS PAPERIN OMINAISUUKSIIN

Samu Saarnio

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2017  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka  
Paperiteknikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka  
Paperitekniikka

SAARNIO, SAMU:

Jauhetun ohran- ja kaurankuoren vaikutus paperin ominaisuuksiin

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 21 sivua  
Joulukuu 2017

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko jauhetulla ohran- ja kaurankuorella vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Teollisuuden tuotannon toimista jää usein raaka-aineista ylijäämänä sivuaineita, joita ei pystytä omassa tuotannossa käyttämään. Usein nämä ylijääneet sivuaineet käytetään lämpöenergian tuotannossa. Tässä opinnäytetyössä testattiin ohran- ja kaurankuoren vaikutusta paperin ominaisuuksiin.

Mittaukset suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratoriossa ja ne tehtiin paperin perus-, pinta- ja lujuusominaisuuksista sekä optisista ominaisuuksista. Mittauksien paperinäytteinä olivat: referenssinä toiminut mäntysellu, mäntysellun ja ohrankuoren yhdistelmät sekä mäntysellun ja kaurankuoren yhdistelmät. Yhdistelmien ohran- ja kaurankuorten pitoisuudet olivat: 5 %, 15 %, 25 % ja 50 %. Paperinäytteistä tehtiin vielä Tampereen ammattikorkeakoulun pilot-kalanterilla kalanteroidut versiot ja tuloksia verrattiin myös näissä kalanteroiduissa papereissa.

Perus- ja pintaominaisuuksien tuloksista nähtiin, että ilmanläpäisy, karheus ja formaatio kasvoivat verrattaessa referenssiin. Kosteuspitoisuus ja tiheys sen sijaan pysyivät samoina lukuun ottamatta hajonnan aiheuttamia poikkeamia. Kiillon mittauksista havaittiin, että arvot laskivat verrattaessa referenssiin.

Mittaustulosten mukaan ohran- ja kaurankuorellisten paperien lujuusominaisuudet heikentyvät, kun kuoren osuutta kasvatettiin. Lujuusominaisuuksien mittauksia tehtiin murtovenymästä, murtotyöstä sekä veto- ja repäisylujuudesta. Optisten ominaisuuksien kohdalla kuorellisten näytteiden mittaustulokset kertoivat, että värisävy siirtyi keltaiseen suuntaan, vaaleus laski sekä opasiteetti nousi verrattaessa referenssiin.

Tärkeimmät ohran- ja kaurankuoren erot muodostuivat kaurankuorinäytteiden suuremmasta partikkelikoosta ja näytteiden vaaleuden erosta. Tämän työn kaltaisesti käytetty ohran- ja kaurankuori ei sovellu parantamaan tai korvaamaan paperin tarvittavia laatuominaisuuksia. Kuitenkin ohran- ja kaurankuoren käsittelyn lisätutkimus voi tuoda uutta tietoa tai jopa parantaa raaka-aineen paperiin tuomia ominaisuuksia.

---

Asiasanat: non-wood, ominaisuudet, mittaus, ohrankuori, kaurankuori

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering  
Option of Paper Technology

SAARNIO, SAMU:

The Effect of the Milled Barley and Oats Shell on Paper Properties

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 21 pages

December 2017

---

The purpose of this thesis was to determine how milled barley and oats shell affect the properties of the paper. All measurements of the work were performed in the paper and packaging laboratory at Tampere University of the Applied Sciences and they were made of basic, surface, strength and optical properties.

The samples used for the measurements were the pine pulp and the combinations of pine pulp and barley shells or oat shells. The reference point was a 100 % pine pulp and the concentrations of the combinations were 5 %, 15 %, 25 % and 50 % of shells. Calendered versions of the paper samples were also made with pilot calender at Tampere University of the Applied Sciences.

The basic and surface properties measurement results showed that air permeability, roughness and formation increased compared with the reference. The moisture content and density of the paper samples remained the same and the gloss measurement values decreased compared with the reference.

The measurements of the strength properties of the paper were made from stretch at break, breaking energy, tensile strength and tearing strength. According to the measurement results, the barley shells and the oat shells weakened the strength properties when the portion of shell increased. The results of the optical properties showed that the shells decreased brightness and raised opacity. It was also apparent from the result that the hue of the paper shifted to yellow.

The main differences between the barley shell and the oat shell were the greater particle size of the oat shell and the difference in the brightness of the samples. Barley shells and oat shells are not suitable for improving or replacing the required quality of paper if used like in this work. However, further research into the preparation of shells would be beneficial because it can provide new information or even improve the properties of the shells.

---

Key words: non-wood, properties, measurement, barley shell, oat shell

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	NON-WOOD.....	6
2.1	Raaka-aineet ja niiden käyttö.....	6
2.2	Non-wood -kuitujen ominaisuudet .....	8
2.3	Massan valmistus .....	8
2.3.1	MILOX-prosessi .....	9
2.3.2	ASAM-prosessi .....	10
3	MITTAUSMENETELMÄT .....	11
4	TULOKSET .....	12
4.1	Neliömassa.....	13
4.2	Paksuus, tiheys ja bulkki.....	14
4.3	Kosteus, ilmanläpäisy .....	18
4.4	Kiilto ja karheus.....	20
4.5	Formaatio .....	23
4.6	Taivutusvastus .....	25
4.7	Lujuusominaisuudet.....	27
4.8	Optiset ominaisuudet .....	33
4.9	Hylätyt mittaukset.....	42
5	POHDINTA.....	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET .....	47
	Liite 1. Neliömassa.....	47
	Liite 2. Paksuus .....	48
	Liite 3. Tiheys.....	48
	Liite 4. Ilmanläpäisy/Huokoisuus.....	49
	Liite 5. Kiilto .....	50
	Liite 6. Karheus .....	52
	Liite 7. Formaatio .....	53
	Liite 8. Taivutusvastus .....	54
	Liite 9. Vetolujuus, venymä ja murtotyö.....	58
	Liite 10. Repäisylujuus.....	62
	Liite 11. Optiset ominaisuudet .....	64

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia jauhetun non-wood eli ei-puukuituisen ohran- ja kaurankuoren vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Nykyisin elintarviketeollisuudessa syntyy ylijäämänä ohran- ja kaurankuorta, jota ei pystytä tuotannossa käyttämään hyväksi. Tästä syystä ohran- ja kaurankuori poltetaan voimalaitoksissa lämpöenergiaksi. Opinnäytetyön pohjaideana onkin selvittää ohran- ja kaurankuoren laadullisia mahdollisuuksia käyttää non-wood -kuituja yhdessä puukuitujen kanssa.

Työn kirjallisessa osassa keskitytään non-wood -kuitujen raaka-aineisiin, käyttöön, kuitujen ominaisuuksiin sekä massan valmistukseen. Nykyisessä maailmassa on paljon alueellista hajontaa non-wood -massojen käytössä sekä paperiteollisuuden käytössä olevista eri non-wood -kuiduista. Pääkohtana olikin tutkia eri non-wood -kuitujen laajuutta paperiteollisuudessa sekä selvittää non-wood -kuitujen käyttökohteita ja ongelmia.

Kokeellisen osan tavoitteena oli selvittää, kuinka pilot-paperikoneella yhden koeajon paperien raaka-aineessa jauhetun ohran- ja kaurankuoren lisäys mäntyselluun vaikuttaa valmiin paperin ominaisuuksiin. Ohran- ja kaurankuorta lisättiin mäntysellun joukkoon molempia neljällä eri pitoisuudella: 5 %, 15 %, 25 %, 50 % ja referenssinä toimii 100 %:sti mäntysellusta valmistettu paperi. Mittaus toistettiin tämän jälkeen kalanteroiduilla näytteillä, joista tehtiin yhtenevät mittaukset. Mittaukset sisältävät tuloksia paperin perus-, lujuus- ja pintaominaisuuksista sekä optisista ominaisuuksista.

## 2 NON-WOOD

Maailman paperiteollisuuden pääraaka-aineena käytetään puukuituja, mutta puukuitujen ohella paperiteollisuudessa toimii non-wood -kuidut. Non-wood -kuituihin kuuluvat kasvikuidut sekä kasvikunnan ulkopuolelta saatavat kuidut. Non-wood -kuituja onkin käytetty paperin raaka-aineena läpi paperin historian. Nykyisen kaltainen paperi kehitettiin Kiinassa noin 2000 vuotta sitten ja sen raaka-aineena käytettiin muun muassa mulperipensaan, puuvillan, ramin, pellavan ja hamppujen kuituja. Olki on myös paperin vanhimpia käytössä olleita kuituaineita ja vehnän olkea käytettiin tärkeänä kaupallisen paperimassan raaka-aineena aina 1800-luvun puoliväliin saakka, jonka jälkeen puukuiduista tehty massa syrjäytti oljesta tehdyn massan Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. (Paperin kemiaa 2005; Ilvessalo-Pfäffli 2015, 233, 264.)

### 2.1 Raaka-aineet ja niiden käyttö

Paperia voidaan tehdä periaatteessa mistä tahansa kuitua sisältävästä kasvimateriaalista sekä kasvikunnan ulkopuolisista kuiduista. Puukuitujen ohella paperissa raaka-aineena käytetyt non-wood -kuidut voidaankin jakaa ruohovartisten kasvien kuituihin ja kasvikunnan ulkopuolisiin kuituihin. Tärkeänä non-wood -lähteenä ruohovartisten kasvien kuidut jakautuvat neljään eri ryhmään sen mukaan mistä kasvin osasta kuidut ovat peräisin. Nämä neljä ryhmässä olevaa kasvin osaa ovat heinäkasvikuidut, niinikuidut, lehtikuidut ja siemenkuidut. Usein ruohovartisten kasvien kuituja saadaan maatalouden tuotannon ylijäämänä. (Alen, Dam, Liu, Tähtinen & Willför 2011a, 22; Ilvessalo-Pfäffli 2015, 233)

Paperiteollisuudessa kaikkein käytetyimpiä ovat ruohovartisten kasvien kuiduista saadut heinäkasvikuidut, joihin kuuluvat muun muassa vehnä, ohra, ruis, kaura, maissi, riisi, sokeriruoko ja bambu. Näistä käytetyimpiä ovat vehnän ja riisin oljet, sokeriruoko ja bambu. Olkea käytetäänkin tärkeimpänä paperin raaka-aineena esimerkiksi Kiinassa, Intiassa, Egyptissä ja Algeriassa. Oljen käyttöä paperissa rajoittaa kuitenkin korkeat korjuu-, kuljetus- ja varastointikustannukset sekä oljen sisältämä korkea piipitoisuus. Ruohovartisten kasvien kuituja käytetään paperiteollisuudessa antamaan erikoisominais-

suuksia tai korvaamaan paperin puukuituja. (Alen ym. 2011a, 22; Ilvessalo-Pfäffli 2015, 233, 264)

Pääasiassa tekstiiliteollisuuden raaka-aineena olevia niinikuituja käytetään myös paperiteollisuudessa. Tavallisimpia niinikuituja paperiteollisuudessa ovat pellava ja hamppu. Pellavasta ja hampusta saatavat pitkät kuidut käytetään esimerkiksi korkean lujuuden omaavien paperien massan valmistamiseen. Näitä korkean lujuuden omaavia paperituotteita ovat muun muassa kartta-, seteli- ja savukepaperit. (Alen ym. 2011a, 22; Ilvessalo-Pfäffli 2015, 252)

Lehtikuidut ja siemenkuidut toimivat lähinnä tekstiiliteollisuuden raaka-aineena mutta niistäkin valmistetaan paperimassaa. Lehtikuituja saadaan paperin valmistukseen esimerkiksi vanhoista köysistä ja tekstiileistä. Ainoa siemenkuiduista kaupallisesti ja paperiteollisuudessa tärkeä on puuvilla. Puuvillasta paperiteollisuuden raaka-aineeksi saadaan lintteriä, joka on puuvillan lyhyt nukkamainen kuitu. Lintteri on tekstiiliteollisuudelle kelpaamaton mutta paperiteollisuudelle arvokas muun muassa liukosellun raaka-aineeksi. Puuvillaa saadaan paperin raaka-aineeksi myös teollisuuden jätteistä ja vanhoista lumpuista. (Ilvessalo-Pfäffli 2015, 261–262)

Kasvikunnan ulkopuolisia kuituja käytetään hyvin harvoin paperissa ja niiden tehtävänä on antaa paperille erikoisominaisuuksia, esimerkkinä tulen- ja kulutuksenkestävyys. Tärkeimpiä kasvikunnan ulkopuolisia kuituja ovat eläinkuidut, mineraalikuidut, epäorgaaniset tekokuidut ja orgaaniset tekokuidut. (Ilvessalo-Pfäffli 2015, 233)

Non-wood -massojen käyttö painottuu Aasian väkirikkaimpiin valtioihin sekä Afrikan ja Etelä-Amerikan niukkapuustoiisiin maihin. Myös väkirikkaiden maiden hyvä laatuinen viljelysmaan vähyys ohjaa non-wood -kuitujen käyttöön, koska ei ole järkevää käyttää ruuan tuotannossa tarvittavaa viljelysmaata puiden kasvattamiseen. Maailman paperimassatuotannosta puumassojen osuus on kaikkein suurin ja ruohovartisista kasveista saatu non-wood -massojen osuus on noin 11 %. Suurin ruohomassojen tuottajamaa on Kiina, jonka massatuotannosta yli 87 % on ruohomassaa. Toiseksi suurimpana ruohomassa tuottajana on Intia, joka tuottaa 56 % ruohomassaa kokonaismassatuotannostaan. Ruohovartisten kasvien kuidut ovat myös massateollisuudelle ainoa raaka-aine monissa maissa esimerkiksi Thaimaassa, Egyptissä ja Kuubassa. Kuitenkin yleisimmin ruoho-

massaa käytetään yhdessä puukuitujen kanssa. (Ilvessalo-Pfäffli 2015, 233; KnowPap 2017a)

## 2.2 Non-wood -kuitujen ominaisuudet

Non-wood -kuitujen ominaisuudet vaihtelevat suuresti kasvilajeittain ja jopa kasvin eri osissa. Heinäkasvikuiduissa keskimääräinen kuidun pituus on 1-30 mm ja läpimitta 8-30 mikronia. Kooltaan heinäkasvikuidut ovat lähellä lyhyitä lehtipuiden kuituja. Niinikuidut ovat pitkiä ja kapeita. Osa niinikuiduista on niin pitkiä, että kuituja ei voida käyttää sellunvalmistuksessa ilman kuitujen lyhentämistä. (Huusela-Veistola, Mela & Pahkala 1991, 8)

Tärkeitä ominaisuuksia sellun valmistuksen kannalta ovat selluloosapitoisuus, ligniinipitoisuus, tuhkan ja piin määrä sekä mahdollisten epäpuhtauksien määrä. Useiden ruohovartisten kasvien kuidut sisältävät yhtä suuren selluloosapitoisuuden kuin puukuidut. Niinikuiduilla ja puuvillalla selluloosapitoisuus on suurempi kuin puukuiduilla. Suurimmalla osalla non-wood -kuiduilla ligniinipitoisuudet ovat pienemmät kuin puukuiduilla. Viimeisenä tärkeänä kemiallisena ominaisuutena non-wood -kuidut sisältävät suuremman pii- ja tuhkapitoisuuden kuin puukuitu. Korkea piipitoisuus tuottaa ongelmia jokaisessa paperin valmistuksen vaiheessa. (Huusela-Veistola ym. 1991, 9)

## 2.3 Massan valmistus

Non-wood -kuiduille on käytetty sellunvalmistuksessa tavallisesti samoja menetelmiä kuin puukuiduille. Soodakeitto on yleisin keittomenetelmä mutta puukuiduille suunnatut menetelmät eivät toimi kaikissa tapauksissa sellaisinaan. Suurimmat ongelmat muodostuvat non-wood -kuitujen sisältämästä suuresta silikaattipitoisuudesta. Ongelma näkyy keittokemikaalien talteenotossa ja vaatiikin suuria muutoksia esimerkiksi alkalisen sulfaattiprosessin talteenotto-prosessissa. Happamassa keitossa silikaatti jää massaan, koska se ei liukene. Valkaisuissa silikaatit ei ole yhtä suuri ongelma kuin keitossa. (Huusela-Veistola ym. 1991, 25; Laamanen & Sundqvist 1996, 9)



Vaihtoehtoisia keittomenetelmiä on suunniteltu ja niitä ovat muun muassa Alcell-, ASAM- ja MILOX-menetelmät. Nämä kolme menetelmää kuuluvat organosolv-menetelmiin. Organosolv-menetelmissä merkittävä osa keittoliuksesta koostuu yhdestä tai useammasta orgaanisesta liuottimesta. Suurimpia organosolv-menetelmän tavoitteita on pyrkimys rikittömään ja kloorittomaan sellunvalmistukseen, prosessin kemikaalikierron täydelliseen sulkemiseen sekä kehittää non-wood -sellua paperin raaka-aineena. (Huusela-Veistola ym. 1991, 25; Alen, Engström, Gustafsson, Korpinen, Kuusisto, Leavitt, Olsson, Piira, Samuelsson & Sundqvist 2011b, 243–247; Levin & Sundqvist 2011)

Useimmat non-wood -kuiduista valmistetut sellumassat vastaavat lyhytkuituista lehti-puusellua mutta ovat kuitenkin heterogeenisempää sekä sisältävät enemmän aivan lyhyitä kuituja. Sellumassan valmistamisessa non-wood -kuidun lyhyt ja avoin rakenne vähentää kemikaalien tarvetta sekä keiton lämpötilaa. Näin ollen keittokemikaalit im-pregnoituvat nopeammin, vähemmällä paineella ja tasaisemmin kuin paksummat puu-kuidut. Paperin valmistuksessa nämä raaka-aineen rakenteelliset erot näkyvät hitaana veden poistumisena viiraosalla. (Huusela-Veistola ym. 1991, 25–27; Laamanen & Sundqvist 1996, 9)

### **2.3.1 MILOX-prosessi**

MILOX-prosessi on klooriton ja rikitön orgaanisiin happoihin ja vetyperoksidin eli pe-roksihappojen käyttöön perustuva sellunvalmistusmenetelmä. Menetelmä kehitettiin 1980-luvulla ja sen koemittauksia on suoritettu Oulun koetehtaalla. MILOX-menetelmän kehitystyön tuloksena se on onnistunut saamaan lisenssisopimuksen vuonna 2008 UPM-Kymmeneen kanssa menetelmän hyödyntämiseksi ruohopohjaisissa massanvalmistuksissa Kiinassa. Menetelmä soveltuukin erityisen hyvin juuri ruohokasveille, koska ruohokasvien suuret silikaattimäärät liukenevat keittoliemeen eivätkä siten aiheuta prosessiongelmia. (Levin & Sundqvist 2011)

MILOX-menetelmän etuina non-wood -massan tekemisessä ovat matala keittolämpötila (80–100 °C), matala keitossa tarvittavan paineen määrä, TCF-valkaisu (kloorikemikaalitonvalkaisu), rikittömät sivutuotteet ja suhteellisen yksinkertainen keittokemikaalien

talteenotto. Haittapuolia MILOX-menetelmässä ovat muun muassa havupuumassojen heikko laatu, korroosio-ongelmat sekä hakkeen kuivuus. (Alen ym. 2011b, 247)

### **2.3.2 ASAM-prosessi**

ASAM-Prosessi on metanolilla vahvistettu alkalinen sulfiittiprosessi, ja siksi se ei ole rikitön. ASAM-prosessi on yksi harvoista organosolv-menetelmistä, jossa non-wood -massan lisäksi pystytään tuottamaan laadullisesti vertailtavaa havu- ja lehtipuumassaa. ASAM-prosessin etuja ovat muun muassa helppo massan valkaisu, prosessin tuottama korkea laatuinen massa, jolla on hyvät paperinvalmistuksessa tarvittavat ominaisuudet sekä kaikille raaka-aineille sopiva keittomenetelmä. Haittapuolia prosessissa ovat rikkipitoiset kemikaalit, monimutkainen kemikaalien talteenotto sekä korkea keittopaine, joka vaatii erikoiskalustoa. (Alen ym. 2011b, 244–245)

### 3 MITTAUSMENETELMÄT

Kaikki näytteet ovat lähtöisin Sastamalan koulutuskuntayhtymän 0,5 metrin rataleveydeltään olevalta pilot-paperikoneelta. Näytteiden kalanterointi suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratoriossa. Kalanterin rakenteena on kuitu- ja metallipinnoitteisen telojen nippi, johon säädetään halutut asetukset. Tässä työssä kalanteroinnin asetuksina käytettiin +45 °C lämpötilaa, 90 kN/m kuormitusta ja viittä nippiä. Kalanterointi suoritettiin aina näytteen yläpuoli metallitelaa vasten.

