



Kauran kuori paperin raaka- aineena

Seulotun ja käsitellyn kauran kuoren vaikutus paperin ominaisuuksiin

Miia Ingman

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2020

Biotuote- ja prosessitekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

INGMAN, MIIA:

Kauran kuori paperin raaka-aineena
Seulotun ja käsitellyn kauran kuoren vaikutus paperin ominaisuuksiin

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Kesäkuu 2020

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kauran kuoren käyttöä paperin raaka-aineena. Kauran kuori on myllyteollisuuden sivutuote, joka hyödynnetään useimmiten polttamalla energiantuotannossa. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, miten seulottu ja käsitelty kauran kuori vaikuttaa paperin ominaisuuksiin.

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperi- ja pakkauslaboratorion sekä prosessilaboratorion tiloissa. Seulonnalla poistettiin kauran kuorijakeen joukosta karkeampaa jaetta. Laboratoriossa valmistettiin referenssiarkkeja, jotka olivat raaka-aineeltaan kokonaan mäntysellua, ja koearkkeja, jotka sisälsivät 15 % seulottua kauran kuorta. Koearkit valmistettiin kolmella eri kuorijakeen seulontakarkeudella, 710 µm, 500 µm ja 355 µm. Joka karkeudesta valmistettiin kaksi koepistettä, joissa kuorijae sekoitettiin huoneenlämpöiseen veteen tai käsiteltiin kuumentamalla vedessä. Koearkkeja valmistettiin siis kuudesta koepisteestä. Valmiista arkeista tutkittiin perus-, pinta- ja lujuusominaisuuksia.

Perusominaisuuksien tuloksista havaittiin arkkien neliömassan pienentyvän kuorijakeen karkeuden pienentyessä ja kuorijakeen kuumentamisen pienentävän neliömassaa. Kuorta sisältävät arkit olivat paksumpia kuin referenssiarkit. Pintaominaisuuksien tuloksista havaittiin ilmanläpäisyn pienenevän kuorijakeen karkeuden pienentyessä ja kuorijakeen kuumennuksen pienentävän ilmanläpäisyyä. Lujuusominaisuuksien tuloksista havaittiin kuorta sisältävien arkkien lujuuksien olevan heikompia kuin referenssiarkeilla. Poikkeuksena oli kuitenkin repäisyjuvuus, joka oli parempi huoneenlämpöiseen veteen sekoitettua kuorta sisältävillä arkeilla. Kuorijakeen karkeuden pienentyessä jäykkyys pieneni. Kuorijakeen kuumennus laski repäisyjuvuutta ja kasvatti veto- ja puhkaisulujuutta.

Tulosten perusteella kuumennetun kauran kuorijakeen käyttö vaikuttaisi parantavan paperin raaka-aineiden sitoutuneisuutta toisiinsa. Asiaa täytyy tutkia lisää, jotta selviää, johtuuko muutos itse kuorijakeesta liuenneista aineista vaiko kuumennetun veden lisäämisestä massan joukkoon.

Asiasanat: kauran kuori, non-wood, ominaisuudet

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and process engineering

INGMAN, MIIA:

Oat Hulls as Paper Raw Material

The Effect of Screened and Treated Oat Hulls on Paper Properties

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 10 pages

June 2019

The purpose of this thesis was to research use of oat hulls as paper raw material. The aim was to study how screened and treated oat hulls affect the paper properties. The work was conducted at the Tampere University of Applied Sciences paper and process laboratory.

The work was carried out by screening oat hulls to remove coarse fraction of hulls and by making reference sheets containing only pine pulp and sheets containing screened oat hulls in addition to pulp. The concentration of the hulls was 15 % of the total dry mass of the sheet. Three different screening roughness of hulls were used, 710 μm , 500 μm and 355 μm . Two tests points were prepared for each screening roughness of hulls in which hulls were either mixed with room temperature water or treated with hot water. Therefore sheets containing oat hulls were made from in total of six test points. The sheets examined for basic, surface and strength properties.

The basic and surface properties measurement results showed that the basis weight of the paper and air permeability decreased when the roughness of hulls reduced and when the hulls were treated with hot water. Sheets containing hull were thicker than reference sheets. The strength properties measurement results showed that sheets containing hulls had weaker strength properties compared to reference sheets. An exception was tearing strength which was better with sheets containing hulls mixed with room temperature water. Bending stiffness decreased when the roughness of hulls decreased. Treating hulls with hot water decreased the tearing strength and increased both tensile and bursting strength.

Based on the results it seems that oat hulls treated with hot water increase bonding between the components of paper. Further research is required to find out if increase is caused by dissolved matter from hulls or by adding hot water to paper stock.

Key words: oat hull, non-wood, properties

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEORIAOSUUS.....	7
	2.1 Tärkkelys ja sen käyttö paperin valmistuksessa	7
	2.1.1 Tärkkelys	7
	2.1.2 Tärkkelyksen käyttö paperin valmistuksessa.....	9
	2.2 Kauran kuori.....	10
3	KOKEELLINEN OSUUS	12
	3.1 Seulonta	12
	3.1.1 Seulontakokeet.....	12
	3.1.2 Suositeltavat seulontaolosuhteet.....	14
	3.1.3 Seulonnan akseptien ja rejektien visuaalinen arviointi.....	15
	3.2 Seulotun kauran kuoren tutkiminen.....	16
	3.2.1 Dispergointi huoneenlämpöiseen veteen.....	16
	3.2.2 Kuorijakeen tutkiminen valomikroskoopilla	17
	3.3 Massan jauhatus	19
	3.4 Arkkien valmistus	20
	3.4.1 Arkkimassojen laimennuslaskut.....	20
	3.4.2 Referenssiarkkien ja testiarkkien valmistus	22
	3.4.3 Kauran kuorta sisältävien arkkien valmistus.....	25
	3.5 Valmiiden arkkien arviointi	29
4	MITTAUKSET PAPERILABORATORIOSSA	31
	4.1 Mittaukset.....	31
	4.2 Arkkien valinta mittauksiin	31
5	TULOKSET	33
	5.1 Neliömassa	33
	5.2 Paksuus, tiheys ja bulkki	34
	5.3 Ilmanläpäisy	37
	5.4 Taivutusvastus	39
	5.5 Vetolujuus	41
	5.6 Repäisylujuus.....	42
	5.7 Puhkaisulujuus	43
6	POHDINTA	45
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	50
	Liite 1. Seulontakokeet, kaikki taulukkoarvot	50
	Liite 2. Suositeltavat seulontaolosuhteet, kaikki taulukkoarvot.....	51

Liite 3. Neliömassa, kaikki taulukkoarvot	52
Liite 4. Paksuus, kaikki taulukkoarvot	53
Liite 5. Tiheys ja bulkki, kaikki taulukkoarvot.....	54
Liite 6. Ilmanläpäisy, kaikki taulukkoarvot	55
Liite 7. Taivutusvastus, kaikki taulukkoarvot	56
Liite 8. Vetoindeksi ja – lujuus, kaikki taulukkoarvot	57
Liite 9. Repäisyindeksi ja -lujuus, kaikki taulukkoarvot.....	58
Liite 10. Puhkaisuindeksi ja -lujuus, kaikki taulukkoarvot.....	59

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin miten kauran kuori vaikuttaa paperin eri ominaisuuksiin. Kauran kuori on myllyteollisuuden sivutuote, joka yleensä hyödynnetään polttamalla energiantuotannossa. Kiertotalouden näkökulmasta on tärkeää tutkia kuoren potentiaalia paperin raaka-aineena. Kuori on selluun verrattuna edullista, joten sellukuidun osittainen korvaaminen paperissa kauran kuorella pienentäisi raaka-ainekustannuksia.

Opinnäytetyön teoriaosuus käsittelee kahta pääaihetta, tärkkelystä ja kauran kuorta. Tärkkelyksen suhteen käsitellään sen kemiallista koostumusta ja fysikaalisia ominaisuuksia, tärkkelyksen käyttäytymistä vedessä, muuntelua ja käyttöä paperinvalmistuksessa. Kauran kuoren suhteen painotetaan sen koostumusta. Lisäksi käsitellään kuoren osuutta jyvästä ja kuoren jalostusmahdollisuuksia.

Kokeellisessa osuudessa oli tarkoitus selvittää miten sellukuidun osittainen korvaaminen seulotulla kauran kuorella vaikutti paperin eri ominaisuuksiin. Seulonnalla vähennettiin kuorijakeen karkeutta ja työssä käytettiin kolmea eri karkeutta, jotta voitaisiin tutkia miten kuorijakeen karkeus vaikuttaa paperin eri ominaisuuksiin. Seulottu kuorijae esikäsiteltiin sekoittamalla huoneenlämpöiseen tai kuumennettuun veteen, jotta voitaisiin tutkia vaikuttaako kuumennettu kuorijae paperin ominaisuuksiin eri tavalla kuin kuumentamaton kuorijae, koska kuumennuksen seurauksena kuoren aineksia liukenee veteen tai aktivoituu. Kauran kuorta eri karkeuksilla ja esikäsitelylämpötiloilla sisältävien arkkien ominaisuuksia verrattiin kokonaan sellukuidusta valmistettujen referenssiarkkien ominaisuuksiin.

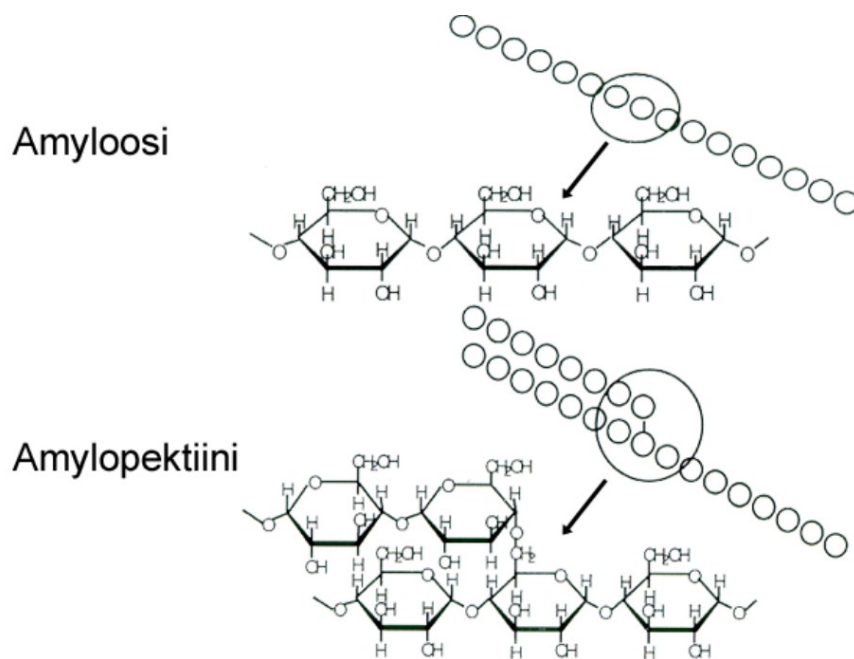
2 TEORIAOSUUS

2.1 Tärkkelys ja sen käyttö paperin valmistuksessa

2.1.1 Tärkkelys

Tärkkelys on polysakkaridi, jota esiintyy lähes kaikissa kasvien kudoksissa. Erityisen tärkkelyspitoisia kasveja ovat vilja-, mukula- ja juurikasvit. Viljakasvien siemenistä tärkkelystä saadaan märkäjauhatuksella; huuhdontaan käytetty vesi lingotaan tärkkelyksen erottamiseksi. Perunasta tärkkelys erotetaan jauhamalla raat perunat soseeksi, joka pestään ja seulotaan ennen linkoamista. Yksittäisen tärkkelysrakeen koko ja muoto riippuvat riippuu kasvilähteestä; maissitärkkelysrakeen halkaisija on keskimäärin 35 µm ja perunatarkkelysrae voi olla halkaisijaltaan yli 100 µm. (Jackson 2003b, 5562-5564; Ratnayake & Jackson 2003, 5567).

Kemiallisesti tärkkelys on kahden glukoosipolymeerin, amyloosin ja amylopektiinin, yhdistelmä. Amyloosi ja amylopektiini (kuva 1) koostuvat selluloosan tavoin glukoosimonomeereista ($C_6H_{12}O_6$). Tärkkelyksellä on samanlainen kyky muodostaa vetysilloja kuin selluloosalla. Fysikaaliset eroavaisuudet selluloosan ja tärkkelyksen välillä johtuvat glukoosimonomeerien erilaisesta liittymisestä toisiinsa. (Jackson 2003b, 5561; KnowPap 2020a).



KUVA 1. Amyloosi ja amylopektiini (KnowPap 2020a)

Luonnontärkkelykset sisältävät yleisesti 25-35 % amyloosia ja 65-75 % amylopektiinia, joiden suhde riippuu tärkkelyksen kasviperästä. Geenimuuntelulla voidaan kuitenkin vaikuttaa amyloosin ja amylopektiinin osuuksiin jolloin voidaan valmistaa lähes kokonaan amylopektiinista koostuvaa vahamaista tärkkelystä tai 53-70 % amyloosia sisältävää tärkkelystä. Amyloosin ja amylopektiinin suhde vaikuttaa kokonaisvaltaisesti tärkkelyksen ominaisuuksiin. Amyloosi on rakenteeltaan pääosin lineaarinen, molekyyli­massaltaan noin 10^5 ja sen polymeroitumisaste eli glukoosimonomeerien määrä ketjussa pieni. Amylopektiinin, molekyyli­massaltaan noin 10^8 , rakenne on haarautunut ja sen polymeroitumisaste on korkeampi. Monimutkaisen rakenteensa vuoksi amylopektiini liukenee amyloosia helpommin. (Jackson 2003b, 5561).

Luonnontärkkelys ei liukene kylmään veteen vaan sen rakeet turpoavat reversiibelisti joutuessaan kosketuksiin veden kanssa. Rakeiden turpoaminen aiheuttaa seoksen viskositeetin kasvun. Seoksen kuumentaminen saa aikaan tärkkelyksen kiteisen sulamisen; turpoaminen muuttuu irreversiibeliksi ja tärkkelys gelatinisoituu. Tärkkelyksen kasviperä vaikuttaa liukenemisolosuhteisiin ja muodostuvan geelin ominaisuuksiin, esimerkiksi viljatärkkelyksillä viskositeetti on pienempi kuin perunalla. (Jackson 2003b, 5562).

Luonnontärkkelyksen toiminnalliset ominaisuudet, kuten viskositeetti, eivät ole aina toivotulla tasolla rajoittaen niiden käyttöä erilaisissa prosesseissa. Modifioidun eli muunnellun tärkkelyksen toiminnallisia ominaisuuksia on paranneltu kemiallisesti tai fysikaalisesti. Peruna- ja maissitärkkelyksiä muunnellaan useimmiten, mutta kaikki tärkkelykset soveltuvat muunneltaviksi. Kemiallisia muuntelutapoja ovat hydrolyysi, hapetus, eetteröinti ja esteröinti. Kemiallisella muuntelulla voidaan vaikuttaa esimerkiksi geelinmuodostus lämpötilaan, viskositeetin suuruuteen, varaustasoon ja parantaa tärkkelyksen prosessiolosuhteiden kestoa. Fysikaalisella muuntelulla tärkkelykset saadaan gelatoitumaan kylmemmissä lämpötiloissa. Useimmiten käytetään erilaisten muuntelukeinojen yhdistelmiä haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. (BeMiller 2003, 5576 ; Jackson 2003a, 5574; KnowPap 2020b).

