



PFI-jauhimen käyttöönotto

Tuomo Leppäkoski

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Paperi-, tekstiili- ja
kemiantekniikan
koulutusohjelma
Paperitekniiikan
suuntautuminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi- tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Paperiteknikan suuntautuminen

TUOMO LEPPÄKOSKI:
PFI-jauhimen käyttöönotto

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2014

Tämä opinnäyte työ tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriolle, joka osti käytetyn PFI-jauhimen keväällä 2013. Työn tarkoituksena oli tehdä PFI-jauhimelle valmistajan ohjeiden mukainen käyttöönotto, kalibrointi, käyttöohje ja vertailujauhatukset sen ja TAMK:n nykyisen Valley-Hollander-jauhimen välillä. Lisäksi työssä selvitettiin, soveltuuko PFI-jauhin nykyistä Valley-Hollander-jauhinta paremmin paperilaboratorion opetuskäyttöön.

Käytettynä hankitun PFI-jauhimen kunto ei ollut riittävän hyvä, joten sille jouduttiin tekemään valmistajan ohjeiden mukaiset jauhinpesän ja terien kunnostustyöt. Toimenpiteen jälkeen laitteen kunto ja tarkkuus todettiin tyydyttäväksi vertaamalla kalibrointimassalla tehtyjen jauhatusten tuloksia massan valmistajan ohjeisiin.

Jauhinten vertailujauhatuksessa samaa mäntysellua jauhettiin PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla ja mitattiin valmistettujen massojen ominaisuudet. Mittaustulosten todettiin olevan hyvin samansuuntaiset. Jauhimilla on erilaiset mekaaniset ominaisuudet, joten jauhettujen massojen ominaisuudet ovat myös erilaiset. Tämä ero näkyi parhaiten arkkien tiheyksissä, repäisyjuuksissa ja opasiteeteissa. Niiden vetolujuus ja valonsirontakerroin olivat sen sijaan lähes samat.

Standardin (ISO 5264-2:2011) mukainen massan valmistelu PFI-jauhimelle vaatii huomattavasti enemmän aikaa kuin vastaava valmistelu Valley-Hollander-jauhimelle. Koska niiden jauhatustulokset olivat hyvin samankaltaiset ja Valley-Hollander-jauhin on käytännöllisempi suurempien massamäärien valmistukseen, arvioitiin sen soveltuvan paremmin TAMK:n paperilaboratorion opetuskäyttöön.

Asiasanat: pfi-jauhin, kalibrointi, valley-hollander-jauhin, vertailujauhatus, käyttöohje

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Paper Engineering

TUOMO LEPPÄKOSKI:
Start-up of PFI mill

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 6 pages
May 2014

This thesis was carried out for Tampere University of Applied Sciences paper laboratory, which bought a used PFI mill in the spring of 2013. The purpose of the thesis was to carry out the start-up of the PFI mill, calibration, operation instructions in accordance with the manufacturer's instructions and make a comparison beatings between it and existing Valley- Hollander mill. In addition, the thesis analyzed if the PFI mill is more suitable than current Valley-Hollander mill for teaching purposes in paper laboratory.

The condition of the second-hand PFI mill was found not to be satisfactory. It was necessary to do reconditioning of beating elements according to the manufacturer's instructions. After this, the accuracy was found to be satisfactory by comparing the results of the beatings with reference pulp to the pulp supplier's specifications.

in the comparison beatings the same soft wood pulp was refined with the PFI mill and Valley-Hollander mill. A comparison of beating results showed that the properties of produced papers were very similar. Because the mechanical properties of the mills are any how different also the properties of the produced papers samples were different. This difference can be seen best in measuring results of density, tear index and opacity. The comparison measurement results of tensile index and light scattering were almost identical.

Preparing the pulp with standard (ISO 5264-2:2011) for PFI mill requires considerably more time than the respective work for Valley-Hollander mill. Because there is no major difference in beating results and Valley-Hollander mill is more practical if amount of prepared pulp is large it was considered more preferred mill for teaching purpose of TAMK paper laboratory.

Key words: pfi mill, calibration, valley-hollander mill, comparison beatings, operation instructions

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	KIRJALLINEN OSUUS	6
2.1	Jauhatuksen tavoitteet	7
3	Jauhatuksen teoriaa	8
3.1	Jauhatuksen luonnehdinta	8
3.2	Paperin paksuus, bulkki ja tiheys	9
3.3	Vetolujuus, repäisylujuus ja venymä	9
3.4	Valonsirontakerroin ja opasiteetti	11
4	LAITTEISTO	13
4.1.1	PFI-jauhin	13
4.1.2	Valley-Hollander-jauhin	14
4.2	Jauhatuksen ajoparametrit	15
5	KOKEELLINEN OSUUS	17
5.1	Yleistä	17
5.2	PFI-jauhimen kalibrointi	18
5.3	Kalibrointijauhatus	18
5.4	Teräpintojen eheyttäminen	19
5.5	Standardin mukainen jauhaaminen PFI-jauhimella	19
5.6	Standardin mukainen jauhaaminen Valley-Hollander-jauhimella	20
5.7	Koearkkien valmistus	20
5.8	Arkkien testaus	21
5.9	Kalibrointiarkkien testaus	21
5.10	Paksuuden ja tiheyden määrittäminen	22
5.11	Valonsirontakertoimen ja opasiteetin määrittäminen	22
5.12	Vetolujuusindeksin ja venymän määrittäminen	23
5.13	Repäisylujuusindeksin määrittäminen	23
6	TULOKSET	24
6.1	PFI-jauhimen kalibrointi	24
6.2	PFI- ja Valley-Hollander-jauhimien vertailujauhatukset	25
7	OMA POHDINTA	31
7.1	Laitteen kalibrointi tarkemmin	31
7.2	Tiheyksien eroavaisuus kalibroinnissa	32
7.3	PFI-jauhimen käyttäminen opetuksessa	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET:Liite 1. PFI-jauhimen kalibroinnin tulokset	34
	Liite 2. Käyttöohjeet	38

1 JOHDANTO

Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorioon oli ostettu PFI-jauhin keväällä 2013, joka haluttiin saada käyttöön. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tämän PFI-jauhimen käyttöönotto ja kalibrointi. Lisäksi tarkoituksena oli vertailla PFI- ja Valley-Hollander-jauhimien käytettävyyttä ja laatia PFI-jauhimelle käyttöohjeet.

Työn tavoitteena oli kalibroida PFI-jauhimen jauhatustulokset vastaamaan mahdollisimman hyvin kalibroitimassan toimittajan Labtium Oyn asettamia ohjearvoja. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimien vertailussa tavoitteena oli selvittää laitteiden käytännön eroja ja siten arvioida kumpi jauhimista soveltuu paremmin paperilaboratorion opetuskäyttöön. PFI-jauhimen käyttöohje laadittiin oppilaiden käyttöön siten, että se opastaa laitteen oikeaan ja turvalliseen käyttöön. Käyttöohje pohjautuu laitteen englanninkieliseen käyttöohjeeseen.

Tämän työn alkuosassa esitellään lyhyesti jauhatuksen peruseräotteita ja työssä käytettävien laitteiden rakennetta ja toimintaa. Työn kokeellisessa osuudessa käsitellään PFI-jauhimen kalibrointia, jauhimien vertailujauhatuksia sekä näistä saatuja tuloksia. Kokeellisen osuuden lopussa pohditaan mistä havaitut epätarkkuudet saattavat johtua ja miten niitä voitaisiin vähentää.

2 KIRJALLINEN OSUUS

Jauhatus on yksi paperinvalmistuksen tärkeimmistä osaprosesseista, sillä jauhatuksella voidaan vaikuttaa suoraan paperin perusominaisuuksiin. Erilaiset kuituraaka-aineet ja valmistettavat paperilaadut vaativat erilaisen jauhatuksen ja tarkoitukseen sopivan jauhimen. Lopputuotteelta vaadittavat sisäiset lujuusominaisuudet ja optiset ominaisuudet vaikuttavat suuresti jauhimen valintaan. Merkittävää on myös, että jauhatus kuluttaa huomattavan määrän energiaa ja siten muodostaa suuren kustannuserän. Tuotantoprosessissa jauhimen pitää olla mahdollisimman hyvin optimoitu, jotta vaadittu jauhatustulos syntyy hyvällä hyötysuhteella. Energian kulutukseen vaikuttaa myös, ajetaanko kuivaa paalattua sellua vai oman sellutehtaan valmistamaa putkisellua. (Koskenhely 2007, 94, 122, 129)

Paperikoneen modernisoinnin ja tuotantokapasiteetin noston yhteydessä voidaan kytkeä jauhimia sarjaan. Menettely on kannattavaa, jos näin on mahdollista saavuttaa hyvä jauhatustulos ja hyötysuhde pienemmillä investoinneilla kuin kaikki jauhimet uusimalla. Modernisoinnin jälkeen vanhat jauhimet toimivat kuten ennenkin, mutta sulppua jatkojauhetaan uusilla jauhimilla. Mikäli tehtaan tuotesuunta muuttuu huomattavasti, voidaan joutua vaihtamaan kaikki tuotantolinjan jauhimet, mikä on suuri investointi. Tehtaiden laboratoriojauhimet esimerkiksi PFI-jauhin on kalibroitu simuloimaan tehtaan vastaavia prosessijauhimia. Näin voidaan testata pienillä massoilla erilaisia jauhatuksen ajoparametreja ja massatyyppjä ennen kuin muutos toteutetaan varsinaisessa prosessissa. (Koskenhely 2007, 113, 123)