Taulukkoon 1 on merkitty kaikki työssä tehdyt mittaukset, käytetyt laitteistot, standardit sekä rinnakkaisten mittausten lukumäärä. Kaikki mittaukset on tehty standardien mukaan. Standardin puuttuessa mittaukset on tehty laboratorio-ohjeiden mukaan, kuten formaatio ja kosteus (taulukko 1). Standardeista on poikettu ainoastaan mittaustulosten kohdilla. Kaikki näytearkit on ilmastoitu standardin ISO 187 mukaan.

TAULUKKO 1. Mittaukset, laitteisto, standardit ja mittausten lukumäärä

Ominaisuus	Standardi	Laite	Mittaus lkm
Kiilto	ISO 8254-1:2009	P. Zehntner	10
Repäisylujuus	ISO 1974:1990	Lorentzen & Wettre	5
Karheus	ISO 8791-2	Lorentzen & Wettre	10
Paksuus	ISO 534	Lorentzen & Wettre	10
Kosteus		Lorentzen & Wettre	5
Taivutusvastus	ISO 2493-1:2010	Lorentzen & Wettre	5
Ilmanläp./huokoisuus	ISO 8791-4	Messmer Büchel	10
Vaaleus, väri	ISO 2471-2	Minolta CM-3610d	10
Opasiteetti	ISO 2471-2	Minolta CM-3610d	10
Vetolujuus, venymä	ISO 1924-3	Lorentzen & Wettre	10
Formaatio		Ambertec Oy	4
Neliömassa	ISO 536	Lorentzen & Wettre	10
Tiheys/bulkki	ISO 534	Kaavalla laskettu	10

## 4 TULOKSET

Kaikki saadut mittaustulokset on esitetty taulukoissa ja kuvaajissa keskiarvoina. Kuvaajien tekemisessä käytetyt mittausarvot löytyvät liitteistä. Kuvaajissa sinisen väriset pylväävät kuvaavat ohrankuoripaperin mitattuja arvoja ja punaiset pylväävät kaurankuoren mitattuja arvoja. Lisäksi kuvaajissa on käytetty konesuunnan lyhenteenä ks ja poikkisuunnan lyhenteenä ps. Taulukoissa ohran- tai kaurankuorta sisältävä paperi on lyhennetty ohraksi tai kauraksi.

Ennen mittausten aloittamista visuaalisessa tarkastelussa näytteiden välillä oli havaittavissa vaaleuden osalta selviä eroja. Kuvassa 1 on nähtävissä kaikki eri paperinäytteet järjestyksessä isoimmasta pitoisuudesta pienimpään. Järjestys kuvassa 1 on vasemmalta ylhäältä alkaen: kaurankuorelliset 50 %, 25 %, 15 %, 5 % ja oikealta ylhäältä ohrankuorelliset 50 %, 25 %, 15 %, 5 % ja keskellä alhaalla referenssinä toimiva mäntysellu.

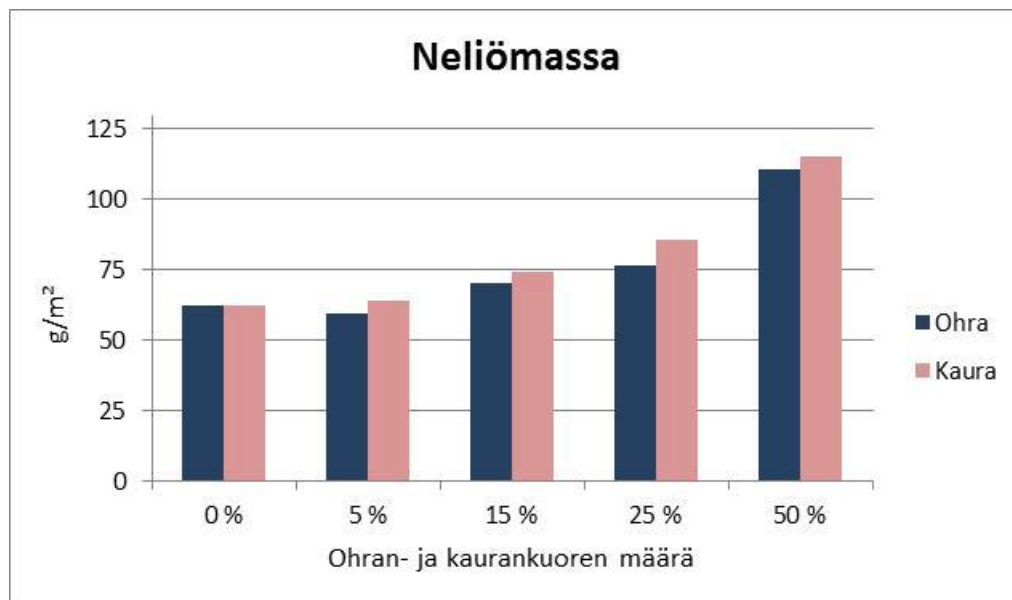


KUVA 1. Referenssin eli mäntysellun sekä ohran- ja kaurankuorellisten näytteiden visuaalinen ulkonäkö (Kuva: Samu Saarnio 2017)

#### 4.1 Neliömassa

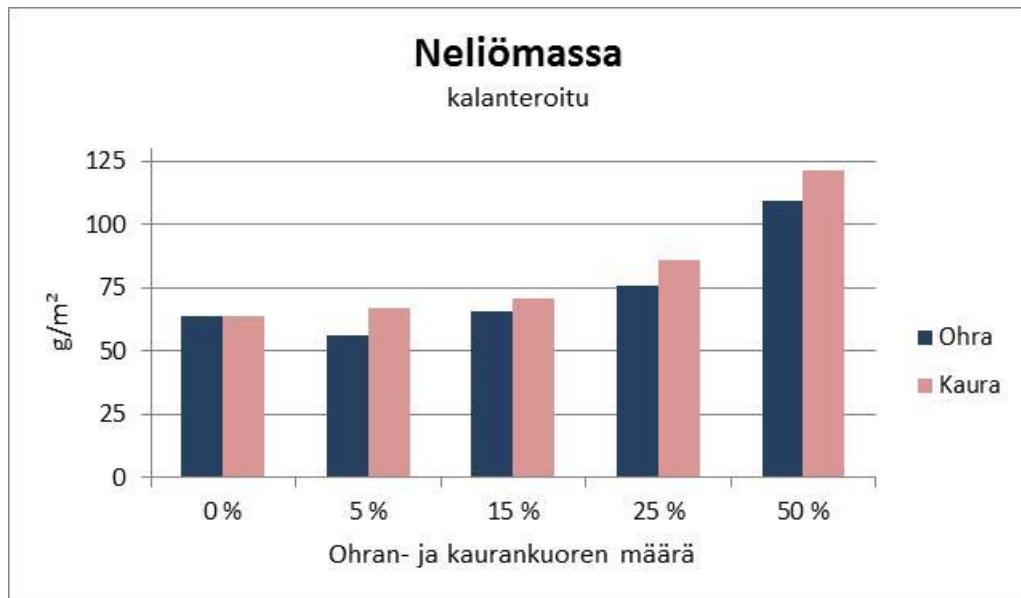
Neliömassa on paperin massa grammoina laskettuna neliometriä kohti ( $\text{g}/\text{m}^2$ ). Neliömassa on paperin perusominaisuuksia ja sen muuttaminen vaikuttaa lähes kaikkiin paperin ominaisuuksiin. Suurin osa neliömassan muutoksista muodostuu kuitujen ja lisäaineiden määrämuutoksen myötä. Neliömassan kasvaessa esimerkiksi lujuuDET, opasiteetti ja tiiviys paranevat. Kuitenkin paperin painon kasvaessa myös raaka-ainetta tarvitaan neliöitä kohti enemmän, jonka seurauksena valmistuskustannukset kasvavat. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 78; KnowPap 2017b)

Referenssin neliömassa oli mittauksien jälkeen noin  $62 \text{ g}/\text{m}^2$  ja kuorellisten näytteiden suurin neliömassa noin  $116 \text{ g}/\text{m}^2$  (liite 1). Näytteiden neliömassan eroavaisuuksia selittää paperin valmistamisessa käytetyt prosessit, joissa neliömassan säätö oli haastavaa. Kuviosta 1 nähdään myös että, neliömassa nousee tasaisesti kuorta sisältävissä paperinäytteissä. Poikkeuksina neliömassan tasaiseen nousuun ovat kuitenkin ohran kuorta 5 % sisältä arvo, joka on pienempi kuin referenssin neliömassa sekä 50 % kuorta sisältävät näytteet, joissa neliömassa on noussut suuresti. Syinä näissä on mahdollisesti epätasainen rainan muodostus paperin valmistuksen aikana. Kuviosta 1 voidaan myös havaita, että kaurankuori tuottaa hieman suuremman neliömassan kuin ohrankuori.



KUVIO 1. Sastamalan koulutus kuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden neliömassat, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kalanteroitujen paperinäytteiden neliömassojen arvot (kuvio 2) eivät eroa huomattavasti kalanteroimattomien näytteiden arvoista kuten oletettua. Kuviossa 2 nähdään neliömassoissa samat poikkeamat, jotka ovat kuviossa 1.

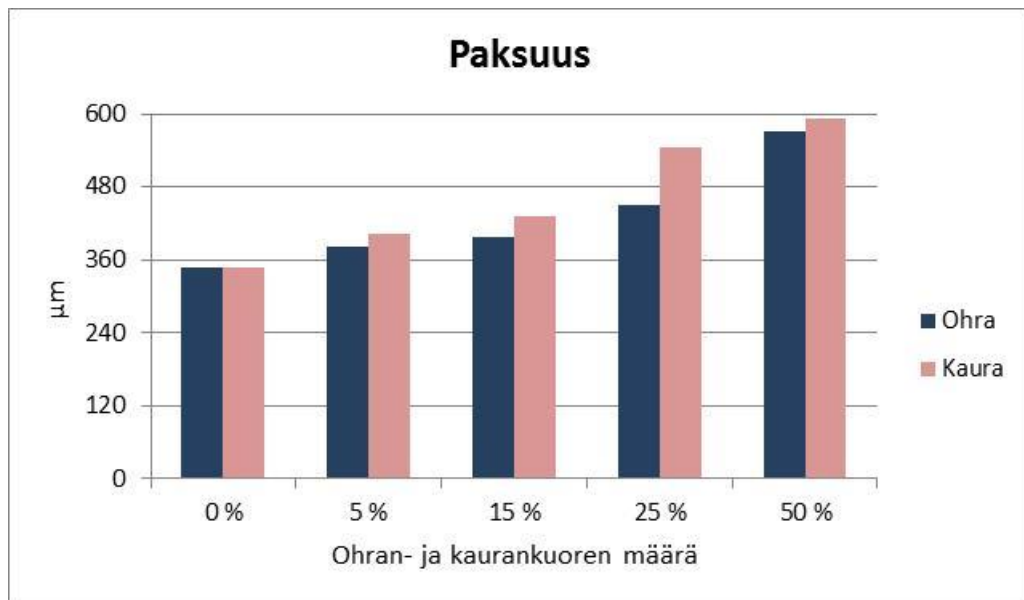


KUVIO 2. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden neliömassat, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

## 4.2 Paksuus, tiheys ja bulkki

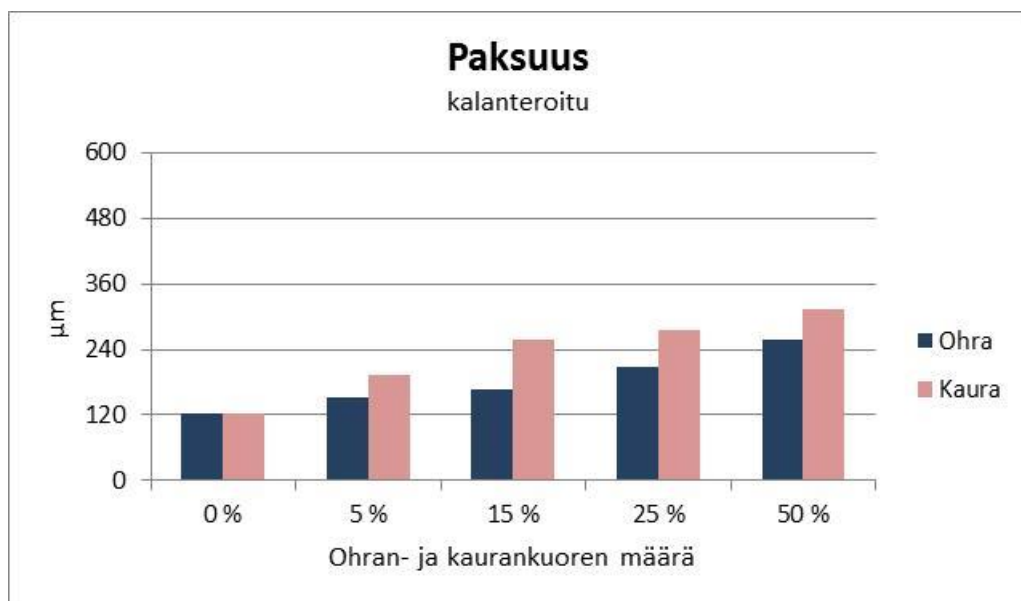
Paperin paksuus määritetään paperiarkin pintojen välisenä etäisyytenä. Tässä työssä mittaus suoritettiin yksinkertaisesta arkista eli arkin paksuudesta. Paksuus vaikuttaa paperin jäykkyyteen. Neliömassan ja paksuuden avulla saadaan paperista laskettua tiheys ja bulkki. Bulkki on tiheyden käänteisluku. (KnowPap 2017c)

Näytteiden paksuuksien mittauksista (kuvio 3) huomataan, että paksuus seuraa neliömassaa. Referenssi on noin 349  $\mu\text{m}$  paksuudeltaan, kun taas kuorta sisältävien näytteiden suurin paksuus on noin 592  $\mu\text{m}$ . Mahdollinen epätasainen pinnanmuoto selittää 50 % näytteiden suurempaa paksuuden kasvua. 25 % kaurankuorta sisältävän näytteen suuri eroavaisuus ohraan selittyy 25 % kaurankuoren tuloksien suurella hajonnalla (liite 2). Paksuuksien eroja selittää myös neliömassojen ero.



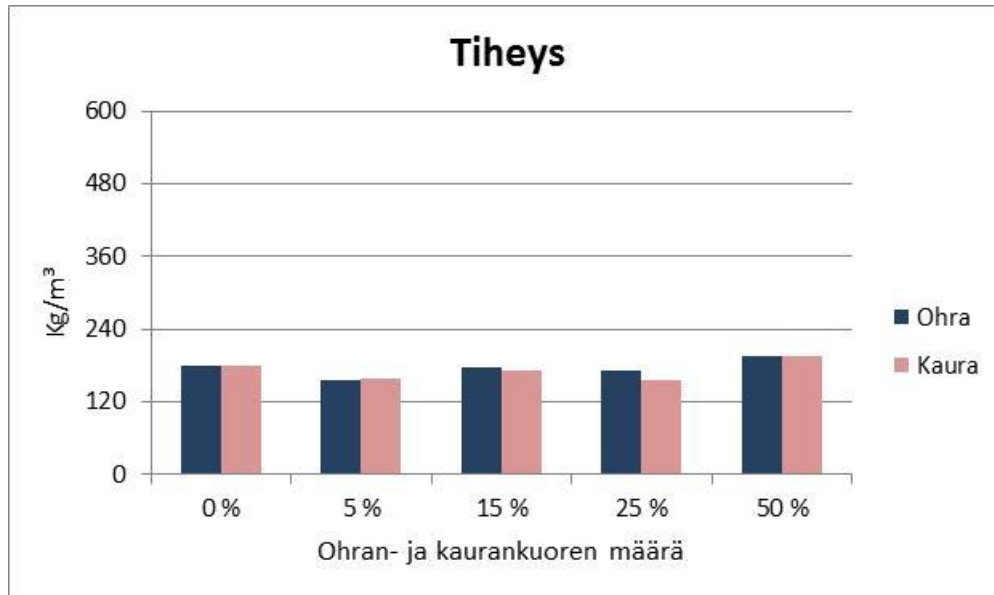
KUVIO 3. Sastamalan koulutus kuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden paksuudet, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kuviossa 4 on tutkittu kalanteroitujen näytteiden paksuuksia. Kalanterointi on laskenut paksuuksia kolmannekseen siitä mitä paksuudet olivat ennen kalanterointia. Kalanteroinnin seurauksena näytepaperin huokososuus on siis laskenut suuresti. Mittauksen variaatiokerroin oli korkeimmillaan noin 17 % (liite 2), joten mittaus ei ole täysin luotettava mutta kuitenkin suuntaa antava.



KUVIO 4. Sastamalan koulutus kuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden paksuudet, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

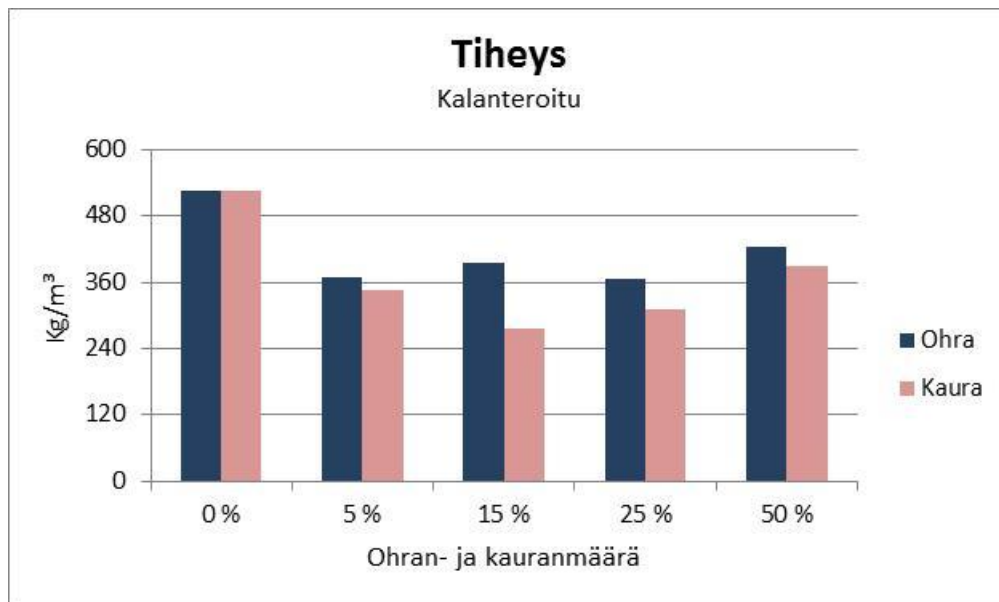
Kuviossa 5 on mitatut paperinäytteiden tiheydet. Tiheydet vaihtelevat asteikolla 156 kg/m<sup>3</sup>–195 Kg/m<sup>3</sup> (liite 3). Näin ollen tiheydet eivät vaihtele suuresti, vaan kaikki paperinäytteet ovat suhteellisen samalla tasolla. Kokonaisuudessa tiheydet jäävät alhaiselle tasolle. Pääsyyinä on raaka-aineen valmistusprosessi, jossa ei ole puristavia osia sekä ainestiheys ja huokososuus.