2.1.2 Tärkkelyksen käyttö paperin valmistuksessa

Paperin valmistuksessa tärkkelys on massasulpun ja savipigmenttien jälkeen tärkeimpiä raaka-aineita. Tärkkelyksen pääkäyttökohteita paperin valmistuksessa ovat massaliimaus, pintaliimaus ja päällystyspasta. Liimaava vaikutus perustuu sidosten lukumäärän kasvattamiseen vetysidoksilla. Massaliimauksessa parannetaan paperin kuivalujuutta lisäämällä tärkkelystä massasulpun joukkoon. Tärkkelys on hydrofiilistä, joten se ei paranna paperin märkälujuutta. Hydrofiilisyydensä ansiosta tärkkelys antaa kuitenkin päällystyspastalle hyvän vedenpidätyskyvyn. Tärkkelyksen käyttö paperin valmistuksessa on edullista, vaikka sen sitomiskyky on heikko suhteessa muihin sideaineisiin. Muita tärkkelyksen käytön hyviä puolia ovat helppo saatavuus, biohajoavuus, uusiutuvuus, elintarvikekelpoisuus ja lujuuksien parantaminen samalla tavalla kuin massan korkeampi jauhatustaso. Huonoja puolia ovat mikrobiologinen herkkyys ja amyloosin mahdollinen kiteytyminen eli retrogradaatio. (Bajpai 2018, 83-84; KnowPap 2020a; KnowPap 2020b).

Luonnontärkkelys soveltuu paperin valmistukseen huonosti; sen viskositeetti on korkea, jonka vuoksi liettosakeus on matala eikä se sovi massaliimaksi anionisuudesta johtuvan huonon retention vuoksi. Paperin valmistuksessa

käytetyt tärkkelykset ovat modifioituja. Esimerkiksi kationista tärkkelystä on paranneltu muuttamalla varaustasoa liittämällä tärkkelykseen kationisia ryhmiä. Kationisen tärkkelyksen viskositeetti on alempi, joten se voidaan liettää suurempaan sakeuteen. Kationisen tärkkelyksen retentio on erittäin hyvä johtuen sähköisistä vetovoimista kationisen tärkkelyksen ja anionisten kuitujen välillä. Kationisen tärkkelyksen käyttö parantaa myös täyte- ja hienoaineiden retentiota, jonka seurauksena veden poistuminen kuiturainasta paranee. Suurilla tärkkelysmäärillä tärkkelyksen vedenpidätyskyky häiritsee vedenpoistoa. (Bajpai 2018, 83-84; KnowPap 2020a; KnowPap 2020b).

2.2 Kauran kuori

Kauran kuori on kokonaisen kaurajyvän uloin kerros. Kuori koostuu kahdesta kerroksesta, helpeestä ja kaleesta. Helve ja kale ovat suojuslehtiä, jotka suojaavat aluksi kasvin osakukintoa eli tähkylää ja myöhemmin siihen kehittyvää jyvää. (Hareland & Manthey 2003, 4215; Miller & Fulcher 2011, 83). Jatkojalostamista varten jyvät on kuorittava. Yleisesti kuoren irrottaminen mekaanisin menetelmin on helppoa, koska se on kiinnittynyt jyvään löyhästi. Hallitseva kuorimistapa perustuu jyvien iskeytymiseen suurella nopeudella kuorintalaitteen sisällä, jolloin kuori halkeaa ja irtoaa jyvästä. Tämän jälkeen kuoret erotetaan jyvien joukosta. (Giradet & Webster 2011, 307-310; Menon ym. 2016, 17-18).

Sivuvirtana syntyvän kuorijakeen määrä riippuu jyvien kuoripitoisuudesta, joka riippuu lajikkeesta ja kasvuolosuhteista. Kuivissa olosuhteissa kasvaneen kauran kuoren osuus jyvästä on suurempi. Luonnonvaraisilla kauralajikkeilla kuoripitoisuus on suurempi kuin jalostetuilla lajikkeilla, joilla kuoren osuus jyvän painosta vaihtelee noin 24-32 % välillä. Yksi jalostamisen keskeisistä tavoitteista on kuoren osuuden pienentäminen paremman jatkojalostusarvon saavuttamiseksi. Jalostamalla on myös kehitetty erityinen ”kuoreton” kauralajike Avena Nuda, jonka kuori irtoaa sadon puinnin yhteydessä eikä erillistä kuorintaa tarvita ennen jatkojalostusta. (Hareland & Manthey 2003, 4216; Strychar 2011,7).

Kaurankuoren koostumusta on tutkittu varsinaiseen viljajyvään verrattuna huomattavasti vähemmän. Kuoren tiedetään koostuvan pääasiassa selluloosasta ja hemiselluloosasta, jotka ovat veteen liukenemattomia kuituja. Tarkemmalta koostumukseltaan kuori on 31-37 % hemiselluloosaa, 30-37 % selluloosaa, 3,3-9,3 % tuhkaa ja 2,3-9,7 % ligniiniä ja muita fenolihdisteitä. Hemiselluloosa sisältää runsaasti pentosaaneja, jotka ovat monosakkaridi pentooseista ($C_5H_{10}O_5$) muodostuneita polysakkarideja. Merkittävin pentoosi monosakkaridi kuorella on ksyloosi. Proteiinipitoisuus kuorella on matala, alle 5 %, ja jalostetulla lajikkeella jopa alle 2 %. Jyvistä poiketen kuori sisältää erittäin vähän vesiliukoisia kuituja, alle 1 %. Jyvissä esiintyvää betaglukaania, joka on vesiliukoinen kuitu, esiintyy siis kuorella tapauskohtaisesti erittäin pieniä määriä tai mahdollisesti ei ollenkaan. Vapaiden lipidien määräksi kuorella on arvioitu 2 %. Kuorimisprosessi vaikuttaa kuorijakeen tärkkelyspitoisuuteen; teollisesti erotetuista kuorista on mitattu jopa 12 % tärkkelyspitoisuuksia, kun käsin erotetuista kuorissa tärkkelyspitoisuudeksi on mitattu alle 2 %. (Welch 1995, 282-284; Hareland & Manthey 2003, 4216 ja 4219; Giradet & Webster 2011, 316; Miller & Fulcher 2011, 83; Wood 2011 220.)

Sivuvirtana syntyvät kaurankuoret voidaan hyödyntää biomassapolttoaineena sähkön ja lämmön tuotannossa (Menon ym. 2016, 22). Korkean pentosaanipitoisuuden ansiosta kuoria voidaan käyttää furfuraalin ($C_5H_4O_2$) valmistamiseen. Furfuraali on uusiutuva kemikaali, jota käytetään esimerkiksi liimojen, muovien ja nylonin raaka-aineena. Ensisijaisesti furfuraalin valmistuksessa suositetaan kuitenkin muita pentosaanipitoisia kasvilähteitä kuten maissintähkiä. Myös ksylitolin ($C_5H_{12}O_5$) valmistaminen kaurankuoresta perustuu pentosaanipitoisuuteen, nimenomaan pentoosi monosakkaridi ksyloosiin. (Hareland & Manthey 2003, 4219; Holtzaple 2003, 3067-3068; Giradet & Webster 2011, 316; Webster 2011, 355; Menon ym. 2016, 22). Kuorta on voitu hyödyntää myös bakteeriselluloosan valmistamiseen pilotmittakaavassa ja uusia käyttökohteita kehitellään jatkuvasti (Skiba ym. 2020 1-10).

3 KOKEELLINEN OSUUS

3.1 Seulonta

Seulonnassa lajitellaan kiinteää ainetta partikkelikoon perusteella seulojen avulla. Seulan pinnan aukot ovat määrätyn kokoisia, esimerkiksi 1 mm, jolloin 1 mm suuremmat partikkelit eivät läpäise seulaa. Seulan läpäisevää jaetta kutsutaan akseptiksi ja seulan pinnalle jäävää jaetta rejektiksi. Kauran kuorta sisältäviin arkkeihin käytettiin seulonnan akseptia kolmella eri partikkelikoolla.

3.1.1 Seulontakokeet

Seulontakokeiden tavoitteena oli valita kolme eri määrättyä kokoa olevaa seulaa, joiden aksepteja käytettäisiin kauran kuorta sisältävien arkki valmistamiseen. Silmämääräisen arvion perusteella kokeisiin valittiin seulakoot 250 µm, 355 µm, 500 µm, 710 µm ja 1000 µm. Seulat olivat Retsch analyysiseuloja. Kolme seulaa valittaisiin seulonnan saannon perusteella, joka lasketaan kaavalla 1

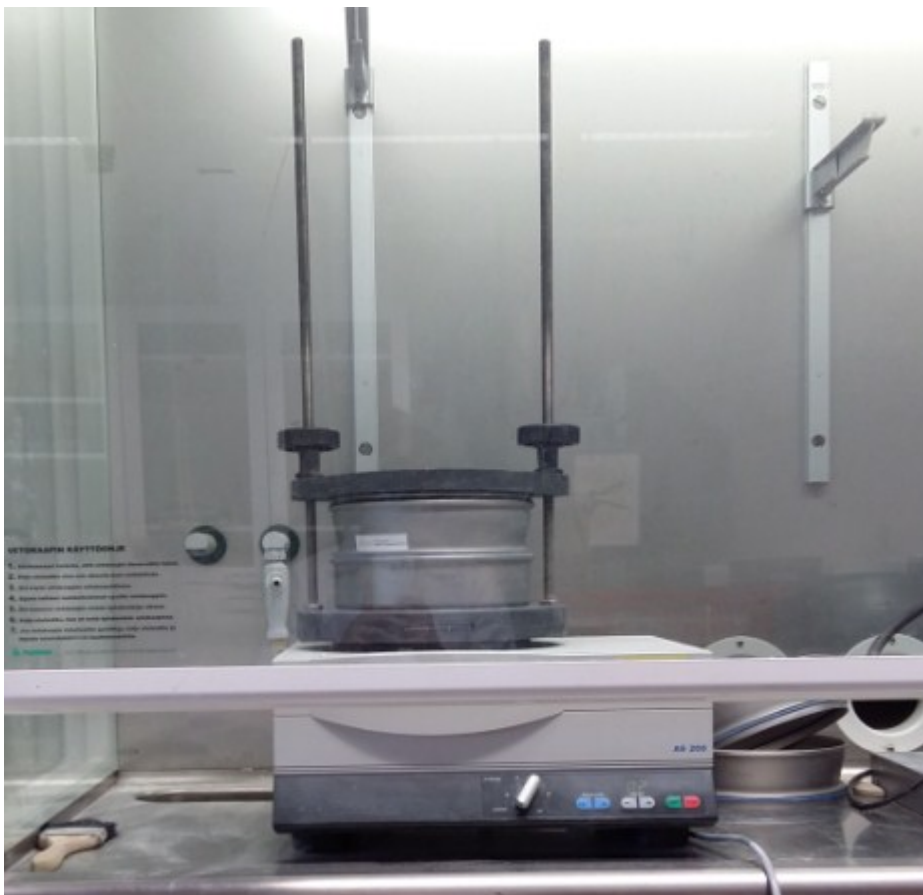
$$saanto - \% = \frac{A}{K} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

missä A on seulan läpäisseen akseptin massa grammoina ja K seulontaan annostellun kauran kuoren massa grammoina.

Aluksi kokeiltiin seulontaa käsin, tyhjänä punnitun pohja-astian päälle asetettiin 250 µm seula, jonka pinnalle kaadettiin 50 grammaa kauran kuorta. Pinon päälle asetettiin kansi ja seulapakkaa ravisteltiin käsin yhden minuutin ajan mahdollisimman voimakkaasti. Seulapakka avattiin ja pohja-astia punnittiin akseptin kanssa. Vähentämällä tyhjänä punnitun pohja-astian massa, akseptin massaksi saatiin 8,5 grammaa ja saannoksi kaavan 1 perusteella

$$saanto - \% = \frac{8,5 \text{ g}}{50 \text{ g}} \cdot 100 \% = 17 \%$$

Käsinseulonta koettiin tarpeettoman työlääksi, koska tasainen seulapakan heiluttaminen oli vaikeaa. Siirryttiin käyttämään tärytinlaitetta (kuva 2), johon voitiin asettaa seulonta-aika ja tärinän taajuus. Taulukossa 1 on esitetty seulontakokeiden saannot eri seuloilla. Seulontakokeiden tulokset kokonaisuudessaan liitteessä 1.



KUVA 2. Seulontaa Retsch-tärytinlaitteella vetokaapissa

TAULUKKO 1. Seulontakokeiden saannot eri seuloilla

testi nro	seula (µm)	saanto (%)
1	250	30,9
2	500	63,7
3	1000	98,8
4	500+250	25,8
5	500+250	27,0
6	355	43,0
7	1000	98,7
8	710	91,0
9	355	43,0
10	355	40,0
11	355	37,5
12	355	45,0
13	355	46,0

Testissä 1 havaittiin kauran kuoren tukkivan 250 µm seulan pintaa (kuva 3). Testeissä 4 ja 5 tukkiutumista kokeiltiin vähentää käyttämällä 500 µm seulaa 250 µm seulan päällä. Seula tukkiutui edelleen ja saanto pieneni käytettäessä seulaparia, joten 250 µm seula päätettiin hylätä. Testien 3 ja 7 perusteella päätettiin hylätä 1000 µm seula. Lähes kaikki seulottava materiaali läpäisi seulan, joten vaikutusta kuorijakeen karkeuden pienenemiseen pidettiin vähäisenä. Testien 2, 6 ja 8 käytettäviksi seuloiksi valikoituivat 355 µm, 500 µm ja 710 µm. Testeissä 9-13 tutkittiin seulonnan saannon parantamista seulalla 355 µm muutamalla seulonta-aikaa ja –taajuutta.



KUVA 3. Kuorijakeen aiheuttamaa tukkeumaa 250 µm seulan pinnan nurjalla puolella

3.1.2 Suositeltavat seulontaolosuhteet

Kun käytettävät seulat oli valittu, selvitettiin niille suositeltavat seulontaolosuhteet. Kullakin seulalla seulottiin noin 100 grammaa kauran kuorta 6 kertaa vaihdellen tärinän taajuutta tai seulonta-aikaa, yksityiskohdat esitetty liitteessä 2. Jos seulonta-ajan kasvatus minuutilla kasvatti saantoa alle 2 %,

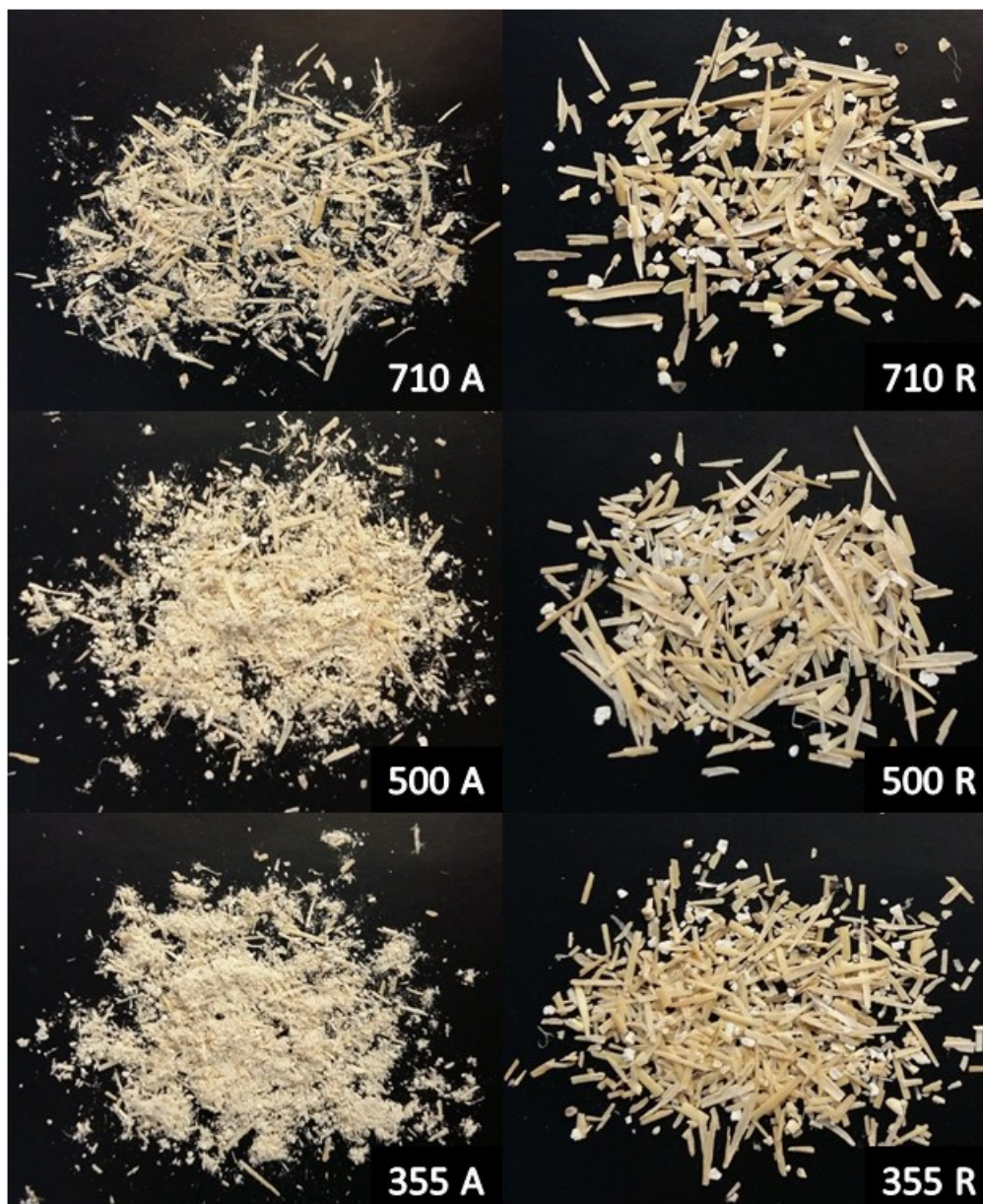
seulonta-ajan kasvattamista ei pidetty järkevänä. Taulukossa 2 on esitetty (liitteen 2 pohjalta) kullekin seulalle suositeltavat seulonta-ajat, tärinän taajuudet ja keskimääräiset saannot seulottaessa noin 100 grammaa kaurankuorta kerrallaan. Saannot ovat vain suuntaa antavia eivätkä välttämättä päde muissa tilanteissa johtuen kuorijakeen suuresti vaihtelevasta partikkelikokojakaumasta.