Jauhimia on mekaaniselta rakenteeltaan useita tyyppjä, mutta kaikissa jauhimissa toimintaperiaate on sama. Niiden rakenne koostuu pyörivästä roottorista ja kiinteästä staattorista sekä jauhimpesästä, jonka sisällä ovat jauhinterät. Roottorilla ja staattorilla on tarkoin lasketut geometriset pintakuviot, joilla vaikutetaan jauhatuksen intensiteettiin, jauhatuksen tasoon ja energian kulutukseen. Terien pintakuviot muodostuvat muotoiluista virtauskanavista ja teräsärmistä. Roottorin pyöriessä sulppu ajautuu virtauskanavia pitkin kohti poistoputkea, jolloin se joutuu ohittamaan jauhavia teräsärmiä. Kuituihin kohdistuvat voimat jauhavat niitä aiheuttaen kuitujen hiertymistä ja lyhentymistä. Jauhatus rikkoo myös kuidun primäärikalvon ja aiheuttaa kuidun säikeentymistä eli ulkoista fibrilloitumista. Rikkoutuneet kuidut imevät vettä ja vetristyvät. Tätä ilmiötä sa-

notaan sisäiseksi fibrillaatioksi. Kuitujen jauhaminen lisää kuitujen pinta-alaa ja notkeutta ja siten kasvattaa kuitujen sitoutumisen mahdollisuutta. Tästä seuraa lujusominaisuuksien paraneminen. Jauhatuksen jälkeen sulppu sisältää fibrilloituneita ja katkenneita kuituja, kuidusta peräisin olevaa hienoainesta ja geeliintyneitä ainesosia. Jauhatuksessa kuidut voivat myös suoristua, kihartua, turvota, venyä tai tiivistyä. Jauhatuksen tulos riippuu jauhimen ajoparametreista, kuten terävälän suuruudesta, jauhimen nettotehosta, sulpun sakeudesta, roottorin ja staattorin pintakuvioista sekä jauhatuksen ajallisesta kestosta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 113-116.)

2.1 Jauhatuksen tavoitteet

Jauhatuksen tavoitteena paperinvalmistusprosessissa on tehdä tarkoituksenmukaisia kompromisseja tuotetun paperin lujusominaisuuksien ja ulkoisten optisten ominaisuuksien välillä muokkaamalla sulpun kuitujen fyysisiä ominaisuuksia (VTT 2014).

3 Jauhatuksen teoriaa

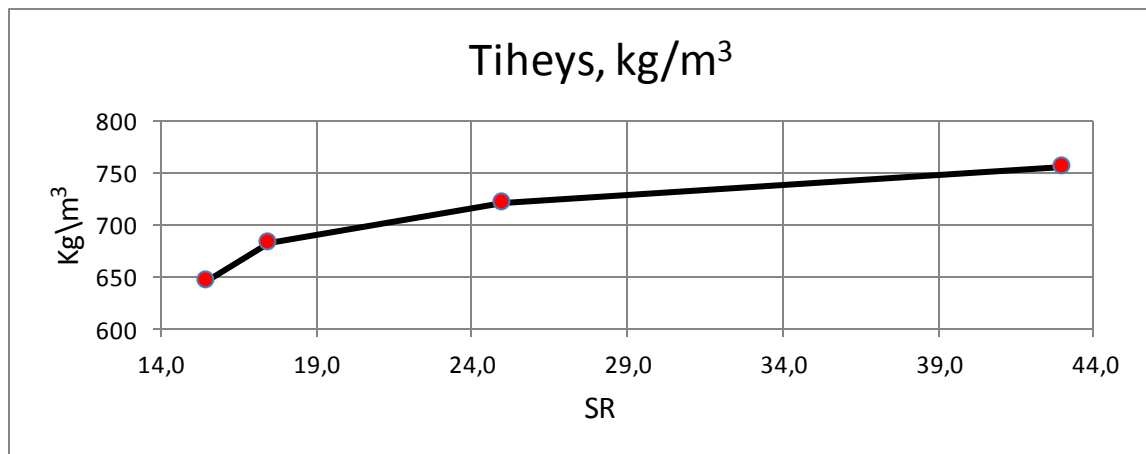
Tässä kappaleessa kuvataan, kuinka työssä koearkeista mitatut suureet liittyvät jauhatukseen. Kaikki työssä mitatut suureet ovat yleisesti käytettyjä paperin ominaisuuksien mittareita. Niiden perusteella voidaan hyvin määritellä valmiin paperin ominaisuudet ja kuinka jauhatusta vaikuttaa niihin. Vetolujuudesta ja repäisylujuudesta muodostettiin indeksiarvot, jotta arvot ovat vertailukelpoisia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 80–82, 90–101.)

3.1 Jauhatuksen luonnehdinta

Jauhatusta voidaan luonnehtia siten, että mitä enemmän sulppua jauhetaan, sitä enemmän sen sisältämät kuidut jauhaantuvat, ja jauhatustaso kasvaa. Jauhatustasoa tässä työssä kuvaa Schopper-Riegler-luku, joka määrittää jauhatustason muutokset sulpun suotautuvuuden avulla. Tämä on mahdollista, koska sulpun suotautuvuus heikkenee jauhatuksen edetessä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 113.)

3.2 Paperin paksuus, bulkki ja tiheys

Paperin paksuus ja tiheys ovat paperin rakenteeseen liittyviä ominaisuuksia, joten ne eivät ole sidoksissa pelkästään jauhatukseen, vaan niihin vaikuttavat myös paperin märkäpuristaminen ja kalanterointi. Mitä enemmän kosteaa paperia kalanteroidaan tai puristetaan, sitä ohuemmaksi paperi puristuu, ja sen tiheys kasvaa. Jauhaminen laajentaa kuitujen pituusjakaumaa ja siten mahdollistaa tiiviimmän kuituverkoston muodostumisen (kuvio 1). Bulkilla tarkoitetaan tiheyden käänteisarvoa. Bulkin ollessa korkea paperi on paksua, mutta paksuuteensa nähden kevyttä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 82-83.)



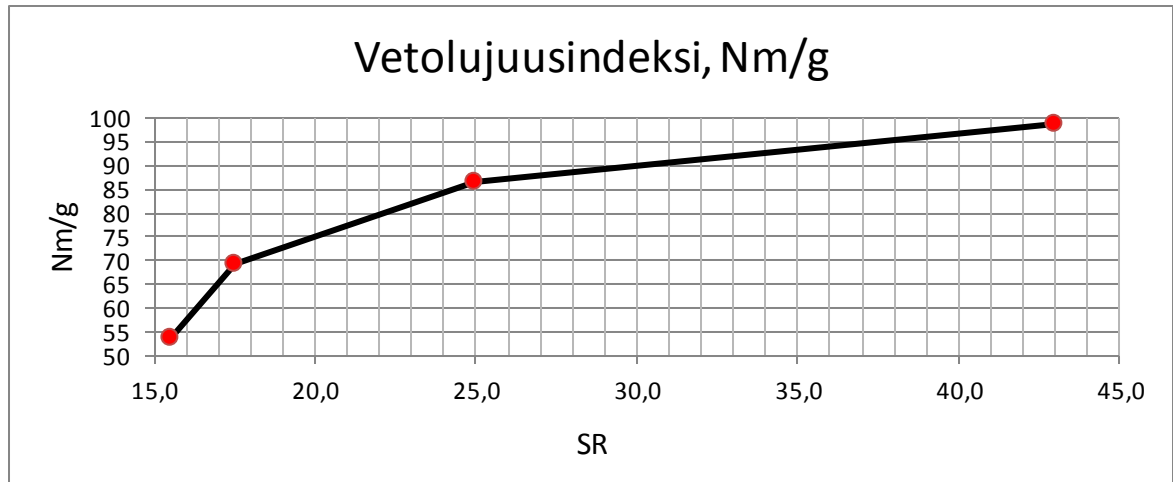
Kuvio 1. Paperin tiheys jauhatusasteen suhteen (Labtium Oy 2013)

3.3 Vetolujuus, repäisylujuus ja venymä

Jauhatusasteen kasvaessa kuidut lyhentyvät ja fibrilloituvat. Muodostuvassa paperirainassa kuidut sitoutuvat paremmin toisiinsa jauhatuksessa kuduille tapahtuneiden muutoksien ansiosta. Mitä enemmän massaa jauhetaan, sitä enemmän kuidut muodostavat vetysidoksia, ja sitä suurempi vetolujuus paperiin muodostuu (kuvio 2). (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 97.)

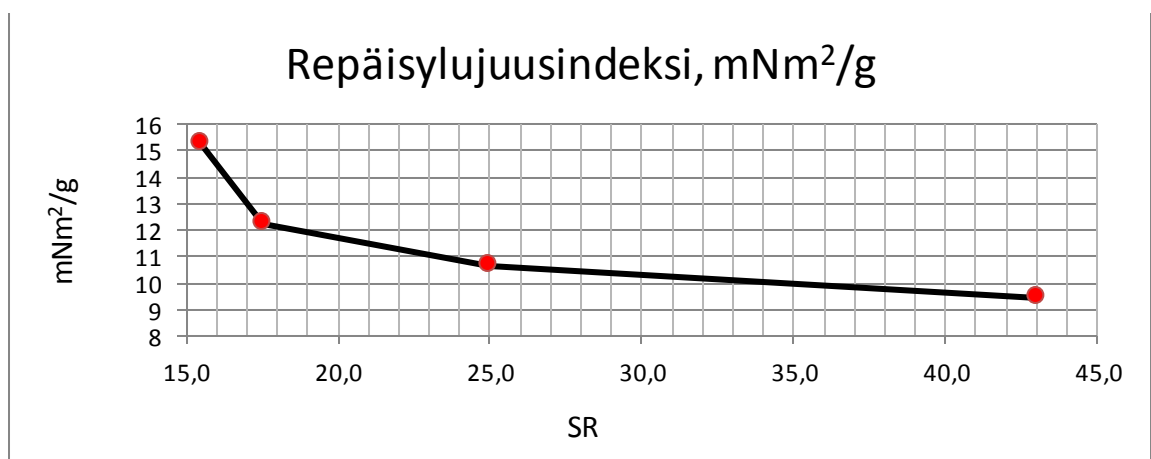
Rajoittavana tekijänä vetolujuuden kasvulle on kuitenkin liiallisen jauhatuksen aiheuttama kuitujen katkeaminen ja niiden fyysinen heikkeneminen. Vetolujuutta kuvataan

vetolujuusindeksillä, joka lasketaan vetolujuudesta jakamalla se paperin neliöpainolla (VTT 2014).