KUVIO 5. Sastamalan koulutus kuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden tiheydet, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysel- lujen ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kalanterointi on nostanut kaikkien näytteiden tiheyksiä suuresti (kuvio 6). Kaikkein eniten tiheys on noussut referenssillä. Syynä tähän kasvuun on mahdollisesti mäntysel- lujen paremmat taipuisuudet ja litistymistäipumukset, jotka muodostavat tiiviim- män rakenteen. Kuviossa 6 on suuremmat eroavaisuudet ohran- ja kaurakuoren välillä, kuin mitä oli kalanteroimattomissa näytteissä. Ohrankuorella on kalanteroiduissa näyt- teissä tiheys noussut enemmän kuin kaurankuorinäytteissä, joten ohrankuorella saattaa olla paremmat kuidun taipuisuus ja litistymistäipumukset. Kuitenkin, koska tiheys las- ketaan paksuudesta ja neliömassasta, on kalanteroitujen paksuudessa havaitulla hajan- nalla vaikutusta myös kalanteroitujen näytteiden tiheyden arvoon.





KUVIO 6. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden tiheydet, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Taulukossa 2 on esitelty paperinäytteiden bulkki-arvot. Bulkki on tiheyden käänteisluku, joten tulokset ovat verrattavissa tiheyden tuloksiin. Kaikilla kalanteroimattomilla paperinäytteillä on hyvä bulkki ja taas kalanteroiduilla bulkki on laskenut. Suuret arvot bulkissa selittyvät koekoneen rakenteella eli siinä ei missään vaiheessa ole puristavaa nippiä.

TAULUKKO 2. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen eri näytteiden bulkki, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Bulkki</b>	5,59	6,42	5,67	5,87	5,15	cm <sup>3</sup> /g
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Bulkki</b>	1,90	2,70	2,52	2,73	2,36	cm <sup>3</sup> /g
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Bulkki</b>	5,59	6,29	5,79	6,38	5,13	cm <sup>3</sup> /g
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Bulkki</b>	1,90	2,90	3,64	3,20	2,57	cm <sup>3</sup> /g

### 4.3 Kosteus, ilmanläpäisy

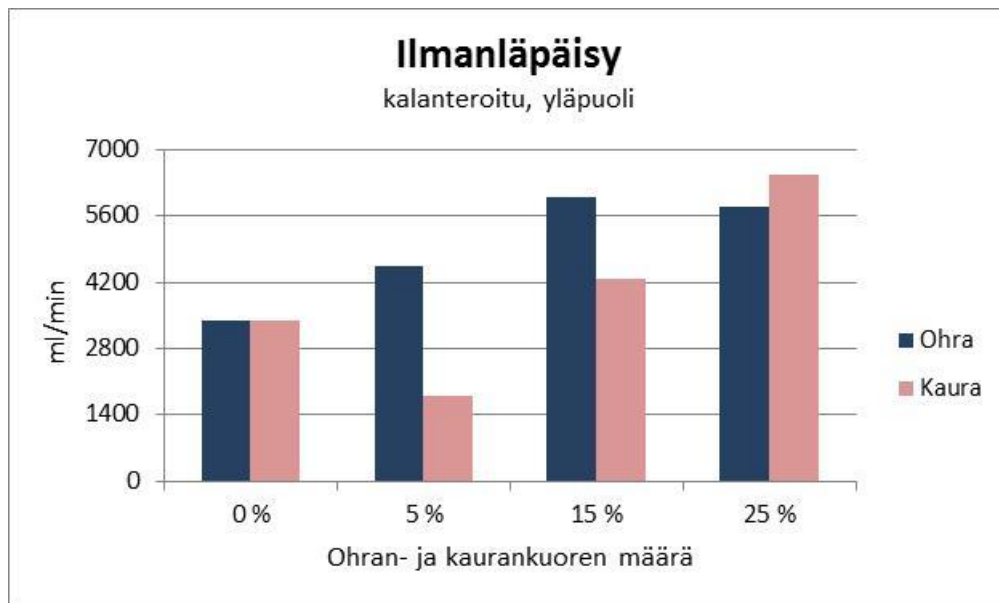
Kosteus vaikuttaa moniin paperin ominaisuuksiin. Kosteustasapaino riippuu paperin kuitulajista ja etenkin kuituosuudesta. Tasapainokosteus voi olla lähes 10 % täydestä kuidusta tehdyssä paperissa. Paperin koostumus on pääosin kuitumateriaalia, joka koostuu sidoksista. Sidokset luovat verkoston, jossa muodostuu huokosverkosto. Näillä huokosilla on suuri merkitys nesteiden ja kaasujen virtauksessa. Usein käytännössä huokoisuudesta puhuttaessa tarkoitetaan ilmanläpäisyyttä. Ilmanläpäisevyys onkin yksi yleisimmin käytetyistä läpäisevyyden mittareista. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 80, 88–89)

Paperinäytteiden kosteuspitoisuustulokset ovat taulukossa 3. Näytteiden kosteusarvot vaihtelevat 4,6–7,5 %:n välillä. Suuria eroavaisuuksia referenssin kanssa ei ole tuloksissa löydettävissä. Variaatiokerroin on suurella osalla arvoista myös korkealla. Varsinkin 25 % kaurankuorta sisältävällä näytteellä variaatiokerroin on 31,4 %, joten mittaus ei ole kovin luotettava kaikkien näytteiden osalta.

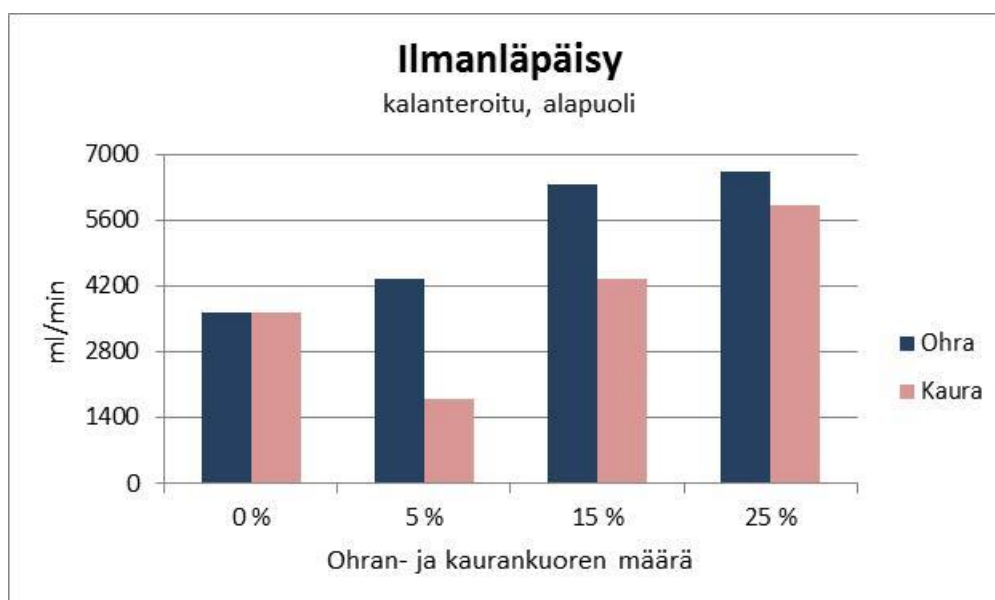
TAULUKKO 3. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen eri näytteiden kosteuspitoisuudet, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntyselun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kosteus</b>	5,9	6,4	5,9	5,6	5,4	%
Keskihajonta	0,8	0,9	0,7	0,6	0,8	%
Variaatiokerroin	13,6	14,1	11,9	10,7	14,8	%
<hr/>						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kosteus</b>	7,1	7,4	6,3	6,6	5,4	%
Keskihajonta	1,2	0,6	0,6	0,7	0,7	%
Variaatiokerroin	16,9	8,1	9,5	10,6	13,0	%
<hr/>						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kosteus</b>	5,9	6,2	5,7	5,1	4,6	%
Keskihajonta	0,8	0,3	0,7	1,6	1,0	%
Variaatiokerroin	13,6	4,8	12,3	31,4	21,7	%
<hr/>						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kosteus</b>	7,1	6,3	7,5	6,0	5,8	%
Keskihajonta	1,2	1,2	1,1	0,5	1,2	%
Variaatiokerroin	16,9	19,0	14,7	8,3	20,7	%

Koekoneessa ei ole rainaa paksuussuunnassa puristavaa prosessia, jonka myötä näytteiden huokoisuus pysyy hyvin suurena. Tämän vuoksi ilmanläpäisevyyden mittaus ei onnistunut kalanteroimattomista näytteistä, eikä 50 % kuorta sisältäneistä paperinäytteistä, koska ne olivat liian huokoisia. Näin ollen 50 % näytteiden arvot ja kalanteroimattomat puuttuvat kokonaan työstä (kuvio 7). Myös muista näytteiden arvoista on havaittavissa korkea huokoisuus. Variaatiokerroin on tässä mittauksessa korkeimmillaan noin 35 % (liite 4), jonka seurauksena mittauksen tulokset ovat vain suuntaa antavia. Ilmanläpäisyssä ei ole myöskään havaittavissa eroja ylä- ja alapuolen välillä (kuvio 8). Suuret pitoisuudet ohran- ja kaurankuorta lisäävät ilmanläpäisyä eli huokoisuutta.



KUVIO 7. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden ilmanläpäisy yläpuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



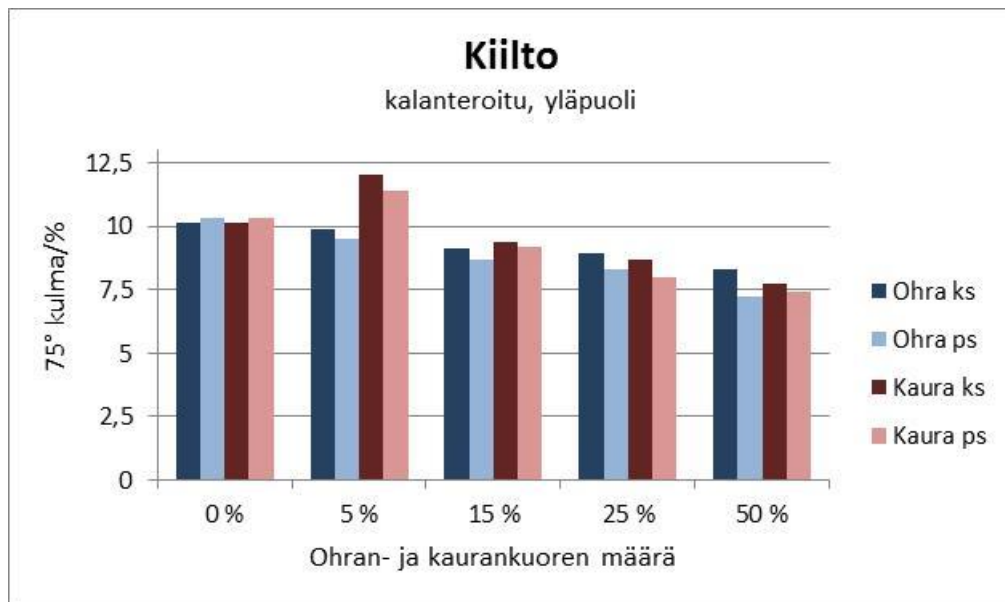
KUVIO 8. Sastamalan koulutus kuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden ilmanläpäisy alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

#### 4.4 Kiilto ja karheus

Kiilto on osassa paperi- ja kartonkilajeista toivottavaa, koska se vaikuttaa painojäljen ja erityisesti monivärikuvan kiilto. Kiilto on helppo mitata ja kiillolla pystytään ennustamaan osittain saavutettavaa painojälkeä. Paperin kiilto onkin merkki siitä, että pinta on sileä ja mahdollistaa laadukkaan tasaisen värikerroksen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 104)

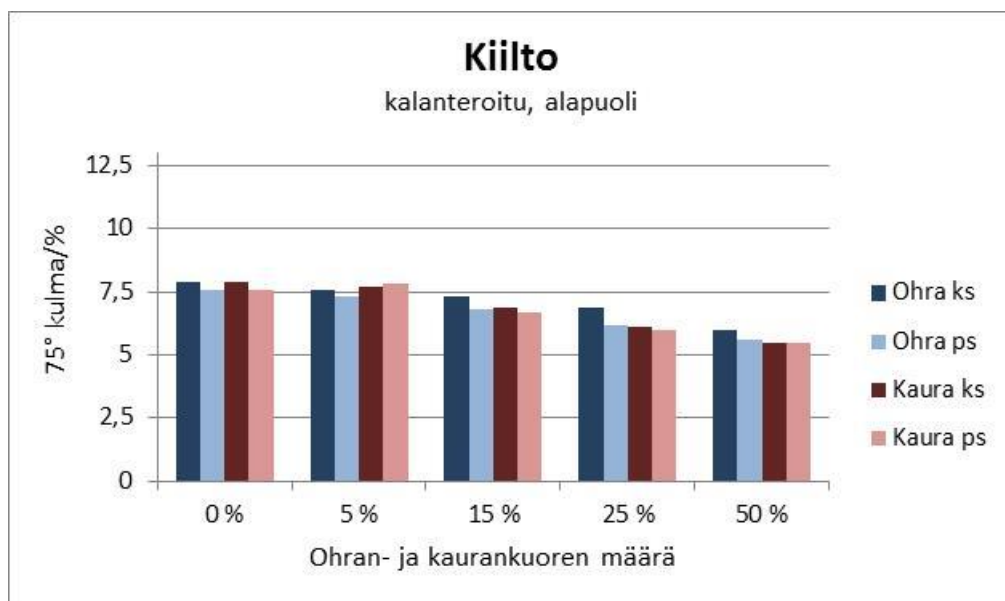
Kiilto on mitattu vain kalanteroiduista näytteistä, koska kalanteroimaton näyte oli lähes kiilloton. Kiilto on mitattu näytteiden yläpuolelta, alapuolelta, konesuunnasta sekä poikkisuunnasta. Kone- ja poikkisuunta on lyhennetty ks ja ps kuvioihin 9 ja 10.

Kokonaisarvoiltaan kiillon mittaustulokset ovat alhaisia, noin 5–12 %:n välillä. Kiilto huononee ylä- ja alapuolelta mitä enemmän ohran- tai kaurankuorta on käytetty paperissa. Kuvioista on nähtävissä myös konesuunnan lievä suurempi kiilto verrattuna poikkisuuntaan. Kaikkiaan kuitenkin erot mahtuvat kiillossa yhden prosentin sisään. Suurin hajonta on ollut noin 13 %:n luokkaa (liite 5).



KUVIO 9. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden kiilto yläpuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kuvioista 9 ja 10 on selvästi havaittavissa, että kiilto on parempi kaikilla näytteillä yläpuolelta. Syynä tähän on metallipintaisen telan käyttäminen näytteiden yläpuoleen. Kovan metallitelan puoleinen puristus on parantanut radan yläpuolta enemmän kuin kuitupinnoitteen telan puristus näytteen alapuolta.



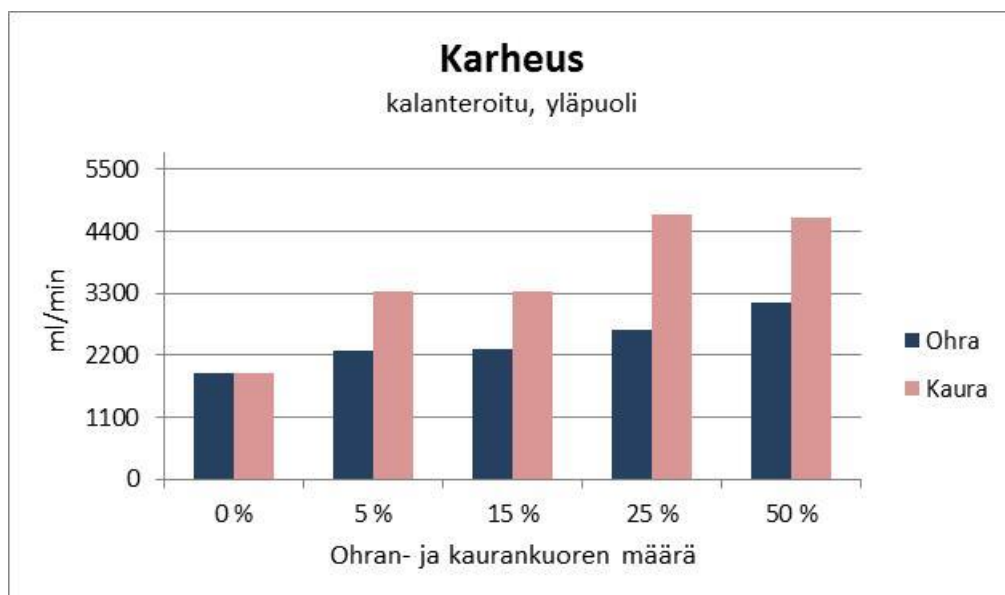
KUVIO 10. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden kiilto alapuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referens-

sinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

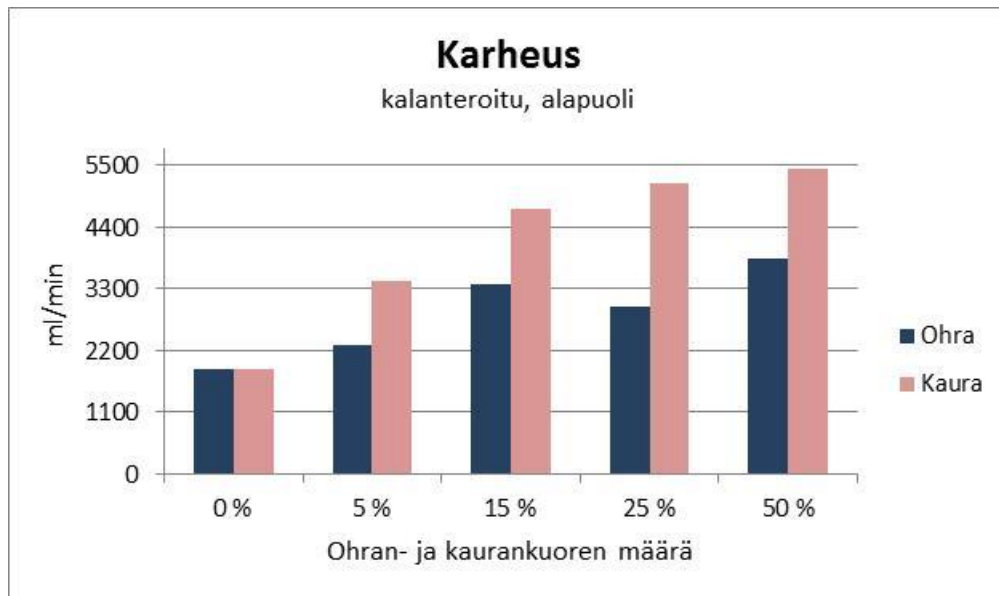
Karheusvaihtelu voidaan jakaa mittakaavan mukaan kolmeen osaan. Näitä ovat makro- ja mikrokarheus sekä optinen karheus. Makro- ja mikrokarheus vaikuttavat paperin painatusjälkeen ja optinen karheus paperin kiiltoon. Työssä käytettiin Bendtsenin mittaria, jonka periaatteena on painaa paperia tietyllä paineella hiottua teräsrengasta vastaan, jolloin paperin ja renkaan pinnan välistä saadaan virtaavan ilman nopeus mitattua. (KnowPap 2017d)

Karheuden mittauksessa näytteiden arvot ovat välillä 1880–5431 ml/min (kuvio 11 ja 12). Arvot ovat hyvin suuria, kun yleisesti päällystämättömän paperin karheudessa ollaan sadoissa ml/min yksiköissä. Näytteet ovat siis hyvin karheita, vaikka karheus on mitattu vain kalanteroiduista näytteistä. Näytteiden korkeat karheusarvot johtuvat valmistusprosessista, jossa ei missään vaiheessa ollut mitään sileyttä antavaa vaihetta. Lisäksi kuivatuksessa raina oli kahden metalliviiran välissä, joista jäi selvä jälki paperiin.