TAULUKKO 2. Seulojen suositeltavat seulonta-ajat ja taajuudet sekä suuntaa antavat saannot seulottaessa noin 100 grammaa kauran kuorta kerrallaan

seula (μm)	taajuus (Hz)	aika (min)	saanto (%)
710	80	4	90
500	80	5	62
355	90	5	42

3.1.3 Seulonnan akseptien ja rejektien visuaalinen arviointi

Seulonnan akseptit ja rejektit kuvassa 4. Aksepteista 710 μm seulan aksepti on selkeästi karkein. Pölymäisemmän kuorijakeen osuus akseptissa kasvaa seulakoon pienentyessä. Selakoon pienentyessä myös rejekti sisältää pienempiä kuorenpalasia. 500 μm ja 355 μm seulojen akseptien välillä voi olla vaikea havaita eroa, mutta voidaan havaita 355 μm seulan rejektin sisältävän pienempiä kuorenpalasia kuin 500 μm seulan rejekti.



KUVA 4. Seulonnan akseptit (A) ja rejektit (R) eri seuloilla

3.2 Seulotun kauran kuoren tutkiminen

3.2.1 Dispergointi huoneenlämpöiseen veteen

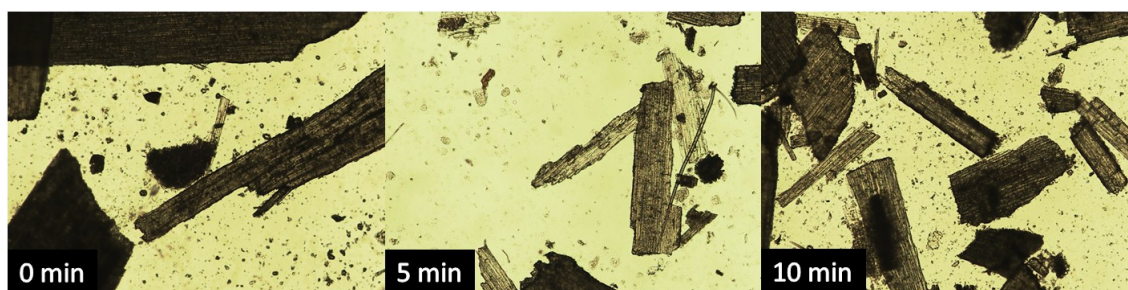
Ennen arkkien valmistamista tutkittiin, miten kuori sekoittuu veteen 2 g/l sakeudessa riippuen partikkelikoosta. Punnittiin 2 grammaa seulottua kuorta, joka lisättiin vähitellen automaattisekoittajalla sekoitettavaan yhteen litraan vettä ja annettiin sekoittua 10 minuutin ajan.

Kaikilla kolmella partikkelikoolla sekoittuminen onnistui eikä pinnalle jäänyt lopulta kuorta kellumaan. Vähiten karkein, 355 µm seulan läpäissyt kuorijae sekoittui veteen parhaiten ja nopeiten. Karkein, 710 µm seulan läpäissyt kuorijae sekoittui veteen hitaiten ja huonoiten: kun sekoitin sammutettiin, isommat kuoripartikkelit alkoivat lähes välittömästi vajoamaan astian pohjalle. 500 µm seulan läpäissyt kuorijae alkoi vajoamaan pohjalle huomattavasti hitaammin sekoittimen sammuttamisen jälkeen. 355 µm seulan läpäissyt kuorijae vajosi vielä entistä hitaammin.

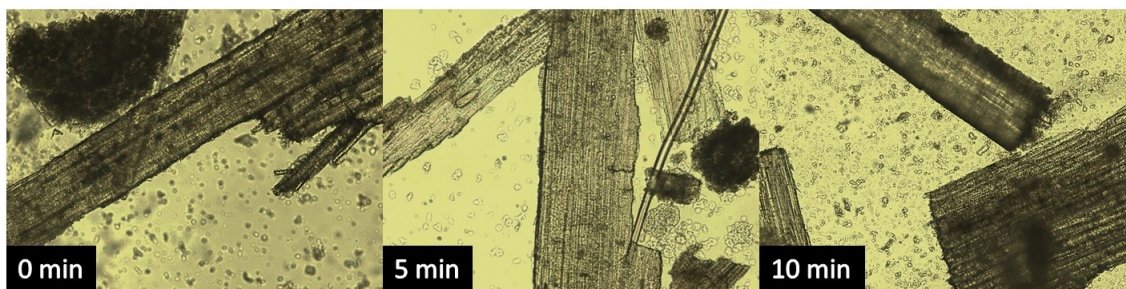
3.2.2 Kuorijakeen tutkiminen valomikroskoopilla

Valomikroskoopilla tutkittiin, havaitaanko visuaalista eroa huoneenlämpöiseen veteen sekoitetun kuorijakeen ja kuumaan veteen sekoitetun kuorijakeen välillä. Tutkimuksessa käytettiin 710 µm partikkelikokoa. Huoneenlämpöinen näyte (eli keittoaika 0 minuuttia) otettiin edeltävän osion dispergointi kokeesta.

Kuumennetut näytteet valmistettiin kahdella keittoajalla, 5 ja 10 minuuttia. Litra vettä kuumennettiin induktiotasolla kattilassa 80 asteen lämpötilaan. Punnittiin 2 grammaa kuorta, joka lisättiin veden joukkoon vähitellen koko ajan vispilällä sekoittaen. Kuumennusta ja sekoitusta jatkettiin 5 tai 10 minuuttia, jonka jälkeen seoksesta otettiin näyte. Näytteen kuorijae poimittiin seoksesta pinseteillä, asetettiin aluslasille ja päälle pipetoitiin vettä seoksesta. Kuorijaetta levitettiin preparaationeuloilla ennen peitinlasin asettamista näytteen päälle. Kukin näyte tutkittiin ja kuvattiin valomikroskoopilla nelinkertaisella (kuva 5) ja kymmenkertaisella suurennoksella (kuvat 6).



KUVA 5. Nelinkertainen suurennos kuorinäytteistä



KUVA 6. Kymmenkertainen suurennos kuorinäytteistä

Kuumentamattoman näytteen (0 min) kuorijae näytti vähemmän valoa läpäisevältä verrattuna kuumennettuihin näytteisiin. Kuumentamattoman näytteen kuoripalojen reunat näyttivät myös terävemmiltä ja tummemmilla verrattuna kuumennettuihin näytteisiin. 10 minuuttia kuumennetun näytteen kuorijakeen reunat näyttivät vähemmän terävemmiltä verrattuna 5 minuuttia kuumennettuun näytteeseen. Tämä voi viitata kuoresta liukenevan aineksia kuumentamisen seurauksena. Kuumennetuissa näytteissä havaittiin kirkkaita hienoainepartikkeleita, erottuvat erityisen hyvin 5 minuutin näytteessä kuvassa 6. 10 minuuttia kuumennetussa näytteessä kirkkaita partikkeleja oli enemmän kuin 5 minuuttia kuumennetussa. Myös kuumentamaton näyte sisälsi hienoainepartikkeleita, mutta ne olivat pienempiä, muodoltaan pyöreämpiä ja niitä oli vähemmän. Ero kuumentamattoman ja 10 minuuttia kuumennetun näytteen välillä on hyvin havaittavissa kymmenkertaisessa suurennoksessa.

On kuitenkin otettava huomioon havaintojen luotettavuus. Kuorijakeen koostumus on vaihteleva, esimerkiksi erot valonläpäisevyydessä voivat johtua vain kuoren paksuuden luonnollisesta vaihtelusta. Näytteitä otettiin vain kahdet kappaleet kuumennusaikaa kohden, joten niistä havaittuja asioita ei voida yleistää. Kuorijakeita tulisi tutkia järjestelmällisesti lisää useilla erilaisilla kuumennusajoilla havaintojen paikkansapitävyyden vahvistamiseksi tai kumoamiseksi.

3.3 Massan jauhatus

Työn massana käytettiin valkaistua mäntysellua. Yhteen jauhatuserään tarvittiin 360 grammaa kuivaa massaa. Huomioiden massan sisältämä kosteus, massaa tarvittiin 390 grammaa. Tämä massamäärä revittiin käsin selluarkista siten, että arkin reunoja ei otettu mukaan. Pieneksi revitty massa sekoitettiin 5 litraan vettä, jossa sen annettiin liota seuraavaan päivään.

Valley-Hollander jauhimeen lisättiin 18 litraa vettä. Jauhin käynnistettiin ilman painoja, jolloin jauhimen teräväli on suurempi. Terävälän ollessa suurempi kuituflokkit hajoavat yksittäisiksi kuiduiksi eli pulpperoituvat. Painon lisääminen vivun (kuva 7) päähän pienentää teräväliä, jolloin kuidut jauhattuvat.



KUVA 7. Terävälän pienentämiseen käytetty paino vivussa

Edellisenä päivänä likoamaan laitettu massa ja sen liotusvesi lisättiin käynnissä olevaan jauhimeen hiljalleen. Kun kaikki massa ja vesi oli lisätty, pulpperoinnin annettiin jatkua 20 minuuttia. Jauhatusta käynnistettiin lisäämällä paino ja massan annettiin jauhattua 60 minuuttia, jonka jälkeen jauhin sammutettiin ja massa siirrettiin astiaan. Näin saatiin noin 23-24 litraa massasulppua sakeudeltaan 15,7 g/l

3.4 Arkkien valmistus

3.4.1 Arkkimassojen laimennuslaskut

Arkit valmistettiin arkkimassasta sakeudeltaan 2 g/l. Referenssiarkkien massasulppu laimennettiin suoraa jauhetusta massasulpusta sakeudeltaan 15,7 g/l. Laimennus perustuu konsentraation laskukaavaan 2

$$V_1 = \frac{c_2 V_2}{c_1}, \quad (2)$$

missä c_1 on laimennettavan liuoksen pitoisuus, V_1 laimennettavan liuoksen tilavuus, c_2 valmistettavan liuoksen pitoisuus ja V_2 valmistettavan liuoksen tilavuus.

Laimennuslaskut, kun haluttiin valmistaa 25 litraa 2 g/l arkkimassaa referenssiarkkeja varten jauhetusta massasta sakeudelta 15,7 g/l. Kaavan 2 perusteella

$$V_1 = \frac{2 \frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 25 \text{ l}}{15,7 \frac{\text{g}}{\text{l}}} = 3,2 \text{ l}$$

Jauhettua massaa tarvittiin siis 3,2 litraa. Laimennusveden määrä saatiin vähentämällä valmistettavan massan tilavuudesta jauhetun massan tilavuus:

$$25 \text{ l} - 3,2 \text{ l} = 21,8 \text{ l}$$

Kauran kuorta sisältävät arkkimassat valmistettiin myös sakeuteen 2 g/l. Kuoren sisältämää kosteutta ei huomioitu. Kuorta käytettiin korvaamaan tietty prosentuaalinen osa sellukuidusta. Aluksi valmistettiin testiarkkeja kolmella eri kaurankuoripitoisuudella; 15 %, 20 % ja 25 %. Testiarkkimassat valmistettiin pienemmässä mittakaavassa, 10 litran erissä. Testiarkkien valmistamisen jälkeen valittiin varsinaisissa koearkeissa käytettävä kuoripitoisuus.

Laimennuslaskut, kun haluttiin valmistaa 10 litraa arkkimassaa sakeudeltaan 2 g/l, joka sisälsi 15 % kauran kuorta

$$10 \text{ l} \cdot 0,15 = 1,5 \text{ l}$$

10 litran erään tarvittiin siis 1,5 litraa kuori-vesiseosta sakeudeltaan 2 g/l.

$$1,5 \text{ l} \cdot 2 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 3 \text{ g}$$

1,5 litraan vettä tuli siis sekoittaa 3 grammaa kuorta tarvittavan kuori-vesiseoksen valmistamiseksi. Seuraavaksi laskettiin sellusulppun määrä

$$10 \text{ l} - 1,5 \text{ l} = 8,5 \text{ l}$$

Täytyi siis valmistaa 8,5 litraa sellusulppua sakeudeltaan 2 g/l jauhetusta massasta sakeudeltaan 15,7 g/l. Kaavan 2 perusteella

$$V_1 = \frac{2 \frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 8,5 \text{ l}}{15,7 \frac{\text{g}}{\text{l}}} = 1,08 \text{ l}$$

Jauhettua massaa tarvittiin siis 1,08 litraa. Tarvittava laimennusveden määrä saatiin vähentämällä erän tilavuudesta kuori-vesiseoksen ja jauhetun massan tilavuus

$$10 \text{ l} - 1,5 \text{ l} - 1,08 \text{ l} = 7,42 \text{ l}$$

20 % ja 25 % kauran kuorta sisältävien arkkimassojen laimennuslaskut laskettiin samalla periaatteella. Komponenttien osuudet 10 litran arkkimassa eriin tiivistettynä taulukossa 3. Samaan taulukkoon on myös laskettu komponenttien osuudet 25 litran arkkimassa eriin.