Kuvio 2. Vetolujuusindeksi jauhatustasteen suhteen (Labtium Oy 2013)

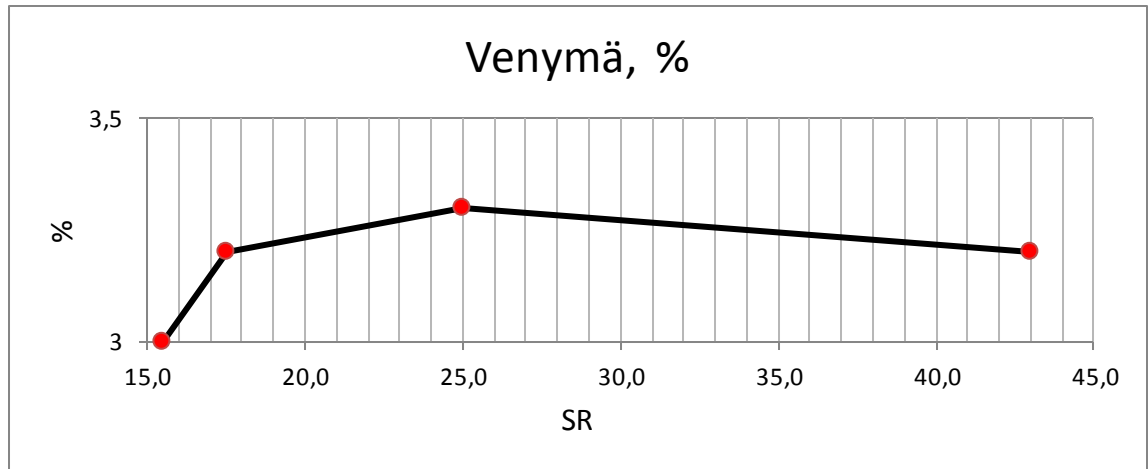
Repäisylujuus kasvaa aluksi jauhatuksen myötä, mutta romahtaa nopeasti lyhyiden kuitujen määrän kasvaessa riittävästi (kuvio 3). Repäisylujuus on parhaimmillaan jauhatuksessa, jossa sulppu sisältää paljon pitkiä fibrilloituneita kuituja. Nämä liukuvat huonosti kuituverkostossa ja kasvattavat repäisyyn tarvittavaan voimaa. Repäisylujuutta kuvataan repäisylujuusindeksillä, joka lasketaan repäisylujuudesta jakamalla se paperin neliöpainolla. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 98.)



Kuvio 3. Repäisylujuusindeksi jauhatustasteen suhteen (Labtium Oy 2013)

Paperin venymään vaikuttaa kuitujen fyysinen vahvuus ja jauhatuksen määrä, siten että kuitujen välisten sidoksien lujittuminen lisää paperin venyvyyttä. (kuvio 4). Venymään

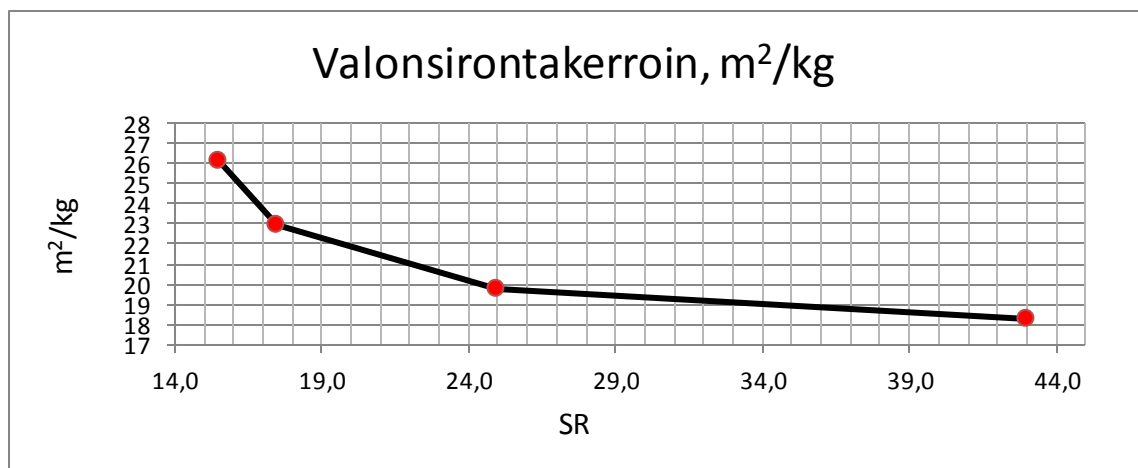
vaikuttavat lisäksi kuituorientaatio ja kuivatuksesta johtuva rainan kutistuminen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 95; Mutikainen 2008, 20)



Kuvio 3. Venymä jauhatusteen suhteen (Labtium Oy 2013)

3.4 Valonsirontakerroin ja opasiteetti

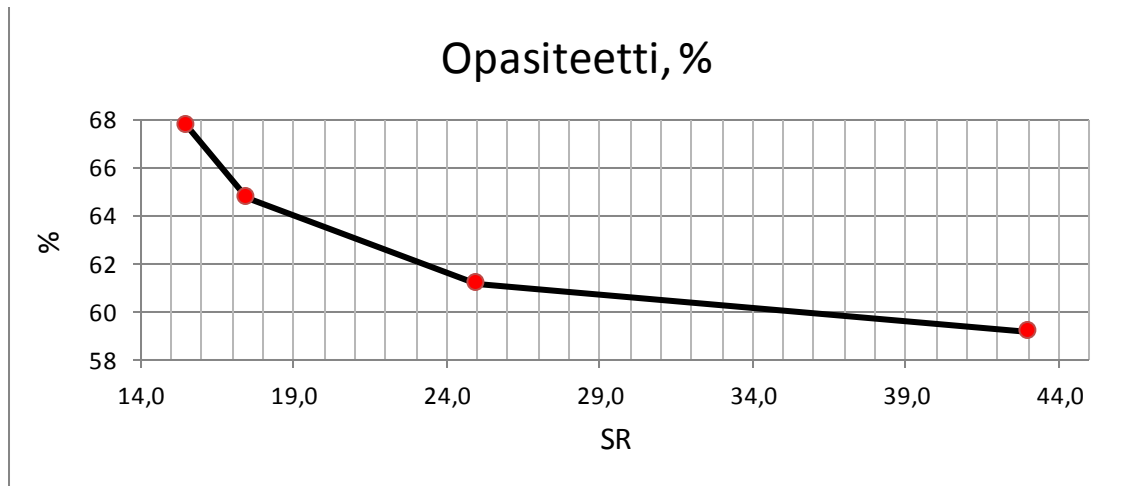
Kuituverkoston pinnan tiivistyessä ja jauhatuksen lisääntyessä pinta heijastaa huonommin valoa, jolloin valonsirontakerroin heikkenee ja heijastumisen sijaan valo pyrkii läpäisemään paperin (kuvio 5). (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 99-100.)



Kuvio 4. Valonsirontakerroin jauhatusteen suhteen (Labtium Oy 2013)

Opasiteetti kuvaa paperin läpinäkyvyyttä. Opasiteetti pienenee jauhatuksen edetessä, koska jauhatuksen aikana kuidut fibrilloituvat ja muodostavat enemmän sidoksia, mikä vähentää valonsirontakertoimeen vaikuttavaa pinta-alaa. Valon tunkeutuessa tästä syys-

tä enemmän kuituverkoston jauhatuksen lisääntyessä paperi muuttuu läpinäkyvämmäksi ja opasiteetti laskee (kuvio 6). Opasiteettiin vaikuttaa lisäksi tuotteen paksuus ja tiheys. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2005, 102.)



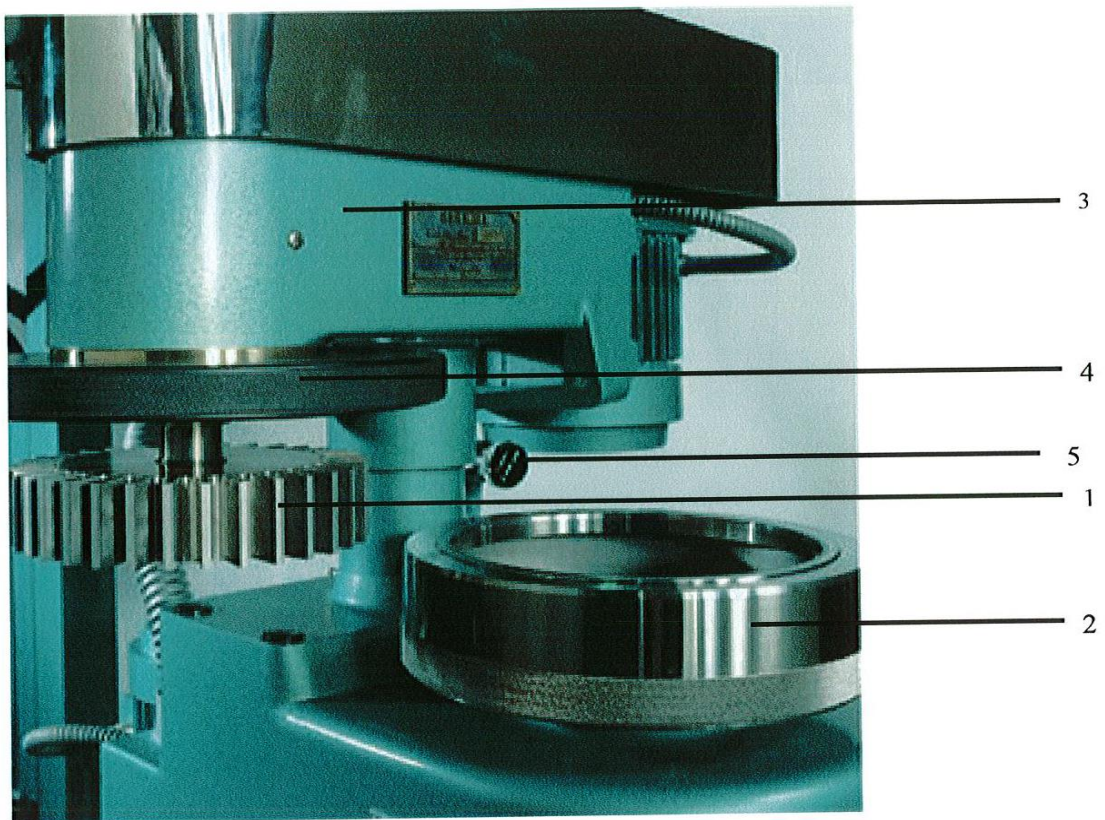
Kuvio 5. Opasiteetti jauhatusasteen suhteen (Labtium Oy2013)

