



PITKIENKUITUJEN JAUHAUTUVUUS STANDARDIOLOSUHTEISSA

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Insinööri (AMK), bio- ja elintarviketekniikka
2024

Johansson Julianna

Insinööri (AMK), bio- ja elintarviketekniikka

Tekijä Julianna Johansson

Työn nimi Pitkienkuitujen jauhautuvuus standardiolosuhteissa

Ohjaaja Susanna Peltonen

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Tämä opinnäytetyö tehtiin uusien materiaalivaihtoehtojen kartoittamiseksi ja mahdollisuuden harkitsemiseksi niiden käyttöön ottamiseksi tuotannossa paperinvalmistuksessa. Kestävän kehityksen näkökulmasta tämä tutkimustyö suoritettiin testaamaan, voisivatko uudet sellut mahdollisesti jauhautua vähemmällä energialla nopeammin. Tällä tavoin päästöjen odotettiin vähenevän ja tuotannon tulevan kustannustehokkaammaksi. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Tervakoski Oy, joka on Tervakoskella toimiva paperitehdas ja osa Itävaltalaisista Delfort-konsernia.

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan pitkäkuituisiin selluihin ja niiden jauhatukseen sekä paperin mitattaviin ominaisuuksiin. Jauhatusprosessi ja erilaiset jauhimet käydään myös läpi. Erityisesti kiinnitetään huomiota kuitujen pituuden vaikutukseen paperin lujuteen ja muihin mitattaviin arvoihin, kuten huokoisuuteen. Tulokset esitetään kuvaajina opinnäytetyön lopussa, ja jokaisen kuvaajan tulokset esitetään sanallisesti kyseisen kuvaajan yhteydessä.

Tutkimuskysymyksissä pohdittiin erityisesti puulajin ja jauhatuksen vaikutusta sellumassan ja paperin rakenteeseen. Työn lopussa esitettävissä tuloksissa tarkastellaan jauhatusajan vaikutusta paperin rakenteeseen, kestävyteen ja muihin mitattaviin ominaisuuksiin.

Avainsanat Selluloosa, jauhatus, koepisteet

Sivut 37 sivua

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering

Author Julianna Johansson

Subject The grindability of long fibers under standard conditions.

Supervisors Susanna Peltonen

Abstract

Year 2024

This thesis was conducted to explore new material alternatives and consider the possibility of implementing them in the production of paper. From the perspective of sustainable development, this research was carried out to test whether the new pulps could potentially be ground with less energy more quickly. In this way, it was anticipated that emissions would be reduced, and production would become more cost-effective. The commissioner of the thesis is Tervakoski Oy, a paper mill located in Tervakoski and part of the Austrian Delfort Group.

This thesis delves into long-fiber pulps and their grinding, as well as the measurable properties of paper. The grinding process and various grinders are also covered. Special attention is given to the impact of fiber length on paper strength and other measurable values such as porosity. The results are presented as graphs at the end of the thesis, and the results of each graph are described verbally in connection with the respective graph.

The research questions specifically considered the influence of wood species and grinding on the structure of pulp and paper. The results presented at the end of the work examine the effect of grinding time on the structure, durability, and other measurable properties of the paper.

Keywords: Cellulose, grinding, test points

Pages: 37 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Puun rakenne	2
2.1	Havupuiden rakenne	2
2.1.1	Rungon pituussuuntaiset trakeidit	2
2.1.2	Ydinsäteet	3
2.1.3	Pihkatiehyet	4
2.1.4	Pitkittäisparenkyymisolut	4
2.2	Lehtipuiden rakenne	4
2.2.1	Putkilot	4
2.2.2	Lehtipuiden trakeidit	5
2.2.3	Ydinsäteet	6
2.2.4	Pitkittäisparenkyymisolut	6
3	Selluloosa	6
3.1	Molekyylirakenne	8
4	Hemiselluloosa	9
5	Ligniini	10
6	Jauhatuksen teoria	11
7	Jauhatusprosessi ja erilaiset jauhimet	12
7.1	Levyjauhin	13
7.2	Kartiojauhin	14
8	Paperin mitattavat ominaisuudet	14
8.1	Neliömassa	14
8.2	Paksuus	15
8.3	Tiheys	15
8.4	Ilman läpäisy ja huokoisuus	15
8.5	Venymä	15
8.6	Repäisylujuus	16
8.7	Opasiteetti	16
9	Paperimassan mitattavat ominaisuudet	16
9.1	Sakeus	16
9.2	SR luku	17
10	Työnkulku	17
11	Tulokset	17
12	Johtopäätökset ja yhteenveto	30

Lähteet	31
---------------	----

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Puun rakenne. (Jensen, W, 1977).....	2
Kuva 2 Havupuun solut. (Jensen, W. 1977, s.36).	3
Kuva 3 Lehtipuiden trakeideja ja kuituja. (Jensen, W. 1977, s.51).....	5
Kuva 4 Selluloosan rakennekaava (Ryöstää, 2019).....	7
Kuva 5 Kuidun rakenne. (Jensen, W, 1977).....	7
Kuva 6 Alkeisfibrillin rakenne. (Jensen, W, 1977).	8
Kuva 7 Hemiselluloosatyytit. (Jensen, W, 1977)	9
Kuva 8 Ligniinin muodostuminen glukoosista. (Jensen, W, 1977).....	11
Taulukko 9 Sellu 1 tulokset.	18
Taulukko 10 Sellu 2 tulokset.	19
Kuva 11 Sellu 1 vetolujuus.....	20
Kuva 12 Sellu 2 vetolujuus.....	20
Kuva 13 Sellu 1 SR luku	22
Kuva 14 Sellu 2 SR luku	22
Kuva 15 Sellu 1 repäisylujuus	24
Kuva 16 Sellu 2 repäisylujuus	24
Kuva 17 Sellu 1 neliömassa, paksuus ja tiheys.....	26

Kuva 18 Sellu 2 neliömassa, paksuus ja tiheys.....	26
Kuva 19 Sellu 1 vaaleus C ja transparenssi	27
Kuva 20 Sellu 2 vaaleus C ja transparenssi	28
Kuva 21 Sellu 1 optiset ominaisuudet	29
Kuva 22 Sellu 2 optiset ominaisuudet	29

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Tervakoski Oy, joka on Tervakoskella toimiva paperitehdas. Tervakoski Oy on osa Itävaltalaista Delfort konsernia. Opinnäytetyö valikoitui siten, että tällä hetkellä työskentelen tuotekehityksessä ja olemme aloittamassa tutkimuksen uusien sellujen ominaisuuksista. Uusia selluja tutkitaan, jotta voidaan tehdä päätös, otetaanko uudet sellut tuotannossa käyttöön.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään pitkäkuituisiin selluihin ja niiden jauhatukseen, sekä mitattaviin ominaisuuksiin. Kuitujen pituus vaikuttaa erityisesti paperin lujuteen, sekä muihin mitattaviin arvoihin esimerkiksi huokoisuuteen.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on että, opinnäytetyön tilaaja Tervakoski Oy saa mahdollisimman kattavat koejauhatukset uusista selluista. Lisäksi tilaaja mahdollisimman tarkat laboratoriotutkimukset uusista selluista valmistetuista paperiarkeista, sillä tulosten perusteella tehdään päätös uusien raaka-aineiden käytöstä ja siitä johtavista mahdollisista kustannussäästöistä. Opinnäytetyössä ei esiinny reseptiikkaa ja käytetyt sellut on nimikoodattu salassapito syistä. Kestävän kehityksen näkökulmasta tämä tutkimustyö tehdään sen takia että halutaan testata, jauhautuisiko uudet sellut mahdollisesti vähemmällä energialla nopeammin. Tällä tavoin saataisiin päästöjä pienemmäksi ja tuotannosta kustannustehokkaampaa.

Opinnäytetyön alussa kuvataan käytettyjä materiaaleja ja perehdytään niihin tarkemmin, sekä esitellään jauhatusprosessi, jonka jälkeen päästään tutkimukselliseen osioon, jossa esitän tulokset. Tulokset pyrin esittämään mahdollisimman havainnollistavana esimerkiksi kaavioiden ja taulukoiden kautta. Tuloksista pääsemme johtopäätöksiin, jossa voimme todeta saatiinko tuloksista toivotun mukaiset.

2 Puun rakenne

Puu on monikäyttöinen materiaali. Puussa on kahdenlaisia soluja, jotka ovat: Prosenkyymit eli suippusolut (pitkiä, kapeita ja päistään suippenevia) ja ne ovat täysikasvuisina kuolleita, vettä johtavia ja puuta tukevia soluja, lisäksi puussa on Parenkyymejä, eli tylppysoluja (pyöreähköjä ja ohutseinäisiä). Ne ovat puun pinnassa olevia, ravintoaineita varastoivaa solukkoa. Puun koostumus on 50 % selluloosakuiduista ja 50 % ligniinistä. Ligniini sitoo puun kuidut yhteen. Selluloosaa valmistetaan keittämällä puuhaketta painetta sisältävässä kemikaaliliuoksessa, jolloin puun ligniini liukenee ja puu hajoaa sellukuiduiksi. Tämän jälkeen kuidut pestään, tarkastetaan, valkaistaan, kuivataan. (Jensen, W, 1977).

Kuva 1 Puun rakenne. (Jensen, W, 1977).