Referenssin arvot ovat karheuden osalta pienimmät sekä ylä- ja alapuolelta verrattuna kuorta sisältäviin näytteisiin. Ylä- ja alapuolella ei ole mittaustuloksissa eroa. Kuvioissa 11 ja 12 muutamat poikkeukset, kuten 15 % kaurankuori ja 50 % ohran- ja kaurankuori-näytteet eroavat ylä- ja alapuolelta mutta suuri hajonta selittänee nämä poikkeamat (liite 6). Ohran- ja kaurankuorilla on eroavaisuutta karheuden osalta. Kaurankuori on karheampaa, mihin mahdollisesti vaikuttavat raaka-aineiden rakenteiden eroavaisuudet.



KUVIO 11. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden karheus yläpuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



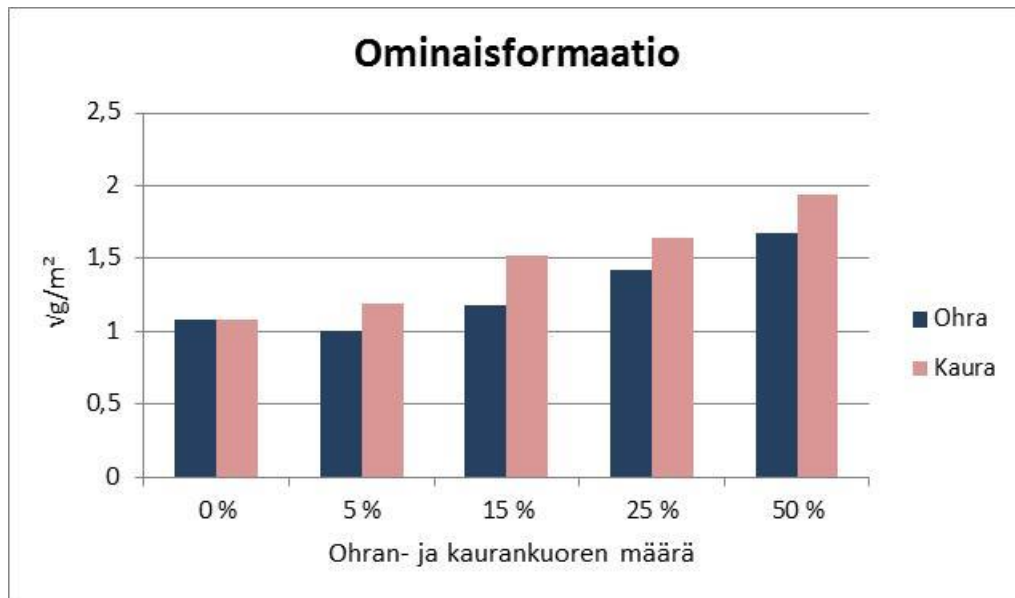
KUVIO 12. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden karheus alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

#### 4.5 Formaatio

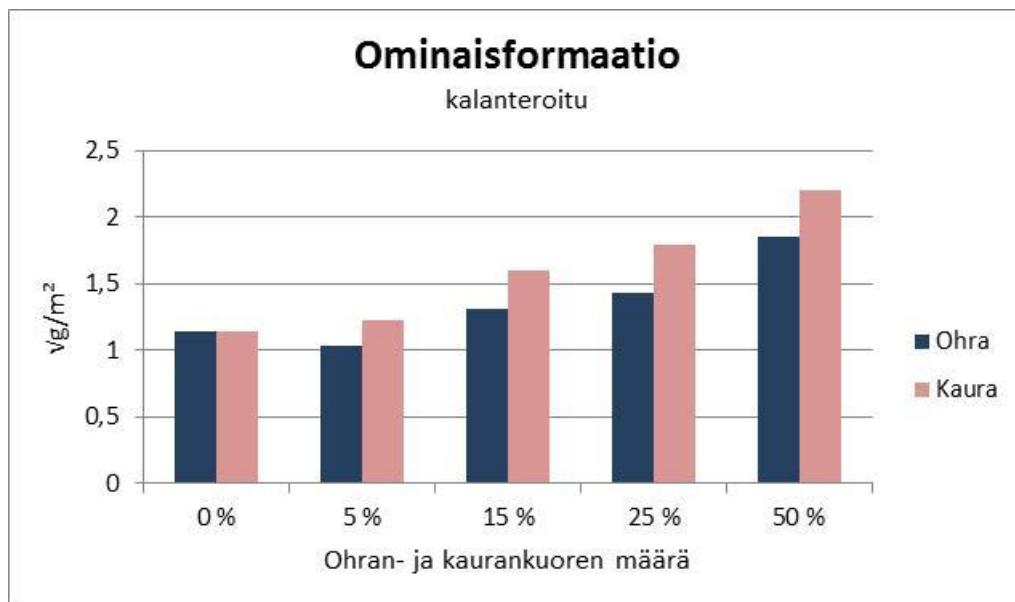
Formaatio eli paperin pienimittakaavainen neliömassavaihtelu on sitä parempi, mitä vähemmän on pienimittakaavaista vaihtelua. Formaatiosta saadaan selville paperin tason suunnassa kuitujen asettuminen sekä sekoittuminen keskenään verkostossa. Huono formaatio vaikuttaa erityisesti paperin murtovenymään, veto- ja puhkaisulujuuteen heikentävästi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 59–60)

Kuvioissa 13 ja 14 on tarkasteltu näytteiden formaatiota ominaisformaation avulla. Ominaisformaatio soveltuu paremmin vertailtaessa eri neliömassaisia näytteitä toisiinsa. Formaatio on kokonaistasoltaan huono ja kuorten lisääminen heikentää formaatiota lisää. Formaation huonoon kokonaistasoon on syynä muun muassa rainan valmistuksen prosessit, joissa ei ole rakennetta parantavia vaiheita, mäntysellun pitkäkuituinen massa sekä kuorellisten näytteiden kuorten kuitujen suuri kokojakauma. Rainan valmistuksesta mainittakoon kuivatusosalta jäänyt jälki näyterulliin, joka on visuaalisesti havaittavissa.

Ohrankuorella näyttäisi olevan parempi formaatio kuin kaurankuorella. Syynä on mahdollisesti raaka-aineiden erilainen rakenne. Kalanterointi ei näytä vaikuttaneen formaatioon. Liitteestä 7 on saatavilla formaation tarkempia arvoja ja hajontoja.



KUVIO 13. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden ominaisformaatio, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



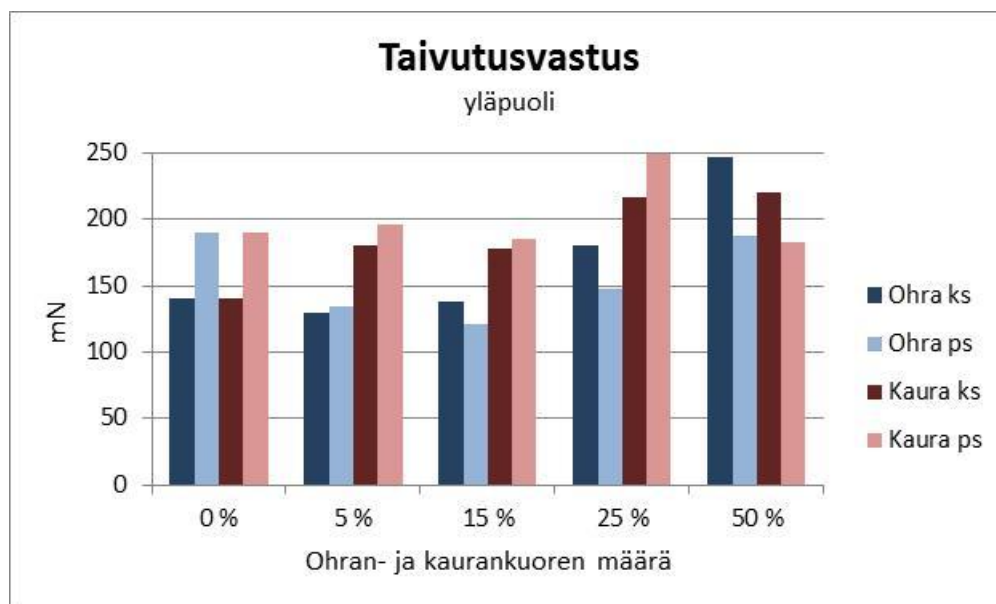
KUVIO 14. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden ominaisformaatio, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



## 4.6 Taivutusvastus

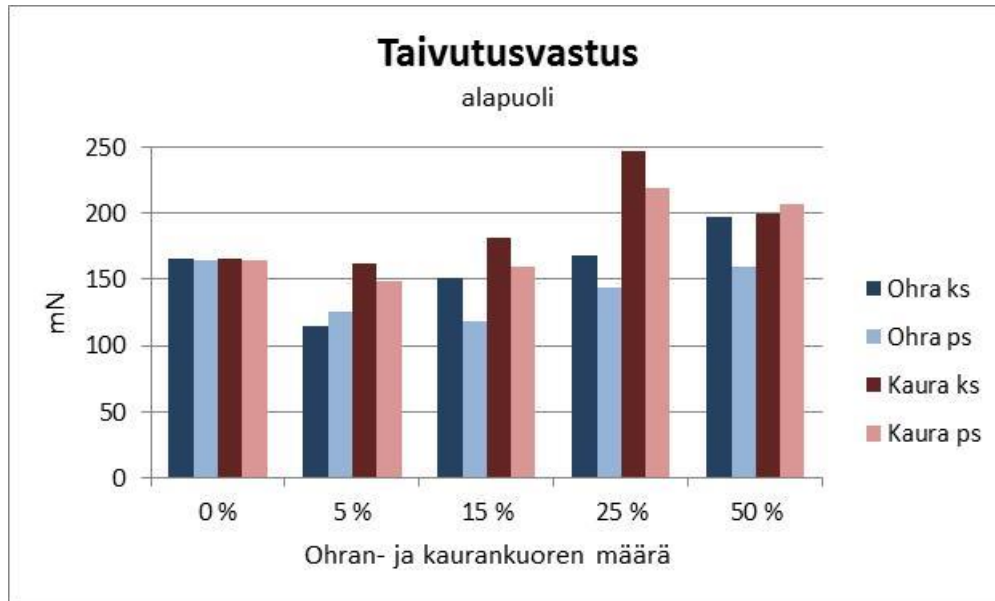
Taivutusvastus eli käytännössä taivutusjäykkyys on tärkeä ominaisuus lähinnä kartongeilla, kun taas painopapereilla neliömassan tuoma jäykkyys on ollut riittävä. Nykyinen painopaperien neliömassojen alentaminen on kuitenkin alentanut jäykkyyttä muita ominaisuuksia nopeammin. Jäykkyyden alentuminen aiheuttaa paperin ryhdittömyyttä sekä ajettavuusongelmia. Ajettavuusongelmat kuitenkin rajoittuvat neliömassaltaan alhaisiin papereihin. Tehokkain keino jäykkyyden nostoon onkin paksumman paperin tekeminen mutta myös kimmokertoimen kasvattamisella voidaan parantaa jäykkyyttä. Massan valinta vaikuttaa myös tulevaan jäykkyyteen, koska jokaisella massalla on oma jäykkyyspotentiaalinsa, jota paremmaksi jäykkyyttä ei voi saada. Täyttä massan jäykkyyspotentiaalia ei kuitenkaan voida saavuttaa, koska paperikone ja jatkojalostus määrittävät lopullisen jäykkyyden. (KnowPap 2017e)

Tämän työn paperinäytteiden taivutusvastus on mitattu staattisella mittauksella, jossa jäykkyydsmittarilla taivutetaan paperia ja mitataan paperin taivuttamiseen käytetty voima. Taivutusvastuksen mittauksessa hajonta oli erittäin suurta. Variaatiokerroin on korkeimmillaan noin 41 % (liite 8). Tästä syystä kuvioista 15, 16, 17 ja 18 on vaikea analysoida tarkemmin näytteiden todellisia arvoja. Selvää on kuitenkin, että taivutusvastus on vähäinen kokonaistasolla. Ylä- ja alapuolen taivutusvastus ei näytä kuvioissa eroavan.



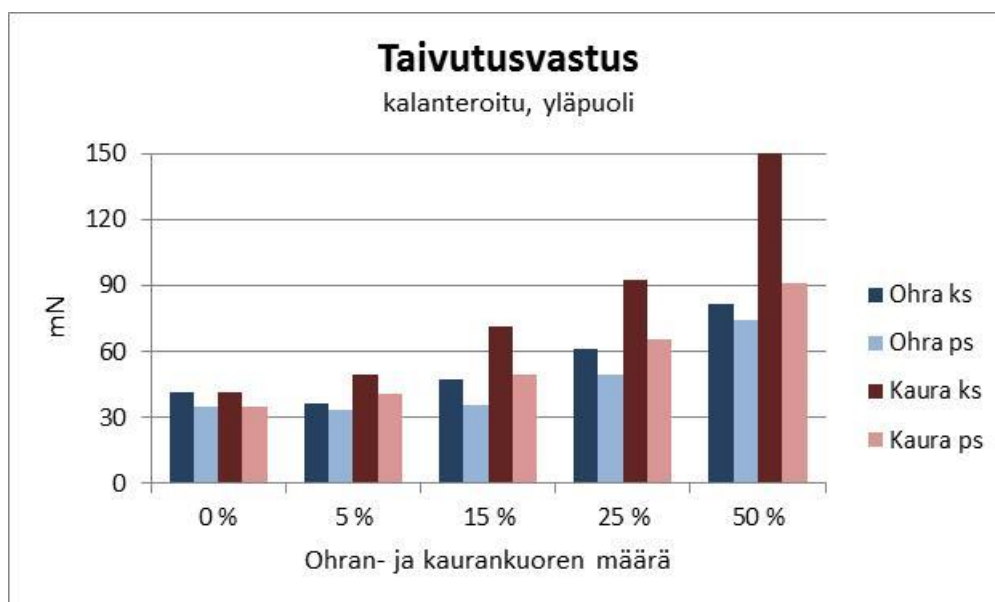
KUVIO 15. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden taivutusvastus yläpuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on

pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

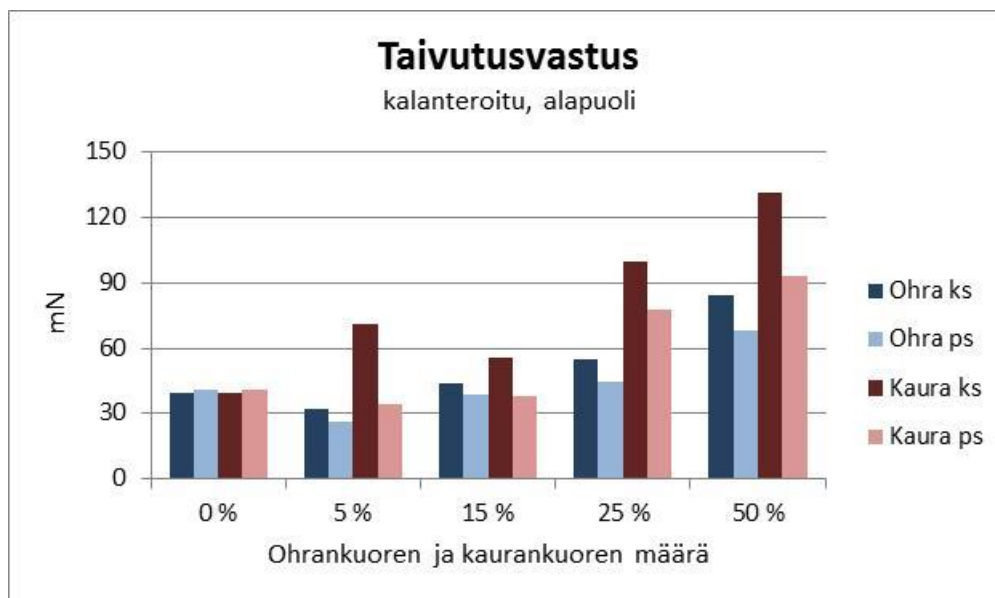


KUVIO 16. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden taivutusvastus alapuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kalanterointi heikentää jäykkyyttä, mikä näkyy myös näissä näytteissä. Kalanteroitujen näytteiden konesuunnan taivutusvastus näyttäisi kuvioissa olevan suurempi kaikilla näytteillä, minkä lisäksi kuoren lisääminen nostaisi taivutusvastusta.



KUVIO 17. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden taivutusvastus yläpuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kauran- kuorten yhdistelmät



KUVIO 18. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden taivutusvastus alapuolelta, konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kauran- kuorten yhdistelmät

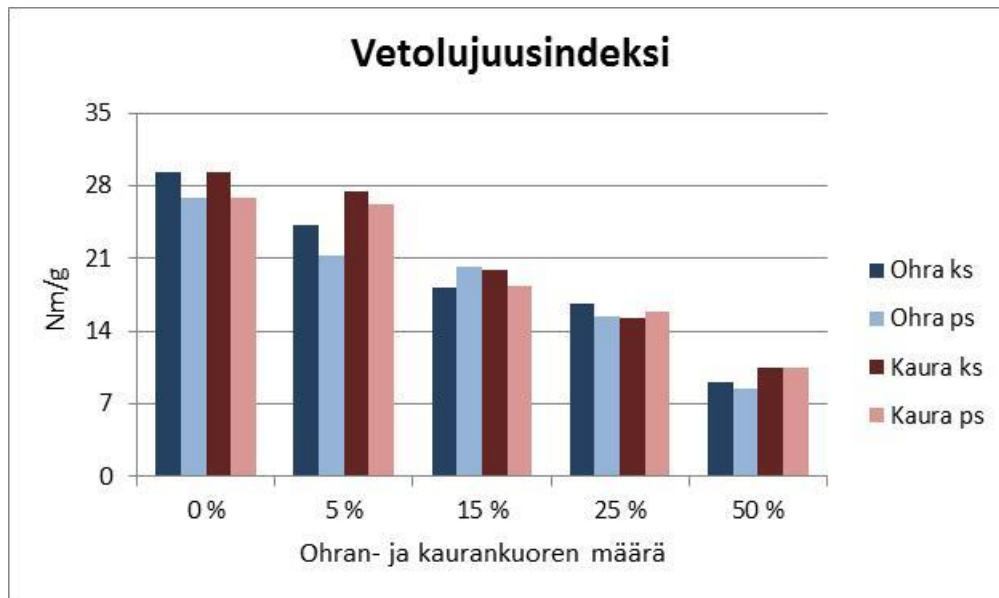
#### 4.7 Lujuusominaisuudet

Tässä työssä on keskitytty lujuusominaisuuksien kohdalla vetolujuuteen, murtovenymään, murtotyöhön ja repäisyjujuuteen. Lujuudet vaikuttavat moniin ominaisuuksiin ja niiden vaatimukset riippuvat suuresti lopputuotteesta. Esimerkiksi säkkipaperi vaatii hyviä lujuusominaisuuksia kestääkseen käyttöä.