4 LAITTEISTO

Laboratoriojauhimesta yleisimmin käytettyjä ovat Valley-Hollander- ja PFI-jauhin. Tässä kappaleessa tutustutaan näiden kahden jauhimen toimintaan ja rakenteeseen. (Koskenhely 2007, 113.)

4.1.1 PFI-jauhin

Kuvassa 1. on merkitty PFI-jauhimen tärkeimmät osat.



Kuva 1. PFI- jauhin (The original PFI...2005,15)

1. Jauhinterä (roottori), jossa on 33 pystysuuntaista teräsärmää.
2. Jauhinpesä (staattori), jonka seinämiin standardin mukaisesti valmistettu massa asetellaan.
3. Kääntövarsi, joka siirtää jauhinterää lepotilan ja jauhatustilan välillä.
4. Jauhinpesän päälle tulevaa kansi, joka estää sulpun poistumisen jauhinpesästä jauhatuksen aikana.
5. Säättöruuvi, jota käytetään terän ja jauhinpesän etäisyyden säätämiseen.

Lisäksi tähän jauhimeen kuuluu sähköpneumaattinen ohjaustaulu, josta voidaan säätää laitteen ajoparametrejä kuten jauhatuskierroksia ja teräkuormaa (The original PFI... 2005,15).

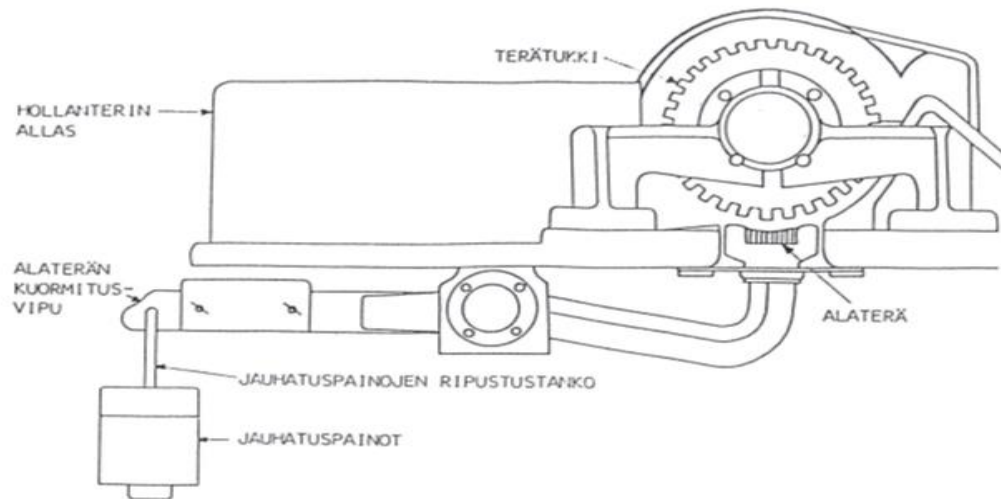
4.1.2 Valley-Hollander-jauhin

Valley-Hollander-jauhimesta on ovaalin muotoinen allas (kuva 2), jossa veteen lietetty massa hienontuu ja kulkeutuu eteenpäin laitteen roottorin pyörimisliikkeen vaikutuksesta.



Kuva 2. Valley-Hollander-jauhin (Retulainen 2013, 14)

Terätukki (roottori) on asetettu kanavaan vaaka-asentoon, ja sen alapuolella on alaterä (staattori). Staattorin ja roottorin välystä säädetään kuormittamalla staattorin pohjaan kiinnitettyä ripustustankoa punnuksella. Kuitu jauhautuu roottorin ja staattorin välissä (kuva 3). (Aaltonen 1986, 19.)



Kuva 3. Kaavakuva Valley-Hollander-jauhimesta (Aaltonen 1986, 19)

4.2 Jauhatuksen ajoparametrit

Jauhatusprosessia hallitaan ajoparametrien avulla, jotka voidaan jakaa kiinteisiin ja muutettaviin parametreihin. Kiinteitä parametreja ovat ne, jotka vaikuttavat jauhatuksen tulokseen, mutta joita ei voi muuttaa kesken jauhatuksen. Näitä ovat esimerkiksi valmistettavalle tuotteelle mittatilaustyönä tehdyt roottorin ja staattorin pintakuvioiden väliset leikkauskulmat. Muutettavia parametreja ovat sulpun sakeus, roottoriin syötettävän teho sekä roottorin ja staattorin välinen etäisyys. (Koskenhely 2007, 114-115.)

PFI-jauhimen jauhatusprosessia voidaan hallita muuttamalla jauhinterän ja seinämän välistä etäisyyttä, teräkuormaa ja jauhatuskierroksien lukumäärää. Teräkuormaa ja jauhinterän etäisyyttä seinämästä muuttamalla voidaan vaikuttaa jauhatuksen intensiteettiin. Etäisyys määrittää, kuinka paljon kuituja mahtuu terän ja seinämän väliin. Teräkuorma määrittää, kuinka paljon voimaa kuitujen muokkaamiseen käytetään. Jauhatuskierroksia muuttamalla määritetään jauhatuksen kesto. (The original PFI... 2005, 1, 6.)

PFI-jauhimen standardin mukaisessa jauhatuksessa terän etäisyysäädin asetetaan nollla. Teräkuormaksi asetetaan 3,33 kPa ja lämpötilaksi säädetään $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Jauhatukseen vaikuttavat myös jauhatuskierroksien lukumäärä ja jauhettavan sulpun sisältämien kuitujen ominaisuudet. Terälaitteiston hyväkunto on tärkeää, sillä epätasaiset terät aiheuttavat epätasaisen jauhatuksen. (ISO 5264-2:2011.)

Valley-Hollander-jauhatuksen ajoparametrit ovat sulpun sakeus, jauhatuksen kesto, teräkuorma ja lämpötila. Standardin mukaisessa Valley-Hollander-jauhatuksessa jauhastulokseen voidaan vaikuttaa vain sulpun ominaisuuksilla ja jauhatuksen kestolla (Aaltonen 1986, 19)

5 KOKEELLINEN OSUUS

5.1 Yleistä

PFI-jauhin ostettiin Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorioon Saimaan ammattikorkeakoululta käytettynä keväällä 2013. Laite ei ollut uusi, mikä aiheutti hie-man kalibrointiongelmia. Ulkoisesti laitteen kunto oli hyvä, mutta terä (roottori) ja jauhinpesä (staattori) olivat kolhiintuneet ja kuluneet. Saimaan ammattikorkeakoululta jauhimen mukana saatiin kalibrointiin käytettävää sulfaattisellua, eheyttämiseen käytettäviä silikonipulvereita, leikkausöljyä sekä hiomakivi terän särmien huoltoa varten. Kalibrointiin käytettävä sulfaattisellumassa on vanhennettua, jotta sen ominaisuudet eivät muuttuisi ajan myötä. Oikein varastoituna tällainen massa antaa luotettavia tuloksia vielä vuosien kuluttua massan valmistuksesta. Jauhinta varten paperilaboratorioon jouduttiin asentamaan voimavirtapistoke, normaali virtapistoke ja kuuden baarin paineil-maliitäntä. Työssä vertailujauhimenä käytetty TAMKIn Valley-Hollander-jauhin oli melko iäkäs, mutta hyvin huollettu laite.

5.2 PFI-jauhimen kalibrointi

Jauhin kalibroidaan laitteen valmistajan toimittaman ohjekirjan mukaisesti käyttämällä kalibrointiin tarkoitettua sulfaattisellua. Kalibrointijauhatuksessa tehdään neljä eriateista jauhatusta 1000, 2000, 4000 ja 7000 kierrosta ja vertaillaan jauhatusten SR-arvoja massan valmistajan toimittamaan tulostaulukkoon. Kalibrointijauhatusta tehdään samalla tavalla kuin standardin ISO 5264-2 mukainen normaali jauhatusta, mutta massana käytetään kalibrointimassaa.

5.3 Kalibrointijauhatusta

Kolmekymmentä grammaa (30 g) uunikuivaa kalibrointimassaa revitään 2,5 cm x 2,5 cm kokoisiksi paloiksi ja asetetaan puoleen litraan vettä likoamaan neljäksi tunniksi. Veden sähkönjohtavuuden tulee olla korkeintaan 0,25 mS/m, jotta se on riittävän puhdasta jauhatukseen käytettäväksi. Palat laitetaan vesiastiaan siten, että kaikki palat ovat vedenpinnan alapuolella.