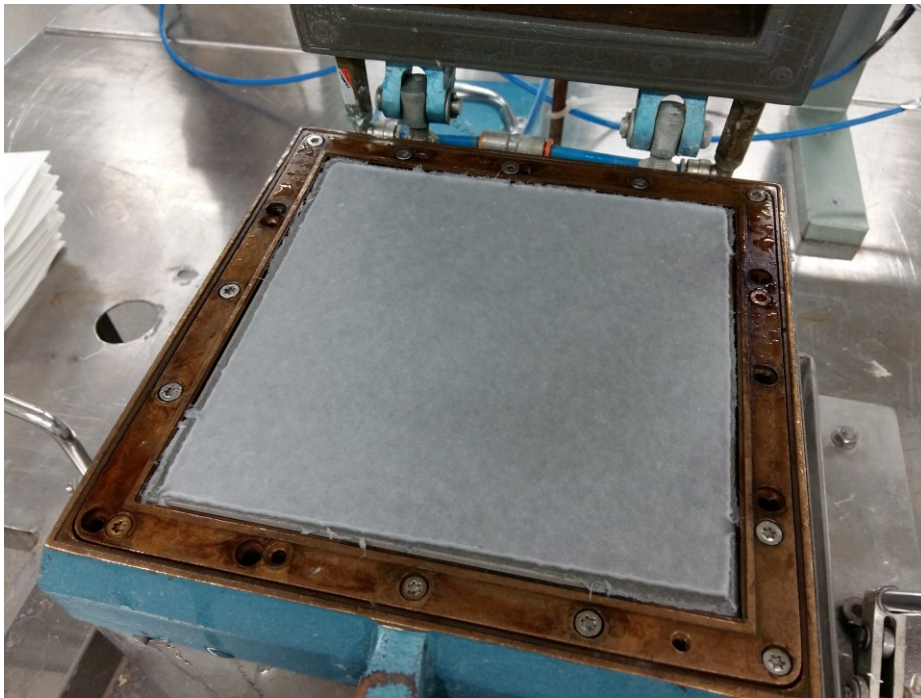
TAULUKKO 3. Kauran kuorta sisältävien arkkimassojen komponenttien määrät eri kuoripitoisuuksilla 10 ja 25 litran erissä

10 litran erän osuudet				
kuoren osuus %	kuori (g)	vesi (l)	massa (l)	lisävesi (l)
15	3	1,5	1,08	7,42
20	4	2	1,02	6,98
25	5	2,5	0,96	6,54
25 litran erän osuudet				
kuoren osuus %	kuori (g)	vesi (l)	massa (l)	lisävesi (l)
15	7,5	3,75	2,7	18,55
20	10	5	2,55	17,45
25	12,5	6,25	2,4	16,35

3.4.2 Referenssiarkkien ja testiarkkien valmistus

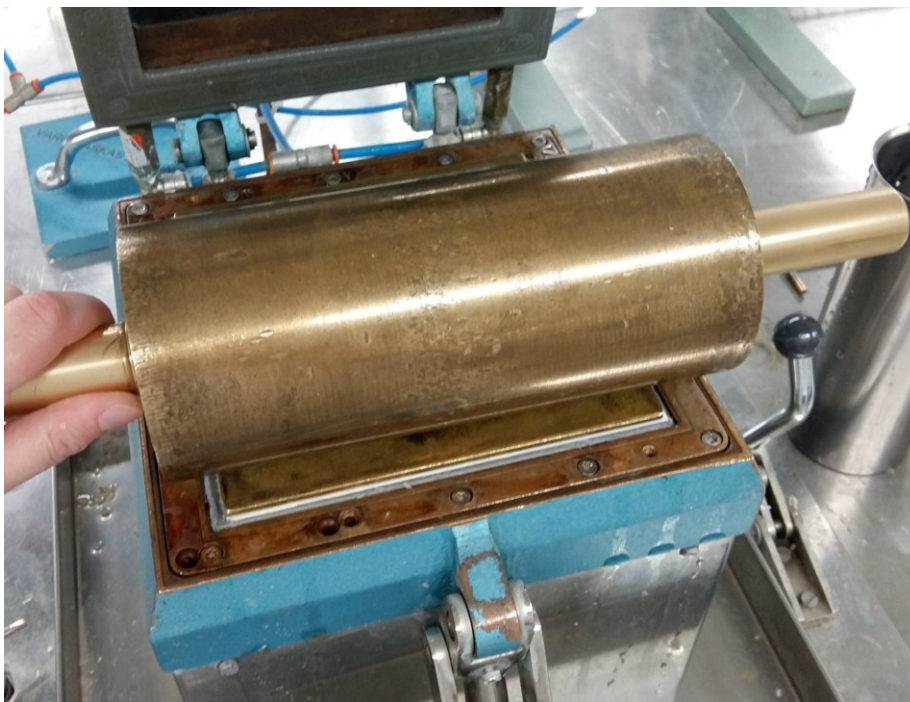
Referenssiarkkeja valmistettiin 20 kappaletta ja testiarkkeja 8 kappaletta kuoripitoisuutta kohti eli yhteensä 24 testiarkkia. Referenssiarkkien arkkimassa valmistettiin sekoittamalla 3,2 litraa jauhettua massaa 21,8 litraan vettä. Testiarkkeihin käytettiin 710 µm seulan läpäissyttä kauran kuorta. Testiarkkien kuori-vesiseosta ei kuumennettu. Kuori, vesi, jauhettu massa ja lisävesi sekoitettiin suhteissa, mitä annettiin taulukossa 3. Tarkempi kuvaus kuorta sisältävien arkkimassojen valmistamisesta 25 litran erissä osiossa xxxxxxxx.

Arkit valmistettiin Lorentzen & Wettre laboratoriomittakaavan käsiarkkikoneella. Arkin valmistus aloitettiin sulkemalla arkkimuotin sekoitustorni ja mittaamalla 0,8 litraa sulppua. Arkkimuotin vesihana avattiin ja vedenpinnan annettiin nousta sekoitustornissa noin 15 cm päähän sekoitustornin yläpäästä. Vesihana suljettiin ja mitattu massasulppu kaadettiin sekoitustorniin ja käynnistettiin sekoitus. Tornin sisältö sekoittui paineilmalla 10 sekuntia, jonka jälkeen avattiin vedenpoistiventtiili ja suotautuminen alkoi. Kun alkoi kuulua alipaineesta johtuvaa pihinää, ylimääräinen vesi oli poistunut sekoitustornista ja suotautuminen oli valmis. Vedenpoistiventtiili suljettiin ja sekoitustorni avattiin (kuva 8).

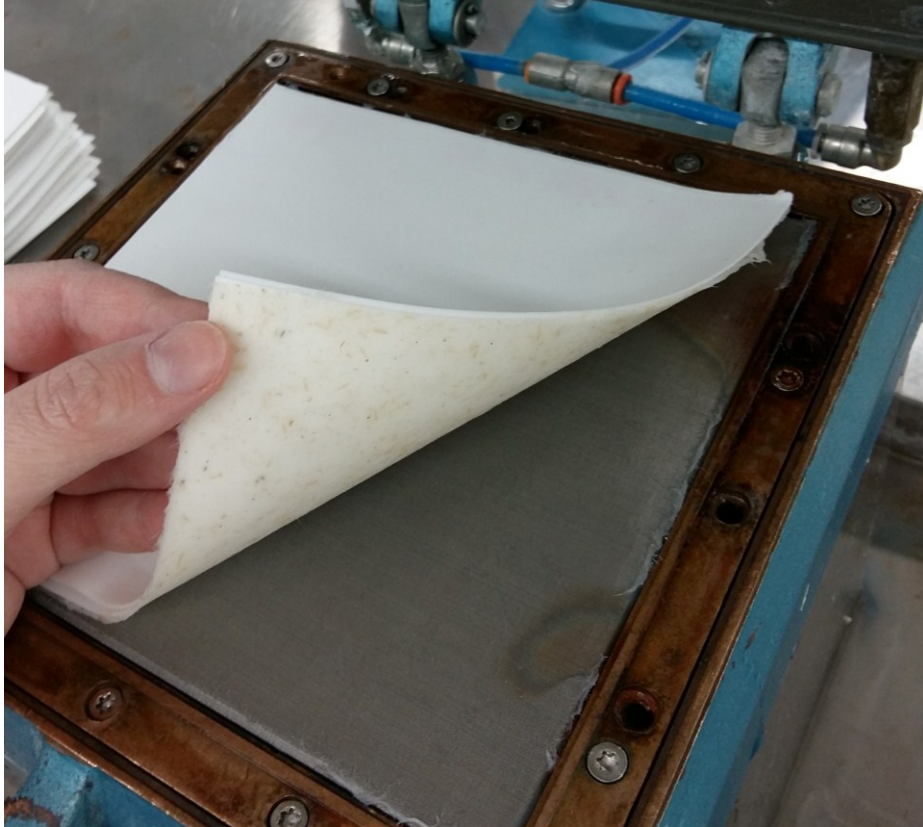


KUVA 8. Suotautunut arkki käsiarkkikoneen viiran pinnalla

Suotautuneen arkin päälle asetettiin yksi käyttämätön imukartonki sileä puoli ylöspäin ja sen päälle lisättiin yksi käytetty imukartonki. Imukartonkien päälle lisättiin metallinen kaulintalevy. Levyn päältä kaulittiin edestakaisin viidesti (kuva 9), jonka jälkeen levy poistettiin. Imukartongit irrotettiin varoen viiran päältä siten, että viiran päälle muodostunut arkki irtosi niiden mukana (kuva 10).

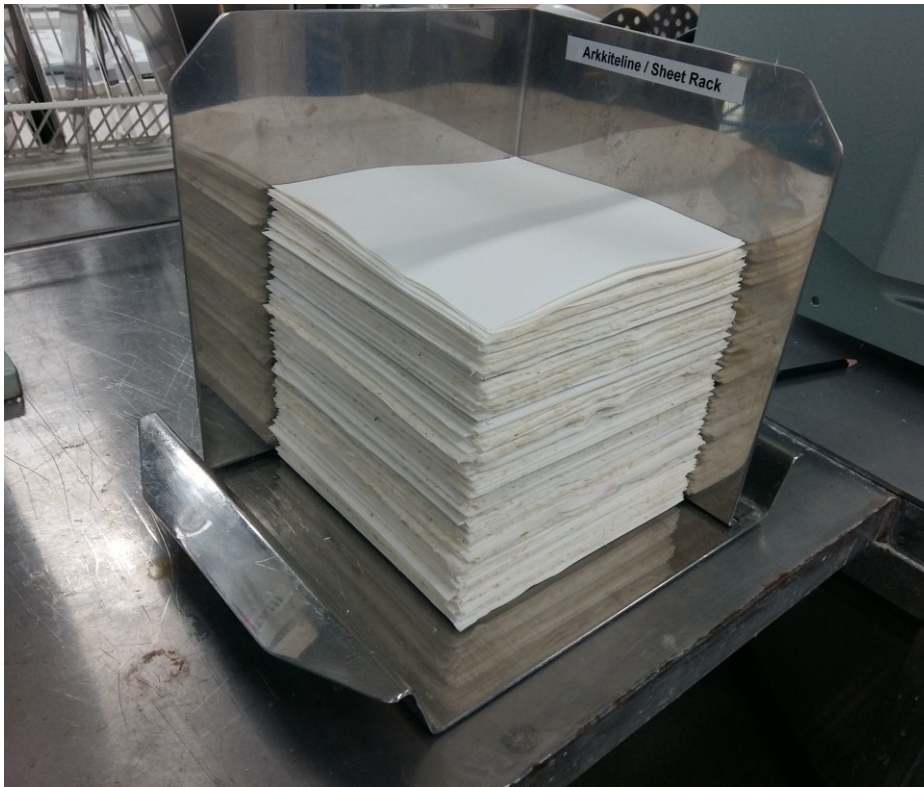


KUVA 9. Kaulinta



KUVA 10. Arkin irrotus viiralta

Ensimmäinen arkki asetettiin imukartonkeineen arkkitelineeseen (kuva 11) metallilevyn ja kahden käytetyn imukartongin päälle siten, että arkki on ylimpänä ja siihen kirjattiin koepisteeseen liittyvät tiedot. Arkin päälle lisättiin yksi käyttämätön imukartonki sileä puoli ylöspäin ja kaksi käytettyä imukarttonkia ennen seuraavaa arkkiä. Viidennen arkin päälle laitettiin yksi käyttämätön ja kaksi käytettyä imukarttonkia, jonka jälkeen pinoaminen aloitettiin taas metallilevystä.



KUVA 11. Arkkilaineeseen pinottuja arkkeja

Valmiit arkit puristettiin pinossa Lorentzen & Wettre arkkipuristimessa. Puristuksen seurauksena ylimääräistä vettä puristuu valmistetuista arkeista ja vesi imeytyy arkkien välissä oleviin imukartonkeihin. Puristuksen jälkeen poistettiin ylimääräiset imukartongit, jättäen yksittäisen arkin molemmille puolille yhden imukartongin suojaksi. Arkkeja kuivattiin 4 tuntia imukartonkeineen Oy E.Sarlin AB arkinkuivatuslaitteella. Kuivatuksen jälkeen imukartongit irroitettiin ja arkit siirrettiin ilmastoitumaan.

3.4.3 Kauran kuorta sisältävien arkkien valmistus

Lähes kaikki testiarkit suotautuivat 5-6 sekunnissa, paitsi viimeinen 25 % kuorta sisältävä arkki. Koska testiarkeissa käytettiin vain 710 µm seulan akseptia, ei voitu tietää voisiko 500 µm tai 355 µm seulojen aksepteilla ilmentyä hitaampaa suotautumista 20 % tai 25 % kuoripitoisuuksilla. Tämän vuoksi koearkit päätettiin valmistaa 15 % kuoripitoisuudella.

Arkkimassat, joiden sisältämää kuorta ei kuumennettu, valmistettiin seuraavasti; punnittiin 7,5 grammaa seulottua kauran kuorta. Mitattiin 3,75 litraa vettä 30 litran saaviin ja kytkettiin automaattisekoitin päälle. Punnittu kuori lisättiin joukkoon vähitellen. Kun kaikki kuori oli lisätty, seos annettiin sekoittua 10 minuutin ajan (kuva 12). Saaviin lisättiin 18,55 litraa vettä ja 2,7 litraa jauhettua massaa. Sulpun annettiin sekoittua 30 minuuttia ennen arkkien valmistamisen aloittamista. Arkit valmistettiin käsiarkkikoneella samoin tavoin kuin referenssi- ja testiarkit, 40 kappaletta koepistettä kohden eli yhteensä 120 kappaletta.



KUVA 12. Kuoren sekoitus huoneenlämpöiseen veteen

Arkkimassat, joiden sisältämä kuori kuumennettiin, valmistettiin seuraavasti; punnittiin 7,5 grammaa seulottua kaurankuorta. Mitattiin 3,75 litraa vettä kattilaan ja kuumennettiin 80 asteiseksi induktiotasolla. Lämpötilan saavuttamisen jälkeen asetettiin induktiotason lämpötila 95 asteeseen, jolloin veden lämpötila pysyy noin 70-80 asteen välillä sekoituksen ajan. Kytkettiin automaattisekoitin päälle ja lisättiin punnittu kaurankuori vähitellen. Kun kaikki kuori oli lisätty, seos jätettiin sekoittumaan (kuva 13). Sillä välin mitattiin 30 litran saaviin 18,55 litraa vettä ja 2,7 litraa jauhettua massaa. Kun kuori-vesiseos oli

sekoittunut 10 minuuttia, sekoitin ja induktiotaso sammutettiin. 30 litran saavissa olevan sulpun automaattisekoitin käynnistettiin. Kattilassa olevaa kuori-vesiseosta sekoitettiin vielä kauhalla, ennen kuin se kaadettiin nopeasti 30 litran saavissa olevan sulpun joukkoon. Jos kattilan pohjalle jäi kauran kuorta (kuva 14), se kaavittiin ja lisättiin sulppuun. Kun kuori-vesi oli lisätty, sulpun annettiin sekoittua 30 minuuttia ennen arkkien valmistamisen aloittamista. Arkit valmistettiin käsiarkkikoneella samoin tavoin kuin referenssi- ja testiarkit, 40 kappaletta koepistettä kohden eli yhteensä 120 kappaletta.