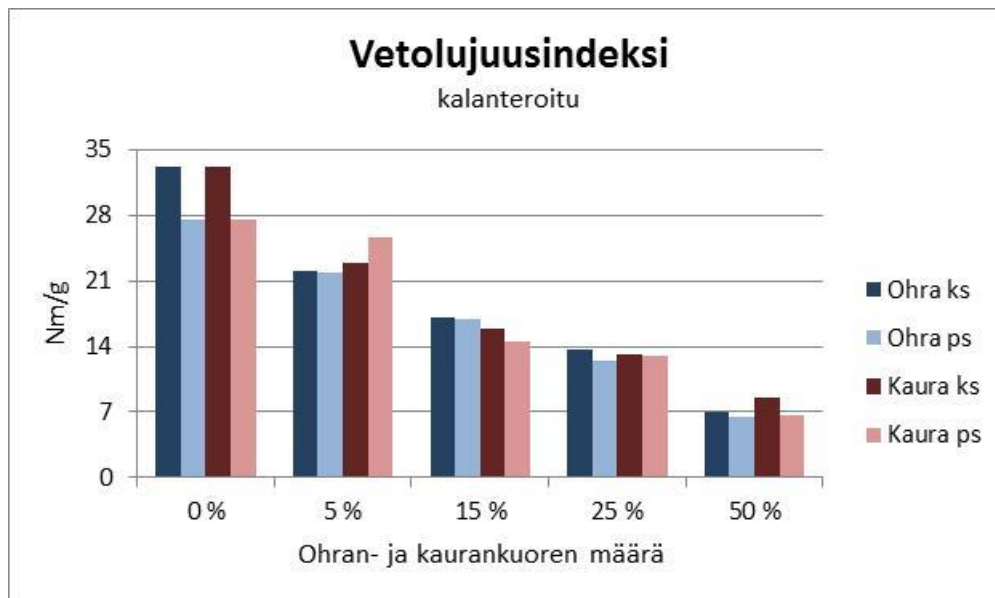
Vetolujuudella tarkoitetaan voimaa leveysyksikköä kohti ja se on papereilla yleisesti 1-10 kN/m. Yleisesti tärkeimmät lujuuksiin vaikuttavat tekijät ovat kuitupituus, kuitujen oma lujuus ja orientaatio. Näin ollen hyvä vetolujuus saadaan aikaiseksi lujilla hyvän sitoutumisominaisuudet omaavilla pitkillä suorilla kuiduilla. Myös hyvä formaatio parantaa vetolujuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 94–95, 97)

Murtotyö on koko venytykseen ennen murtumista käytetty energia pinta-alayksikköä kohti ja murtovenymä on liuskan prosentuaalinen venymä murtokohtaan saakka (%). (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 94)

Vetolujuusindeksi soveltuu vetolujuuden vertailuun eri neliömassaisten näytteiden välillä. Kuvioista 19 ja 20 on havaittavissa, että vetolujuudet laskevat sitä jyrkemmin mitä enemmän kuorta on käytetty raaka-aineena. Kuitusidoksien määrä, joita kuoret ovat vähentäneet voivat selittää jyrkkenevää laskua vetolujuudessa. Kuvioista on nähtävissä, että konesuunnan vetolujuusindeksi on kaikilla näytteillä vain hieman suurempi. Syynä on koekone, jolla tulee paperiin hyvin alhainen kuituorientaatio. Kalanteroinnilla ei näytä olleen vaikutuksia vetolujuuteen. Variaatiokerroin on korkeimmillaan noin 23 % vetolujuusindeksin mittauksessa (liite 9).



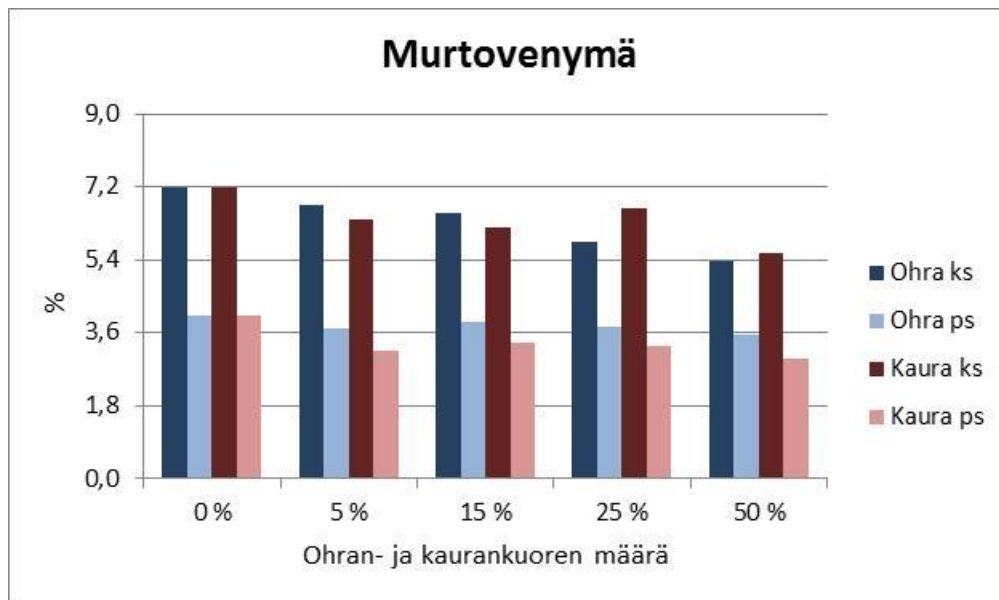
KUVIO 19. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden vetolujuusindeksi konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



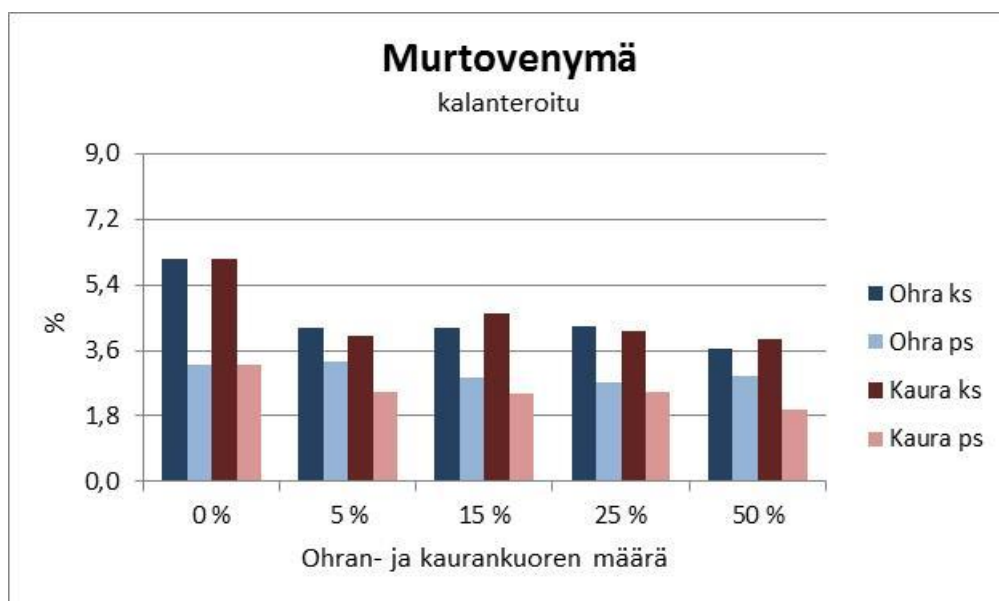
KUVIO 20. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden vetolujuusindeksi konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kaikilla näytteillä murtovenymä on konesuunnassa 5–7,2 %:n välillä ja poikkisuunnassa 3–4 %:n välissä. Kuvioista 21 ja 22 nähdään, että konesuunnan murtovenymä on kaikilla näytteillä suurempi. Tällä koekoneella tuleen täten normaalista paperikoneesta hyvin poikkeava rakenne paperiin, koska paperikoneilla valmistetussa paperissa poikkisuuntainen murtovenymä on konesuuntaista suurempi. Kalanterointi on vähentänyt murtovenymää kaikilla näytteillä. Murtovenymän mittauksessa korkein variaatiokerroin oli noin 30 % (liite 9). Näin ollen mittaus on vain suuntaa antava.

Suuri hajonta murtovenymässä oli odotettavissa, koska ohran- ja kaurankuorta sisältäneiden paperinäytteiden kuoren kappaleiden kokojakauma oli suuri. Mittauksessa ongelmana oli, että osa paperinäytteistä katkesi juuri isojen kuoren kappaleiden kohdalta.



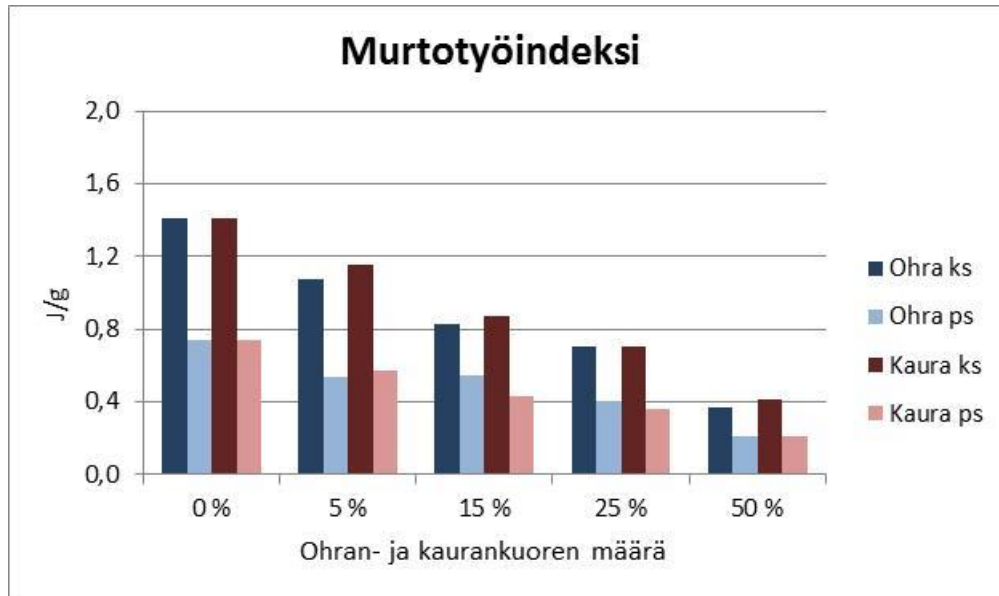
KUVIO 21. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden murtovenymä konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



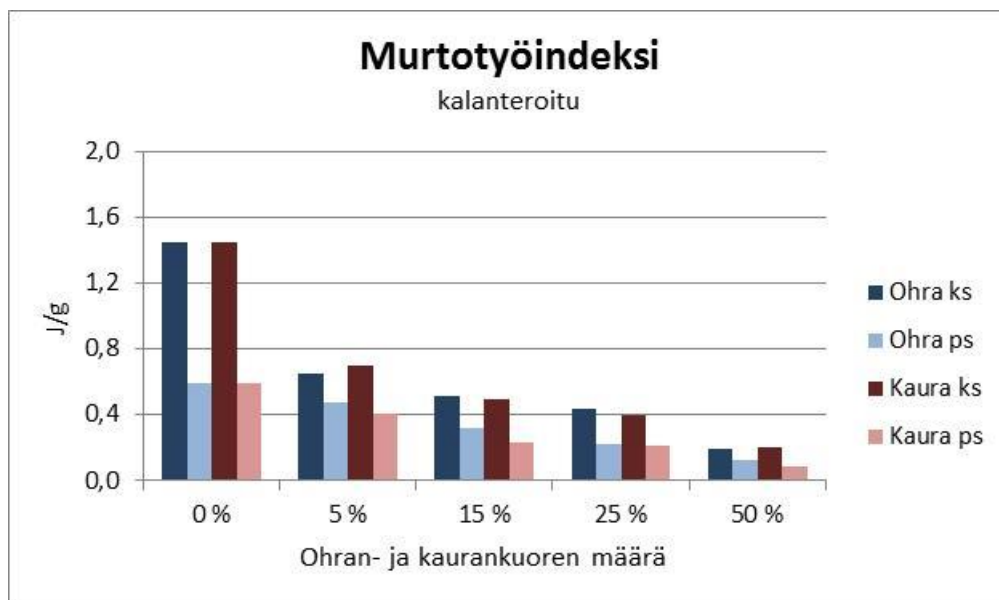
KUVIO 22. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden murtovenymä konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Murtotyöllä nähdään, kuinka paljon energiaa pinta-alayksikköä kohden on kulunut ennen murtumista. Murtotyö on vähentynyt selvästi kuorta lisättäessä. Konesuunta on vaatinut kaikilla näytteillä suuremman murtotyön. Kalanterointi on vähentänyt kaikilla

näytteillä tarvittavaa murtotyötä. Murtotyön mittauksessa on myös ollut paljon hajontaa arvojen välillä.



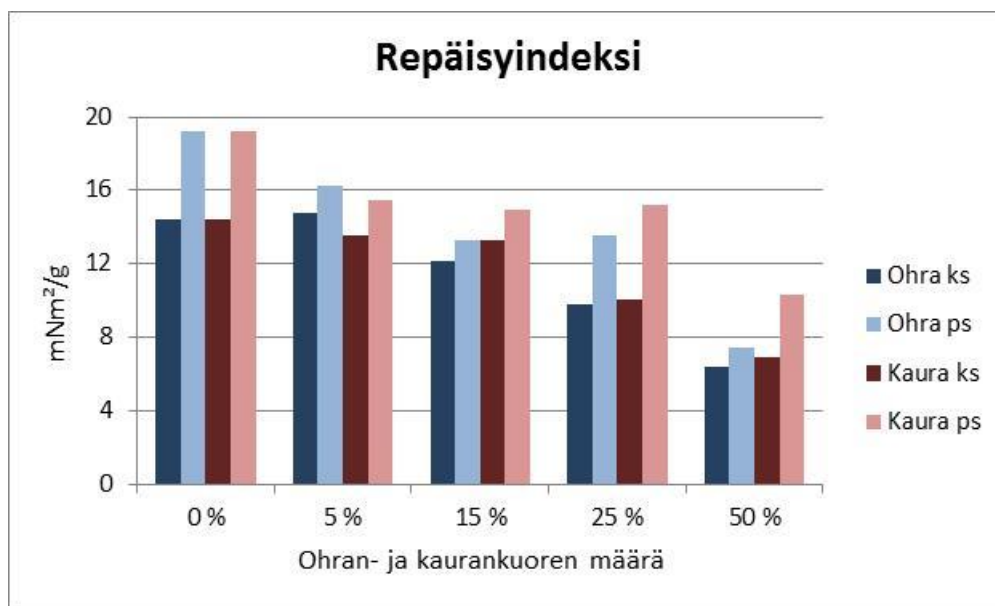
KUVIO 23. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden murtotyöindeksi konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



KUVIO 24. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden murtotyöindeksi konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Repäisylujuus ilmoitetaan voimana, joka vaaditaan repäisyn jatkamiseen. Repäisylujuus simuloi tilannetta, jossa rainassa on esimerkiksi reikä tai repeämä, ja jolloin repeämän jatkamiseen tarvittava voima on pienempi kuin ehjässä rainassa. Repäisylujuuteen vaikuttavat kuitupituus, kuidun lujuus ja sitoutumisaste. Paperin ominaisuuksista neliömassan ja kosteuden kasvu lisäävät repäisylujuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 98)

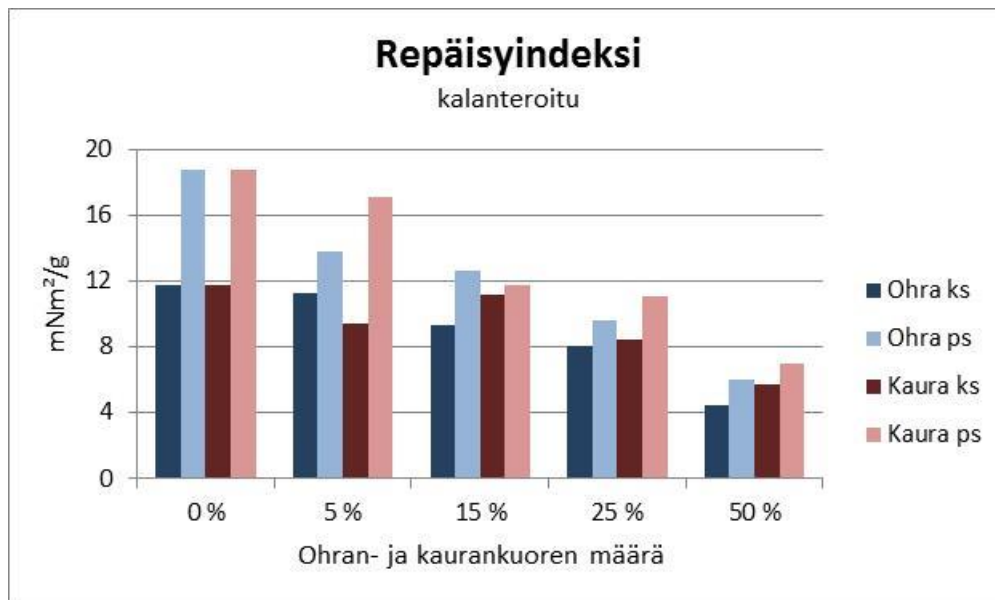
Repäisylujuuden mittauksissa kaikilla näytteillä on suurempi repäisylujuus poikkisuuntaan kuin konesuuntaan, joka johtuu orientaatiosta. Repäisylujuus on myös kaurankuorilla suurempi kuin ohrankuorilla. Yhtenä syynä tähän voi olla kaurankuoren suurempi neliömassa, joka vaikuttaa repäisylujuuteen kasvattavasti. Repäisylujuuden kokonaistilanteesta voidaan nähdä, että kuorta lisättäessä repäisylujuus laskee verrattaessa referenssiin. Liitteessä 10 on tarkemmat repäisylujuuden hajonnat ja arvot.



KUVIO 25. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden repäisylujuus konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kalanteroitujen näytteiden repäisylujuuksissa ei ole havaittavia eroavaisuuksia kalanteroimattomiin verrattessa. Kalanteroiduista näytteistä on havaittavissa vain kokonaisuudessaan repäisylujuuden laskeminen alhaisemmalle tasolle (kuvio 26). Liitteestä 10 löytyy repäisylujuuden tarkemmat arvot sekä hajonnat.





KUVIO 26. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden repäisylujuus konesuunnasta ja poikkisuunnasta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

#### 4.8 Optiset ominaisuudet

Paperin ulkonäkö määräytyy optisten ominaisuuksien kautta. Optisten ominaisuuksien avulla saadaan käsitys paperin ja siihen kohdistetun valon vuorovaikutuksesta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 99)

Paperiteollisuuden käyttämä valkoisuus eli CIE-valkoisuus mittaa vaaleutta koko ihmisen silmän havaitsemalta aallonpituudelta sekä ottaa huomioon värisävyn. Materiaali mielletään usein valkoisena, jos sen kokonaisheijastus on suuri ja se on lisäksi mieluummin sinertävä. ISO-vaaleus sen sijaa mittaa pelkästään 457 nm aallonpituudella eli sinisellä spektrillä paperin vaaleutta. Valonsirontakertoimen kasvattamisella parannetaan vaaleutta ja opasiteettia eli läpinäkyvyyttä, mutta absorptiokerroin laskee opasiteettia nostessaan vaaleutta ja päinvastoin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 101–103)

Valkoisella valolla valaistaessa tiettyä kohdetta, jotkut aallonpituudet vaimentuvat ja toiset heijastuvat. Pinnan väri määräytyykin sen ominaisuudesta heijastaa toisia aallonpituuksia enemmän kuin toisia. Näitä väriarvoja varten on kehitetty värijärjestelmiä,

joista CIE-L\*a\*b\* on nykyisin kaikkein yleisin. L\*a\*b\* -värijärjestelmä on vastavärijärjestelmä, jossa L-asteikko on vaaleus, a-asteikko sisältää värimuutokset vihreästä punaiseen ja b-asteikko värisävyt sinisestä keltaiseen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 49–51)

Taulukosta 4 nähdään, että Lab-väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin ovat ohrankuorinäytteissä ylä- ja alapuolelta arvoiltaan samat. Tulosten tulkinnassa on siis keskitytty yläpuolen tulkitsemiseen.