Puulaji	Selluloosa %	Hemiselluloosa %	Ligniini %	Uuteaineet %
Kuusi	42	28	28	<5
Mänty	42	26	27	<5
Koivu	40	30–35	20–25	<5

2.1 Havupuiden rakenne

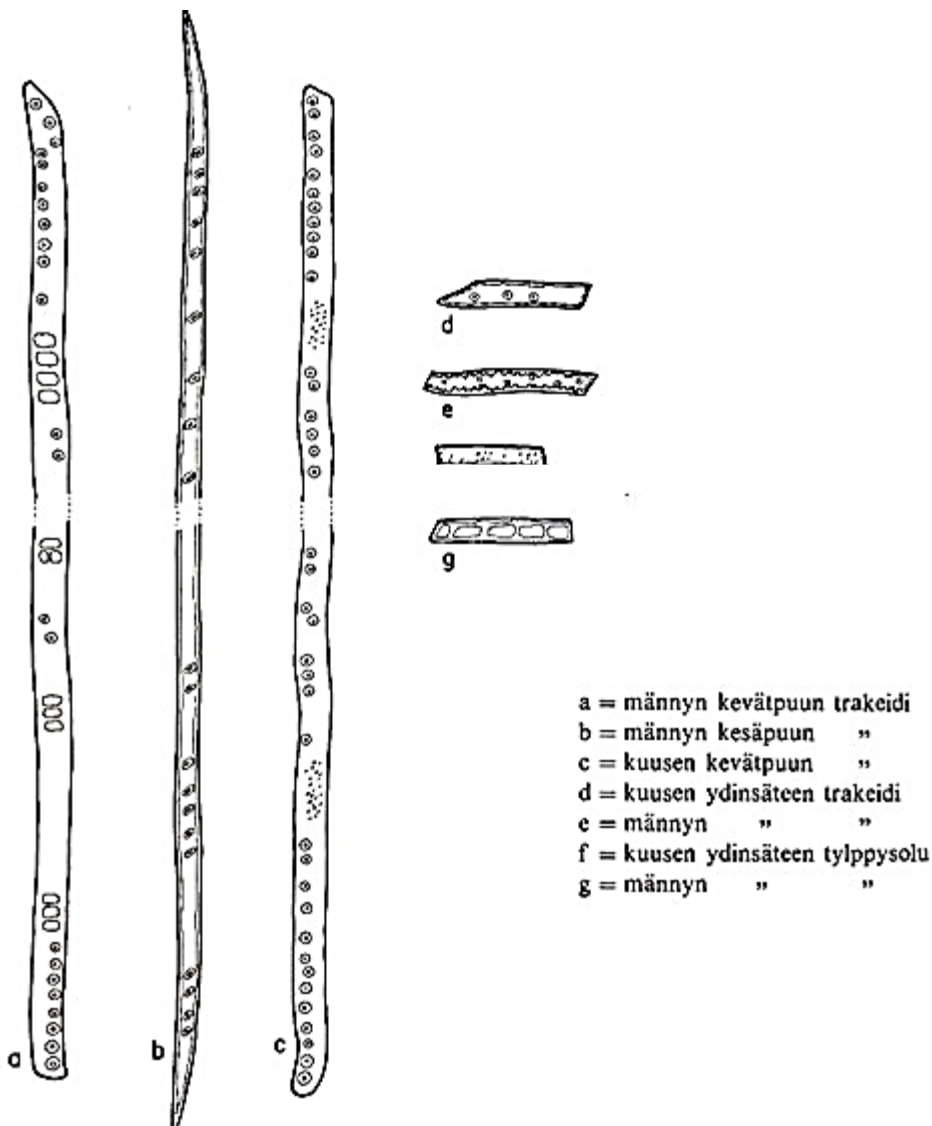
Havupuiden, kuten mänty ja kuusi, kuidut ovat pitkiä ja etäällä toisistaan. Havupuiden solut koostuvat trakeideista, eli kuiduista ja tylppysoluista, eli parenkyymisoluiista. Tylppysolut ovat suorakaiteen muotoisia, lyhyitä ja ohutseinäisiä soluja. kuitujen pituus on tavallisesti 2–4 mm ja paksuus 1/100 pituudesta. Havupuun kuidut ovat molemmista päistä umpinaisia. Paperinvalmistuksessa yleisimmin käytetyt havupuut ovat mänty ja kuusi. Koska pitkät kuidut antavat sellulle lujuutta, havupuusta valmistettua sellua käytetään usein kestävyttä vaativiin tuotteisiin. (Arjas, A. 1983).

2.1.1 Rungon pituussuuntaiset trakeidit

Havupuilla suurin osa soluista on trakeideja, joita kutsutaan myös vesisoluiksi ja putkisoluiksi. Ne ovat täysikasvuisina kuolleita prosenkyymisoluja (suippusoluja), jotka näkyvät poikkileikkauksessa säteen suuntaisina säännöllisinä jonoina. Trakeidit ovat pitkiä soluja, jotka suipennevat päästään. Kesäpuun trakeideilla on paksummat seinämät

verrattuna kevätpuun trakeideihin, nämä trakeidilajit eroavat myös muodoltaan. Trakeidien läpimitta on tangentin suunnassa suunnilleen sama, mutta säteen suunnassa kevätpuun trakeidien läpimitta on huomattavasti suurempi. Trakeidien läpimitan lisäksi myös niiden pituus vaihtelee vuosiluston sisällä. Kesäpuun trakeidit ovat pidempiä, kuin kevätpuun trakeidit. (Jensen, W, 1977).

Kuva 2 Havupuun solut. (Jensen, W. 1977, s.36).



2.1.2 Ydinsäteet

Ydinsäteet ovat rakenteita, jotka esiintyvät kaikissa puissa ja niissä solut ovat järjestäytyneet siten, että niiden pituussuunta on kohtisuoraan rungon tai muun vastaavan osan pituusakselin suuntaan nähden. Ydinsäteet voivat koostua joko pelkästään

parenkyymisoluiista (tylppysoluista) tai parenkyymisoluiista ja ydinsäde-trakeista. Ensimmäisiä kutsutaan homosellulaarisiksi ydinsäteiksi ja jälkimmäisiä heterosellulaarisiksi ydinsäteiksi. (Jensen, W, 1977).

2.1.3 Pihkatiehyet

Pihkatiehyellä viitataan solukon sisällä sijaitsevaan kanavaan, jota reunustavat rauhassolut, eli epiteeliparenkyymisolut, jotka tuottavat pihkaa. Epiteelikerros koostuu yhdestä solukerroksesta. Pihkatiehytkompleksiin kuuluvat myös solut, jotka sijaitsevat epiteelikerroksen ulkopuolella, eli parenkyymisolut, sekä tylppäpäiset trakeidit. Lisäksi on olemassa traumaattisia pihkatiehyitä, jotka syntyvät puun vaurioitumisen seurauksena. Tämä vaurioituminen ei välttämättä edellytä kuoren rikkoutumista, vaan esimerkiksi kuusella mekaaninen puristus voi riittää aiheuttamaan vaurioitumisen. (Jensen, W, 1977).

2.1.4 Pitkittäisparenkyymisolut

Pitkittäisparenkyymisolui, jota kutsutaan myös puuparenkyymisolui, on solukkoa, joka sijaitsee rungon pituusakselin suunnassa. Yleensä pitkittäisparenkyymisolut ovat muodoltaan tiiliskiven kaltaisia. Suomalaisilla havupuilla pitkittäisparenkyymit ovat harvinaisia. (Jensen, W, 1977).

2.2 Lehtipuiden rakenne

Lehtipuilla, kuten koivu ja eukalyptus, lyhyet kuidut, jotka tuovat paperituotteeseen pehmeyttä. Lehtipuiden kuiduissa on paksut seinät ja ne ovat pituudeltaan ja paksuudeltaan pienempiä kuin havupuiden. Lehtipuiden kuitujen pituus on tavallisesti 1–2 mm ja paksuus 0,025 mm. Kuituja on puuaineksesta 40–75 %. Lehtipuiden kuidut voi jakaa puusyihin, jotka ovat ainoastaan tukisoluija, ja kuitutrakeideihin, jotka johtavat myös vettä. Kuitujen koon vuoksi lehtipuiden kuidut soveltuvat hyvin erilaisiin pehmopapereihin. Koivussa on enemmän hemiselluloosaa ja vähemmän ligniiniä, kuin havupuissa. (Arjas, A. 1983).

2.2.1 Putkilot

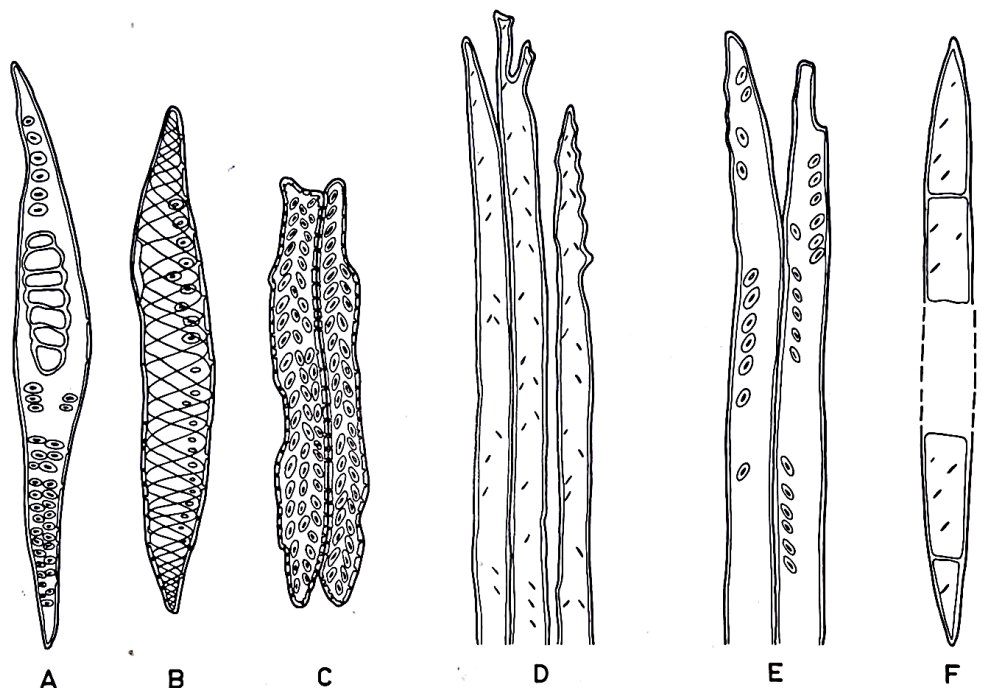
Suurimmassa osassa lehtipuita on putkiloita. Uskotaan, että putkiloiden kehittyminen on peräisin trakeideista. Putkilot, joita kutsutaan myös trakeeteiksi, jotka ovat pituusakselin suuntaisia, yhtenäisiä soluonteloita, ja muodostuvat päällekkäin olevien putkilosolujen päätyseinämien hävitessä osittain tai kokonaan. Tämän seurauksena putkilot koostuvat

kuolleista soluista, jotka ovat sulautuneet yhteen, näitä kutsutaan solusulautumiksi. On kuitenkin huomioitava, että putkilot eivät kulje suoraviivaisesti, vaan saattavat mutkitella tangetin suunnassa useita millimetrejä viiden senttimetrin matkalla. (Jensen, W, 1977).

2.2.2 Lehtipuiden trakeidit

Lehtipuiden trakeidit voidaan selkeästi erottaa kahteen erilaiseen tyyppiin, jotka tunnetaan nimillä putkilomaiset trakeidit ja putkilokeskeiset trakeidit. Putkilomaiset trakeidit ovat kooltaan, muodoltaan ja sijainniltaan samankaltaisia kuin lehtipuiden kesäpuun putkilosolut, paitsi että niiden päätyseinämät eivät ole kadonneet. Ne sijaitsevat pystysuorissa riveissä, jotka voivat koostua joko pelkästään putkilomaisista trakeideista tai niiden ja välissä olevien putkiloiden yhdistelmästä. Toisaalta putkilokeskeiset trakeidit ovat lyhyitä ja epäsäännöllisesti muotoiltuja soluja, ja niitä löytyy erityisesti kevät lehtipuista. Putkilokeskeiset trakeidit eivät ole pystysuorissa riveissä, lisäksi niiden päät voivat olla joko suippenevia tai pyöristyneitä. (Jensen, W, 1977).