KUVA 13. Kuoren sekoitus kuumaan veteen

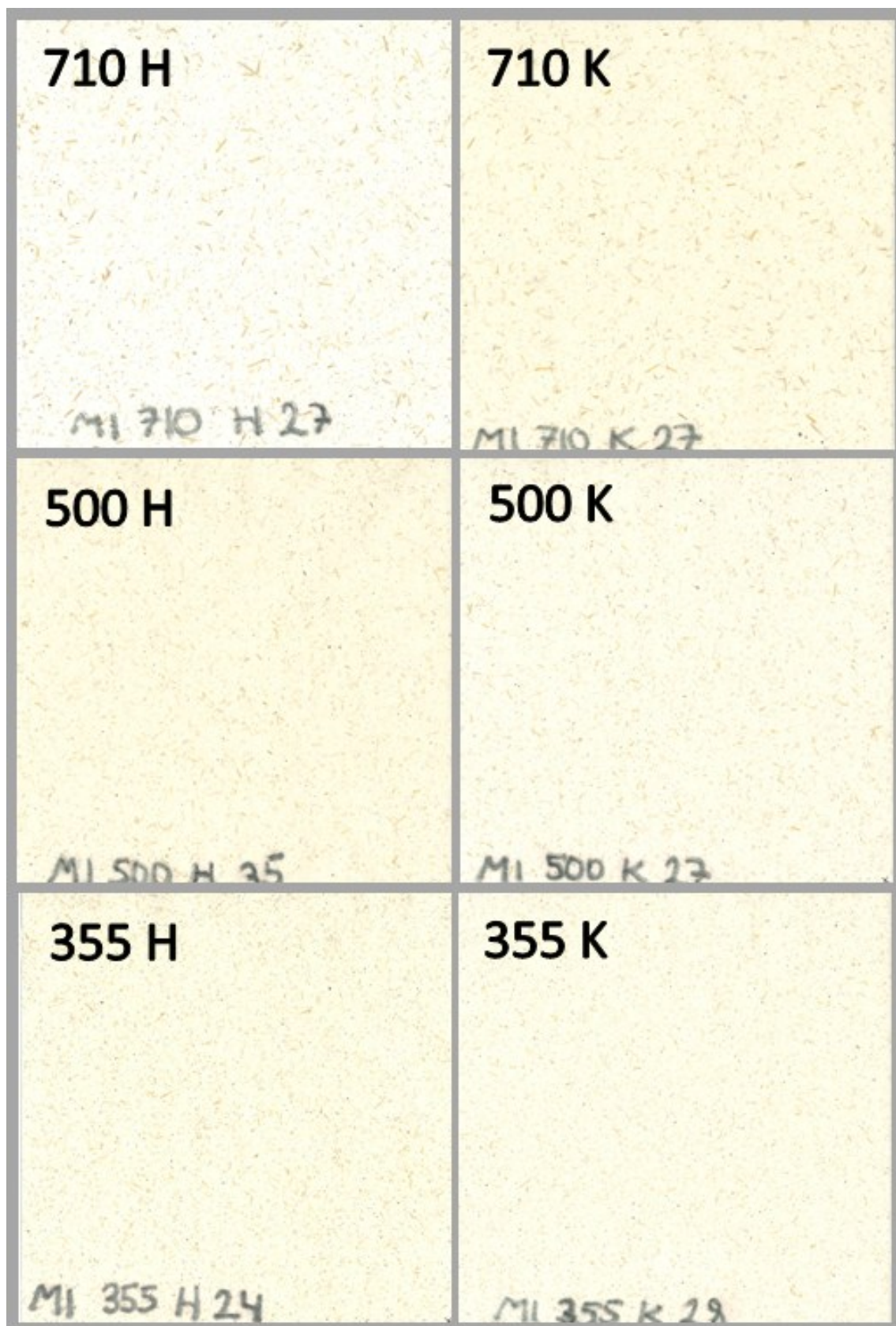


KUVA 14. Pohjalle vajonnutta kuorijaetta

Kaikkien koepisteiden arkkien suotautumisaika oli noin 5-6 sekuntia, joten tässä tapauksessa kuorijakeen karkeuden pieneneminen tai kuumennus ei vaikuttanut suotautumiseen. Koivusellulla tai suuremmilla kuorijakeen osuuksilla tilanne voi muuttua eri karkeuksilla tai kuumennuksen seurauksena, joten asiaa on tutkittava lisää.

3.5 Valmiiden arkkien arviointi

Eri koepisteiden arkinäytteet kuvassa 15. Koepisteen 710H arkki erottuu muista koepisteistä vaaleudellaan, kaikkien muiden koepisteiden arkit ovat kellertävämpiä. 710K arkki on kellertävämpi kuin 710H arkki, johtuen todennäköisesti kuorijakeen sekoittamisesta kuumaan veteen. Isommat kuoren palaset erottuvat selkeästi 710H ja 710K arkeista. Seulakoon pienentyessä kuoripartikkelit ovat vaikeammin havaittavissa. Kuumaan veteen sekoitettua kuorta sisältävät arkit tuntuivat tiiviimmiltä ja niistä vaikutti irtoavan vähemmän kuorenpalasia käsiteltäessä verrattuna arkkeihin, joiden kuori oli sekoitettu huoneenlämpöiseen veteen.



KUVA 15. Eri koepisteiden arkit, 700/500/355 viittaa minkä seulan akseptia arkissa on käytetty ja H/K onko kuori sekoitettu huoneenlämpöiseen veteen (H) vai kuumaan veteen (K).

4 MITTAUKSET PAPERILABORATORIOSSA

4.1 Mittaukset

Ennen mittauksia tutkittavat arkit ilmastoitiin standardin ISO 187 mukaan paperilaboratoriossa. Taulukossa 4 on esitetty tutkittavat ominaisuudet ja niihin liittyvät standardit, käytetyt laitteet ja mittausten lukumäärä. Ilmanläpäisy määritettiin Bendtsen-ilmanläpäisynä. Karheutta arkeista ei voitu määrittää, koska kuorta sisältävien arkkien tulokset olivat mittalaitteen mitta-asteikon ulkopuolella. Standardeista poikettiin mittausten lukumäärissä ja neliömassan määrittämisessä. Neliömassa määrittämisessä näytteiksi leikattiin 15 cm x 15 cm neliöitä 10 cm x 10 cm neliöiden sijaan. Tämän seurauksena punnitut arkit jaettiin pinta-alalla 15 cm x 15 cm eli 0,0225 m². Neliömassan määrittämisessä tavoiteltiin noin 20 rinnakkaista mittausta keskiarvon laskemiseksi, mutta tyydyttiin noin 10 rinnakkaiseen arvoon.

TAULUKKO 4. Mittausten standardit, käytetyt laitteet ja rinnakkaisten lukumäärä

Ominaisuus	Standardi	Laitte	Mittausten lkm
Neliömassa	ISO 536	-	-
Paksuus	ISO 534	Lorentzen & Wettre	20
Tiheys ja bulkki	ISO 534	(lasketaan kaavalla)	-
Ilmanläpäisy	ISO 8791-4	Messmer Buchel	10 tai 20/YP ja AP
Taivutusvastus	ISO 2393-1:2010	Lorentzen & Wettre	10/YP ja AP
Vetolujuus	ISO 1924	Lorentzen & Wettre	10
Repäisyjujuus	ISO 1974:1990	Lorentzen & Wettre	7
Puhkaisulujuus	ISO 2758	Lorentzen & Wettre	10

4.2 Arkkien valinta mittauksiin

Kaikki kokonaiset arkit punnittiin 0,01 gramman tarkkuudella (taulukko 5). Kauran kuoren epätasainen jakautuminen aiheutti vaihtelua eri arkkien välillä. Mittauksiin valittiin arkkeja, jotka olivat kokonaisina massaltaan 1,69-1,81 grammaa. Referenssiarkkien kohdalla tästä luovuttiin, sillä ne olivat massaltaan korkeampia.

TAULUKKO 5. Kokonaisten arkkien massojen keskiarvot koepisteittäin

Koepiste	Keskiarvo (g)	Hajonta (g)	Variaatiokerroin (%)
710H	1,81	0,05	2,6
500H	1,82	0,09	4,7
355H	1,74	0,06	3,6
710K	1,79	0,09	5,1
500K	1,73	0,07	4,0
355K	1,77	0,11	6,3
R	1,95	0,05	2,5

Neliömassan määrittämisen jälkeen muissa mittauksissa käytettävät arkit rajattiin neliömassan perusteella kuorta sisältävistä arkeista seuraavasti: huoneenlämpöiseen (H) veteen sekoitettua kuorta sisältävät arkit 62,5-65,5 g/m² ja kuumaan (K) veteen sekoitettua kuorta sisältävät arkit 62-66 g/m². Koepisteillä 710K ja 355K jouduttiin neliömassarajauksen jälkeen valitsemaan lisää arkkeja. Valitut lisäarkit painoivat kokonaisina yli 1,81 grammaa, mutta kun arkit leikattiin 15 cm x 15 cm kokoisiksi neliömassan määrittystä varten, arkit olivat neliömassaltaan väliltä 62-66 g/m². Referenssiarkkeja ei rajattu neliömassan perusteella. Tarkemmat tiedot mittauksiin valituista arkeista taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Mittauksiin valittujen arkkien lukumäärä ja tiedot niiden neliömassoista koepisteittäin

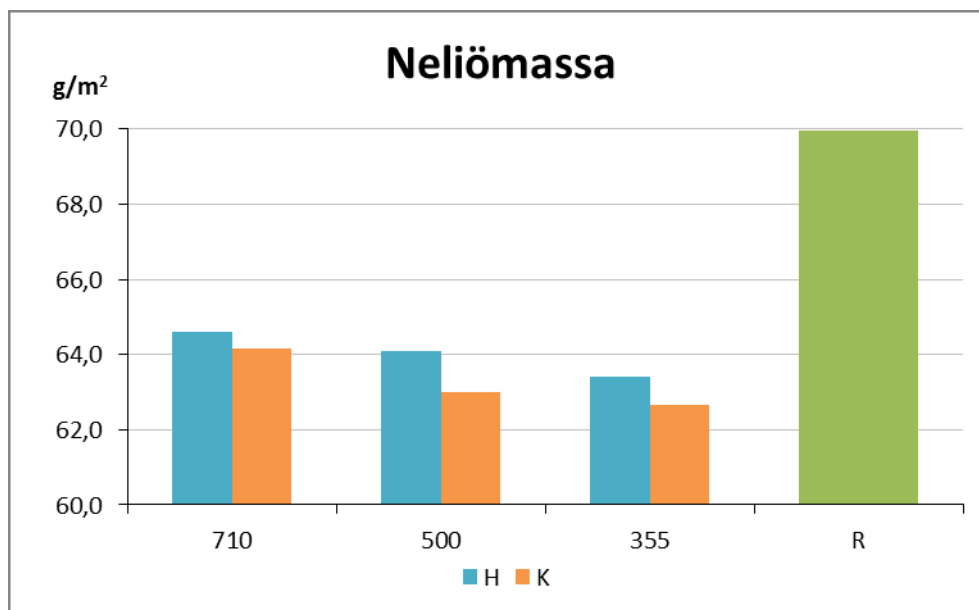
Koepiste	Tavoite (g/m ²)	lkm	Keskiarvo (g/m ²)	Hajonta (g/m ²)	Variaatiokerroin (%)
710H	64 ± 1,5	21	64,4	0,7	1,1
500H	64 ± 1,5	14	64,2	0,9	1,3
355H	64 ± 1,5	23	63,9	0,8	1,3
710K	64 ± 2	15	64,5	0,9	1,5
500K	64 ± 2	19	63,8	1,0	1,5
355K	64 ± 2	12	63,9	1,2	1,9
R	-	20	70,0	1,9	2,7

5 TULOKSET

5.1 Neliömassa

Paperin neliömassa tarkoittaa metri kertaa metri kokoisen arkin massaa, yksiköltään g/m^2 . Neliömassa on tärkeä ominaisuus kaikissa papereissa, koska se vaikuttaa suurimpaan osaan paperin ominaisuuksista. Tästä johtuen on otettava huomioon neliömassan vaikutus vertaillessa eri neliömassaa olevien paperien ominaisuuksia. Esimerkiksi lujuusominaisuuksia vertaillessa käytetään lujuusominaisuuksien indeksejä, jotka ottavat huomioon eri tuotteiden neliömassan vaikutuksen kyseiseen ominaisuuteen. Yleisesti paperin neliömassa yritetään pitää niin pienenä kuin käyttökohteen kannalta on mahdollista, jotta paperin raaka-ainekustannukset ovat mahdollisen matalat. Neliömassan pienentämistä rajoittavat esimerkiksi lujuusominaisuuksien heikkeneminen ja opasiteetin aleneminen eli paperin läpinäkyvyyden lisääntyminen. (KnowPap 2020c).

Neliömassat esitettynä kuviossa 1, tarkemmat tiedot liitteessä 3. Kuorta sisältävien arkkien neliömassan määrittämisessä käytettiin arkkeja, jotka olivat massaltaan kokonaisina 1,69-1,81 grammaa. Kuorijakeen partikkelikoon pienentyessä neliömassan pienenee, tämä johtunee pölymäisen kuorijakeen osuuden kasvusta. Pölymäinen kuorijae on niin hienoa, että osa siitä huuhtoutuu viiran lävitse arkinvalmistuksen vedenpoisto vaiheessa. Kuumennettua kuorijaetta sisältävien arkkien neliömassa on hieman pienempi kuin kuumentamatonta kuorijaetta sisältävien arkkien neliömassa. Kuumentaminen liuottanee kuorista hienoainetta, joka poistuu veden mukana alentaen neliömassaa. Referenssiarkit olivat neliömassaltaan huomattavasti suurempia, vaikka laimennoslaskujen perusteella niiden olisi pitänyt olla samaa luokkaa kuorta sisältävien arkkien kanssa. Arkkimassan laimennuksessa lienee tapahtunut laimennusvirhe. Ero neliömassoissa otetaan huomioon muissa tuloksissa.



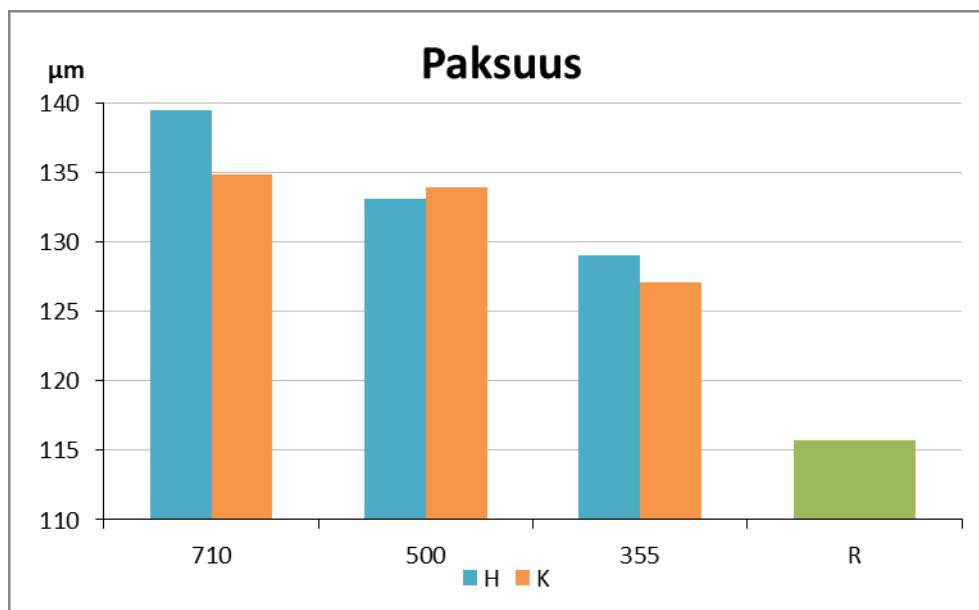
KUVIO 1. Paperin neliömassa kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

5.2 Paksuus, tiheys ja bulkki

Paksuus tarkoittaa paperin ylä- ja alapuolen välistä etäisyyttä, yksikkönä μm ja se on paperin perusominaisuus neliömassan ohella. Paperin paksuus mitataan pinopaksuutena ja pinopaksuus jaetaan pinossa olevien arkkien määrällä, saadaan yksittäisen arkin paksuus. Paperin kiintotiheys tarkoittaa kuinka paljon metrin korkuinen pino yhden neliömetrin kokoisia arkkeja painaa. Tiheys on yksiköltään kg/m^3 ja se lasketaan neliömassan ja paksuuden avulla. Bulkki on tiheyden käänteisarvo, yleisesti yksikössä cm^3/g eli kun tiheys kasvaa, bulkki pienenee. Saman neliömassan tuotteella bulkki kasvaa paksuuden kasvaessa. (KnowPap 2020d).