L\*-arvo on ohrankuoren mittauksissa vähentynyt aina kun ohrankuorta on lisätty masaan (taulukko 4, 6 ja 7). Tämä tarkoittaa, että vaaleus vähenee ohrankuorta lisättäessä. Puna-viherarvot a\*-asteikolla ovat nousussa, joka taas tarkoittaa lähestymistä punaista värisävyä kohti. Asteikko b\* on myös nousussa ja se kuvastaa referenssin sinisestä värisävystä siirtymistä kohti keltaista värisävyä. Valon sirontakertoimen tasainen heikentyminen tarkoittaa vaaleuden laskua. Vastaavasti valon absorptiokerroin taas kasvaessaan vähentää vaaleutta. Tulosten mukaan voidaan siis sanoa ohrankuoren lisäämisen tuottavan vähemmän vaaleutta, ja värisävyn siirtymistä keltaiseen.

TAULUKKO 4. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen ohrankuorellisten näytteiden väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Yläpuoli						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	94,74	91,42	88,50	83,05	%
Keskihajonta	0,04	0,10	0,21	0,20	0,25	%
<b>a*</b>	-1,00	0,14	0,94	1,51	2,62	%
Keskihajonta	0,02	0,04	0,06	0,06	0,08	%
<b>b*</b>	3,64	4,36	6,06	7,99	12,40	%
Keskihajonta	0,11	0,10	0,12	0,21	0,36	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	33,40	32,58	31,94	28,67	26,99	
Keskihajonta	3,06	3,00	3,20	2,83	2,17	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,30	0,81	1,35	2,93	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,08	0,13	0,24	%
Alapuoli						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	94,74	91,49	88,64	83,16	%
Keskihajonta	0,04	0,14	0,24	0,31	0,25	%
<b>a*</b>	-1,02	0,12	0,89	1,47	2,62	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,08	0,09	0,08	%
<b>b*</b>	3,76	4,34	6,13	7,97	12,35	%
Keskihajonta	0,11	0,12	0,31	0,34	0,32	%
<b>Valonsirontakerroin</b>	34,49	33,29	32,19	29,12	26,96	
Keskihajonta	3,48	2,73	3,31	2,52	1,26	%
<b>Valonabsorptiokerroin</b>	0,03	0,31	0,81	1,34	2,88	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,08	0,12	0,13	%

Myöskään kaurankuoren Lab-väriarvot, valon sirontakerroin tai valon absorptiokerroin ei eroa ylä- ja alapuolelta (taulukko 5). Kaurankuorella näyttää olevan samat taipumukset kaikkien arvojen suhteen kuin edellä mainitulla ohrankuorella. Ainoa poikkeus kaurankuoren arvoissa verrattuna ohrankuoreen on, että ohrankuorella on jyrkempi suunta kohti vaaleuden laskua ja keltaista värisävyä. Työn alussa olevassa kuva 1 nähdyssä visuaalisessa tarkastelussa voidaan todentaa, että 50 % ohrankuorta sisältävä paperi näyttää visuaalisesti kaikkein keltaisimmalta ja tummalta. Kalanteroinnilla ei näytä olevan vaikutusta  $L^*a^*b$ , sironnan tai absorption arvoihin (taulukko 4–8). Pienet vaihtelut kalanteroiduissa näytteissä johtuvat luultavasti hajonnasta.

TAULUKKO 5. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kaurankuorellisten näytteiden väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Yläpuoli						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	96,19	94,00	92,32	88,31	%
Keskihajonta	0,04	0,07	0,23	0,24	0,36	%
<b>a*</b>	-1,00	-0,27	0,32	0,65	1,41	%
Keskihajonta	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	%
<b>b*</b>	3,64	4,55	5,07	5,94	8,81	%
Keskihajonta	0,11	0,18	0,25	0,25	0,37	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	33,40	32,55	31,22	29,46	23,30	
Keskihajonta	3,06	2,85	3,07	3,01	0,03	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,15	0,38	0,59	1,13	
Keskihajonta	0,00	0,01	0,04	0,06	0,14	%
Alapuoli						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	96,23	94,09	92,34	88,34	%
Keskihajonta	0,04	0,10	0,19	0,19	0,50	%
<b>a*</b>	-1,02	-0,33	0,27	0,62	1,38	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,07	0,07	0,13	%
<b>b*</b>	3,76	4,61	5,13	6,05	8,92	%
Keskihajonta	0,11	0,18	0,14	0,17	0,46	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	34,49	32,68	32,49	29,21	24,25	
Keskihajonta	3,48	3,00	3,79	3,58	1,68	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,15	0,38	0,59	1,17	
Keskihajonta	0,00	0,01	0,04	0,07	0,08	%

TAULUKKO 6. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen ohrankuorellisten näytteiden väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin yläpuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Yläpuoli						
Ohra kalanteroitu	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,17	94,89	91,82	88,73	84,11	%
Keskihajonta	0,05	0,15	0,32	0,18	0,51	%
<b>a*</b>	-1,06	0,02	0,83	1,46	2,39	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,09	0,06	0,15	%
<b>b*</b>	3,18	3,95	5,67	7,62	11,19	%
Keskihajonta	0,12	0,10	0,29	0,25	0,42	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,80	33,90	33,83	31,60	28,01	
Keskihajonta	4,33	2,91	1,62	2,11	3,51	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,30	0,78	1,43	2,65	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,04	0,10	0,33	%

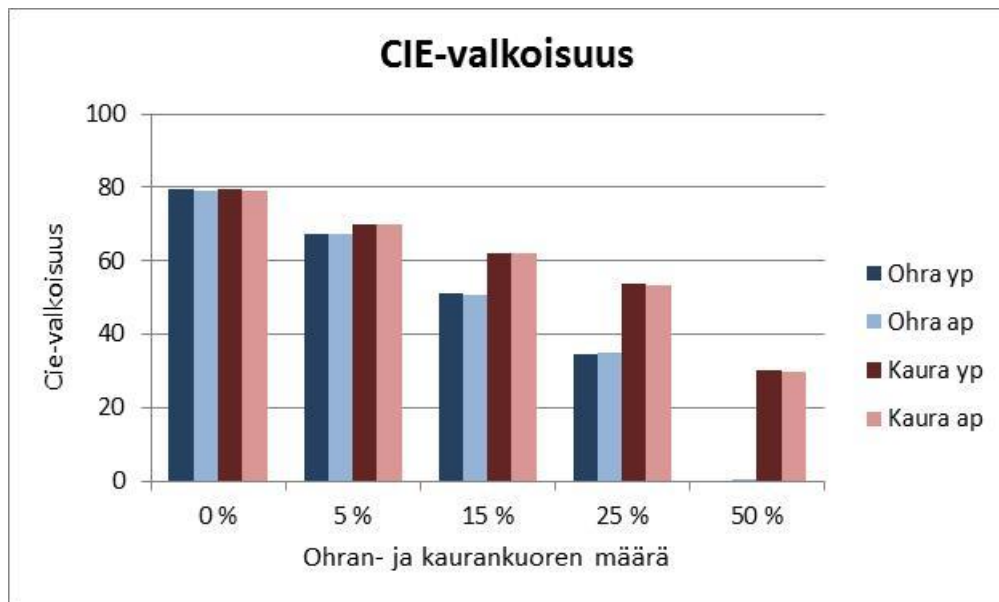
TAULUKKO 7. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen ohrankuorellisten näytteiden väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Alapuoli						
Ohra kalanteroitu	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,13	94,93	91,89	89,05	84,34	%
Keskihajonta	0,05	0,16	0,11	0,25	0,42	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,01	0,78	1,36	2,32	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,03	0,08	0,12	%
<b>b*</b>	3,26	3,88	5,66	7,47	11,23	%
Keskihajonta	0,11	0,10	0,12	0,31	0,52	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,65	34,45	34,24	31,89	28,36	
Keskihajonta	4,89	3,09	1,65	2,43	2,41	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,30	0,78	1,36	2,59	
Keskihajonta	0,01	0,03	0,04	0,10	0,22	%

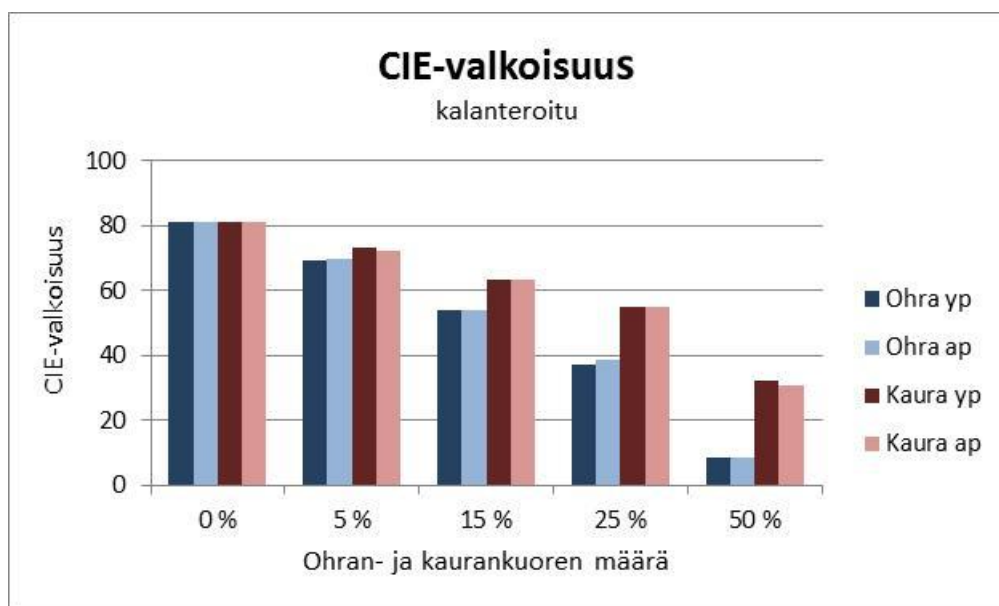
TAULUKKO 8. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen kaurankuorellisten näytteiden väriarvot, valon sirontakerroin ja valon absorptiokerroin ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Yläpuoli						
Kaura kalanteroitu	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,17	96,32	94,01	92,38	88,32	%
Keskihajonta	0,05	0,22	0,25	0,26	0,35	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,37	0,23	0,64	1,41	%
Keskihajonta	0,02	0,06	0,09	0,09	0,11	%
<b>b*</b>	3,18	3,97	4,82	5,80	8,45	%
Keskihajonta	0,12	0,28	0,26	0,30	0,39	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,80	33,70	32,96	28,32	27,92	
Keskihajonta	4,33	4,29	3,25	2,48	2,88	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,15	0,40	0,56	1,36	
Keskihajonta	0,00	0,02	0,40	0,05	0,14	%
Alapuoli						
Kaura kalanteroitu	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,13	96,26	94,05	92,50	88,31	%
Keskihajonta	0,05	0,16	0,19	0,31	0,28	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,38	0,19	0,56	1,33	%
Keskihajonta	0,02	0,03	0,07	0,11	0,11	%
<b>b*</b>	3,26	4,07	4,87	5,86	8,72	%
Keskihajonta	0,11	0,27	0,23	0,26	0,33	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,65	34,26	32,21	28,78	26,54	
Keskihajonta	4,89	5,92	2,21	1,91	3,30	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,16	0,38	0,55	1,29	
Keskihajonta	0,01	0,03	0,03	0,04	0,16	%

CIE-valkoisuus laskee referenssistä hyvin paljon kuorellisilla näytteillä kuviossa 27. Jo Lab-värimenetelmän tuloksissa oli havaittavissa vaaleuden laskevan jyrkemmin ohralla kuin kauralla ja nämä CIE-valkoisuuden tulokset tukevat tätä. Kuviosta 27 nähdään, että 50 % ohrankuorta sisältävä näyte on saavuttanut hajonnasta riippuen nollan tai negatiivisen arvon. Myöskään CIE-valkoisuudessa ei ole ylä- ja alapuolella näkyviä eroja. Kalanteroinnilla ei näytä olevan vaikutusta CIE-valkoisuuteen (kuvio 28).

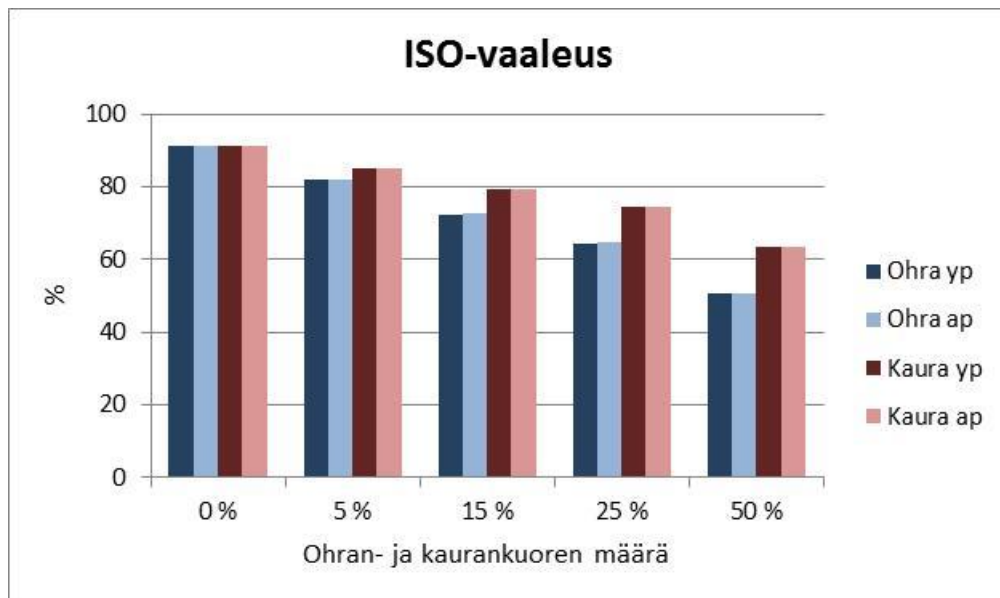


KUVIO 27. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden CIE-valkoisuus ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

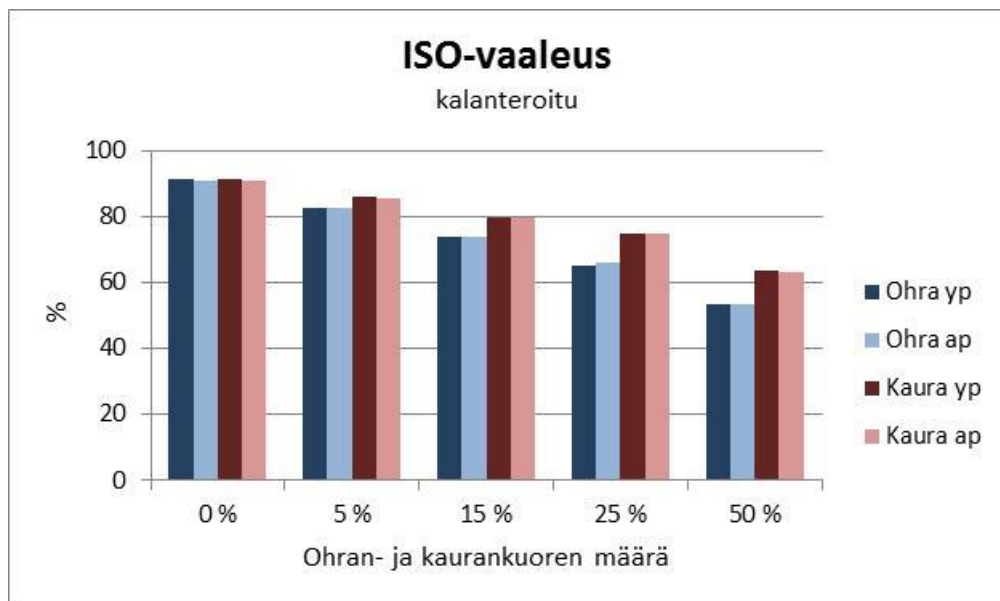


KUVIO 28. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden CIE-valkoisuus ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

Kuviossa 29 on tutkittu ISO-vaaleuden arvoja näytteillä. Kuvioista käy ilmi, että kuoren lisääminen vähentää ISO-vaaleutta tasaisesti. Ohran jyrkkä vaaleuden lasku on nähtävissä kuvioissa 29 ja 30. Kaurankuorellisissa näytteissä ISO-vaaleus säilyy hieman parempana verrattaessa ohrankuoriin. Kalanterointi ei myöskään näy ISO-vaaleuden arvoissa.



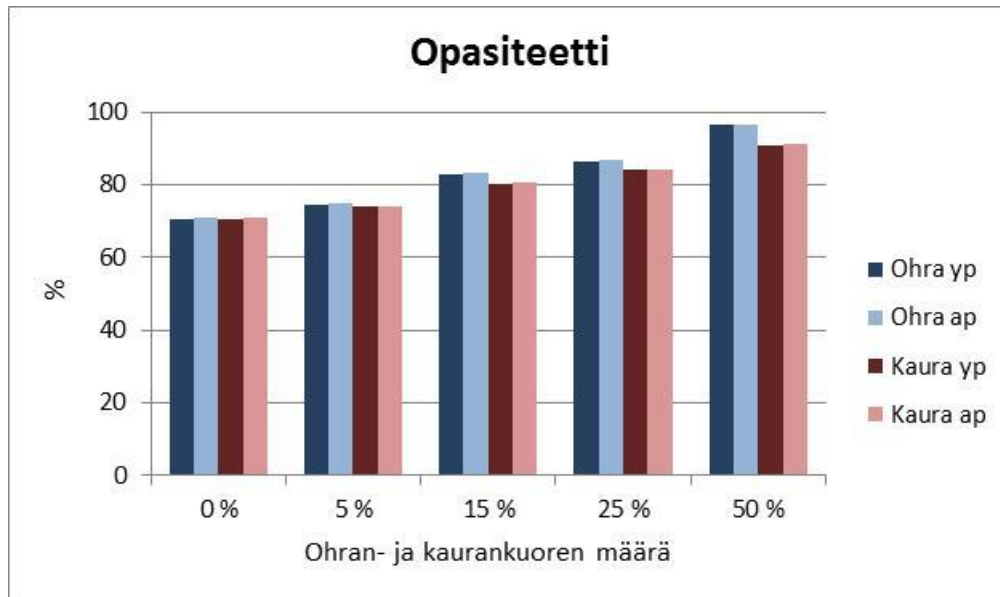
KUVIO 29. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden ISO-vaaleus ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



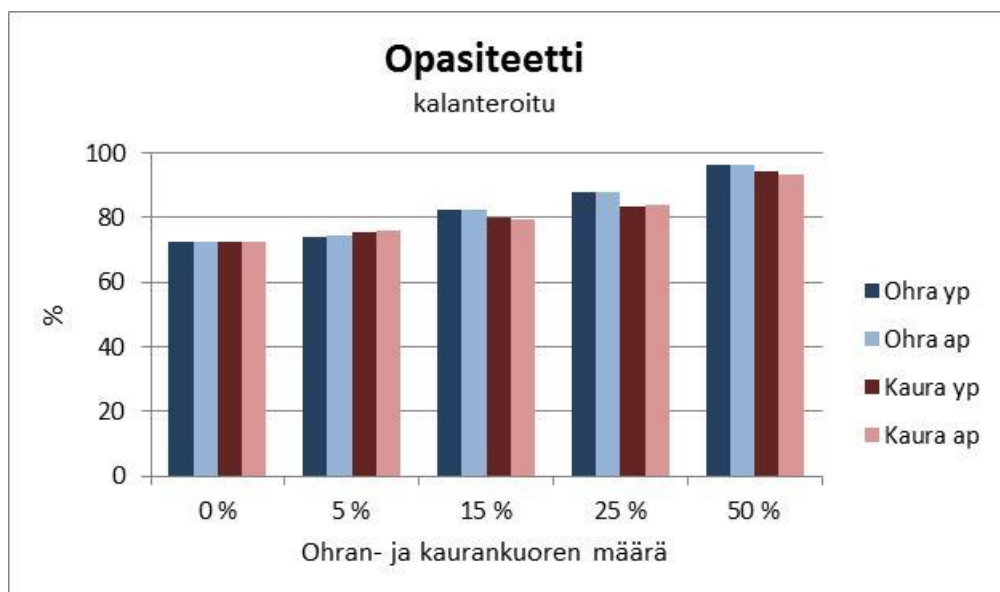
KUVIO 30. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalanteroitujen näytteiden ISO-vaaleus ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



Kuvioissa 31 ja 32 on mitattu paperinäytteiden opasiteettia. Opasiteetti on korkealla tasolla varsinkin 50 % kuorta sisältäneiden näytteissä (taulukko 31). Kuvioista nähdään, että opasiteetti on ylä- ja alapuolelta kaikilla sama sekä se ettei kalanterointi vaikuta näytteiden opasiteettiin. Referenssiin verrattaessa nähdään, että opasiteetti on kuorellisilla näytteillä suurempi kuin referenssillä. Tärkein syy opasiteetin kasvuun on kuorellisten näytteiden suurempi neliömassa. Liitteessä 11 on tarkemmat tiedot arvoista ja hajonnoista.