Liottamisen jälkeen selluastiaan lisätään vettä siten, että kokonaistilavuudeksi saadaan kaksi litraa. Seoksen lämpötilan tulee olla $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, jonka jälkeen sitä esikuidutetaan märkähajottimella 30 000 kierrosta. Tämän jälkeen sulppu erotellaan Büchnerpullon avulla. Jäljelle jää noin 150 grammaa kosteaa sellua. Siihen lisätään vielä vettä siten, että kokonaisuudeksi saadaan 300 grammaa. Tällöin massan sakeus on standardin vaatima kymmenen prosenttia (10 %).

Massa painellaan käsin jauhimpesän sisäpintaan mahdollisimman tasaiseksi kerrokseksi, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka ja tasalaatuinen jauhatusta. Jauhatusta tehdään kalibrointimassan toimittajan antamilla kierrosluvuilla. Jauhatuksen jälkeen näyte poistetaan jauhimesta käsin ja huuhdellaan vedellä jauhinpinnoilta kaikki kuidut mukaan näytteeneseen. Jauhettu näyte laimennetaan kahden litran tilavuuteen lisäämällä vettä, jonka lämpötila on 25 °C.

Laimennettua näytettä jälki hajotetaan märkähajottimella 10 000 kierrosta. Lopuksi näyte laimennetaan lisäämällä 13 litraa vettä.

Näin saadun sulpun sakeus on 2 g/l. Suotautuvuusmittaus, esimerkiksi SR-tai CSF-mittaus pitää tehdä alle kolmenkymmen minuutin kuluttua jauhatuksen päättymisestä. SR-mittaus suoritetaan standardin SFS-EN ISO 5267-1 mukaisesti.

5.4 Teräpintojen eheyttäminen

Teräpintojen ollessa huonossa kunnossa saadaan kalibrointisuotautuvuusmittauksesta liian suuri tai liian pieni SR-tai CSF-arvo. Liian suuri SR-arvo johtuu teräpintojen liiallisesta karheudesta tai epätasaisuudesta, jolloin kuituun kohdistuu suunniteltua enemmän voimaa epätasaisilla jauhinpinnoilla. Korjauksena käytetään jauhatusta silikonipulveria sisältävällä hylkymassalla. Tämä korjausmenetelmä hioo teräpintoja ja laskee SR-lukua. Toimenpide toistetaan kunnes kalibrointi-arvot saadaan tavoitearvoonsa. Tässä toimenpiteessä jauhinpesän tulee pyöriä vastapäivään.

Matalilla arvoilla teräpinnat ovat tylstyneet, eikä kuituihin kohdistu tarpeeksi voimaa. Tällöin teräpintoja pitää teroittaa jauhamalla silikonipulveria ja leikkausöljyä jauhinpesässä. Jauhimen pesän tulee pyöriä tässä toimenpiteessä myötäpäivään, jolloin teräpinnat yliteroittuvat. Teräpinnat pitää vielä kiillottaa samalla toimenpiteellä, jota käytettiin, kun SR-luku oli liian suuri. Tämä menettely laskee suotautuvuuslukua. Jos mittaus tulokset ovat edelleen liian korkeita, pitää tarkastaa terän särmien kunto. Mikäli särmisä on karkeita, teräviä tai epätasaisia kohtia, hiotaan särmät hiomakivellä. Näiden molempien toimenpiteiden jälkeen tehdään toistojauhatuksia korjauksen onnistumisen toteuttamiseksi ja teräpintojen stabiloimiseksi.

5.5 Standardin mukainen jauhaminen PFI-jauhimella

Standardin mukainen jauhatus PFI-jauhimella tehdään samalla tavalla kuin edellä kuvattu kalibrointijauhatus. Tässä työssä käytettiin kalibrointimassan sijasta Tako-CX-mäntysulfaattisella.

5.6 Standardin mukainen jauhaminen Valley-Hollander-jauhimella

Revitään 360 g \pm 5 g uunikuivaa sulfaattisellua 2,5cm x 2,5cm kokoisiksi paloiksi ja annetaan niiden liota viiteen litraan vettä upotettuina vähintään neljä tuntia. Jauhimeen kaadetaan 18 litraa 20 °C \pm 5 °C vettä ja käynnistetään jauhin. Lisätään hitaasti veden sekaan liotetut massan palat. Annetaan jauhimen hajottaa sulppua 20 minuuttia. Pysäytetään jauhin ja otetaan sulpusta 1,2 litran näyte. Laimennetaan näyte sakeuteen 2 g/l. Tehdään SR-mittaus, josta saadaan vertailuarvo jauhatustasteen seuraamiseen. Lisätään staattorin säätövarteen 5 kg punnus ja käynnistetään jauhin. Arvioidaan haluttua jauhatustastetta vastaava jauhatusaika ja otetaan uusi näyte tämän arvioidun ajan kuluttua. SR-luvun ollessa \pm 2° tarkkuudella halutusta arvosta poistetaan jauhettu sulppu pohjaventtiilin kautta (Aaltonen 1986, 19-20.)

5.7 Koearkkien valmistus

Tässä työssä koearkkeja valmistetaan viisitoista kappaletta jokaisesta jauhatuserästä.

Arkit valmistetaan SCAN-C 26 standardin mukaisesti käyttäen arkkimuottia, jonka pinta-ala on 16,5cm x 16,5cm.

Arkkimuotti täytetään vedellä hieman yli puolenvälin ja muottiin annostellaan 0,8 litraa sulppua, jonka sakeus on 2 g/l. Käynnistetään muotin ilmasekoitin. Se sekoittaa sulpun ilmakuplien avulla. Vesi päästetään metalliviiran läpi, jonka päälle kuidut retentioituvat. Syntyneen rainan päälle asetetaan imukartonki viirapuoli ylöspäin. Imukartongin päälle asetetaan ohut, arkin kokoinen metallilevy. Metallilevyä kaulitaan messinkikaulimella viisi kertaa edestakaisin aloittaen levyn keskeltä. Metallilevyn tarkoitus on levittää messinkikaulimen puristus tasaisesti koko arkin pinta-alalle. Kaulimisen päätteeksi arkki ja imukartonki siirretään arkkitelineeseen ja siihen merkitään tarvittavat tunnisteet. Arkin päälle lisätään vielä kolme imukarttonkia ennen kuin seuraava arkki asetetaan telineeseen. Tämä toimenpide toistetaan, kunnes kyseisen jauhatustasteen viimeinen imukarttonki on siirretty pinon. Lopuksi pinon päälle laitetaan ohut metallilevy jakajaksi.

Kosteat, pinotut arkit märkäpuristetaan standardin SCAN-C 26 mukaisesti. Arkit siirretään märkäpuristimeen saman korkuisina pinoina. Ylimmäksi ja alimmaksi asetetaan metallilevy tasaamaan puristuspainetta.

Märkäpuristaminen tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa arkkeja puristetaan yhtäjaksoisesti neljä minuuttia, jonka jälkeen arkkien välissä olleet imukartongit vaihdetaan. Imukartonkeja, joiden välissä arkki on, ei kuitenkaan vaihdeta. Arkit asetetaan uudelleen märkäpuristimeen ja aloitetaan toinen puristaminen, joka kestää kaksi minuuttia.

Märkäpuristamisen jälkeen pinoista erotetaan tyhjät imukartongit. Muut imukartongit arkkeineen asetellaan kuivausrummun hihnalle. Ne kiristetään kuivuriin ja niitä kuivataan neljä tuntia, kunnes kuivausrumpu pysähtyy automaattisesti.

Kuivat imukartonkipinot viedään vakiokosteushuoneeseen, jossa niitä ilmastoidaan vähintään neljä tuntia pöydille tasaisesti leviteltynä. Lopuksi ilmastoiduista pinoista erotetaan koearkit.

5.8 Arkkien testaus

TAMKIn testauslaitteisto sijaitsee paperilaboratorion vakiokosteushuoneessa, jonka suhteellinen ilmankosteus on 50 %.

Tässä työssä koearkeista mitataan seuraavat arvot: paksuus, tiheys, vetolujuusindeksi, venymä, repäisyjujuusindeksi, valonsirontakerroin ja opasiteetti.

5.9 Kalibrointiarkkien testaus

Arkkien massana käytetään Labtium Oy:n mäntysulfaattireferenssimassaa ja verrataan saatuja kalibroinnin arvoja Labtium Oy:n toimittamaan tulostaulukoon. Ilmastoidut arkkit leikataan 15 cm x 15 cm kokoisiksi, jolloin niiden pinta-ala on 225 cm².

Leikatut arkkit punnitaan gramman kymmenesosan tarkkuudella. Arkeille lasketaan neliöpaino jakamalla jauhatusteryhmän arkkien painojen keskiarvo pinta-alalla ja kertomalla 10 000.

5.10 Paksuuden ja tiheyden määrittäminen

Jauhatusasteryhmän paksuuden keskiarvo mitataan viidestä arkista ottamalla kaikista arkeista viisi mittausta arkin eri kohdista. Mittaukset tehdään standardin ISO 534:2011 mukaisesti. Arkki asetetaan mittalaitteen mittapään alle, jolloin laite mittaa paperin paksuuden ja kirjoittaa tuloksen kuittiin. Arkki siirretään aina seuraavaan mittauskohtaan, kunnes tarvittava määrä mittauksia on tehty. Lopuksi tulostetaan mittalaitteesta kuitti, jossa mitatut arvot ovat. Kuittiin on laskettu mittaussarjan keskiarvo. Laskemalla sarjojen keskiarvot yhteen ja jakamalla sarjojen lukumäärällä saadaan kaikkien sarjojen yhteinen keskiarvo. Jauhatusasteen tiheys lasketaan jakamalla jauhatusteelle laskettu neliöpaino jauhatusteiden paksuuksien keskiarvolla.