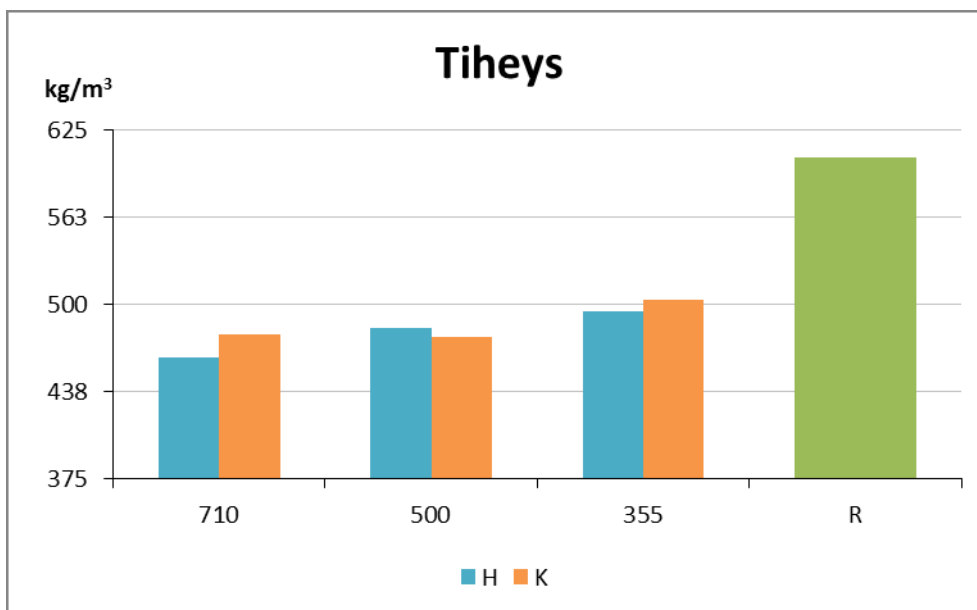
Arkit paksuus määritettiin pinopaksuutena, tulokset esitettynä kuviossa 2, tarkemmat tiedot liitteissä 4. Kuorien epätasaisesta jakautumisesta johtuen paksuus vaihtelee suuresti arkin eri kohdissa. Kauran kuorta sisältävät arkit ovat paksumpia verrattuna referenssiin. Karkeammalla kuorijakeella paksuus on suurempi johtuen suuremmista, paksummista kuoren palasista. Kuoren kuumentaminen pienensi paksuutta koepisteessä 710K hieman. Muihin

karkeuksiin kuumentaminen ei juurikaan vaikuttanut. Kuumennetuilla kuorilla paksuuden variaatiokerroin pienenee karkeuden pienentyessä

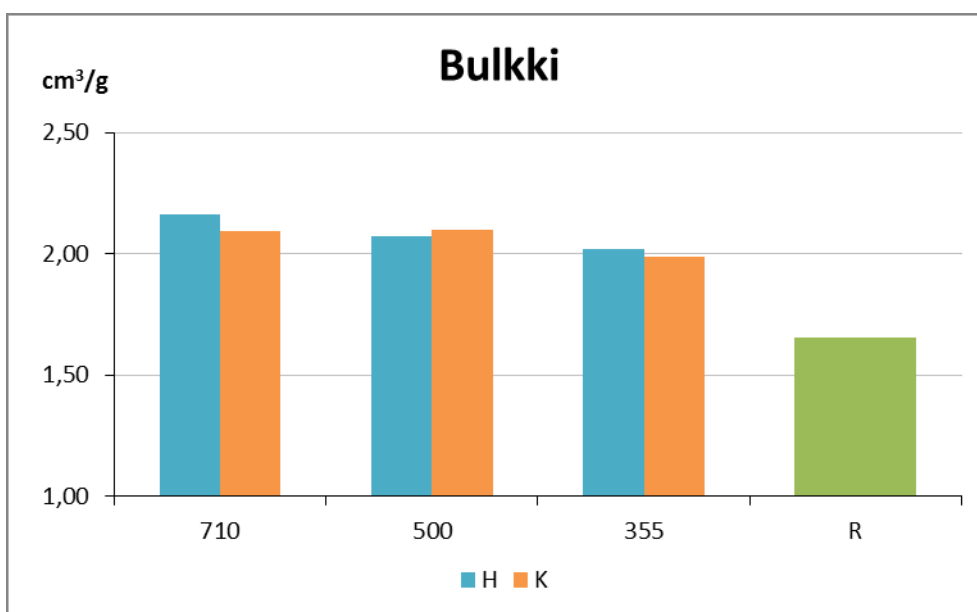


KUVIO 2. Paperin paksuus kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

Tiheys ja bulkki esitettyinä kuvioissa 3 ja 4, tarkemmat tiedot liitteessä 5. Kuorta sisältävät arkit olivat vähemmän tiheitä ja enemmän bulkkisia verrattuna referenssiin. Kuorijakeen karkeuden pienentyessä arkin tiheys kasvaa ja bulkkisuus pienenee. Kuumentaminen lisäsi hieman koepiste 710K tiheyttä johtuen paksuuden pienemisestä. Kuorijakeen karkeuden pienentyessä tiheyden ja bulkin variaatiokerroin pienenee.



KUVIO 3. Paperin tiheys kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

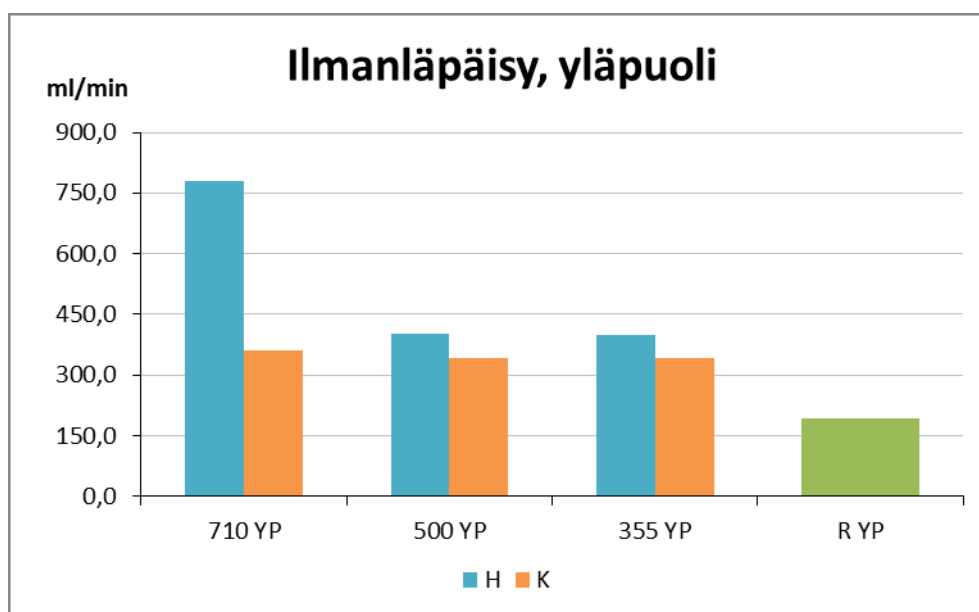


KUVIO 4. Paperin bulkki kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

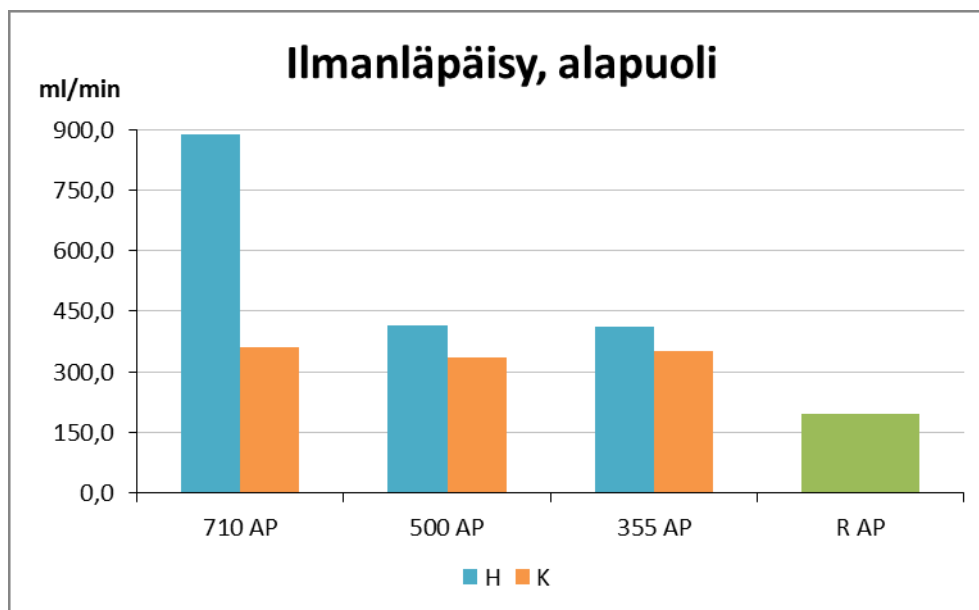
5.3 Ilmanläpäisy

Ilmanläpäisykyky, yksiköltään ml/min, perustuu paperin huokoisuuteen. Huokokset ovat ilmatilaa paperin kuitujen välissä. Mitä enemmän paperi sisältää huokosia ja mitä suurempia ne ovat, sitä enemmän ilmaa kykenee virtaamaan sen lävitse. Ilmanläpäisy pienenee paperin tiiviiden kasvaessa eli huokoisuuden vähentyessä. (KnowPap 2020e).

Ilmanläpäisy-mittauksien tulokset esitettynä kuvioissa 5 ja 6, tarkemmat tiedot liitteessä 6. Kaikista koepisteistä otettiin 20 rinnakkaista määrittystä, mutta osa tuloksista hylättiin. Hylkäyksen peruste oli merkittävästi muista ilmanläpäisyarvoista eroava tulos, joka tulkittiin virheelliseksi. Hyväksytyjen koepisteiden lukumäärä liitteessä 6 muiden tietojen ohella.



KUVIO 5. Paperin yläpuolen ilmanläpäisy kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).



KUVIO 6. Paperin alapuolen ilmanläpäisy kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

Kuorta sisältävät arkit olivat huomattavasti ilmanläpäisevämpiä kuin referenssiarkit. Ero selittyy osittain referenssiarkkien korkeammalla neliömassalla ja tiheydellä. Pääasiassa ero johtuu kuorta sisältävien arkkien suuremmasta huokososuudesta. Kuoret eivät sitoudu tiiviisti ja kuitujen väliin jää tilaa, jotka kautta ilma pääsee virtaamaan. Erot arkkien ylä- ja alapuolien välillä johtuvat huokosten erilaisesta jakautumisesta.

Eryyksen korkea ilmanläpäisy on koepisteellä 710H ja se selittyy kuorijakeen suurella karkeudella, joka lisää ilmatilaa paperin kuitujen välillä. Ilmanläpäisyssä ei ole suurta eroa koepisteiden 500H ja 355H välillä. Lisäksi koepisteen 710H variaatiokerroin on suuri, yläpuolella 32,4 % ja alapuolella 34,6 %. Variaatiokerroin on helposti selitettävissä kuorijakeen epätasaisesta jakautumisesta eri arkkien välillä. Kuorijakeen karkeuden pienentyessä variaatiokerroin pienenee huomattavasti.

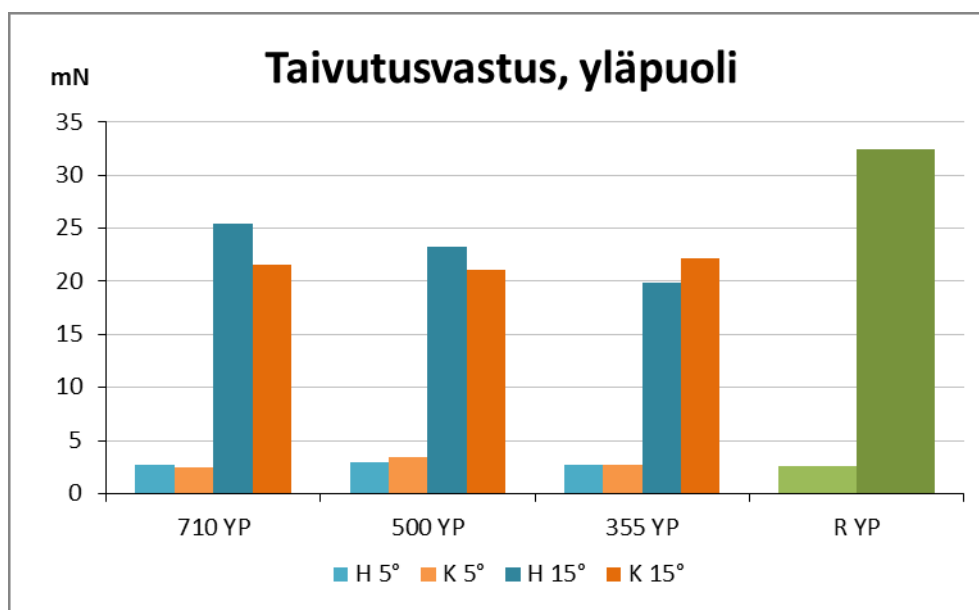
Kuorijakeen kuumentaminen pienensi ilmanläpäisyä kaikilla karkeuksilla. Eryyksen paljon ilmanläpäisy väheni koepisteessä 710K. Myös variaatiokerroin pieneni huomattavasti koepisteessä 710K verrattuna koepisteeseen 710H, yläpuolella variaatiokerroin oli 21,1 % ja alapuolella 17,1 %. Kuorijakeen kuumennuksen seurauksena huokoisuus vähenee. Kuorista kuumennuksen

seurauksena liuennut hienoaines tukkinee huokosia tehden paperista tiiviimmän. Toinen vaihtoehto on sitoutuneisuuden kasvaminen kuumennuksen seurauksena.

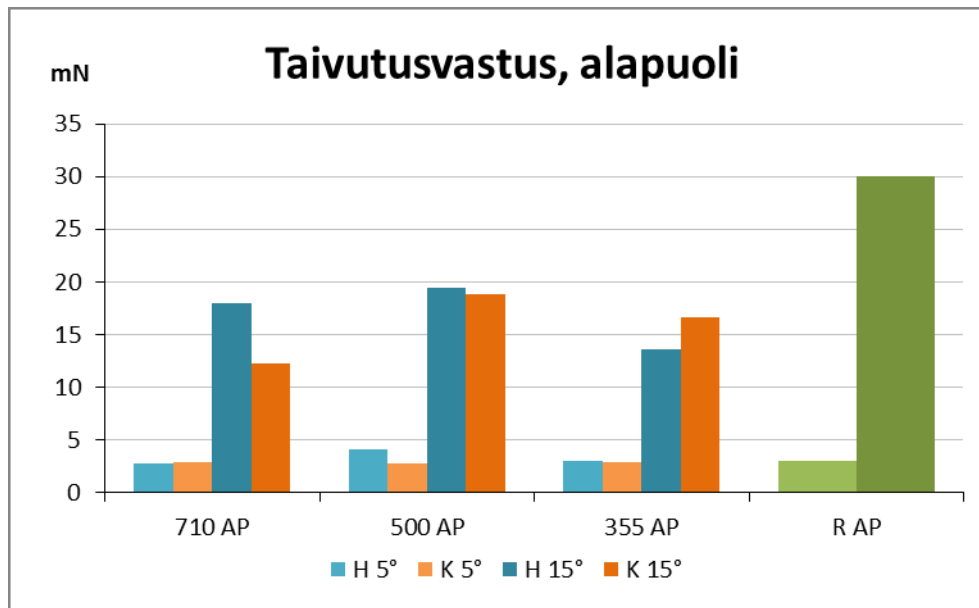
5.4 Taivutusvastus

Taivutusvastus, yksiköltään mN, on paksuuteen ja sisäiseen kimmokertoimeen perustuva lujuusominaisuus. Neliömassan pienentyessä taivutusvastus pienenee. Paperin taivutusvastusta voidaan parantaa bulkin lisäämisellä tai korkealla kimmokertoimella. Taipuisilla kuiduilla ei saavuteta yhtä hyvää taivutusvastusta kuin jäykillä kuiduilla.