Kuva 3 Lehtipuiden trakeideja ja kuituja. (Jensen, W. 1977, s.51).



- A = putkilomainen trakeidi (runsaasti pihahuokosia)
- B = putkilomainen trakeidi (pihahuokoset ja kierrepaksunnokset)
- C = putkilokeskisiä trakeideja (runsaasti pihahuokosia)
- D = puusyitä (kapeat, pihattomat huokoset)
- E = kuitutrakeideja (pihahuokoset)
- F = kammioihin jakautunut kuitu

2.2.3 Ydinsäteet

Toisin kuin havupuilla, lehtipuiden ydinsäteet koostuvat ainoastaan parenkyymisoluiista. Lehtipuulajien väliset erot ydinsäteissä ovat merkittäviä verrattuna havupuihin. lähes kaikissa lehtipuissa ydinsäteiden leveys on vähintään kaksi solukerrosta tai jopa enemmän. Lisäksi ydinsäteiden korkeus vaihtelee merkittävästi eri puulajien välillä. Vuosirenkaiden rajalla ydinsäteet laajenevat. (Jensen, W, 1977).

2.2.4 Pitkittäisparenkyymisolut

Enemmistö lehtipuiden parenkyymisoluiista, jotka ovat syiden suuntaisia, kuuluu pitkittäisparenkyymisoluihin, joita kutsutaan myös puuparenkyymisoluihin. Osan näistä soluista muodostuminen tapahtuu, kun solut jakautuvat poikittaisilla seinämillään pienemmiksi soluiksi, ja niitä kutsutaan poikittaisseinämäisiksi pitkittäisparenkyymisoluiiksi. Toiset taas säilyvät jakautumattomina, muodostaen sukkulamaisia pitkittäisparenkyymisoluja. (Jensen, W, 1977).

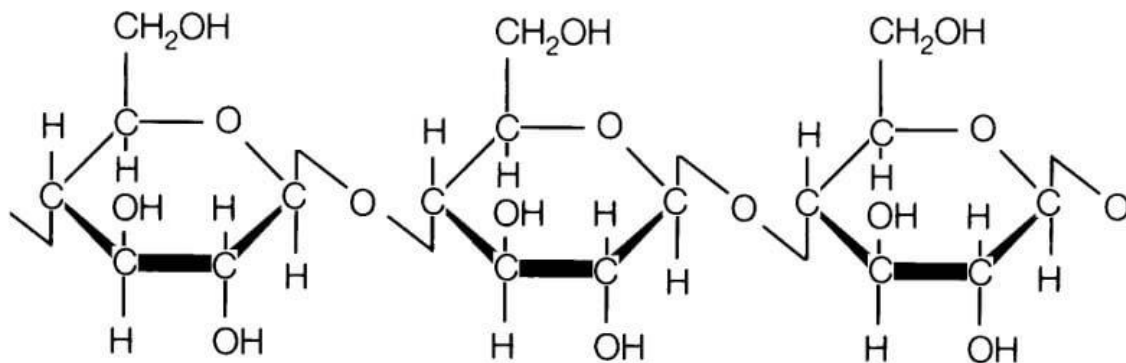
3 Selluloosa

Selluloosa on puukuitujen soluseinämien runkoaines. Selluloosa on lineaarinen polysakkaridi, joka koostuu pitkistä ketjuista glukoosimolekyyleistä. Glukoosimolekyylit liittyvät toisiinsa β -1,4-glykosidisiteillä, mikä tarkoittaa, että glukoosiyksiköt ovat liittyneet toisiinsa sellaisella tavalla, että ne muodostavat pitkän, suoran ketjun. Näissä ketjuissa on yleensä tuhansia glukoosiyksiköitä peräkkäin. Jokainen glukoosiyksikkö selluloosaketjussa on kiinnitetty toiseen glukoosiin glykosididoksen avulla. Tämä glykosididos muodostuu, kun yhden glukoosimolekyylin aldehydyryhmä reagoi toisen glukoosimolekyylin hydroksyyliiryhmän kanssa. Tämä sitoutuminen tapahtuu hiiliatomien välillä, ja se vahvistaa ketjun rakennetta. Selluloosamolekyylissä oleva pitkä, suora ketju ja β -1,4-glykosididokset antavat selluloosalle sen erityisen jäykkyyden ja lujuuden. Näiden ketjujen järjestys ja rakenne tekevät selluloosasta kuitumaisen aineen, joka muodostaa soluseinät kasveissa, erityisesti puissa. Tämä kuitumainen rakenne tarjoaa kasveille mekaanista tukea ja suojaa. Selluloosa on suurimolekyylinen hiilihydraatti eli polysakkaridi. Sellun valmistuksen ensimmäinen vaihe on halutun puulajin kuoriminen, koska kuori ei sisällä haluttuja kuituja ja tekee lopullisesta massasta likaista, jonka seurauksena myös valmiista paperista tulee likaista. Kuorinnan jälkeen puusta valmistetaan haketta. Hakkeen tulee olla oikean kokoista, eli paksuudeltaan 4–5 mm ja pituudeltaan 15–30 mm. Partikkelien koko on merkittävässä

osassa seuraavassa keitto vaiheessa, jotta keittoliuos imeytyy hakkeeseen tasaisesti. Keiton aikana ligniini liukenee ja puun kuidut eroavat toisistaan. Massa voidaan valmistaa myös mekaanisesti jauhamalla, jonka on tarkoitus pehmentää ligniinin ja irrottaa kuidut toisistaan. Keittoprosessissa ligniini värjää massan ruskeaksi ja sitä voi käyttää joko sellaisenaan paperinvalmistamiseen tai valkaista. Valkaisuun käytetään happea tai vetyperoksidia. (Jensen, W, 1977).

Puulajike vaikuttaa kuidun pituuteen oleellisesti ja kuidun pituus taas vaikuttaa paperin rakenteeseen ja kestävyteen. Havupuiden kuidut ovat pitkäkuituisia puuta, kun taas lehtipuissa on lyhyemmät kuidut. Esimerkiksi jos halutaan tehdä paperia, joka kestää rasituksen on käytettävä havupuista valmistettuja kuituja koska kuitujen venymä on parempi ja kestää rasitusta. Lyhyistä kuiduista tehdyn paperin venymän arvo on pienempi sillä kuidut eivät kykene venymään vaan katkeavat. (Arjas, A. 1983).

Kuva 4 Selluloosan rakennekaava (Ryöstää, 2019).



Kuva 5 Kuidun rakenne. (Jensen, W, 1977).

Kuitulaji	Kuitupituus mm	Halkaisija mm	Seinämän paksuus m	Trakeideja %	Tylppysoluja %	Putkilosoluja %
Mänty	3	20-35	2,1-5,5	93	7	-
Kuusi	3,1	19-33	2,3-4,5	95	5	-
Koivu	0,9-1,2	22	3	65	10	25

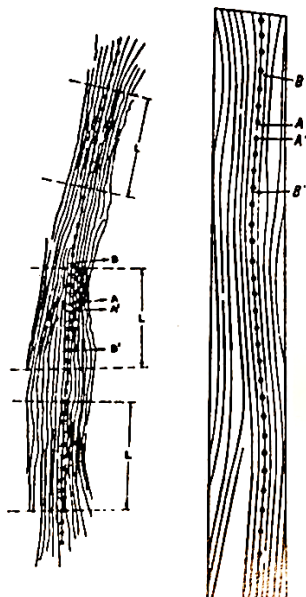
3.1 Molekyylirakenne

Selluloosan molekyylirakenne ei määrää ainoastaan kemiallisia ominaisuuksia vaan siitä johtaa myös selluloosan fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuuden. Näiden ominaisuuksien lisäksi saadaan selville selluloosan kuitumainen rakenne. Selluloosan molekyyliketjun yksiköt ovat β -glykosidisilla 1–4 sidoksilla toisiinsa liittyneitä anhydroglukoosiyksiköitä. Kun selluloosaa hydrolysoidaan hapoilla, saadaan reaktion lopputuotteena glukoosia ja välituotteena β -glykosidisia glukoosipolymeereja. esimerkiksi sellobioosia

. Kuiturakenne

Koska selluloosa on hydrofiilinen lineaarinen polymeeri, muodostaa se alkeisfibrillejä, jotka ovat yhdensuuntaisia molekyylejä ja kiinnittyvät toisiinsa vahvoilla vetysidoksilla. Alkeisfibrilli tarkoittaa täten selluloosakuidun pienintä ylimolekyylistä rakenneyksikköä. Alkeisfibrilleissä selluloosasta muodostuu kiteisiä alueita, jotka ovat järjestyneet tasaisesti, näitä kiteitä kutsutaan kristalliiteiksi. Kristalliitit on sidottu yhteen amorfisten alueiden kanssa kovalenttisilla sidoksilla. Amorfiset alueet eivät ole järjestäytyneet tasaisesti samalla tavalla kuin kiteet. Kristalliittien pituus selluloosassa on noin $100 \pm 20\text{nm}$, kun taas amorfisten alueiden pituus on 30-40nm.

Kuva 6 Alkeisfibrillin rakenne. (Jensen, W, 1977).



4 Hemiselluloosa

Hemiselluloosaksi kutsutaan puun hiilihydraatteja, jotka ovat selluloosaa pienimolekyylisempiä. Hemiselluloosa on monimuotoinen ryhmä polysakkarideja, jotka esiintyvät kasvien soluseinissä ja koostuvat erilaisista sokeriyksiköistä, mukaan lukien glukoosi, ksuloosi, mannanoosi, galaktoosi ja muita. Näiden ansiosta kuidut kykenevät liittymään toisiinsa muodostaen sidoksia. Sidokset antavat paperin kuituverkostolle lujuuden. Suurin osa hemiselluloosasta liukenee kemiallisen massan valmistuksessa. Tämä monimuotoisuus sokeriyksiköissä tekee hemiselluloosasta kemiallisesti monimutkaisemman verrattuna selluloosaan, joka koostuu pelkästään glukoosista. Hemiselluloosa täyttää soluseinien tilaa ja toimii liimana, joka pitää soluseinät koossa. Se ympäröi selluloosakuituja ja muodostaa soluseinät, jotka ovat osa kasvisolujen rakennetta. Hemiselluloosa lisää soluseinien joustavuutta ja venyvyyttä, mikä auttaa kasveja sopeutumaan ympäristön muutoksiin, kuten soluseinän venyminen kasvun aikana. Hemiselluloosan rakenne ja ominaisuudet vaihtelevat eri kasvilajien ja soluseinien tyyppin mukaan. Tämä tekee hemiselluloosasta monipuolisen polysakkaridin, joka voi toimia eri tarkoituksiin kasvien suojana ja mekaanisena tukena. Teollisuudessa hemiselluloosa voi olla haasteellinen raaka-aine sen monimutkaisen rakenteen vuoksi, mutta sitä voidaan silti hyödyntää. Esimerkiksi paperiteollisuudessa hemiselluloosaa voidaan käyttää paperinvalmistuksessa selluloosan lisäaineena, mikä voi vaikuttaa paperin lujuuteen ja painettavuuteen. Kaikissa puulajeissa esiintyy noin 20–35 % hemiselluloosaa niiden kuivapainosta. Havupuuhemiselluloosa ja lehtipuuhemiselluloosa eroavat merkittävästi toisistaan. Riippuen onko kyseessä rungot puu osa vai puun kuori taikka juuret. Havupuiden hemiselluloosa-aines muodostuu galaktoglukomannaaneista ja arabinoglukuroniksyylaaneista. Lehtipuiden hemiselluloosa-aines muodostuu glukuroniksyylaanista ja glukomannaanista. (Jensen, W, 1977).