KUVIO 31. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen näytteiden opasiteetti ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mäntysellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät



KUVIO 32. Sastamalan koulutuskuntayhtymän pilot-paperikoneella ajettujen kalante-roitujen näytteiden opasiteetti ylä- ja alapuolelta, joissa referenssinä on pelkkä mänty-sellu ja muina näytteinä mäntysellun ja ohran- tai kaurankuorten yhdistelmät

#### **4.9 Hylätyt mittaukset**

Tässä osiossa on selostettu kokonaan hylätyt mittaukset ja hylkäysten syyt. Suunnitel-man mukaiset mittaukset eivät onnistuneet z-suuntaisen lujuuden, puhkaisulujuuden, öljyn absorption ja vesiabsorption kohdalla. Puhkaisulujuuden kohdalla mittaukset hyl- lättiin laiterikon vuoksi, jonka seurauksena tuloksia ei saatu.

Hydrofiilinen yksinkertainen sellun ja ohran- tai kaurankuoresta perustuva näytepaperin rakenne ei riitä absorptiomittausten tekemiseen käytettäessä Cobb-menetelmää. Näyt-teiden sisältämä suuri huokoisuus ja vedenhylkivyyttä parantavien lisäaineiden puute ovat tärkeimmät syyt öljyn absorption ja vesiabsorption hylkäämiselle. Myös ilmanlä-päisy/huokoisuusmittauksen tulokset kertovat näytteiden suuresta huokoisuudesta.

Z-suuntaisen lujuuden eli kohtisuoraa paperiin kohdistuvan lujuuden mittauksessa näy-tepapereiden jauhettu ohran- ja kaurankuori tarttui ennenaikaisesti mittalaitteiston teip-peihin, minkä seurauksena mittauksen vetokuormitus loppui liian aikaisin. Täten mitta- uksen tulokset eivät olleet luotettavia ja mittaus hylättiin.

## 5 POHDINTA

Maailmalla on paljon kehitystyötä non-wood -kuitujen parissa. Paperiteollisuuden käyttöön on kuitenkin mahdollista ottaa uusia non-wood -kuituja raaka-aineiksi, kunhan taloudelliset, ympäristölliset ja teknilliset ongelmat saadaan ratkottua. Usein non-wood -kuituja ei käytetä pelkästään massan raaka-aineena vaan sekoitteena puukuitujen kanssa tai parantamaan lopputuotteen ominaisuuksia. Suuret nykyiset ja tulevat paperiteollisuuden haasteet, kuten muun muassa ilmastonmuutos, puukuituisen raaka-aineen väheneminen ja paperin kulutuksen kasvu Aasiassa ja Afrikassa lisäävät non-wood -kuitujen kiinnostusta paperiteollisuuden käytössä.

Mittaustuloksista käy selville, että perus- ja pintaominaisuuksista karheus ja ilmanläpäisy nousevat kuorellisissa näytteissä verrattaessa referenssiin. Tiheyden ollessa kaikilla näytteillä samalla suhteellisen matalalla tasolla, voidaan mittaustuloksista nähdä näytepaperien suuri huokoisuus. Formaatio huononee entisestään referenssistä, kun paperiin on lisätty ohran- tai kaurankuorta. Syitä formaation huonoudelle on muun muassa raiinan valmistuksen prosessit, pohjapaperissa käytetyt pitkät kuidut ja suuri kuorellisten näytteiden kuitujen kokojakauma.

Lujuusominaisuuksien mittaustulokset kertovat, että lujuudet laskevat kaikissa mittauksissa. Jyrkintä pudotus on murtotyössä ja vetolujuudessa. Syinä rajulle pudotukselle on muun muassa vähäisempi määrä kuitusidoksia ja formaation huonous. Optisissa mittauksissa on nähtävissä, että vain opasiteetti on parantunut kuorta lisättäessä. Sen sijaan vaaleus ja kiilto ovat laskeneet kuorellisissa näytteissä. Värisävyltään ohran- ja kaurankuori lähenee punakeltaista.

Mittanäytteiden kalanterointi ei näyttänyt tuovan referenssin ja kuorinäytteiden välisiin eroihin muutosta verrattaessa kalanteroimattomiin. Ainoastaan taivutusvastuksessa on havaittavissa eroavaisuutta mutta tämä eroavaisuus on mahdollisesti tullut suuresta hajonnasta. Taivutusvastuksen hajonta oli suurinta kaikista mittauksista. Ohran- ja kaurankuorella ei ollut nähtävissä mittaustuloksissa muita suuria eroja kuin kaurankuoren suurempi neliömassa ja korkeampi vaaleus.

Mittauksissa vastaan tulleita ongelmia olivat esimerkiksi ohran- ja kaurankuoren suuri kokojakauma paperissa ja niiden heikko sitoutuminen paperiin. Tämä toi ongelmia esimerkiksi lujuuksien mittauksessa, koska paperi katkeaa heikoimmasta kohdastaan, joka tässä tapauksessa on huonosti sitoutunut iso kuoren kappale. Kehityksen kohteena voitaisiin olla ohran- ja kaurankuoren käsittelyn kehittäminen esimerkiksi jauhamalla tai kemiallisella käsittelyllä sekä tutkimalla kuinka paljon todellisuudessa ohran- ja kaurankuori eroaa rakenteeltaan lehtipuukuiduista. Loppupäätelmänä ohran- ja kaurankuori ei sovi työssä käytetyn kaltaisena korvaamaan tai parantamaan paperin ominaisuuksia ilman suuria taloudellisia ja teknisiä parannuksia. Edellä mainituilla kehitysideoilla on kuitenkin mahdollista saada lisätietoa ohran- ja kaurankuoresta sekä jopa parantaa raaka-aineen ominaisuuksia paperissa.

## LÄHTEET

Alen, R., Dam, J., Liu, Z., Tähtinen, M. & Willför, S. 2011a. Raw materials. Non-wood resources. Teoksessa Fardim P. (toim.) Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry and Technology. 2. painos. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 22

Alen, R., Engström, J., Gustafsson, J., Korpinen, R., Kuusisto, P., Leavitt, A., Olsson, K., Piira, J., Samuelsson, A. & Sundquist, J. 2011b. Pulping. Organosolv pulping methods. Teoksessa Fardim P. (toim.) Chemical Pulping Part 1, Fibre Chemistry and Technology. 2. painos. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 243–247

Huusela-Veistola, E., Mela, T. & Pahkala, K. 1991. Peltokasvit sellun ja paperin raaka-aineena. Tiedote. 10/1991. Maatalouden tutkimuskeskus. Luettu 21.9.2017.  
[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441942/maatut10\\_91.pdf?sequence=1](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/441942/maatut10_91.pdf?sequence=1)

Häggbloom-Ahnger, U & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 5. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Ilvessalo-Pfäffli, M. 2015. Paperikuitujen tunnistaminen. 1. painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

KnowPap. versio 18.0. 2017e. AEL/Proledge Oy. Jäykkyys. Luettu 14.10.2017. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper\\_board\\_properties/4\\_strength\\_properties/6\\_stiffness/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/6_stiffness/frame.htm)

KnowPap. versio 18.0. 2017a. AEL/Proledge Oy. Kuituraaka-aineet. Luettu 3.9.2017. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/raw\\_materials/1\\_fibers/1\\_trees/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/raw_materials/1_fibers/1_trees/frame.htm)

KnowPap. versio 18.0. 2017b. AEL/Proledge Oy. Neliömassa. Luettu 10.10.2017. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper\\_board\\_properties/2\\_general\\_properties/1\\_basis\\_weight/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/1_basis_weight/frame.htm)

KnowPap. versio 18.0. 2017c. AEL/Proledge Oy. Paksuus, tiheys ja bulkki. Luettu 10.10.2017. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper\\_board\\_properties/2\\_general\\_properties/3\\_thickness\\_and\\_bulk/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/3_thickness_and_bulk/frame.htm)

KnowPap. versio 18.0. 2017d. AEL/Proledge Oy. Sileys ja karheus. Luettu 14.10.2017. Saatavilla rajoitetusti.  
[http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper\\_board\\_properties/5\\_surface\\_prop/1\\_rough\\_smoothness/frame.htm](http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/5_surface_prop/1_rough_smoothness/frame.htm)

Laamanen, J & Sundqvist, J. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, 3 osa. Maatalouden tutkimuskeskus. Luettu 3.10.2017.  
<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/438371/asarja5.pdf?sequence=1>

Levin, J & Sundqvist, J. 2011. Puunjalostusinsinöörit. Julkaistu 1.9.2011. Luettu 5.10.2017.

<https://www.puunjalostusinsinoorit.fi/biometsateollisuus/innovaatiot/2-sellun-valmistus/2.8-milox-keitto/>

Paperin kemiaa. 2005. Paperin valmistus Suomessa. Luettu 4.9.2017.

[http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/paperin\\_valmistus\\_suomessa.htm](http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/paperi/paperin_valmistus_suomessa.htm)

## LIITTEET

### Liite 1. Neliömassa

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Neliömassa</b>	62,4	59,6	70,2	76,6	110,7	g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	g/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	%
<b>Ohra kalanteroitu</b>						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Neliömassa</b>	63,9	56,3	66,0	76,2	109,2	g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	g/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	0,2	0,2	0,05	0,1	0,1	%
<b>Kaura</b>						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Neliömassa</b>	62,4	63,8	74,5	85,4	115,5	g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	g/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	%
<b>Kaura kalanteroitu</b>						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Neliömassa</b>	63,9	66,8	70,6	86,2	121,5	g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	g/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	%

## Liite 2. Paksuus

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Paksuus</b>	348,7	382,6	398,3	449,7	570,1	µm
Keskihajonta	31,8	43,6	33,6	15,3	33,6	µm
Variaatiokerroin	9,1	11,4	8,4	3,4	5,9	%
<b>Ohra kalanteroitu</b>						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Paksuus</b>	121,5	152,2	166,6	207,7	258,1	µm
Keskihajonta	15,3	21,3	19,5	27,9	15,9	µm
Variaatiokerroin	12,6	14,0	11,7	13,4	6,2	%
<b>Kaura</b>						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Paksuus</b>	348,7	401,5	431,4	544,7	592,3	µm
Keskihajonta	31,8	31,8	66,8	81,3	37,9	µm
Variaatiokerroin	9,1	7,9	15,5	14,9	6,4	%
<b>Kaura kalanteroitu</b>						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Paksuus</b>	121,5	193,7	256,8	275,9	312,3	µm
Keskihajonta	15,3	27,8	38,5	46,5	24,7	µm
Variaatiokerroin	12,6	14,4	15,0	16,9	7,9	%

## Liite 3. Tiheys

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Tiheys</b>	179,0	155,8	176,2	170,3	194,2	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Ohra kalanteroitu</b>						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Tiheys</b>	525,9	369,9	396,2	366,9	423,1	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Kaura</b>						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Tiheys</b>	179,0	158,9	172,6	156,8	195,0	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Kaura kalanteroitu</b>						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Tiheys</b>	525,9	344,8	274,9	312,4	389,0	Kg/m <sup>3</sup>



## Liite 4. Ilmanläpäisy/Huokoisuus

Yläpuoli					
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	
<b>Ilmanläpäisy</b>	3392	4527	5988	5782	ml/min
Keskihajonta	944	581	1200	449	ml/min
Variaatiokerroin	27,8	12,8	20,0	7,8	%
Alapuoli					
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	
<b>Ilmanläpäisy</b>	3656	4344	6378	6628	ml/min
Keskihajonta	1169	485	1256	756	ml/min
Variaatiokerroin	32,0	11,2	19,7	11,4	%
Yläpuoli					
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	
<b>Ilmanläpäisy</b>	3392	1797	4281	6483	ml/min
Keskihajonta	944	356	511	2243	ml/min
Variaatiokerroin	27,8	19,8	11,9	34,6	%
Alapuoli					
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	
<b>Ilmanläpäisy</b>	3656	1799	4353	5928	ml/min
Keskihajonta	1169	345	557	1784	ml/min
Variaatiokerroin	32,0	19,2	12,8	30,1	%

## Liite 5. Kiilto

1 (2)

Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	10,1	9,9	9,1	8,9	8,3	%
Keskihajonta	0,7	1,0	0,8	0,6	0,9	%
Variaatiokerroin	7,1	10,5	8,8	6,5	11,3	%

Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	10,3	9,5	8,7	8,3	7,2	%
Keskihajonta	0,9	0,9	0,9	0,9	0,4	%
Variaatiokerroin	8,9	9,4	10,3	11,0	5,8	%

Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	10,1	12,0	9,4	8,7	7,7	%
Keskihajonta	0,7	1,0	1,2	1,0	1,1	%
Variaatiokerroin	7,1	8,5	13,1	11,0	13,8	%

Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	10,3	11,4	9,2	8,0	7,4	%
Keskihajonta	0,9	1,3	0,7	0,7	0,9	%
Variaatiokerroin	8,9	11,1	7,1	9,0	12,6	%

(jatkuu)

2 (2)

Alapuoli ja konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	7,9	7,6	7,3	6,9	6,0	%
Keskihajonta	0,3	0,7	0,6	0,4	0,1	%
Variaatiokerroin	3,9	9,6	7,8	6,4	2,2	%

Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	7,6	7,3	6,8	6,2	5,6	%
Keskihajonta	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	%
Variaatiokerroin	6,7	8,1	7,1	8,2	7,9	%

Alapuoli ja konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	7,9	7,7	6,9	6,1	5,5	%
Keskihajonta	0,3	0,6	0,7	0,5	0,5	%
Variaatiokerroin	3,9	7,9	10,1	8,0	8,7	%

Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Kiilto</b>	7,6	7,8	6,7	6	5,5	%
Keskihajonta	0,5	0,8	0,6	0,6	0,6	%
Variaatiokerroin	6,7	10,8	9,1	10,2	10,5	%

## Liite 6. Karheus

Yläpuoli						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Karheus</b>	1880	2278	2304	2644	3126	ml/min
Keskihajonta	500,6	443,2	392,5	625,8	407,4	ml/min
Variaatiokerroin	26,6	19,4	17,0	23,6	13,0	%

Alapuoli						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Karheus</b>	1867	2300	3374	2982	3835	ml/min
Keskihajonta	308,6	395,1	1078,7	443,6	569,5	ml/min
Variaatiokerroin	16,5	17,1	31,9	14,8	14,8	%

Yläpuoli						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Karheus</b>	1880	3332	3342	4694	4643	ml/min
Keskihajonta	500,6	779,8	651,5	959,6	378,1	ml/min
Variaatiokerroin	26,6	23,4	19,4	20,4	8,1	%

Alapuoli						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Karheus</b>	1867	3449	4729	5196	5431	ml/min
Keskihajonta	308,6	845,2	795,1	722,2	570,7	ml/min
Variaatiokerroin	16,5	24,5	16,8	13,8	10,5	%

## Liite 7. Formaatio

<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Ominaisformaatio</b>	1,08	1,00	1,19	1,42	1,68	√g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,11	0,03	0,10	0,04	0,09	√g/m <sup>2</sup>
<b>Formaatio</b>	8,58	7,75	9,95	12,65	17,62	g/m <sup>2</sup>
<b>Ohra kalanteroitu</b>						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Ominaisformaatio</b>	1,15	1,04	1,31	1,44	1,85	√g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,24	0,06	0,04	0,14	0,19	√g/m <sup>2</sup>
<b>Formaatio</b>	9,20	7,80	10,65	12,50	19,37	g/m <sup>2</sup>
<b>Kaura</b>						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Ominaisformaatio</b>	1,08	1,19	1,52	1,64	1,94	√g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,11	0,05	0,07	0,19	0,06	√g/m <sup>2</sup>
<b>Formaatio</b>	8,58	9,50	13,10	15,15	20,87	g/m <sup>2</sup>
<b>Kaura kalanteroitu</b>						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Ominaisformaatio</b>	1,15	1,23	1,61	1,79	2,21	√g/m <sup>2</sup>
Keskihajonta	0,24	0,19	0,13	0,12	0,09	√g/m <sup>2</sup>
<b>Formaatio</b>	9,20	10,02	13,50	16,65	24,30	g/m <sup>2</sup>

## Liite 8. Taivutusvastus

1 (4)

Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	41,3	36,3	47,4	61,6	81,4	mN
Keskihajonta	7,1	7,4	4,6	17,2	16,8	mN
Variaatiokerroin	17,2	20,3	9,8	28,0	20,6	%
Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	34,9	33,4	35,5	49,9	74,1	mN
Keskihajonta	4,1	2,5	4,5	3,3	6,5	mN
Variaatiokerroin	11,8	7,4	12,8	6,6	8,8	%
Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	41,3	49,9	71,2	92,9	150,0	mN
Keskihajonta	7,1	5,5	19,8	23,5	33,0	mN
Variaatiokerroin	17,2	11,1	27,9	25,3	21,7	%
Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	34,9	41,1	49,8	65,6	90,9	mN
Keskihajonta	4,1	1,9	7,9	12,4	16,3	mN
Variaatiokerroin	11,8	4,7	15,8	18,9	17,9	%

(jatkuu)

2 (4)

Alapuoli ja konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	39,7	32,1	43,6	54,6	84,5	mN
Keskihajonta	7,8	7,5	3,9	6,0	7,5	mN
Variaatiokerroin	19,6	23,4	8,9	11,1	8,9	%
Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	41,1	25,9	38,9	44,9	67,8	mN
Keskihajonta	9,2	4,8	6,3	5,6	3,7	mN
Variaatiokerroin	22,3	18,7	16,2	12,5	5,4	%
Alapuoli ja konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	39,7	70,8	55,5	99,7	131	mN
Keskihajonta	7,8	26,9	10,2	41,1	28,9	mN
Variaatiokerroin	19,6	38,0	18,4	41,2	22,0	%
Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	41,1	34,2	38,3	77,7	93,0	mN
Keskihajonta	9,2	5,1	5,6	18,3	26,4	mN
Variaatiokerroin	22,3	14,8	14,5	23,5	28,4	%

(jatkuu)

3 (4)

Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	140	130	138	180	247	mN
Keskihajonta	40,0	33,8	13,0	19,0	17,0	mN
Variaatiokerroin	28,5	26,1	9,7	10,4	7,0	%
Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	190	135	121	148	188	mN
Keskihajonta	24,0	26,0	3,0	11,0	22,0	mN
Variaatiokerroin	12,8	19,2	2,8	7,3	11,7	%
Yläpuoli ja konesuunta						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	140	181	178	217	220	mN
Keskihajonta	40,0	38,0	47,0	30,0	18,0	mN
Variaatiokerroin	28,5	21,0	26,2	13,6	8,0	%
Yläpuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	190	196	185	249	183	mN
Keskihajonta	24,0	49,0	56,0	19,0	25,0	mN
Variaatiokerroin	12,8	25,1	30,3	7,6	13,8	%

(jatkuu)



4 (4)