5.11 Valonsirontakertoimen ja opasiteetin määrittäminen

Valonsirontakerroin ja opasiteetti mitataan värimittarilla ISO 2471-2 standardin mukaisesti. Värimittari mittaa arkin pinnasta heijastuvaa valoa ja arkin läpinäkyvyyttä. Mittaukset tehdään 10 arkista. Arkit asetetaan paksuna nippuna laitteen optiikan ja telineen väliin. Arkit ovat nipussa, jotta arkkien läpi ei tulisi häiritsevää valoa, joka vääristää valonsirontakertoimen. Annetaan värimittarille jauhatusteiden neliöpaino ja mittauksen aloituskäsky. Mittauksen päätyttyä siirretään päällimmäinen arkki alimmaiseksi ja toisesta mittausta, kunnes kaikki arkit on mitattu. Opasiteetin mittaamiseen tarvitaan telineen päälle musta varjostin, jonka päälle arkki asetetaan. Värimittari käynnistetään, jolloin salamavalon lävistää yksittäisen arkin, ja optiikka tutkii arkin opasiteetin. Kun kaikki arkit on mitattu, tulostetaan tulosliuskat, joissa ovat jauhatusteiden arkkien opasiteetti (%) ja valonsirontakerroin (m^2/kg).

5.12 Vetolujuusindeksin ja venymän määrittäminen

Vetolujuusindeksi ja venymä mitataan ISO 1924-3 standardin mukaisella vetolujuusmittarilla. Koska koearkeilla ei ole kone- tai poikkisuuntaa, leikataan 150 mm x 15 mm koepalat arkkien alareunoista. Vetolujuusmittariin asetetaan mitattavan jauhatusasteen neliöpaino. Koepala kiinnitetään laitteen leukojen väliin ja käynnistetään laite. Se venyttää koepalaa, kunnes pala repeää. Laite kirjaa samalla tuloksen muistiin. Kun kaikki koepalat on mitattu, vetolujuusmittarista tulostetaan kuitti, jossa ovat jauhatusasteen vetolujuusindeksi (Nm/g) ja venymä (%).

5.13 Repäisyjujuusindeksin määrittäminen

Repäisyindeksi mitataan repäisyjujuusmittalaitteella ISO 1974:2012 standardin mukaisesti. Arkeista leikataan 40 kappaletta 50mm x 60 mm kokoista koepalaa ja ne järjestetään kymmeneksi neljän kappaleen nipuksi. Nippu koepaloja asetetaan mittalaitteen pneumaattiseen kouraan ja arkkeihin leikataan alkuvälto kouraan asennetulla terällä. Vapautetaan mittalaitteen heiluri, jolloin se repäisee koepalanipun pystysuunnassa. Tämän jälkeen laite laskee, kuinka paljon voimaa tarvittiin nipun repäisemiseen. Kun tarvittava määrä toistoja on tehty, mittalaite laskee jauhatusastesarjan repäisyjujuusindeksin.

6 TULOKSET

6.1 PFI-jauhimen kalibrointi

Kalibroinnin tulokset on kerätty alla olevaan taulukkoon (taulukko 1). Tässä taulukossa mitattuja kalibrointijauhatusien arvoja voidaan verrata Labtium Oy:n vertailutaulukon arvoihin. Kalibrointijauhatusien arvoista voidaan todeta, ettei kalibrointi onnistunut täysin odotetusti, sillä 7000 kierroksen SR-luku ei saavuttanut tavoiteltua $43^{\circ} \pm 2^{\circ}$ arvoa. Jauhatus toistettiin kahdesti tuloksen varmistamiseksi. Kalibrointi katsottiin kuitenkin hyväksyttäväksi, koska koulu ei suorita jauhimella näin korkeita SR-asteita vaativia jauhatusia.

Taulukko 1. PFI-jauhimen kalibroinnin tulokset Labtium Oy:n mäntysulfaattikalibrointimassalla ja vastaava vertailutaulukko

	Kalibrointijauhatuset				Labtiumin vertailutaulukko			
	1000	2000	4000	7000	1000	2000	4000	7000
Jauhatusen kesto	1000	2000	4000	7000	1000	2000	4000	7000
SR° (Schopper-Riegler)	15,5	16,7	23,7	34	15,5	17,5	25,0	43,0
Bulkki cm ³ /g.	3,00	2,86	2,51	2,13	1,55	1,47	1,38	1,32
Tiheys kg/m ³	334	349	398	469	647	682	722	755
Vetolujuusindeksi Nm/g	37,4	47,3	66,4	76,8	53,7	69,2	86,5	98,8
Venymä %	6,1	6,4	4,2	3,6	3	3,2	3,3	3,2
Repäisyjuuusindeksi mNm ² /g	17,99	17,60	15,78	13,38	15,28	12,21	10,62	9,48
Valonsirontakeirron m ² /kg	34,1	32,2	29,6	26,1	26,1	22,9	19,8	18,3
Opasiteetti %	77,5	75,1	73,3	71,3	67,7	64,7	61,2	59,2

Sulpuista valmistettuja arkkeja vertailtaessa täytyy muistaa, että arkit valmistetaan käsin parasta mahdollista huolellisuutta noudattaen. Standardisoiduista metodeista huolimatta arkeissa näkyy selvästi käsityön aiheuttamaa laadullista hajontaa. Suurimmaksi ongelmaksi nousee arkin tiheys, sillä se alittaa karkeasti tavoitearvot. Alhainen tiheys vaikuttaa huonontavasti muihin mittaustuloksiin, koska tiheys on yksi tärkeimmistä paperin perusominaisuuksista ja vaikuttaa koko paperin luonteeseen. Mittatuloksien perusteella todetaan, että arkkien mittaukset seuraavat jauhatusen perusteoriaa. Tulokset kulkevat oikeassa suhteessa jauhatusasteen suhteen, mutta ovat vääristyneet Labtium Oy:n vertailutaulukon nähden arkkien alhaisen tiheyden vuoksi. Lisäksi (taulukon 1) vertailutulokset on esitetty graafisesti liitteessä 1.

6.2 PFI- ja Valley-Hollander-jauhimien vertailujauhaukset

PFI- ja Valley-Hollander-jauhauksien tuloksia voidaan vertailla taulukosta kolme. Molemmilla jauhimissa jauhettavana massana käytettiin Tako-CX- mäntysulfaattisellua, joka on koulun käyttämä yleismassa. Vertailun tarkoituksena oli luoda mahdollisimman tarkka kuva näiden kahden jauhimen keskinäisistä eroista.

Havaitut jauhimien suurimmat erot ovat käytännöllisyydessä ja toistettavuudessa. PFI-jauhimella pystytään toistamaan pieniä jauhatuseriä nopeasti ja tarkasti. Toisaalta sulpun standardin mukainen valmistelu ja jälkikäsitteily vievät enemmän aikaa kuin Valley-Hollander-jauhimella. Jauhauksen valmistelut Valley-Hollander-jauhimelle ovat vaivatonta PFI-jauhimeen verrattuna ja sillä pystytään jauhamaan huomattavasti suurempia jauhatuseriä. Toisaalta Valley-Hollanderin jauhauksien toistettavuus on keho PFI-jauhimeen verrattuna. Valley-Hollander-jauhimella jauhauksen kesto määritellään vertaamalla jauhauksen haluttua SR-lukua kokemuseräiseen jauhatusaika/SR-luku kuvaajaan paperilaboratorion seinässä. Kuvaajasta luetaan jauhauksen arvioitu kesto minuutteina. Jauhauksen kestoa säädellään manuaalisesti kellon ja virtakytkimen avulla, mikä lisää inhimillisen erehdyksen mahdollisuutta jauhauksessa.

Jauhauksien onnistumista kuvaa SR-lukujen osuminen $\pm 2^\circ$ sisälle toisistaan.

Molempien jauhimien koearkkien mittaustulokset onnistuivat hyvin, sillä tulokset vastasivat jauhauksen perusteorioita ja lisäksi SR-lukujen heitot huomioituna arvot pysyivät vertailukelpoisina. Selkeästi kuitenkin huomataan, että arkit valmistetaan käsin ja sulput jauhetaan erityyppisillä jauhimilla. Tämä näkyy arkkien paksuuksien ja tiheyksien epätasaisuuksina.

Tässä työssä käytetään taulukossa kaksi esitettyä vertailuryhmää. Ryhmät on muodostettu siten, että PFI-jauhimen kierrosluvut vastaavat mahdollisimman hyvin Valley-Hollander-jauhimen jauhatusaikaa.

Taulukko 2. PFI- ja Valley-Hollander-jahimien vertailuryhmät mäntyselällä tehdyissä jauhinvertailuissa

Vertailuryhmä	PFI-jauhin (kierrosta)	Valley-Hollander-jauhin (minuuttia)
1	1000	30
2	2000	45
3	4000	65
4	7000	75

Esimerkiksi PFI-jauhimen 4000 kierroksen ja Valley-Hollander-jauhimen 65 minuutin jauhatuksen SR-luvut ovat samat, mutta tiheys on suurempi 65 minuutin jauhatuksessa. Tämä voidaan todeta myös arkkien paksuuksista, jotka ovat ohuempia kuin vertailtavissa PFI-ärkeissa. PFI-jauhin tuottaa ehkä tasaisemmassa suhteessa lyhyitä ja pitkiä kuituja, koska paperin lujuusominaisuudet kuten vetolujuus, repäisylujuus ja venymä olivat paremmat arkkien tiheyden ollessa pienempi.