Kuva 7 Hemiselluloosatyyppit. (Jensen, W, 1977)

Hemiselluloosatyyppi	Puulaji	Pitoisuus puusta %
Galaktoglukomannaani	Havupuu	5–8 %
Arabinoglukuroniksyylaani	Havupuu	7–10 %
Arabinogalaktaani	Lehtikuusi	5–35 %
Glukuroniksyylaani	Lehtipuu	15–30 %
Glukomannaani	Lehtipuu	2–5 %

5 Ligniini

Ligniini on kolmiulotteinen polymeeri, joka muodostuu monista erilaisista fenolista yksiköistä, kuten syringyylistä, guaiasyylästä ja p-hydroksifenyylistä. Näiden fenolisten yksiköiden välinen ristsidosmuodostus antaa ligniinille sen kolmiulotteisen rakenteen ja vahvistaa puun soluseiniä. Ristsidokset tekevät ligniinistä erittäin kestävä ja sitkeän aineen. Ligniini on monihaarainen polymeeri, joka sitoo kuidut kiinni toisiinsa antaen näin puulle jäykkyyttä. Ligniini on hydrofobinen aine, eli se hylkii vettä, jonka vuoksi se ei kykene muodostamaan yhtä helposti sidoksia kuin selluloosat. Ligniini on kovalenttisesti sitoutunut hemiselluloosiin (esteri, eetteri- tai glykosidinen sidos) Näitä kovalenttisesti sitoutuneita agregaatteja kutsutaan ligniini-hiilihydraattikomplekseiksi (lignin-carbohydrate complexes, LCC) Ligniini on sitoutunut myös pektiineihin (galaktaaniin ja arabinaaniin) eetterisidoksin. Sellun keiton aikana voi muodostua uusia sidoksia ligniinin ja hiilihydraattien välille. Vaikka ligniini on arvokas puun luonnollinen komponentti, se voi olla haasteellinen materiaali monissa sovelluksissa, erityisesti paperin valmistuksessa. Paperiteollisuudessa ligniini pyritään usein poistamaan prosesseissa, kuten selluloosan valkaisussa, jotta saadaan valkoisempaa ja puhtaampaa paperia. (Jensen, W, 1977).

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

m = jauhimen läpi virtaavan kuivan massan määrä, t/h

Kaava 2:

$$SEL = \frac{P_t - P_w}{L * n}$$

SEL = ominaissärmäkuorma (specific energy load), J/m tai Ws/m

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

L = jauhimen teräsärmien kokonaispituus, km

n = jauhimen kierrosluku, r/s

Jauhimen häviöteho saadaan mitattua, kun jauhinta ajetaan terät auki. Jauhatuksen määrä kuvaa kuinka pitkälle jauhettua massa on. (Arjas, A. 1983).

7 Jauhatusprosessi ja erilaiset jauhimet

Ennen jauhatusta kuidut muodostavat huonosti kuitujen välisiä sidoksia ja ovat jäykkiä. Jauhatuksen tavoitteena on notkistaa kuidut ja saada ne muodostamaan kuitujen välisiä sidoksia. Jauhatus vaikuttaa suureen osaan paperin mitattavia ominaisuuksia. Ennen jauhatusta massa hajotetaan pulppereilla, joiden tehtävä ei ole jauhaa massaa vaan hajottaa se pienemmäksi, jotta se voidaan ajaa jauhimeen. Massan hajotus pulppereissa kestää enintään 10 minuuttia. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003). Jauhatuksen alkuvaiheessa kuidusta poistuu primäärikalvo, joka estää kuitua turpoamasta. Lisäksi kuidulle tapahtuu sisäinen fibrillaatio, jonka tarkoittaa kuidun sisäisen rakenteen löyhtymistä, tämä johtuu siitä, että vesi pääsee tunkeutumaan kuituseinämän lamellien väliin. Sisäisen fibrillaation lisäksi kuidulle tapahtuu ulkoinen fibrillaatio, jossa kuidun ulkoinen seinämä löyhtyy. Jauhatus on kuiduille raskas toimenpide ja sen seurauksena osa kuiduista

katkeilevat ja se vaikuttaa paperin muodostumiseen ja paperin lujuteen. Jauhatuksessa syntyy hienoainetta massalietteeseen, joka on kuitujen pinnasta irronneista primäärikalvon ja sekundäärikalvon uloimman osan kappaleista irronneita partikkeleita. Kuitu pyrkii käpertymään suuressa sakeudessa ja suoristumaan matalassa sakeudessa. (Arjas, A. 1983). Jauhatuksessa kuidun sisäkerrosten väliset vetysidokset rikkoutuvat ja kuidun ulkoiset kerrokset rikkoutuvat. Jauhatus on rankka prosessi kuiduille ja kaikki kuidut eivät pysy ehjinä vaan alkavat katkeilla. Jauhatusen kesto ja voima vaikuttavat kuitujen kestävyYTEEN ja tämän takia jauhatusta ei saa suorittaa yliaikaa. Jauhatusen aikana kuitujen komponenttiaineet liukenevat ja kuidun pintaan muodostuu kolloidinen polysakkaridikos. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

Jauhatusen aikana massan laatua tarkkaillaan tekemällä massalietteestä kuiva-ainemääritys, joka suoritetaan mittaamalla haluttu määrä massaa suodatinpaperin päälle suodattimeen, jonka alla on imu mikä imee veden pois massasta. Tämän jälkeen massasta tehty kuitukakku nostetaan grilliin tai uuniin, jossa sitä kuivataan niin kauan, että tulos ei enää muutu punnittaessa. Lisäksi massasta seurataan tarkasti PH arvoa. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

$$x = 100 \frac{a - b}{c} x \frac{d + e}{d}$$

a = Kuitukakun ja suodattimen paino.

b = Suodatinpaperin paino.

c = Suodatetun massalietteen tilavuus

d = Otetun massalietteen paino

e = näytettä laimentaessa lisätyn veden paino (Arjas, A. 1983).

7.1 Levyjauhin

Levyjauhimesta on kaksi pääosaa: pyöreä roottori, joka on kiinnitetty akseliin keskeltä, ja staattorina toimivat vastaterät, jotka sijaitsevat roottorin molemmilla puolilla. Sekä roottorin ulkopinta että staattorin sisäpinta ovat varustettu uritetuilla terillä, joiden välistä materiaali kulkeutuu jauhimesta ulkokehälle sen toimiessa. Materiaali syötetään jauhimeen keskellä olevan syöttöputken kautta ja poistuu ulkokehällä olevan poistoputken kautta. Materiaalin liikettä syöttöputkesta poistoputkeen ohjaa yhdistetty hydraulinen paine ja keskipakovoima.

Terien välinen alue on jauhatusvyöhyke, missä kuidut jauhautuvat niiden joutuessa terien väliin. Jauhatusraot voivat vaihdella yhden ja neljän välillä levyjauhimen tyyppin mukaan. Monilevyjauhimen tapauksessa kaksi roottorin levyä on kiinnitetty samalle akselille. Jauhatustapahtuu jatkuvasti, ja massa kulkee jauhatusvyöhykkeen läpi tasaisella virtausnopeudella. Tämä voi johtaa epätasaiseen jauhatustulokseen, sillä osa kuiduista voi ohittaa terät kulkeutumalla jauhinterien uria pitkin ilman, että ne joutuivat terien väliin. (Arjas, A. 1983).

7.2 Kartiojauhin

Kartiojauhimen rakenne perustuu kartion muotoiseen roottoriin ja sen ympärille sijoitettuun kartion muotoiseen staattoriin. Materiaali syötetään jauhimeen kartion kapeammasta päästä ja poistuu leveämmästä päästä. Voimat, jotka liikuttavat massaa kartiojauhimessa, ovat syöttö- ja poistoyhteen välinen paine-ero sekä roottorin liikkeestä aiheutuva pumppausvaikutus. Pääosin massa virtaa syöttöputkesta poistoputkeen, mutta jauhimen terien välissä voi esiintyä paikallisia virtauksia, jotka suuntautuvat takaisin syöttöpäähän. Jauhimen teriin on muotoiltu viisteisiä uria, joiden ominaisuudet vaihtelevat jauhimien koon ja halutun käyttötavan mukaan. Kartiojauhimet toimivat jatkuvasti samoin kuin levyjauhimet, mutta kuten levyjauhimen tapauksessa, myös kartiojauhimissa käsitelty materiaali ei ole täysin tasalaatuista. Tämä johtuu kuitujen takaisinvirtauksesta ja ohivirtauksesta jauhimen terien välissä. (Arjas, A. 1983).

8 Paperin mitattavat ominaisuudet

Paperilla on lukuisia mitattavia ominaisuuksia ja tässä on käsitelty tähän opinnäytetyöhön perustuvia keskeisiä mitattavia ominaisuuksia.

8.1 Neliömassa

Paperin neliömassa mitataan ISO 536 standardin mukaan. Paperin neliömassalla tarkoitetaan paperin massaa grammoina laskettuna neliömetriä kohti (g/m^2). Neliömassa mitataan laboratoriossa käyttäen vaakaa. Neliömassaan sisältyy paperin kuiva-aine ja vesi. Neliömassan vaihtelu hankaloittaa paperin jälkikäsitteilyä ja vaikuttaa oleellisesti paperin muihin mitattaviin ominaisuuksiin. Neliömassa on yksi paperin tärkeimmistä mitattavista ominaisuuksista. (Ryti, N, 1974).

8.2 Paksuus

Paperin paksuus mitataan ISO 534 standardin mukaan. Paperin paksuus mitataan mikrometrillä 2 cm²:n kokoisella mittapöydällä, joka painaa paperia noin 2 kg:n painolla. Usein paksuuden mittaaminen suoritetaan pinopaksuusmittauksena, jossa pinotaan useampi näyte päällekkäin ja mitataan niistä paksuus ja jaetaan se paperien lukumäärällä.