Jäykkyyksmittauksien tulokset kahdella eri taivutuskulmalla esitettynä kuvioissa 7 ja 8, tarkemmat tiedot liitteessä 7. Referenssiin verrattuna kuorta sisältävien arkkien jäykkyys oli pienempi. Referenssiarkkien neliömassa oli kuitenkin suurempi, joten se vaikuttaa osaltaan jäykkyyteen. Jos referenssiarkkien neliömassa olisi samaa luokkaa kuin kuorta sisältävien arkkien, jäykkyys ei välttämättä olisi suurempi kuin kuorta sisältävillä arkeilla.



KUVIO 7. Paperin yläpuolen taivutusvastus eli jäykkyys kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).



KUVIO 8. Paperin alapuolen taivutusvastus eli jäykkyys kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

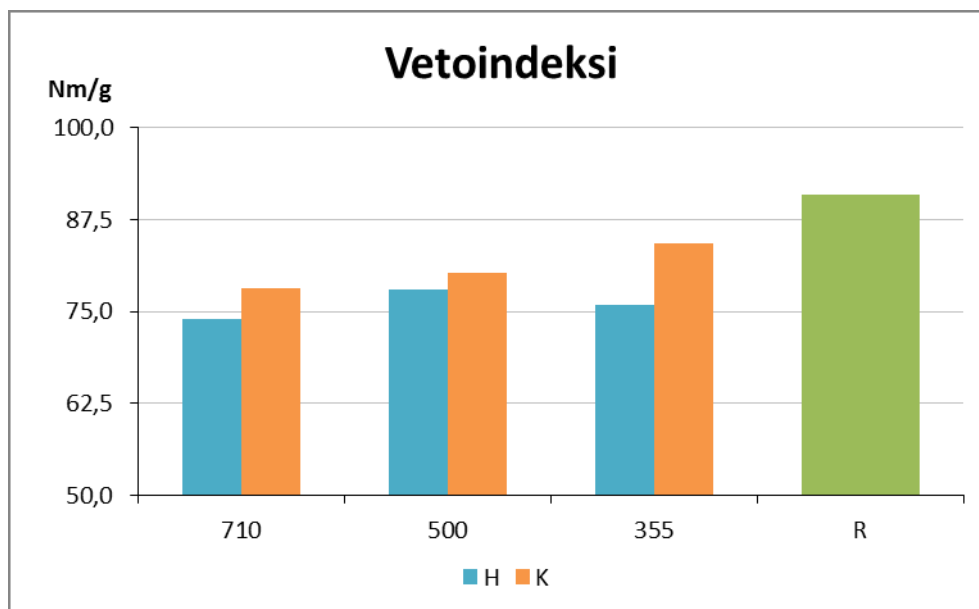
Verratessa kuorijaetta sisältävien arkkien ylä- ja alapuolia, arkkien yläpuolien taivutusvastukset olivat suurempia. Tämä johtuu kuorijakeen epätasaisesta jakautumisesta arkin eri puolilla. Yläpuolella taivutusvastus pienenee kuorijakeen karkeuden pienentyessä. Tämä johtunee suuremman kuorijakeen vähenemisestä. Isot kuoren palat ovat jäykkiä ja vastustavat taivutusta tukien paperin rakennetta. Kuumentamisen seurauksena taivutusvastuus laskee koepisteissä 710K ja 500K 15 asteen kulmalla. Koepisteessä 355K taivutusvastus kasvaa kuumentamisen seurauksena. Ellei kyseessä ole mittausvirhe, kimmokerroin on saattanut kasvaa kuumentamisen seurauksena.

Kaikkien koepisteiden taivutusvastuksella esiintyi runsasta variaatiokerroimen vaihtelua. Tämä selittyy osittain kuorijakeen epätasaisena jakautumisena paperissa. Arkkien alapuolen taivutusvastuksen variaatiokerroin oli suurempi verrattuna yläpuoleen.

5.5 Vetolujuus

Vetolujuus, yksiköltään kN/m, tarkoittaa suurinta paperin pinnan suuntaista vetoa, minkä paperista leikattu näyteliuska kestää murtumatta. Kun vetolujuus ylittyy, paperin repeäminen alkaa sen heikoimmasta kohdasta. Vetolujuus riippuu yksittäisten kuitujen lujuudesta sekä niiden välisestä sitoutumisesta toisiinsa ja sitä voidaan käyttää paperin yleisen lujuustason kuvaamiseen. (KnowPap 2020f).

Vetolujuudet esitettynä neliömassan huomioon ottavalla vetoindeksillä kuviossa 9. Tarkemmat tiedot liitteessä 8. Indeksit on laskettu yksittäisten arkkien omien neliömassojen perusteella.



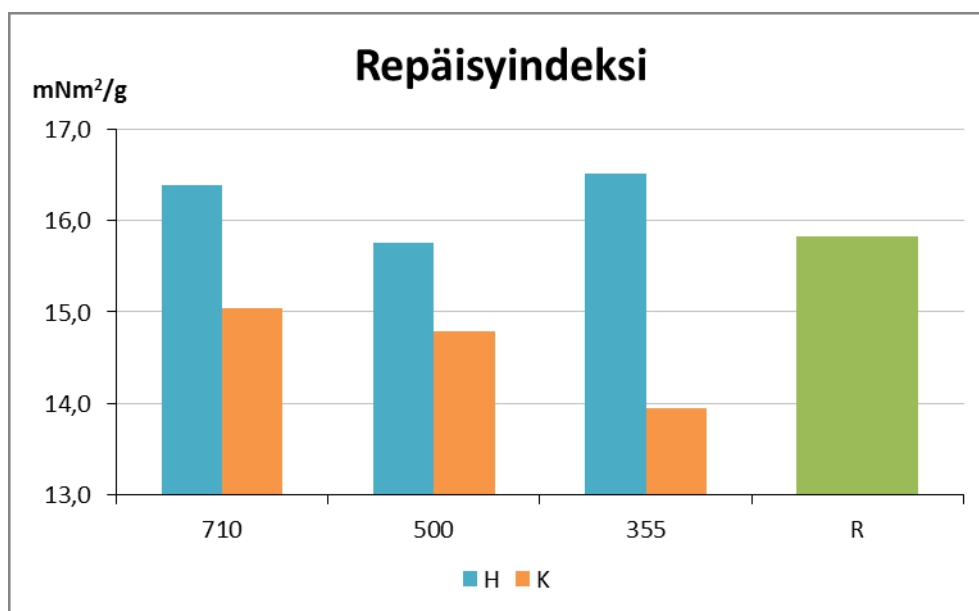
KUVIO 9. Paperin vetoindeksi kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

Kuorijaetta sisältävien arkkien vetolujuus oli huonompi kuin referenssiarkkien. Epätasainen kuorijakeen jakautuminen saa paperiin aikaan heikompia kohtia, mistä murtuma voi alkaa helpommin. Kuumentamisen seurauksena vetolujuus parani kaikilla karkeusasteilla, eniten koepisteessä 355K. Kuumennus saattaa parantaa sitoutumista, mikä voisi selittää vetolujuuden kasvun.

5.6 Repäisylujuus

Repäisylujuudella, yksiköltään mN, tarkoitetaan työtä, joka tehdään määrätyn pituisen repeämisen aikaan saamiseksi paperiin. Repäisylujuutta käytetään paperin viansietokyvyn arviointiin, erilaiset viat valmistus- ja jalostusprosesseissa aiheuttavat jännityshuippuja, jotka paperin täytyisi kestää repeämättä. Yleistettynä tiiviimmillä, enemmän sitoutuneemilla paperirakenteilla repäisylujuus pienenee. (KnowPap 2020g).

Repäisylujuudet esitettynä neliömassan huomioon ottavalla repäisyindeksillä kuviossa 10. Tarkemmat tiedot liitteessä 9. Indeksit on laskettu yksittäisten arkkien omien neliömassojen perusteella.



KUVIO 10. Paperin repäisyindeksi kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

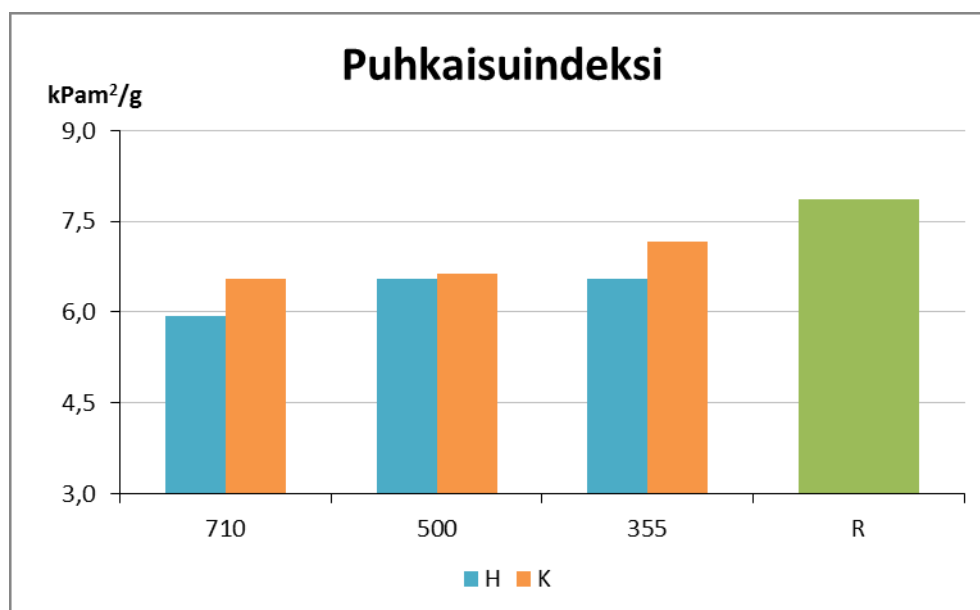
Kuumentamatonta kuorijaetta sisältävien arkkien repäisylujuus oli referenssiin verrattuna sama (koepiste 500 H) tai parempi. Koepisteen 500H variaatiokerroin oli 12,7 % ja se poikkesi muiden koepisteiden variaatiokertoimista. Tämä selittää osaltaan miksi repäisylujuuden keskiarvo on alempi kuin koepisteillä 710H ja 355H.

Kuumentamisen seurauksena repäisyalujuus pienenee. Eniten repäisyalujuus pieneni vähiten karkealla kuorijakeella koepisteessä 355K. Olettaessa huomioon vetolujuusmittauksen tulokset, joissa epäiltiin kuumennuksen lisännen kuitujen sitoutuneisuutta, repäisyalujuuksien arvot tukevat väitettä; sitoutuneisuuden kasvaessa repäisyalujuus pienenee.

5.7 Puhkaisulujuus

Puhkaisulujuudella tarkoitetaan maksimipainetta, joka voidaan kohdistaa paperiin ilman sen rikkoutumista. Paperiin kohdistuu harvemmin samankaltaista kuormitusta kuin puhkaisulujuuden mittauksessa ja se kertoo vähemmän paperin rakenteesta muihin lujuusmittauksiin verrattuna. Mittausmenetelmä on kuitenkin yksinkertainen, joten tietyissä rajoissa sitä voidaan käyttää paperin yleislujuuden kuvaamiseen. (KnowPap 2020h).

Puhkaisulujuudet esitettynä neliömassan huomioon ottavalla puhkaisuindeksillä kuviossa 11. Tarkemmat tiedot liitteessä 10. Indeksit on laskettu yksittäisten arkkien omien neliömassojen perusteella.



KUVIO 11. Paperin puhkaisuindeksi kauran kuoren eri karkeuksilla (710/500/355), sekoitettuna huoneenlämpöiseen (H) ja kuumennettuun (K) veteen verrattuna kokonaan sellusta valmistettuun referenssiin (R).

Kaikkien kuorijaetta sisältävien koepisteiden puhkaisulujuus oli heikompi kuin referenssillä. Puhkaisulujuus kasvoi kuorijakeen karkeuden pienentyessä. Kuumentamisen seurauksena puhkaisulujuus parani koepisteissä 710K ja 355K, vaikutusta ei juurikaan havaittu koepisteessä 500K. Puhkaisulujuuden paraneminen kuumennuksen seurauksena viitannee sitoutuneisuuden kasvuun.

6 POHDINTA

Kauran kuori vaikutti paperin ominaisuuksiin eri tavoin riippuen kuorijakeen karkeudesta ja esikäsitteystä. Kuumaan veteen sekoitettu kuorijae vaikutti ominaisuuksiin eri tavoin kuin huoneenlämpöiseen veteen sekoitettu kuorijae.

Referenssiarkkeihin verrattuna kaikkien kuorta sisältävien arkkien neliömassa oli alhaisempi. Referenssiarkkien arkkimassan laimennuksessa oli tapahtunut mahdollisesti virhe tai sitten osa kuorta sisältävien arkkimassojen kuorihienoaineesta ei jää viiralle vedenpoiston vaiheessa Kuorijakeen karkeuden pienentyessä neliömassa pieneni. Kuumaan veteen sekoitettua kauran kuorta sisältävien arkkien neliömassa oli alhaisempi verrattuna arkkeihin, joidenka kuori sekoitettiin huoneenlämpöiseen veteen. Kuorijakeen epätasainen jakautuminen eri arkkien välillä aiheuttaa neliömassan vaihtelua. Neliömassan määrittämisessä käytettiin arkkeja, jotka olivat kokonaisina massaltaan 1,69-1,81 grammaa. Tämä rajausta vaikuttaa osaltaan neliömassojen keskiarvon luotettavuuteen.

Kuorta sisältävät arkit olivat paksumpia kuin referenssiarkit. Karkeampi kuorijae lisäsi paksuutta epätasaisesti arkin eri kohdissa, joten tulokset ovat parhaimmillaankin vain suuntaa antavia. Paksuus mitattiin pinopaksuutena, jolloin paksummat ja ohuemmat kohdat pääsivät limittäin vaikuttaen tuloksiin. Erään arkipinon mittauksessa päällimmäisen arkin pinnasta irtosi kuoripartikkeli, joka tarttui paksuusmittarin anturiin vääristäen tuloksia. Partikkeli kuitenkin huomattiin ja tulokset, joihin se oli vaikuttanut, hylättiin. Kuorijaetta sisältävät arkit olivat vähemmän tiheitä ja enemmän bulkkisia verrattuna referenssiarkkeihin. Kuorijakeen kuumennus ei juurikaan vaikuttanut paksuuteen, tiheyteen ja bulkkiin.

Referenssiarkkien ilmanläpäisy oli pienempi kuin kaikilla kuorijaetta sisältävillä arkeilla. On kuitenkin otettava huomioon referenssiarkkien korkeampi neliömassa, joka pienentää ilmanläpäisyyttä. Selkeästi korkein ilmanläpäisy oli karkeinta, 710 μm kuorijaetta sisältävillä arkeilla. Kuorijakeen kuumentaminen pienensi ilmanläpäisyyttä, erityisesti karkeimmalla jakeella.