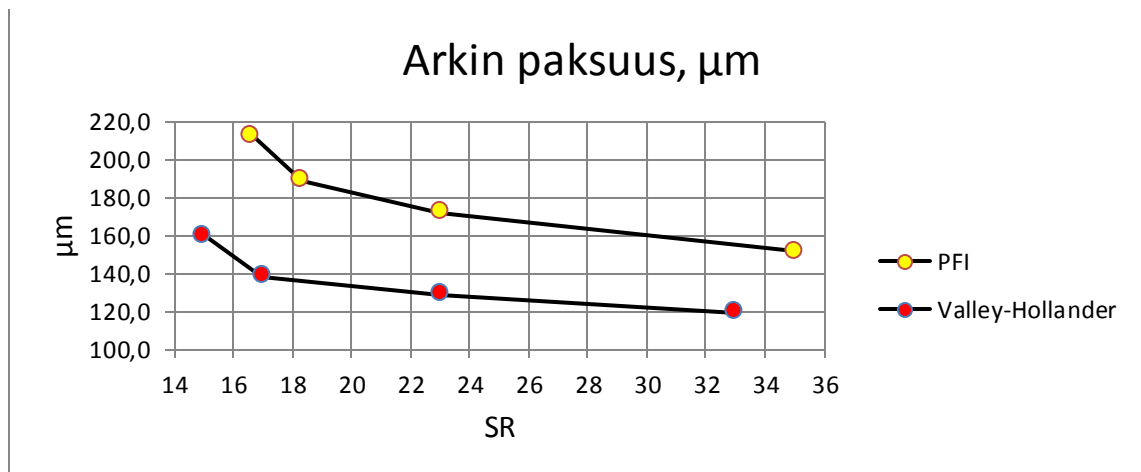
PFI- ja Valley-Hollander-jauhatuksien opasiteettia ja valonsirontakertoimia vertailtaessa voidaan todeta että, PFI-jauhatuksen valonsirontakerroin on Valley-Hollander-jauhatusta matalampi, mutta opasiteetti on vastaavasti korkeampi. Tämä selittyy PFI-arkkien paksuudella ja erilaisella kuitujakaumalla ja tiheydellä. Kaikki vertailuryhmät (1, 2 ja 4) antoivat esimerkissä esitetyt tulokset, koska kaikkien vertailuryhmien tulokset noudattavat jauhatuksen perusteorioita.

Taulukko 3. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimen vertailutaulukko mäntyselällä tehdyissä vertailujauhatuksissa

	PFI-jauhin				Valley-Hollander-jauhin			
	1000	2000	4000	7000	30	45	65	75
Jauhatuksen kesto	1000	2000	4000	7000	30	45	65	75
SR° (Schopper-Riegler)	16,6	18,3	23	35	15	17	23	33
Paksuus µm	212	189	172	152	160	138	129	119
Tiheys kg/m ³	333	367	414	461	365	401	454	510
Vetolujuusindeksi Nm/g	38,4	48,2	64,2	78,0	26,69	42,09	60,58	77,51
Venymä %	4,0	3,8	4,3	4,6	3,0	3,2	4,1	4,7
Repäisylujuusindeksi mNm ² /g	16,49	17,67	15,83	13,21	13,85	14,99	14,93	11,51
Valonsirontakerroin m ² /kg	32,3	30,8	27,6	25,6	34,9	32,5	28,9	26,3
Opasiteetti %	75,1	74,0	72,5	70,2	72,6	69,6	68,5	67,1

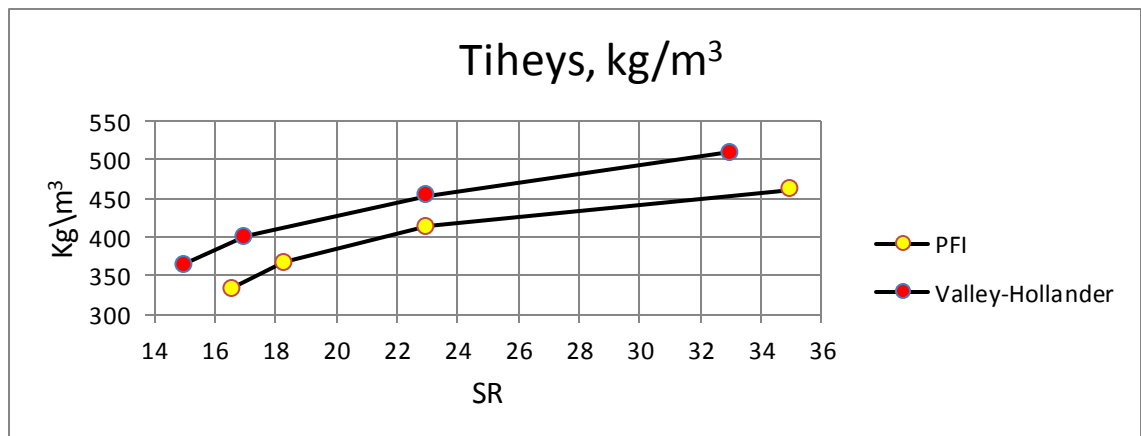
Kuvioissa 7-14 on graafisesti esitetty PFI- ja Valley-Hollander-jauhien vertailujauhatuksista saadut arvot (taulukko 3).

Paperin paksuuteen vaikuttavat kuitujen muokkautuminen jauhatuksessa ja märkämpuristuksen voimakkuus. Vertailujauhatuksien tuloksista nähdään, että PFI-jauhin tuottaa paksumpaa paperia kuin Valley-Hollander-jauhin. Märkämpuristuksen ollessa näissä mittauksissa vakio voidaan todeta, että PFI-jauhimen muokkaama kuitu tuottaa paperille suuremman paksuuden oletettavasti paremman pituusjakauman ansiosta (kuvio 7).



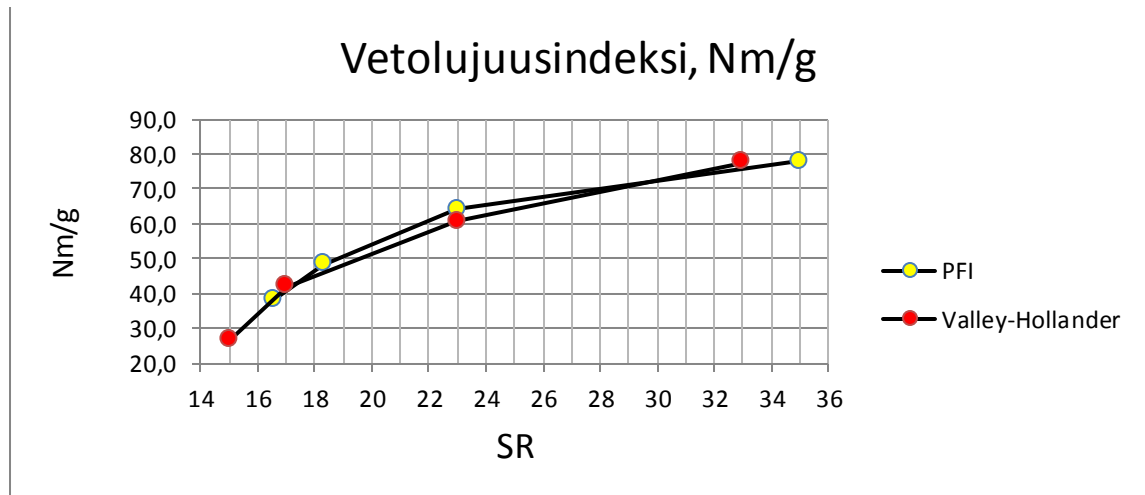
Kuvio 7. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkki-
en paksuus jauhatusasteen suhteen.

Valley-Hollander-jauhin tuottaa tiheämpää paperia kuin PFI-jauhin. Tiheysero johtuu kuvan 7 paksuuseroista ja neliöpainojen eroista. (kuvio 8).



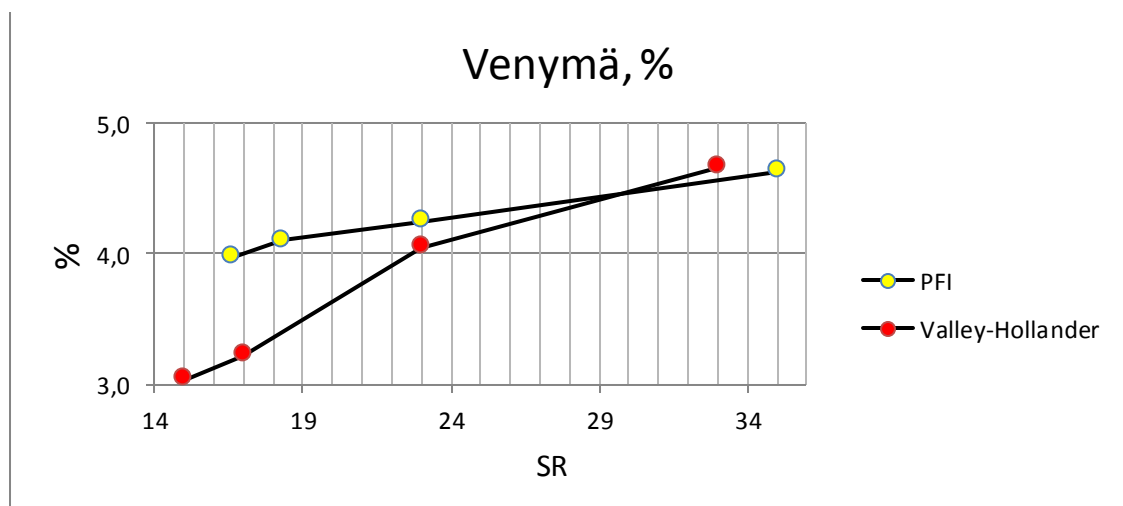
Kuvio 8. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkki-
en tiheydet jauhatusasteen suhteen.