Pinopaksuusmittauksen avulla minimoidaan paperin pinnan epätasaisuuden aiheuttamia virhearvoja ja saadaan paljon luotettavampi tulos. (Ryti, N, 1974).

8.3 Tiheys

Paperin tiheys lasketaan neliömassasta ja paksuudesta. Tiheys on neliömassa jaettuna paksuudella ja sen yksikkö on kg/m³. Paperin tiheyteen vaikuttavat paperin raaka-aineiden aineistiheys ja paperin huokoisuus. (Ryti, N, 1974).

8.4 Ilman läpäisy ja huokoisuus

Paperin kuitujen väliset sidokset muodostavat verkoston ja verkostossa olevat tyhjät aukot muodostavat huokosverkoston. Jauhatuksen määrällä säädellään huokosten kokoa, joka määrää kuinka huokoista paperi on. Huokoisuutta mitataan laboratoriossa laitteella, joka mittaa kuinka ilma läpäisee paperin. (Ryti, N, 1974).

8.5 Venymä

Paperin voimavenymä mitataan ISO 1924/2 standardin mukaan. Venymää mitattaessa paperista leikataan 15 mm liuska, joka asetetaan laitteeseen, jonka tarkoituksena on venyttää paperia niin että se murtuu 20 sekunnin kuluessa. (Ryti, N, 1974).

kN/m = Vetolujuus eli voima leveysyksikköä kohti

% = Murtovenymä eli liuskan prosentuaalinen venymä murtokohtaan saakka

J/m² = Vetomurtotyö eli venytykseen ennen murtumista käytetty energia pinta-alayksikköä kohti

kN/m = Vetojäykkyys eli voima-venymäkäyrän kulmakertoimen maksimi. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

8.6 Repäisylujuus

Repäisylujuus mitataan ISO 1974 standardin periaatteen mukaisesti. Repäisylujuuden mittauksessa pinotan neljä paperia päällekkäin ja leikataan leikkurilla halutun kokoiseksi. Paperi pino asetetaan laitteeseen, jonka jälkeen vapautetaan heiluri, joka repäisee paperipinon kahtia. Repäisylujuus ilmoitetaan voimana, joka vaaditaan repäisyn jatkamiseen. Repäisylujuuden yksikkö on Nm. Repäisyindeksi saadaan jakamalla repäisylujuus neliömassalla (mNm^2/g). Kuidun pituus, kuidun lujuus ja sitoutumisaste vaikuttavat repäisylujuuteen. (Ryti, N, 1974).

8.7 Opasiteetti

Opasiteetti mittaa paperin läpinäkymättömyyttä. Opasiteetti esitetään mustaa taustaa vasten mitatun paperin heijastusluvun, sekä paperin rajaheijastusluvun suhteena. Paperin opasiteetti sijoittuu välille 100–0. Opasiteetti on 100 kun paperi on kokonaan läpinäkymätöntä. Paperin ollessa läpinäkyvää on opasiteetti 0. Paperin neliömassa vaikuttaa oleellisesti paperin opasiteettiin. Korkeammat neliömassat takaavat korkeamman opasiteetin. Opasiteettia laskettaessa mitataan ensin paperin valonheijastusluku mustaa taustaa vasten, jonka jälkeen paperi mitataan ominaisheijastuslukuvalolla. Näitä arvoja käyttäen opasiteetti lasketaan kaavalla:

$$\text{Opasiteetti} = 100 * \frac{R_0}{R_\infty}$$

Missä on paperin valonheijastusluku mustaa vasten ja on paperin ominaisheijastusluku. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

9 Paperimassan mitattavat ominaisuudet

9.1 Sakeus

Sakeudella tarkoitetaan nesteen kuiva-ainepitoisuutta. Sakeuden mittauksessa massaa mitataan mittalasilla 100 ml massaa, massa laitetaan imuputkioon, joka poistaa massasta ylimääräisen nesteen. Sitten massa kuivatetaan grillissä ja lopuksi punnitaan. Näytteitä tehdään kaksi jokaisesta koepisteestä ja näiden tuloksista lasketaan keskiarvo. Kun massan sakeus on selvillä, voidaan mitata massan SR luku. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

9.2 SR luku

SR luku eli Shopperi luku kertoo sellumassan jauhatusteesta, siinä mitataan, miten vesi virtaa sellumassasta muodostuvan kerroksen läpi. Mitä pidemmälle sellumassaa jauhetaan, sitä tiiviimmän kerroksen sellumassa muodostaa ja sitä hitaammin vesi virtaa sen läpi, jolloin shopperi luku on korkea. Kun massan SR luku on selvillä, tiedetään millaisella massamäärällä, tehdään arkit. (Hägglom- Ahnger, U. & Komulainen, P, 2003).

10 Työnkulku

Työ aloitetaan jauhamalla sellut 2kpl. Selluja jauhetaan X määrä ja X aika. Jauhamisen jälkeen sellusta tehdään massamääritykset eli mitataan sakeus ja kun sakeus on selvillä, mitataan SR luku. Kun SR luku on selvillä, voidaan massasta tehdä arkit koska SR luku määrää kuinka paljon massaa arkkiin tulee. Jokaisesta sellusta tulee viisi koepistettä ja jokaisesta koepisteestä valmistetaan 15 arkkia. Arkkien valmistuksen jälkeen niistä puristetaan ylimääräinen vesi pois ja sen jälkeen niitä kuivataan 2 h. Kuivauksen jälkeen arkkeja ilmastoidutaan 4 h standardiolosuhteissa, jonka jälkeen ne ovat valmiita mitattavaksi laboratoriossa.

11 Tulokset

Työ aloitettiin jauhamalla sellumateriaali massaksi. Jauhatuksen aikana ei ilmennyt ongelmia ja massa valmistui suunnitellussa aikataulussa ja vastasi ennalta suunniteltuja massamääritysarvoja. Alla olevissa taulukoissa on listattu paperin ja sellun mitattavat ominaisuudet, sekä saadut tulokset. Taulukossa on merkittynä vihreällä värillä ne koepisteet, joista valmistettiin arkit ja tehtiin paperin laadunvarmistuksen mittaukset laboratoriossa. Lopuista koepisteistä tehtiin ainoastaan massamääritysmittaukset, mutta ei valmistettu paperia ajanpuutteen takia. Alla olevat Graffit on nimetty tutkittavan sellun mukaan, sillä tutkittavana oli kahta eri sellulaatua.

Taulukko 9 Sellu 1 tulokset.

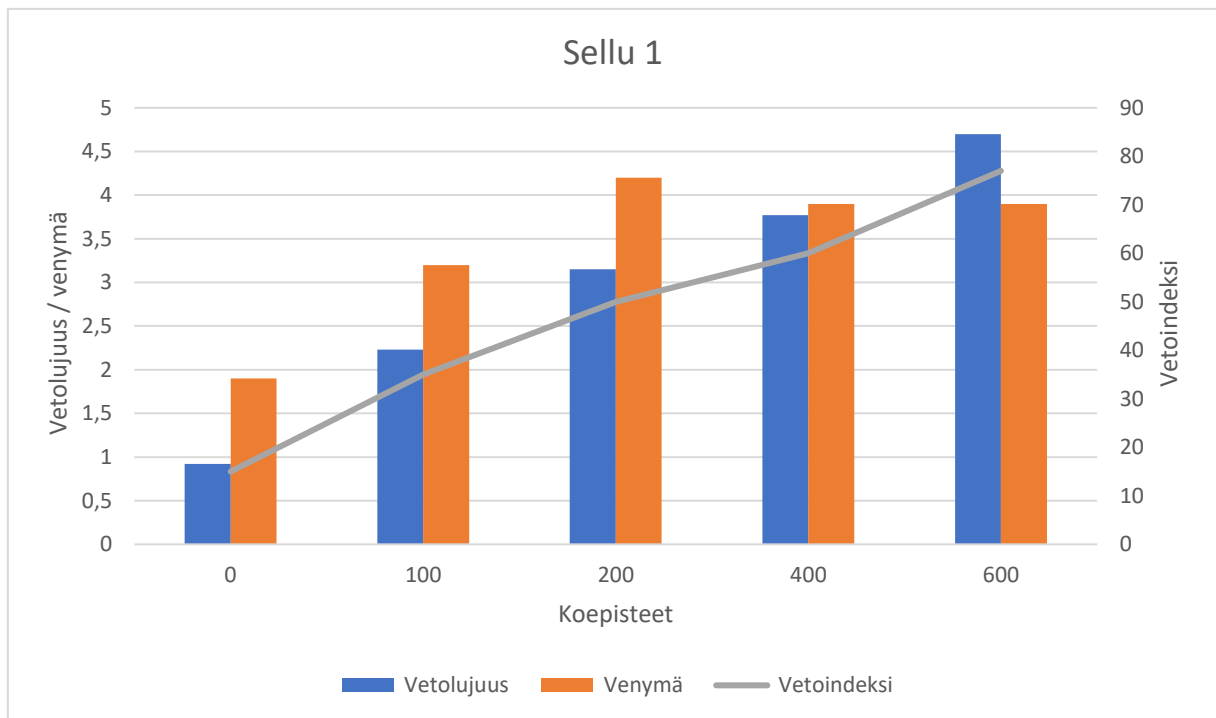
Energia	kWh / t	0	100	200	300	400	500	600
OSK	Ws/m	0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
SR TOY labra	°	13,0	22	24,5	35,0	50,0	63,5	72
SR Valmet	°	11,5	14,2	24,8	35,8	48,5	61,7	71
Valmet:								
Lc(l) ISO [mm]		2,087	1,864	1,679	1,583	1,394	1,28	1,19
Hienoaine A [%]		9,59	12,84	18,13	17,73	21,27	24,11	26,52
Hienoaine B [%]		1,79	2,96	5,47	6,98	9,33	11,76	14,71
Fibrillaatio [%]		0,11	0,43	0,77	1,17	1,48	1,77	2,05
?								
Neliömassa	g/m ²	59,70	63,40	63,40		62,40		61,20
Paksuus 1x	µm	144,00	129,00	124,10		108,70		98,10
Tiheys	g/cm ³	0,41	0,49	0,51		0,57		0,62
LW Gurley	s	1	3	10		251		3234
Huok LW 2kPa	pm/Pas							33880
Vetolujuus	kN/m	0,92	2,23	3,15		3,77		4,7
Vetoindeksi	Nm/g	15	35	50		60		77
Venymä	%	1,9	3,20	4,2		3,9		3,9
Repäisylujuus	mN	613	1346	1046		742		589
Repäisyindeksi	mNm ² /g	10,3	21,2	16,5		11,9		9,6
Lujuustulo		154,5	742	825		714		739,2
Opasiteetti ISO	%	69,8	69,3	66,7		68,7		58,6
Ro	%	66	64,3	62,7		58,2		55,1
Vaaleus C hp	%	87,9	87,1	86,6		87,2		84,9
Hajaheijastuskerroin	m ² /kg	32,71	28,70	26,67		23,16		20,11
Viskositeetti	dm ³ /kg	905						
Transparessi HP	%	31,6	33,8	35,5		39,4		43,1

Taulukko 10 Sellu 2 tulokset.