Alapuoli ja konesuunta						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	166	115	151	168	197	mN
Keskihajonta	41,0	31,7	13,0	22,0	24,0	mN
Variaatiokerroin	24,6	27,5	8,6	13,3	12,3	%
Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	165	126	118	144	159	mN
Keskihajonta	21,0	12,0	24,4	19,0	35,0	mN
Variaatiokerroin	12,9	9,4	20,6	13,2	22,0	%
Alapuoli ja konesuunta						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	166	162	181	247	200	mN
Keskihajonta	41,0	51,0	39,0	35,0	32,0	mN
Variaatiokerroin	24,6	31,5	21,8	14,3	16,0	%
Alapuoli ja poikkisuunta						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Taivutusvastus</b>	165	149	160	219	207	mN
Keskihajonta	21,0	15,0	26,0	56,0	28,0	mN
Variaatiokerroin	12,9	10,3	16,1	25,8	13,3	%

## Liite 9. Vetolujuus, venymä ja murtotyö

1 (4)

Konesuunta						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	29,3	24,2	18,2	16,7	9,1	Nm/g
Variaatiokerroin	7,4	5,0	7,5	2,4	5,8	%
<b>Vetolujuus</b>	1,8	1,4	1,3	1,3	1,0	kN/m
Variaatiokerroin	7,4	5,0	7,5	2,4	5,8	%
<b>Venymä</b>	7,2	6,7	6,6	5,8	5,4	mm
Variaatiokerroin	15,8	8,8	10,9	6,7	18,3	%
<b>Murtovenymä</b>	7,2	6,7	6,6	5,8	5,4	%
Variaatiokerroin	15,8	8,8	10,9	6,7	18,3	%
<b>Murtotyö</b>	87,8	63,9	57,8	53,7	41,0	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	18,1	13,9	16,7	8,2	22,3	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	1,4	1,1	0,8	0,7	0,4	J/g
Variaatiokerroin	18,1	13,9	16,7	8,2	22,3	%
Poikkisuunta						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	26,8	21,2	20,1	15,4	8,5	Nm/g
Variaatiokerroin	7,5	7,7	9,3	7,8	8,9	%
<b>Vetolujuus</b>	1,7	1,3	1,4	1,2	0,9	kN/m
Variaatiokerroin	7,5	7,7	9,3	7,8	8,9	%
<b>Venymä</b>	4,0	3,7	3,9	3,7	3,6	mm
Variaatiokerroin	8,5	17,4	10,0	15,8	16,3	%
<b>Murtovenymä</b>	4,0	3,7	3,9	3,7	3,6	%
Variaatiokerroin	8,5	17,4	10,0	15,8	16,3	%
<b>Murtotyö</b>	46,2	31,9	38,2	30,8	23,5	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	14,2	23,4	16,9	23,4	24,3	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	0,7	0,5	0,5	0,4	0,2	J/g
Variaatiokerroin	14,2	23,4	16,9	23,4	24,3	%

(jatkuu)

2 (4)

Konesuunta						
Kaura	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetoluusindeksi</b>	29,3	27,5	19,8	15,2	10,4	Nm/g
Variaatiokerroin	7,4	16,6	14,3	5,1	7,4	%
<b>Vetolujuus</b>	1,8	1,8	1,5	1,3	1,2	kN/m
Variaatiokerroin	7,4	16,6	14,3	5,1	7,4	%
<b>Venymä</b>	7,2	6,4	6,2	6,7	5,6	mm
Variaatiokerroin	15,8	15,9	19,4	15,0	14,1	%
<b>Murtovenymä</b>	7,2	6,4	6,2	6,7	5,6	%
Variaatiokerroin	15,8	15,9	19,4	15,0	14,1	%
<b>Murtotyö</b>	87,8	73,4	65,1	60,4	47,9	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	18,1	31,4	30,7	16,5	18,7	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	1,4	1,2	0,9	0,7	0,4	J/g
Variaatiokerroin	18,1	31,4	30,7	16,5	18,7	%

Poikkisuunta						
Kaura	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetoluusindeksi</b>	26,8	26,2	18,3	15,8	10,5	Nm/g
Variaatiokerroin	7,5	6,4	9,3	6,9	6,2	%
<b>Vetolujuus</b>	1,7	1,7	1,4	1,4	1,2	kN/m
Variaatiokerroin	7,5	6,4	9,3	6,9	6,2	%
<b>Venymä</b>	4,0	3,2	3,4	3,3	3,0	mm
Variaatiokerroin	8,5	13,1	11,5	15,8	14,6	%
<b>Murtovenymä</b>	4,0	3,2	3,4	3,3	3,0	%
Variaatiokerroin	8,5	13,1	11,5	15,8	14,6	%
<b>Murtotyö</b>	46,2	36,6	32,0	30,5	24,5	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	14,2	18,6	20,0	22,9	20,9	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	0,7	0,6	0,4	0,4	0,2	J/g
Variaatiokerroin	14,2	18,6	20,0	22,9	20,9	%

(jatkuu)

3 (4)

Konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	33,3	22,0	17,1	13,7	7,0	Nm/g
Variaatiokerroin	10,5	10,3	7,5	5,7	6,8	%
<b>Vetolujuus</b>	2,1	1,2	1,1	1,1	0,8	kN/m
Variaatiokerroin	10,5	10,3	7,5	5,7	6,8	%
<b>Venymä</b>	6,1	4,2	4,2	4,3	3,7	mm
Variaatiokerroin	14,5	19,7	19,1	19,6	26,4	%
<b>Murtovenymä</b>	6,1	4,2	4,2	4,3	3,7	%
Variaatiokerroin	14,5	19,7	19,1	19,6	26,4	%
<b>Murtotyö</b>	92,7	36,5	34,3	33,4	20,7	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	26,2	27,8	23,1	24,3	31,2	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	1,5	0,6	0,5	0,4	0,2	J/g
Variaatiokerroin	26,2	27,8	23,1	24,3	31,2	%

Poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	27,5	21,8	16,9	12,4	6,5	Nm/g
Variaatiokerroin	22,7	7,2	6,2	6,2	7,0	%
<b>Vetolujuus</b>	1,8	1,2	1,1	1,0	0,7	kN/m
Variaatiokerroin	22,7	7,2	6,2	6,2	7,0	%
<b>Venymä</b>	3,2	3,3	2,9	2,7	2,9	mm
Variaatiokerroin	18,4	12,0	11,8	11,8	12,4	%
<b>Murtovenymä</b>	3,2	3,3	2,9	2,7	2,9	%
Variaatiokerroin	18,4	12,0	11,8	11,8	12,4	%
<b>Murtotyö</b>	37,9	26,7	21,1	17,3	13,3	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	40,0	18,2	16,8	19,1	20,0	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	J/g
Variaatiokerroin	40,0	18,2	16,8	19,1	20,0	%

(jatkuu)

4 (4)

Konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	33,3	22,9	15,8	13,2	8,6	Nm/g
Variaatiokerroin	10,5	15,5	8,5	10,5	22,7	%
<b>Vetolujuus</b>	2,1	1,5	1,1	1,1	1,0	kN/m
Variaatiokerroin	10,5	15,5	8,5	10,5	22,7	%
<b>Venymä</b>	6,1	4,0	4,6	4,1	3,9	mm
Variaatiokerroin	14,5	22,2	17,5	17,6	29,7	%
<b>Murtovenymä</b>	6,1	4,0	4,6	4,1	3,9	%
Variaatiokerroin	14,5	22,2	17,5	17,6	29,7	%
<b>Murtotyö</b>	92,7	44,8	37,3	33,9	30,3	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	26,2	34,3	22,3	25,5	47,4	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	1,5	0,7	0,5	0,4	0,2	J/g
Variaatiokerroin	26,2	34,3	22,3	25,5	47,4	%

Poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Vetolujuusindeksi</b>	27,5	25,6	14,5	13,0	6,7	Nm/g
Variaatiokerroin	22,7	10,2	4,8	5,6	9,9	%
<b>Vetolujuus</b>	1,8	1,7	1,0	1,1	0,8	kN/m
Variaatiokerroin	22,7	10,2	4,8	5,6	9,9	%
<b>Venymä</b>	3,2	2,4	2,42	2,5	2,0	mm
Variaatiokerroin	18,4	16,5	10,9	9,2	9,1	%
<b>Murtovenymä</b>	3,2	2,4	2,4	2,5	2,0	%
Variaatiokerroin	18,4	16,5	10,9	9,2	9,1	%
<b>Murtotyö</b>	37,9	27,6	16,5	18,1	10,1	J/m <sup>2</sup>
Variaatiokerroin	40,0	20,3	15,2	14,2	17,9	%
<b>Murtotyöindeksi</b>	0,6	0,4	0,2	0,2	0,08	J/g
Variaatiokerroin	40,0	20,3	15,2	14,2	17,9	%

## Liite 10. Repäisylujuus

1 (2)

Konesuunta						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	898	881	855	753	707	mN
Keskihajonta	112	64	144	102	28	mN
Variaatiokerroin	12,5	7,3	16,8	13,5	4,0	%
<b>Repäisyindeksi</b>	14,4	14,8	12,2	9,8	6,4	mNm <sup>2</sup> /g
Poikkisuunta						
Ohra	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	1201	970	930	1035	827	mN
Keskihajonta	105	101	71	91	88	mN
Variaatiokerroin	8,7	10,4	7,6	8,8	10,6	%
<b>Repäisyindeksi</b>	19,2	16,3	13,2	13,5	7,5	mNm <sup>2</sup> /g
Konesuunta						
Kaura	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	898	863	991	859	803	mN
Keskihajonta	112	40	119	94	53	mN
Variaatiokerroin	12,5	4,6	12,0	10,9	6,6	%
<b>Repäisyindeksi</b>	14,4	13,5	13,3	10,1	7,0	mNm <sup>2</sup> /g
Poikkisuunta						
Kaura	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	1201	988	1114	1298	1192	mN
Keskihajonta	105	92	62	238	74	mN
Variaatiokerroin	8,7	9,3	5,6	18,3	6,2	%
<b>Repäisyindeksi</b>	19,2	15,5	15,0	15,2	10,3	mNm <sup>2</sup> /g

(jatkuu)

2 (2)

Konesuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	751	638	619	619	492	mN
Keskihajonta	103	50	86	40	49	mN
Variaatiokerroin	13,7	7,8	13,9	6,5	10,0	%
<b>Repäisyindeksi</b>	11,8	11,3	9,4	8,1	4,5	mNm <sup>2</sup> /g

Poikkisuunta						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	1203	780	832	736	660	mN
Keskihajonta	75	106	58	48	48	mN
Variaatiokerroin	6,2	13,6	7,0	6,5	7,3	%
<b>Repäisyindeksi</b>	18,8	13,9	12,6	9,7	6,0	mNm <sup>2</sup> /g

Konesuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	751	630	788	731	702	mN
Keskihajonta	103	111	43	30	147	mN
Variaatiokerroin	13,7	17,6	5,5	4,1	20,9	%
<b>Repäisyindeksi</b>	11,8	9,4	11,2	8,5	5,8	mNm <sup>2</sup> /g

Poikkisuunta						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>Repäisylujuus</b>	1203	1147	833	958	854	mN
Keskihajonta	75	133	134	115	27	mN
Variaatiokerroin	6,2	11,6	16,1	12,0	3,2	%
<b>Repäisyindeksi</b>	18,8	17,2	11,8	11,1	7,0	mNm <sup>2</sup> /g

## Liite 11. Optiset ominaisuudet

1 (4)

Yläpuoli						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	94,74	91,42	88,50	83,05	%
Keskihajonta	0,04	0,10	0,21	0,20	0,25	%
<b>a*</b>	-1,00	0,14	0,94	1,51	2,62	%
Keskihajonta	0,02	0,04	0,06	0,06	0,08	%
<b>b*</b>	3,64	4,36	6,06	7,99	12,40	%
Keskihajonta	0,11	0,10	0,12	0,21	0,36	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,25	81,73	72,44	64,46	50,46	%
Keskihajonta	0,21	0,29	0,55	0,57	0,72	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	79,69	67,18	51,05	34,77	-0,29	
Keskihajonta	0,57	0,60	1,01	1,41	2,39	%
<b>Opasiteetti</b>	70,29	74,56	83,00	86,42	96,47	%
Keskihajonta	2,07	2,20	2,28	2,01	0,77	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	33,40	32,58	31,94	28,67	26,99	
Keskihajonta	3,06	3,00	3,20	2,83	2,17	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,30	0,81	1,35	2,93	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,08	0,13	0,24	%

Alapuoli						
<b>Ohra</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	94,74	91,49	88,64	83,16	%
Keskihajonta	0,04	0,14	0,24	0,31	0,25	%
<b>a*</b>	-1,02	0,12	0,89	1,47	2,62	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,08	0,09	0,08	%
<b>b*</b>	3,76	4,34	6,13	7,97	12,35	%
Keskihajonta	0,11	0,12	0,31	0,34	0,32	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,08	81,76	72,51	64,73	50,67	%
Keskihajonta	0,23	0,44	0,84	0,92	0,66	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	79,15	67,26	50,89	35,16	0,21	
Keskihajonta	0,58	0,84	2,00	2,31	2,15	%
<b>Opasiteetti</b>	71,03	75,09	83,06	86,59	96,39	%
Keskihajonta	2,24	2,02	2,27	1,80	0,49	%
<b>Valonsirontakerroin</b>	34,49	33,29	32,19	29,12	26,96	
Keskihajonta	3,48	2,73	3,31	2,52	1,26	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,31	0,81	1,34	2,88	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,08	0,12	0,13	%

(jatkuu)



2 (4)

Yläpuoli						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	96,19	94,00	92,32	88,31	%
Keskihajonta	0,04	0,07	0,23	0,24	0,36	%
<b>a*</b>	-1,00	-0,27	0,32	0,65	1,41	%
Keskihajonta	0,02	0,04	0,06	0,07	0,08	%
<b>b*</b>	3,64	4,55	5,07	5,94	8,81	%
Keskihajonta	0,11	0,18	0,25	0,25	0,37	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,25	84,88	79,21	74,52	63,29	%
Keskihajonta	0,21	0,33	0,78	0,75	0,01	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	79,69	70,02	62,06	53,85	30,35	
Keskihajonta	0,57	0,90	1,64	1,63	2,53	%
<b>Opasiteetti</b>	70,29	73,81	79,96	84,21	90,61	%
Keskihajonta	2,07	1,99	2,10	2,08	1,96	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	33,40	32,55	31,22	29,46	23,30	
Keskihajonta	3,06	2,85	3,07	3,01	0,03	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,15	0,38	0,59	1,13	
Keskihajonta	0,00	0,01	0,04	0,06	0,14	%

Alapuoli						
<b>Kaura</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,35	96,23	94,09	92,34	88,34	%
Keskihajonta	0,04	0,10	0,19	0,19	0,50	%
<b>a*</b>	-1,02	-0,33	0,27	0,62	1,38	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,07	0,07	0,13	%
<b>b*</b>	3,76	4,61	5,13	6,05	8,92	%
Keskihajonta	0,11	0,18	0,14	0,17	0,46	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,08	84,91	79,37	74,45	63,23	%
Keskihajonta	0,23	0,43	0,57	0,56	1,42	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	79,15	69,84	62,07	53,37	29,87	
Keskihajonta	0,58	1,01	1,04	1,16	3,44	%
<b>Opasiteetti</b>	71,03	73,82	80,70	83,99	91,28	%
Keskihajonta	2,24	2,10	2,44	2,48	1,14	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	34,49	32,68	32,49	29,21	24,25	
Keskihajonta	3,48	3,00	3,79	3,58	1,68	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,03	0,15	0,38	0,59	1,17	
Keskihajonta	0,00	0,01	0,04	0,07	0,08	%

(jatkuu)

3 (4)

Yläpuoli						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,17	94,89	91,82	88,73	84,11	%
Keskihajonta	0,05	0,15	0,32	0,18	0,51	%
<b>a*</b>	-1,06	0,02	0,83	1,46	2,39	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,09	0,06	0,15	%
<b>b*</b>	3,18	3,95	5,67	7,62	11,19	%
Keskihajonta	0,12	0,10	0,29	0,25	0,42	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,42	82,58	73,73	65,28	53,32	%
Keskihajonta	0,26	0,44	1,00	0,60	1,21	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	81,25	69,41	53,86	37,10	8,35	
Keskihajonta	0,63	0,77	2,13	1,59	3,22	%
<b>Opasiteetti</b>	72,71	73,93	82,32	88,06	96,09	%
Keskihajonta	2,62	2,04	1,04	1,29	1,13	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,80	33,90	33,83	31,60	28,01	
Keskihajonta	4,33	2,91	1,62	2,11	3,51	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,30	0,78	1,43	2,65	
Keskihajonta	0,00	0,03	0,04	0,10	0,33	%

Alapuoli						
<b>Ohra kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,13	94,93	91,89	89,05	84,34	%
Keskihajonta	0,05	0,16	0,11	0,25	0,42	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,01	0,78	1,36	2,32	%
Keskihajonta	0,02	0,05	0,03	0,08	0,12	%
<b>b*</b>	3,26	3,88	5,66	7,47	11,23	%
Keskihajonta	0,11	0,10	0,12	0,31	0,52	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,21	82,76	73,90	66,07	53,68	%
Keskihajonta	0,26	0,46	0,32	0,81	1,18	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	80,78	69,81	54,07	38,57	8,73	
Keskihajonta	0,60	0,79	0,73	2,07	3,56	%
<b>Opasiteetti</b>	72,70	74,26	82,49	87,86	96,07	%
Keskihajonta	2,94	2,21	1,07	1,45	0,86	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,65	34,45	34,24	31,89	28,36	
Keskihajonta	4,89	3,09	1,65	2,43	2,41	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,30	0,78	1,36	2,59	
Keskihajonta	0,01	0,03	0,04	0,10	0,22	%

(jatkuu)

4 (4)

Yläpuoli						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,17	96,32	94,01	92,38	88,32	%
Keskihajonta	0,05	0,22	0,25	0,26	0,35	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,37	0,23	0,64	1,41	%
Keskihajonta	0,02	0,06	0,09	0,09	0,11	%
<b>b*</b>	3,18	3,97	4,82	5,80	8,45	%
Keskihajonta	0,12	0,28	0,26	0,30	0,39	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,42	85,91	79,55	74,81	63,67	%
Keskihajonta	0,26	0,84	0,86	0,87	1,04	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	81,25	72,95	63,26	54,64	32,05	
Keskihajonta	0,63	1,78	1,80	1,99	2,66	%
<b>Opasiteetti</b>	72,71	75,49	79,96	83,47	94,20	%
Keskihajonta	2,62	2,84	2,31	1,74	1,38	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,80	33,70	32,96	28,32	27,92	
Keskihajonta	4,33	4,29	3,25	2,48	2,88	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,15	0,40	0,56	1,36	
Keskihajonta	0,00	0,02	0,40	0,05	0,14	%

Alapuoli						
<b>Kaura kalanteroitu</b>	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	
<b>L*</b>	98,13	96,26	94,05	92,50	88,31	%
Keskihajonta	0,05	0,16	0,19	0,31	0,28	%
<b>a*</b>	-1,06	-0,38	0,19	0,56	1,33	%
Keskihajonta	0,02	0,03	0,07	0,11	0,11	%
<b>b*</b>	3,26	4,07	4,87	5,86	8,72	%
Keskihajonta	0,11	0,27	0,23	0,26	0,33	%
<b>ISO-vaaleus</b>	91,21	85,65	79,58	75,02	63,40	%
Keskihajonta	0,26	0,67	0,68	0,92	0,87	%
<b>CIE-valkoisuus</b>	80,78	72,34	63,09	54,68	30,76	
Keskihajonta	0,60	1,56	1,49	1,88	2,23	%
<b>Opasiteetti</b>	72,70	75,95	79,38	83,64	93,51	%
Keskihajonta	2,94	3,62	1,59	1,39	2,11	%
<b>Valon sirontakerroin</b>	35,65	34,26	32,21	28,78	26,54	
Keskihajonta	4,89	5,92	2,21	1,91	3,30	%
<b>Valon absorptiokerroin</b>	0,04	0,16	0,38	0,55	1,29	
Keskihajonta	0,01	0,03	0,03	0,04	0,16	%