Kuorijaetta sisältävät arkkien taivutusvastus oli mittauksissa pienempi kuin referenssiarkeilla. Todellisuudessa kuorijaetta sisältävät arkit saattavat olla jäykempiä kuin referenssiarkit, joiden korkeampi neliömassa vaikutti tuloksiin. Kuumennettu kuorijae pienensi taivutusvastusta paitsi 355 µm kuoren karkeudella, missä taivutusvastus kasvoi. Tulos taivutusvastuksen kasvusta on epäluotettava.

Referenssiarkkien vetolujuus oli parempi verrattuna kuorta sisältäviin arkkeihin. Kuorijakeen karkeuden pienentyessä vetolujuus parani ja kuumaan veteen sekoitetulla kuorijakeella vetolujuus oli hieman parempi kuin huoneenlämpöiseen veteen sekoitetulla. Kuumentamaton kuorijae paransi repäisylujuutta suhteessa referenssiin. Kuorijakeen kuumennus heikensi paperin repäisylujuutta. Kaikkien kuorta sisältävien arkkien puhkaisulujuus oli alhaisempi kuin referenssillä. Puhkaisulujuus oli parempi pienemmällä kuorijakeen karkeudella ja kuorijakeen kuumennus paransi puhkaisulujuutta.

Tulosten perusteella kuorijakeen kuumentaminen vaikuttaisi parantavan paperin raaka-aineiden sitoutuneisuutta hieman verrattuna kuumentamattomaan kuorijakeeseen. Tämä selittäisi ilmanläpäisyn pienenemisen, vetoindeksin ja puhkaisulujuuden lievän kasvun sekä repäisylujuuden pientymisen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että muutos johtuisi nimenomaan kauran kuoresta.

Kuori-vesiseos lisättiin arkkimassan valmistuksessa kuumana massasulpun joukkoon, joka on varmaankin omalta osaltaan vaikuttanut sellukuituihin. Vaikka kuoresta liukenee aineksia, jotka saattavat parantaa sitoutuneisuutta, tulisi tutkia lisää veden lämpötilan vaikutusta. Tämä voitaisiin tehdä esimerkiksi valmistamalla referenssiarkkeja, jotka eivät sisällä kuorijaetta. Arkkimassan valmistuksessa osa laimennusvedestä korvattaisiin kuumennetulla vedellä, jota lisättäisiin samassa suhteessa kuin kuorijakeen kuumennuksessa eli 3,75 litraa vettä 25 litraa valmistettavaa sakeudeltaan 2 g/l olevaa arkkimassaa kohti. Jos sitoutuneisuuden kasvua ei tapahdu pelkällä kuumennetulla vedellä, tulisi selvittää mistä kuoren aineksesta muutos tapahtuu. Esimerkiksi kuoren tärkkelys saattaa kuumennuksen seurauksena aktivoitua ja toimia massaliimana.

Tutkimus kauran kuoren vaikutuksesta paperin ominaisuuksiin oli onnistunut. Saatiin tuloksia, jotka osoittivat kuorijakeen karkeuden vaikuttavan eri tavalla paperin ominaisuuksiin. Lisäksi saatiin tuloksia, jotka osoittivat kuumennetun kuorijakeen vaikuttavan paperin ominaisuuksiin eri tavoin kuin kuumentamaton kuorijae. Kuorijakeen kuumennuksen vaikutusta tulee vielä tutkia lisää eri keittoajoilla tarkempien tietojen saamiseksi. Lisäksi kuorijaetta tulisi tutkia järjestelmällisesti lisää valomikroskoopilla.

LÄHTEET

Bajpai, P. 2018. Biermann's Handbook of Pulp and Paper. Volume 2: Paper and Board Making. 3. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc.

BeMiller, J. 2003. Starch. Modified starches. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 5576-5579.

Giradet, N. & Webster, F. 2011. Oat Milling: Specifications, Storage, and Processing. Teoksessa Webster, F. & Wood, P. (toim.) Oats. Chemistry and Technology. 2. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc, 301-319.

Hareland, G. & Manthey, F. 2003. Oats. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 4213-4220.

Holtzapple, M. 2003. Hemicelluloses. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 3060-3071.

Jackson, D. 2003a. Starch. Functional Properties. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 5572-5575.

Jackson, D. 2003b. Starch. Structure, Properties, and Determination. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 5561-5567.

KnowPap versio 21.0. 2020a. AEL/Proledge Oy. Massaliimat. Luettu 13.5.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/raw_materials/4_fillers/9_internal_sizes/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020b. AEL/Proledge Oy. Sideaineet - yleistä. Luettu 13.5.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/raw_materials/6_coating_chemicals/2_adhesives/0_common/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020c. AEL/Proledge Oy. Neliömassa. Luettu 22.5.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/1_basis_weight/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020d. AEL/Proledge Oy. Paksuus, tiheys ja bulkki. Luettu 22.5.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/3_thickness_and_bulk/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020e. AEL/Proledge Oy. Ilmanläpäisy. Luettu 22.5.2020. http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/5_surface_prop/2_porosity/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020f. AEL/Proledge Oy. Vetolujuus. Luettu 22.5.2020.
http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/1_tensile_strenght/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020g. AEL/Proledge Oy. Repäisylujuus. Luettu 22.5.2020.
http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/2_tear_strenght/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 21.0. 2020h. AEL/Proledge Oy. Puhkaisulujuus. Luettu 22.5.2020.
http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/paper_board_properties/4_strength_properties/3_bursting_strenght/frame.htm. Saatavilla rajoitetusti.

Menon, R., Gonzalez, T., Ferruzzi, M., Jackson, E., Windrel, D. & Watson, J. 2016. Oats. From Farm to Fork. Teoksessa Henry, J. (toim.) Advances in Food and Nutrition Research 77. Yhdysvallat: Academic Press, 1-55.

Miller, S. & Fulcher, R. 2011. Microstructure and Chemistry of the Oat Kernel . Teoksessa Webster, F. & Wood, P. (toim.) Oats. Chemistry and Technology. 2. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc, 77-94.

Ratnayake, W. & Jackson, D. 2003. Starch. Sources and Processing. Teoksessa Caballero, B. (toim.) Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2. uud. painos. Yhdysvallat: Academic Press, 5567-5572.

Skiba, E., Budaeva, V., Ovchinnikova, E., Gladysheva, E., Kashcheyeva, E., Pavlov, I. & Sakovich, G. 2020. A technology for pilot production of bacterial cellulose from oat hulls. Teoksessa Chemical Engineering Journal 383. . Alankomaat: Elsevier Inc.

Strychar, R. 2011. World Oat Production, Trade, and Usage. Teoksessa Webster, F. & Wood, P. (toim.) Oats. Chemistry and Technology. 2. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc, 1-10.

Webster, F. 2011. Oat Utilization: Past, Present, and Future . Teoksessa Webster, F. & Wood, P. (toim.) Oats. Chemistry and Technology. 2. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc, 347-361.

Welch, R. 1995. The Chemical Composition of Oats. Teoksessa Welch, R. (toim.) Oat Crop. Production and Utilization. 1. painos. Alankomaat: Springer.

Wood, P. 2011. Oat β -Glucan: Properties and Function . Teoksessa Webster, F. & Wood, P. (toim.) Oats. Chemistry and Technology. 2. uud. painos. Alankomaat: Elsevier Inc, 219-254.

LIITTEET

Liite 1. Seulontakokeet, kaikki taulukkoarvot

testi	seula (μm)	taajuus (Hz)	aika (min)	kaura (g)	pohja+aksepti (g)	aksepti (g)	saanto (%)
1	250	60	4	50,1	374	15,5	30,9
2	500	60	4	50,2	390,5	32	63,7
3	1000	60	4	50,1	408	49,5	98,8
4	500+250	60	4	50,3	371,5	13	25,8
5	500+250	60	4	100,0	385,5	27	27,0
6	355	60	4	50,0	380	21,5	43,0
7	1000	60	4	100,3	457,5	99	98,7
8	710	60	4	50,0	404	45,5	91,0
9	355	90	3	50,0	380	21,5	43,0
10	355	90	2	50,0	378,5	20	40,0
11	355	90	4	100,0	396	37,5	37,5
12	355	90	4	50,0	381	22,5	45,0
13	355	100	4	50,0	381,5	23	46,0
pohja astia 358,5 g							

Liite 2. Suositeltavat seulontaolosuhteet, kaikki taulukkoarvot

seula (μm)	testi nro	taajuus (Hz)	aika (min)	kaura (g)	pohja+aksepti (g)	aksepti (g)	saanto (%)
710	1	60	4	100	423,5	65	65,0
	2	80	4	100,1	449,5	91	90,9
	3	80	4	100	449	90,5	90,5
	4	80	4	100	450	91,5	91,5
	5	80	4	100	446	87,5	87,5
	6	80	4	100,3	449,5	91	90,7
seula (μm)	testi nro	taajuus (Hz)	aika (min)	kaura (g)	pohja+aksepti (g)	aksepti (g)	saanto (%)
500	1	80	4	100,2	415,5	57	56,9
	2	80	5	100	420,5	62	62,0
	3	80	6	100,1	422	63,5	63,4
	4	80	5	100,6	422	63,5	63,1
	5	80	5	100,1	420,5	62	61,9
	6	80	5	100,3	421	62,5	62,3
seula (μm)	testi nro	taajuus (Hz)	aika (min)	kaura (g)	pohja+aksepti (g)	aksepti (g)	saanto (%)
355	1	80	6	100,2	400	41,5	41,4
	2	80	5	100,1	399	40,5	40,5
	3	90	5	100	401	42,5	42,5
	4	100	5	100,2	400	41,5	41,4
	5	90	5	100	400,5	42	42,0
	6	90	5	100,5	400	41,5	41,3

Liite 3. Neliömassa, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	lkm	Keskiarvo (g/m ²)	Hajonta (g/m ²)	Variaatiokerroin (%)
710H	24	64,6	0,82	1,3
500H	20	64,1	1,31	2,0
355H	33	63,4	1,25	2,0
710K	12	64,2	0,70	1,1
500K	27	63,0	1,45	2,3
355K	14	62,6	1,30	2,1
R	20	70,0	1,92	2,7

Liite 4. Paksuus, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Keskiarvo (μm)	Hajonta (μm)	Variaatiokerroin (%)
710H	139,5	2,3	1,7
500H	133,1	2,5	1,9
355H	129,0	2,2	1,7
710K	134,9	3,1	2,3
500K	133,9	2,4	1,8
355K	127,1	1,8	1,4
R	115,8	1,1	0,9

Liite 5. Tiheys ja bulkki, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Keskiarvo (kg/m ³)	Hajonta (kg/m ³)	Variaatiokerroin (%)
710H	462	7,7	1,7
500H	483	9,3	1,9
355H	495	8,3	1,7
710K	479	10,9	2,3
500K	476	8,7	1,8
355K	503	7,4	1,5
R	605	5,7	0,9

Koepiste	Keskiarvo (cm ³ /g)	Hajonta (cm ³ /g)	Variaatiokerroin (%)
710H	2,16	0,04	1,7
500H	2,07	0,04	1,9
355H	2,02	0,03	1,7
710K	2,09	0,05	2,3
500K	2,10	0,04	1,8
355K	1,99	0,03	1,4
R	1,65	0,02	0,9

Liite 6. Ilmanläpäisy, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Arkin puoli	lkm	Keskiarvo (ml/min)	Hajonta (ml/min)	Variaatiokerroin (%)
710H	YP	19	779,3	252,9	32,4
	AP	19	886,1	306,4	34,6
500H	YP	18	403,3	102,6	25,4
	AP	18	416,3	97,4	23,4
355H	YP	19	398,1	62,1	15,6
	AP	19	410,6	59,5	14,5
710K	YP	20	360,2	76,1	21,1
	AP	20	360,3	61,6	17,1
500K	YP	19	341,3	66,9	19,6
	AP	19	335,8	66,6	19,8
355K	YP	19	341,1	65,3	19,1
	AP	19	351,6	53,8	15,3
R	YP	20	191,6	34,9	18,2
	AP	19	195,1	44,4	22,8

Liite 7. Taivutusvastus, kaikki taulukkoarvot

Kulma		5°			15°			30°		
Koepiste	Arkin puoli	Keskiarvo (mN)	Hajonta (mN)	Variaatiokerroin (%)	Keskiarvo (mN)	Hajonta (mN)	Variaatio (%)	Keskiarvo (mN)	Hajonta (mN)	Variaatiokerroin (%)
710H	YP	2,7	1,8	68,1	25,4	8,9	35,0	77	12,7	16,5
	AP	2,7	1,2	43,1	18,0	6,2	34,3	71,3	12,7	17,8
500H	YP	3,0	1,6	53,1	23,3	3,8	16,5	78,1	13,7	17,5
	AP	4,1	2,6	63,4	19,5	6,3	32,2	72,8	10	13,7
355H	YP	2,7	1,6	61,4	19,9	1,7	8,7	73,7	7	9,5
	AP	3,0	1,6	53,8	13,6	3,3	24,5	68,3	4,7	6,9
710K	YP	2,4	1,0	42,9	21,6	5,7	26,6	69,1	13,1	19,0
	AP	2,8	1,3	46,0	12,3	6,5	52,7	66,2	8,9	13,4
500K	YP	3,4	1,5	44,1	21,1	4,4	20,9	75	10	13,3
	AP	2,8	1,8	64,3	18,9	5,4	28,5	74,3	7,3	9,8
355K	YP	2,7	1,6	58,8	22,2	2,4	11,0	79,8	9,6	12,0
	AP	2,9	1,6	57,1	16,6	3,9	23,2	70,5	6,9	9,8
R	YP	2,6	1,1	41,6	32,4	6,1	18,8	109	7	6,4
	AP	3,0	3,0	100,2	30,0	10,3	34,4	120	24	20,0

Liite 8. Vetoindeksi ja – lujuus, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Keskiarvo (Nm/g)	Hajonta (Nm/g)	Variaatiokerroin (%)
710H	74,0	2,7	3,7
500H	77,9	6,7	8,6
355H	75,9	5,6	7,4
710K	78,1	2,8	3,6
500K	80,3	4,2	5,2
355K	84,2	4,7	5,6
R	90,9	7,1	7,9

Koepiste	Keskiarvo (kN/m)	Hajonta (kN/m)	Variaatiokerroin (%)
710H	4,76	0,20	4,1
500H	5,02	0,40	8,1
355H	4,84	0,37	7,7
710K	5,06	0,20	4,0
500K	5,13	0,28	5,5
355K	5,38	0,33	6,1
R	6,34	0,56	8,8

Liite 9. Repäisyindeksi ja -lujuus, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Keskiarvo (mNm ² /g)	Hajonta (mNm ² /g)	Variaatiokerroin (%)
710H	16,4	1,1	6,6
500H	15,8	2,0	12,7
355H	16,5	1,5	9,2
710K	15,0	1,2	8,2
500K	14,8	0,9	5,9
355K	13,9	0,7	5,0
R	15,8	1,6	9,9

Koepiste	Keskiarvo (mN)	Hajonta (mN)	Variaatiokerroin (%)
710H	1056	78	7,4
500H	1011	137	13,6
355H	1052	98	9,3
710K	971	93	9,6
500K	948	61	6,4
355K	895	60	6,7
R	1095	93	8,5

Liite 10. Puhkaisuindeksi ja -lujuus, kaikki taulukkoarvot

Koepiste	Keskiarvo (kPam ² /g)	Hajonta (kPam ² /g)	Variaatiokerroin (%)
710H	5,9	0,3	5,0
500H	6,6	0,3	5,1
355H	6,5	0,3	4,4
710K	6,6	0,4	6,8
500K	6,6	0,3	4,3
355K	7,2	0,3	3,9
R	7,9	0,2	3,1

Koepiste	Keskiarvo (kPa)	Hajonta (kPa)	Variaatiokerroin (%)
710H	380	18	4,9
500H	421	20	4,7
355H	419	19	4,4
710K	423	30	7,1
500K	419	17	4,1
355K	456	22	4,8
R	558	26	4,6