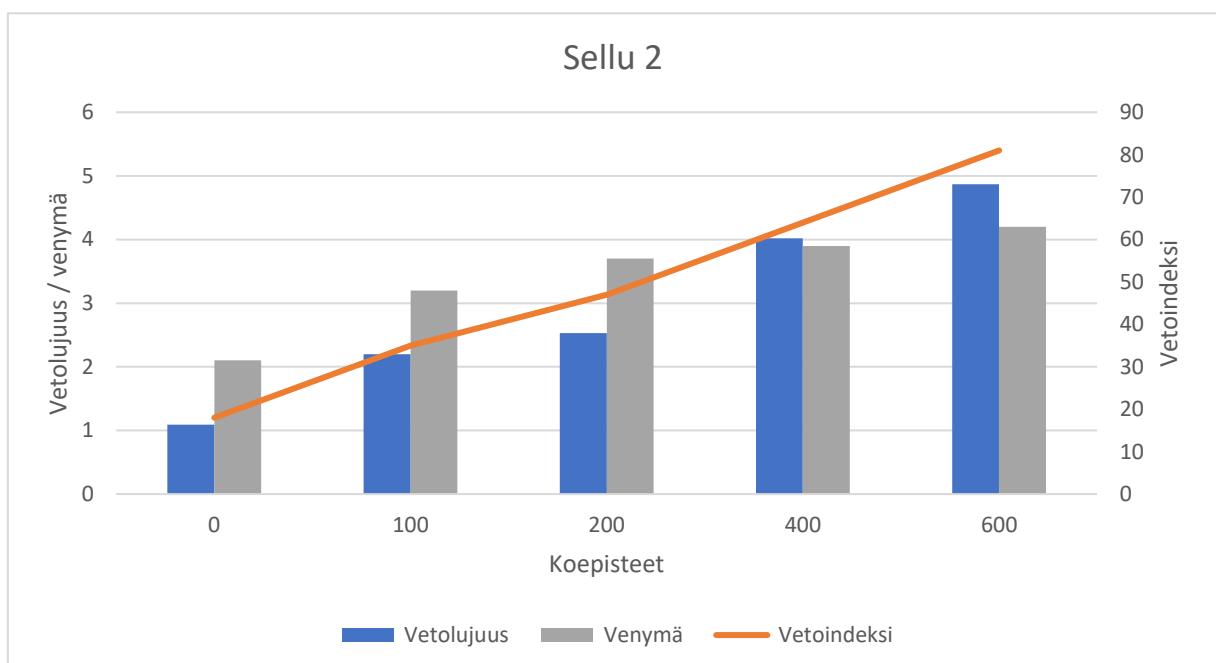
Energia	kWh / t	0	100	200	300	400	500	600
OSK	Ws/m	0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
SR TOY labra	°	14,0	19	29,0	43,0	59,8	70,0	77
SR VALMET	°	10,8	16	26,2	39,3	55,1	69,1	79
Valmet:								
Lc(l) ISO [mm]		2,028	1,802	1,646	1,454	1,323	1,19	1,099
Hienoaine A [%]		10,9	13,4	15,5	42,93	46,31	37,74	32,66
Hienoaine B [%]		2,14	3,13	4,49	8,04	9,88	12,03	13,97
Fibrillaatio [%]		0,11	0,46	0,87	2,74	3,97	2,99	2,66
?								
Neliömassa	g/m ²	60,90	62,50	54,00		62,40		59,90
Paksuus 1x	µm	142,90	128,60	107,80		105,60		91,60
Tiheys	g/cm ³	0,43	0,49	0,50		0,59		0,65
LW Gurley	s	1	3	9		590		8519
Huok LW 2kPa	pm/Pas							13020
Vetolujuus	kN/m	1,09	2,20	2,53		4,02		4,87
Vetoindeksi	Nm/g	18	35	47		64		81
Venymä	%	2,1	3,20	3,7		3,9		4,2
Repäisylujuus	mN	854	1152	746		654		453
Repäisyindeksi	mNm ² /g	14	18,4	13,8		10,5		7,6
Lujuustulo		252	644	648,6		672		615,6
Opasiteetti ISO	%	70,4	67,8	62		60,9		54,5
Ro	%	66	64	59,8		57,4		50,8
Vaaleus C hp	%	88	87,5	87,1		85,9		84,8
Hajaheijastuskerroin	m ² /kg	32,14	28,60	27,57		21,67		17,29
Viskositeetti	dm ³ /kg	927						
Transparessi HP	%	32,3	35,1	38,5		41,1		47,8

Alla olevissa taulukoissa on kuvattuna valmiin paperin lujuusmittauksia, jotka suoritettiin laboratoriossa. Kuvaajasta huomataan, että kun jauhatusta pitenee niin vetolujuus, venymä ja vetoindeksi nousee. Tämä johtuu siitä, että kun kuidut katkeilevat jauhatuksen aikana ne muodostavat sidoksia, jotka muistuttavat karvapalloja ja paperista tulee vahvempaa.

Kuva 11 Sellu 1 vetolujuus



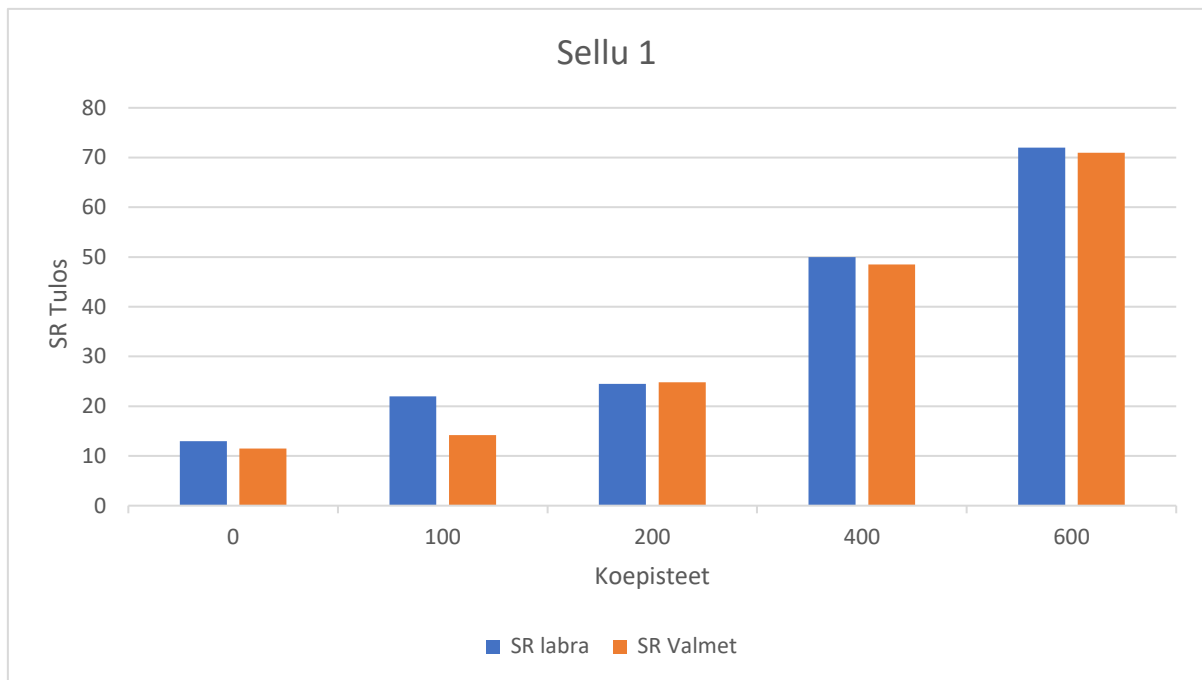
Kuva 12 Sellu 2 vetolujuus



Alla olevissa kuvaajissa on vertailussa SR luvun tuloksia mitattuna käsin laboratoriossa ja automaattisella kuituanalyssaattorilla, koska mittaus tehdään vielä käsin eikä luoteta

automaattiseen kuituanalysointiin. Tuloksista voidaan nähdä, että vaikka tulokset ovat hieman eri tasoisia niin kehitys jauhatuksen edetessä on suhteellisesti samaa tasoa ja kuvaajien perusteella tuloksia voidaan pitää luotettavana.

Kuva 13 Sellu 1 SR luku



Kuva 14 Selliu 2 SR luku

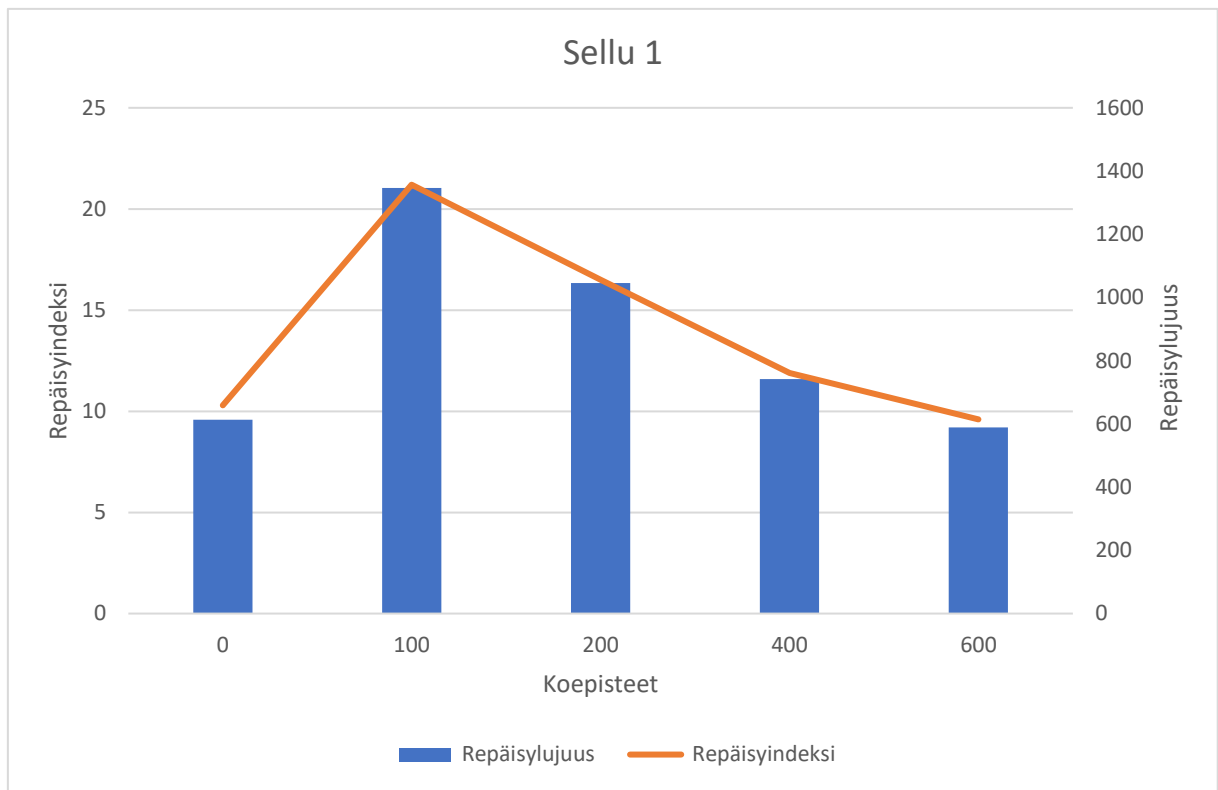


Alla olevissa taulukoissa on kuvattuna sellun 1 ja 2 repäisyjuuus ja repäisyindeksi, jotka mitataan laboratoriossa. Kuvaajista huomataan, että repäisyjuuus ja repäisyindeksi nousee

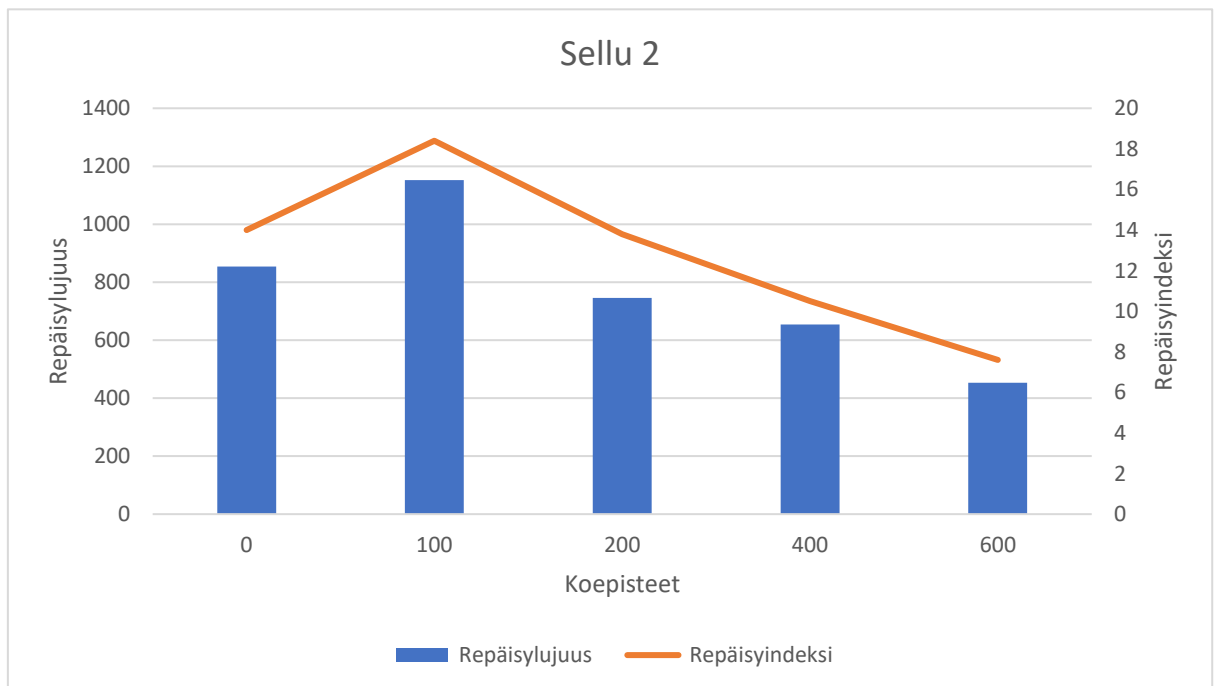
kahden ensimmäisen koepisteen kohdalla ja sen jälkeen lähtee laskuun. Tämä johtuu siitä, että kun jauhatusaika pitenee kuidut katkeilevat ja repäisylujuus pienenee sen takia.

Tällaisen testin tarkoitus on kartoittaa sopivinta jauhatusaikaa, jossa paperin repäisylujuus pysyisi mahdollisimman korkeana, eli paperin kestävyys olisi parhaimmalla tasolla. Tällainen taso on onnistuttu saavuttamaan koepiste 100 kohdalla.

Kuva 15 Sellu 1 repäisylujuus

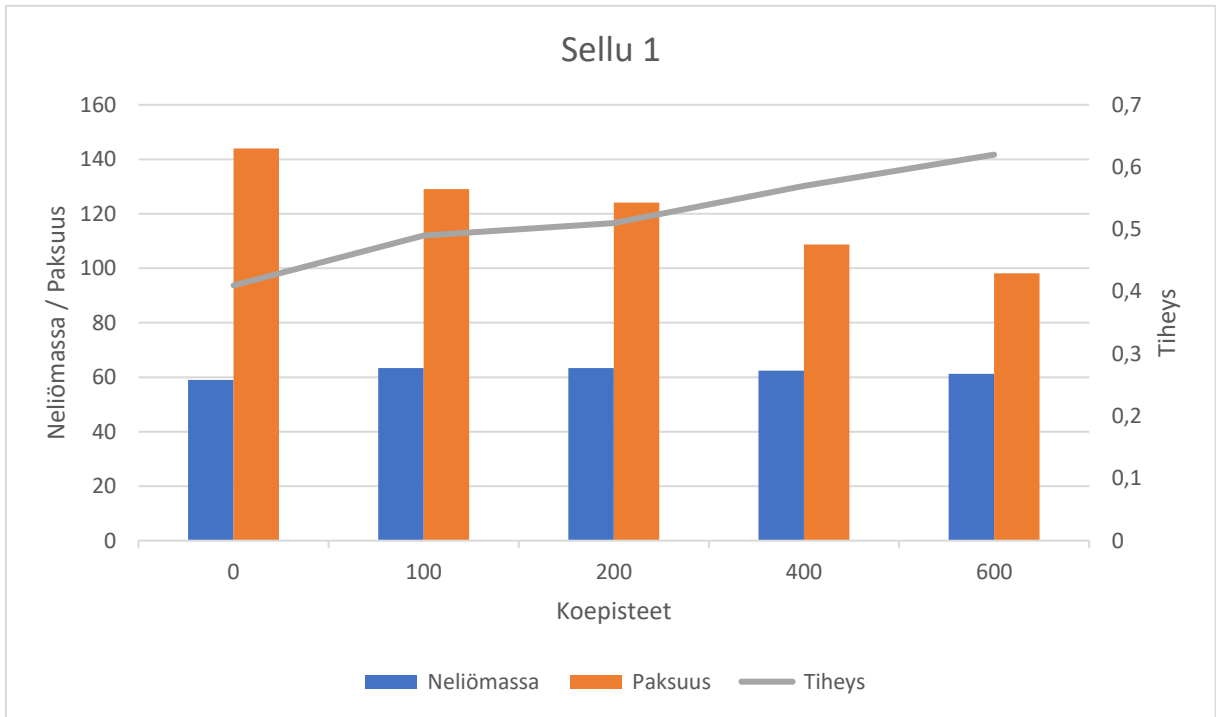


Kuva 16 Sellu 2 repäisylujuus

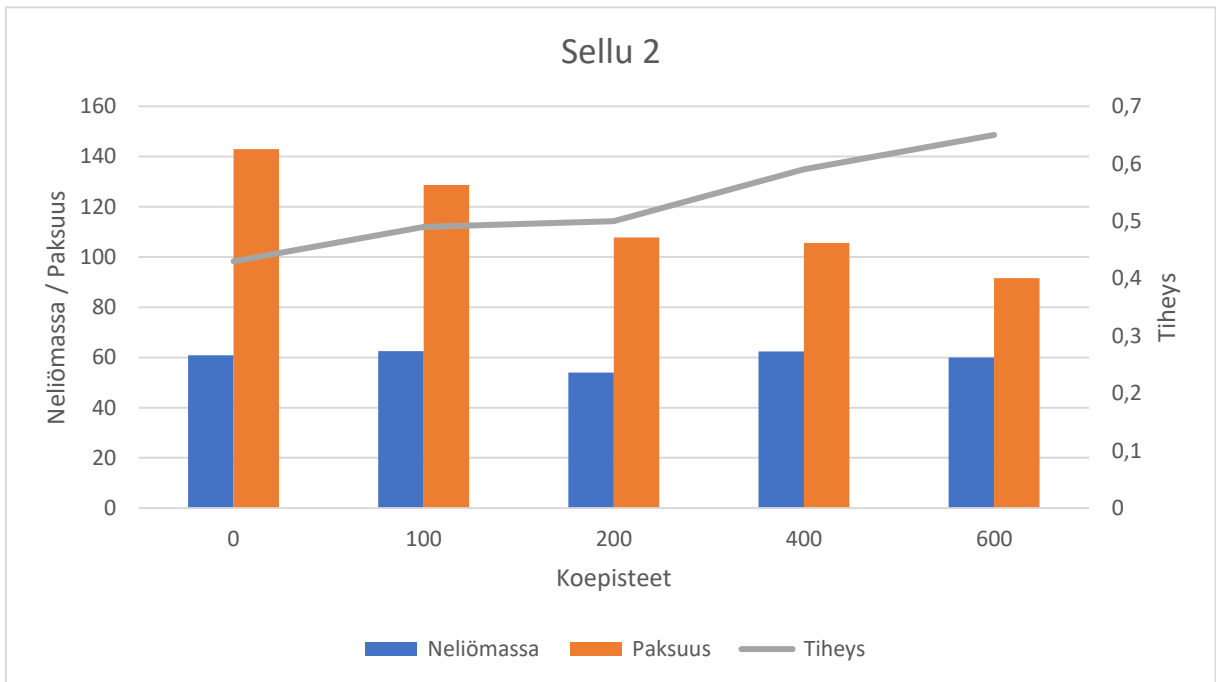


Alla olevissa kuvaajissa on kuvattuna paperin laadun kannalta niin sanottuja perusmittauksia, jotka tehdään joka kerta. Alla olevissa kuvaajissa on kuvattuna neliömassa, paksuus ja tiheys. Ensin on selvitetty paperin neliömassa ja paksuus, jonka jälkeen on saatu selville paperin tiheys. Kuvaajasta nähdään, kuinka paperin paksuus laskee jauhatuksen edetessä.

Kuva 17 Sellu 1 neliömassa, paksuus ja tiheys



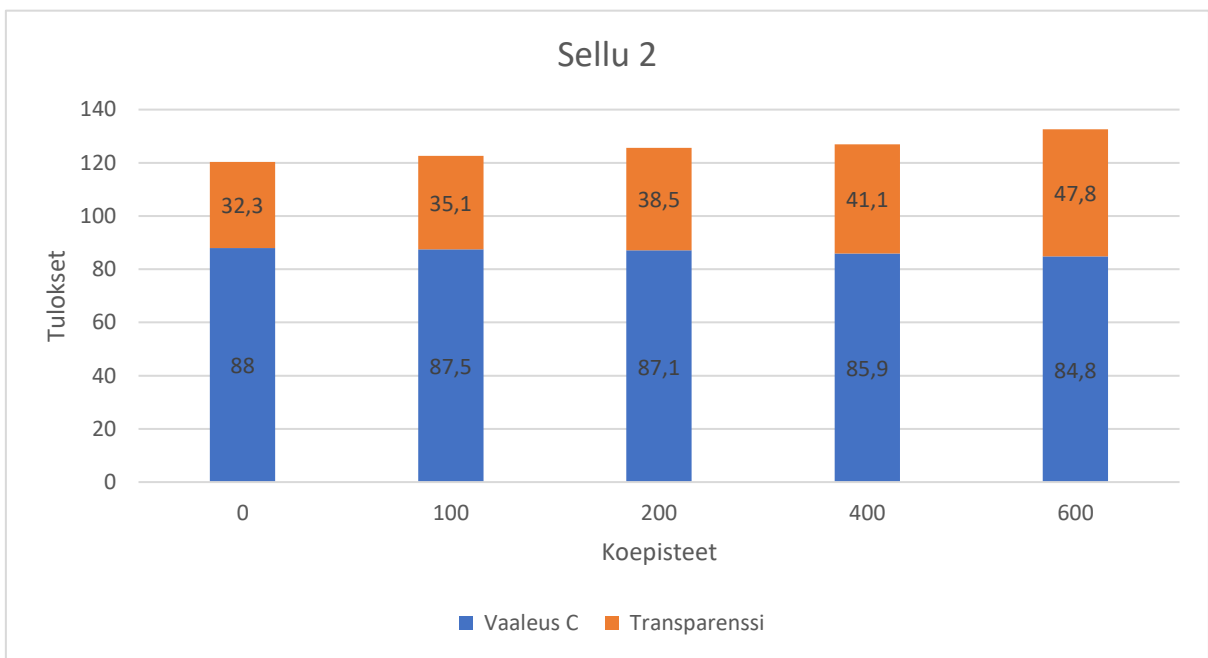
Kuva 18 Sellu 2 neliömassa, paksuus ja tiheys



Alla olevissa kuvaajissa on kuvattu paperin vaaleuden mittauksen tuloksia ja transparenssin tulos. Transparenssi kuvaa paperin läpinäkyvyyttä, jonka perusteella voidaan tulkita, että paperin läpinäkyvyys on noin. 13–15.

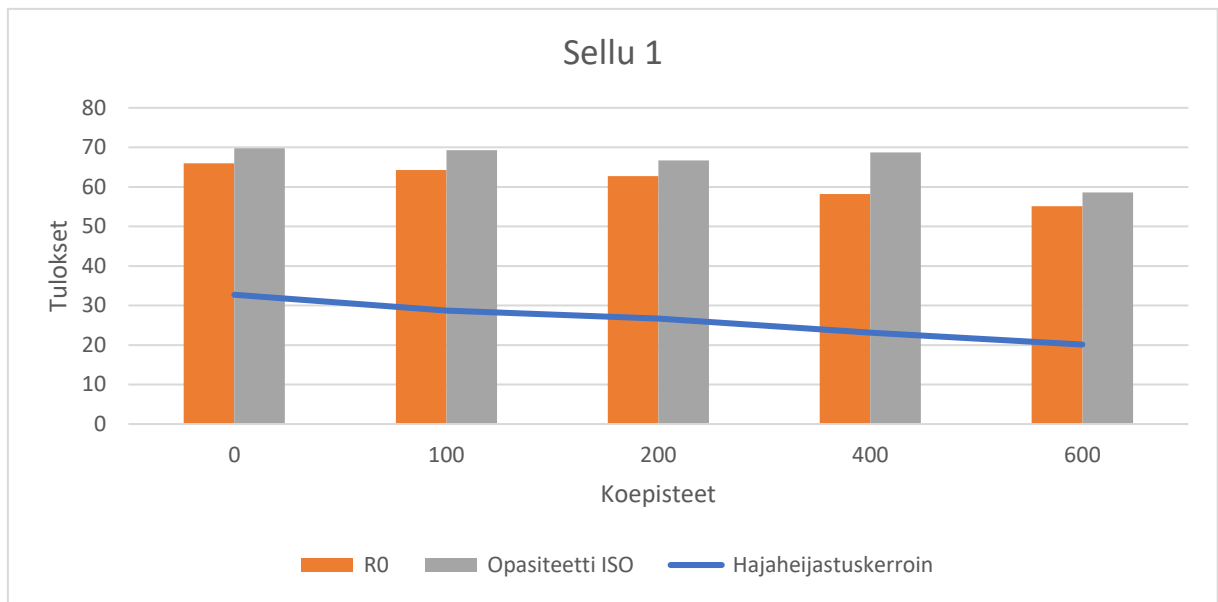


Kuva 20 Sellu 2 vaaleus C ja transparensi

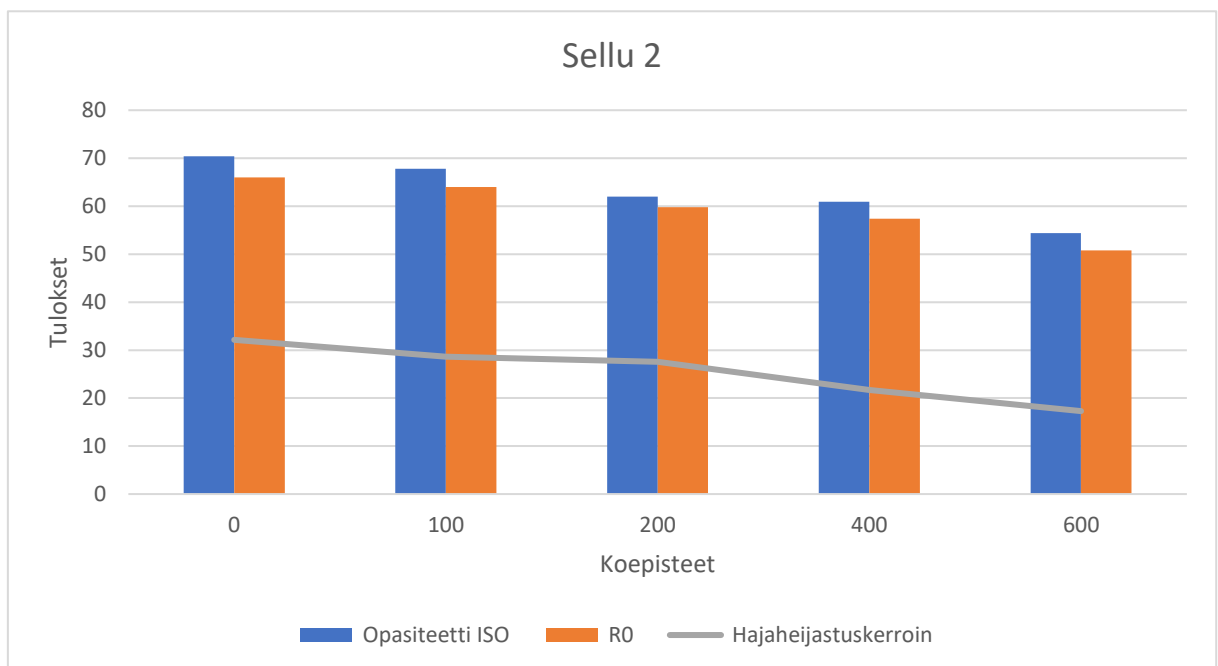


Alla olevissa kuvaajissa on kuvattuna paperin optisia ominaisuuksia. Opasiteetti kertoo paperin valon läpäisevyydestä. R0 arvo mitataan, jotta saadaan laskettua paperin hajaheijastuskerroin.

Kuva 21 Sellu 1 optiset ominaisuudet



Kuva 22 Sellu 2 optiset ominaisuudet



12 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli että, opinnäytetyön tilaaja Tervakoski Oy saa mahdollisimman kattavat koejauhatukset uusista selluista. Selluja jauhettiin kahta eri laatua ja työn kulku oli suunnitellun mukainen. Työ valmistui ajoissa ja laboratoriomittaukset olivat luotettavia ja ennalta suunnitellun mukaisia ja työn tilaaja oli tyytyväinen saadessaan mahdollisimman tarkat laboratoriotutkimukset uusista selluista valmistetuista paperiarkeista, sillä tulosten perusteella tehdään päätös uusien raaka-aineiden käytöstä ja siitä johtavista mahdollisista kustannussäästöistä. Kestävän kehityksen näkökulmasta tämä tutkimustyö tehdään sen takia että halutaan testata, jauhautuisiko uudet sellut mahdollisesti vähemmällä energialla nopeammin. Tällä tavoin saataisiin päästöjä pienemmäksi ja tuotannosta kustannustehokkaampaa. Energiatehokkaampaa jauhamista pitäisi vielä kokeilla oikeissa työskentelyolosuhteissa tuotannossa eikä tämä ratkennut vielä tämän opinnäytetyön aikana. Kustannussäästöt ovat kuitenkin oletettavia.

Lähteet

Arjas, A. (1983). *Paperin valmistus*. Suomen paperi- insinöörien yhdistys r.y.

Häggblom- Ahnger, U. & Komulainen, P. (2003). *Paperin ja kartongin valmistus*. Opetushallitus.

Jensen, W. (1977). *Puukemia*. Suomen paperi- insinöörien yhdistys r.y.

Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. (2004). *Paperimassan valmistus*. Opetushallitus.

Metsäteollisuuden työnantajaliitto. (1981). Laadunvalvonta.

Pellinen, H. & Roscier, R, H. (1952). *Hiokkeen ja selluloosan valmistus*. Suomen paperi- insinöörien yhdistys r.y.

Ryti, N. (1974). *Paperitekniikanperusteet*. Otaniemi.

Ryöstää. (5.10.2019). Selluloosaominaisuudet, tuotanto ja käyttö.

<https://sciencealpha.com/fi/cellulose-properties-production-and-application/>

Toroi, M. & Aaltonen, P. (1965). *Paperin tutkimusmenetelmiä*. Teknisen korkeakoulun ylioppilaskunta.