Vetolujuuteen vaikuttaa kuitujen sidoksien määrä, joiden muodostuminen lisääntyy SR-arvon noustessa. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimet saavat Tako-CX-massassa sidoksien määrän lisääntymään lähes yhtä tehokkaasti (kuvio 9).



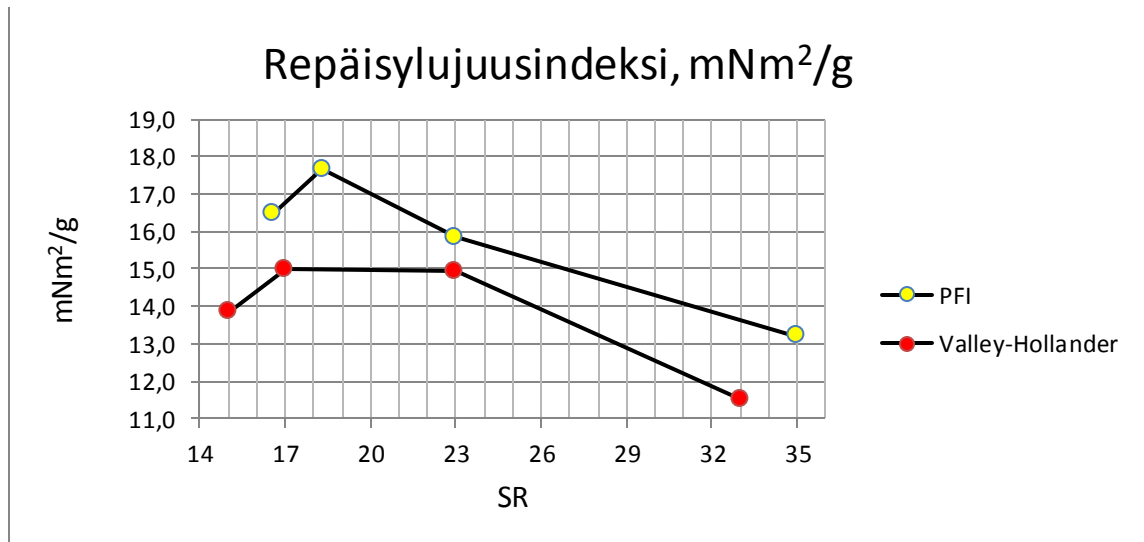
Kuvio 9. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkkien vetolujuus jauhatusteen suhteen.

PFI-jauhin tuottaa venyvempää paperia, kuin Valley-Hollander-jauhin. Suurempi venymiskyky johtuu, ehkä PFI-jauhimen tuottamien kuitujen lujemmista sidosrakenteista. Kummallakin jauhimella jauhatuksen lisääminen parantaa paperin venymää kuiturakenteen lujituksessa kuten teorian mukaan pitääkin (kuvio 10).



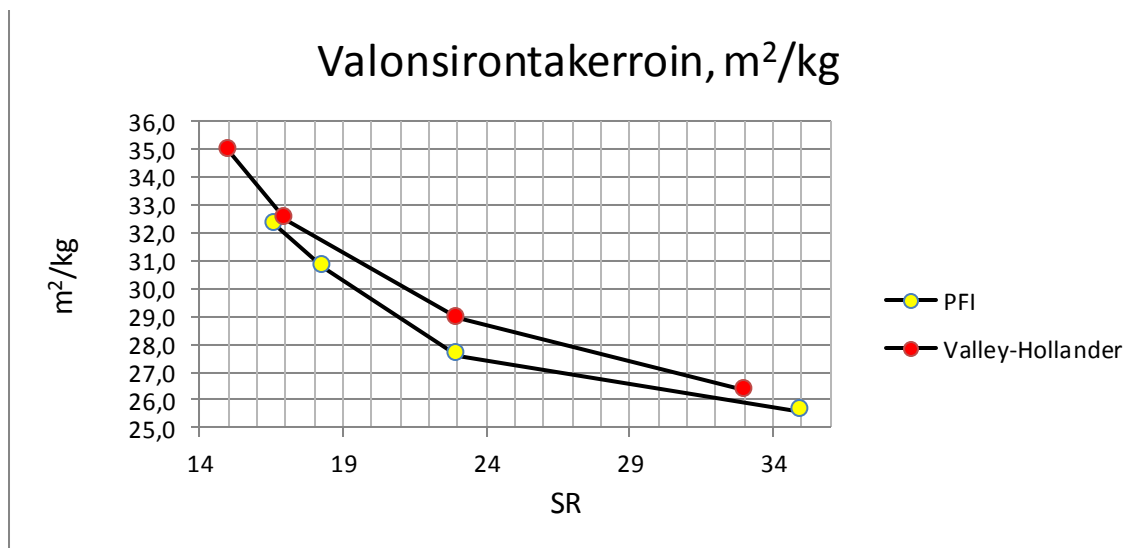
Kuvio 10. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkkien venymä jauhatusteen suhteen.

Repäisylujuusindeksien eroavaisuudet johtuvat PFI-jauhimen tuottamien kuitujen parantuneista ominaisuuksista, mitkä johtavat paremmin repäisyä kestävästä kuituverkoston muodostumiseen (kuvio 11)



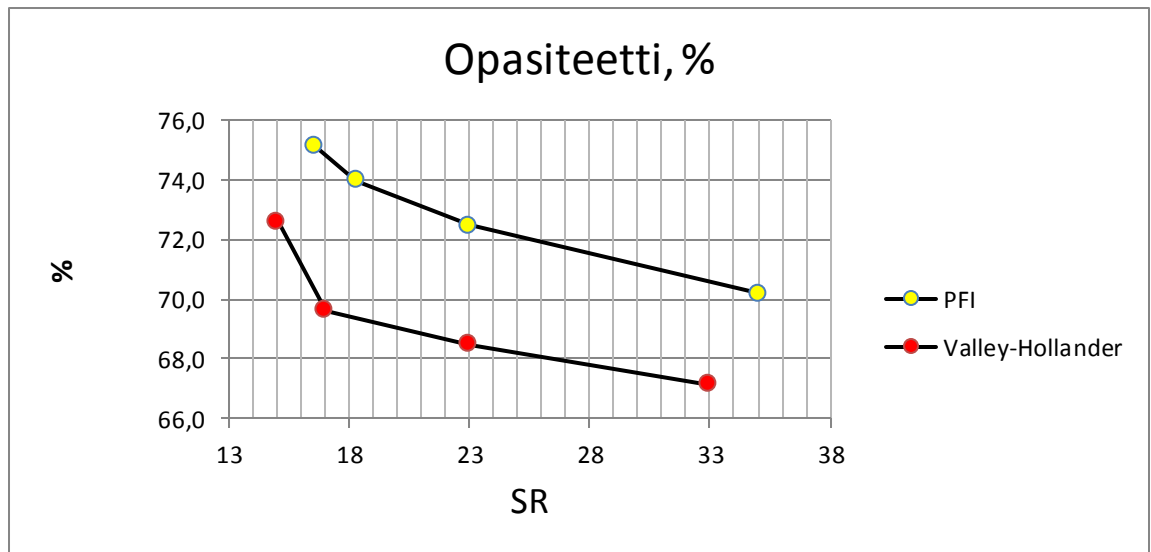
Kuvio 11. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkien repäisylujuusindeksi jauhatussuhteen suhteen.

Valonsirontakerroimet eivät poikkea merkittävästi toisistaan ja pienenevät yleisen teorian mukaisesti jauhatussuhteen kasvaessa (kuvio 12).



Kuvio 12. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkien valonsirontakerroin jauhatussuhteen suhteen.

Opasiteetin muodostumiseen vaikuttavat paperin paksuus ja valonsirontakerroin. PFI-jauhimella jauhetut kuidut muodostavat paperia, jonka opasiteetti on korkeampi kuin Valley-Hollander-jauhimella jauhetuista kuiduista tehdyllä paperilla. Vaikka valonsirontakerroin on PFI-jauhimella tehdyssä paperissa hieman pienempi, on sen opasiteetti selvästi suurempi. Tämä selittyy sillä, että paperin paksuus vaikuttaa voimakkaasti opasiteetin vahvistumiseen ja mitatut PFI-jauhetut arkit olivat selvästi vertailujauhimella tehtyjä paksumpia (kuvio 13).



Kuvio 13. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimilla jauhetuista mäntymassoista valmistettujen arkien opasiteetti jauhatusteen suhteen.

7 OMA POHDINTA

7.1 Laitteen kalibrointi tarkemmin

Ensimmäisen kalibrointijauhatuskierroksen (1000, 2000, 5000 ja 10000 kierrosta) jälkeen huomattiin SR-lukujen nousevan liian suuriksi. Ensin epäiltiin PFI-jauhimen mukana tulleen alkuperäisen kalibrointimassan olevan pilaantunutta ja Labtium Oy:ltä tilattiin uusi erä vastaavaa kalibrointimassaa. Uusi massa antoi ensimmäisellä kalibrointijauhatuskierroksella (1000, 2000, 4000 ja 7000 kierrosta) myös samat liian suuret SR-luvut. Tämä sulki pois massan mahdollisen pilaantumisen.

Seuraavaksi tutkittiin itse PFI-jauhinta. Jauhimen tarkastuksessa todettiin jauhinpintojen olevan huonossa kunnossa. Jauhinpesän karhea pinta voi aiheuttaa liian voimakkaan jauhatuksen ja siten SR-lukujen liiallisen kasvun. Jauhimen korjaamiseksi jauhettiin 10000 kierrosta standardin mukaan valmistettua Tako CX -sulppua, johon lisättiin 15 grammaa karheusasteeltaan 280 olevaa silikonipulveria. Jauhatuksen jälkeen pestiin jauhin huolellisesti ja suoritettiin kaksi standardin mukaista 10 000 kierroksen jauhatusta Tako CX-massalla, jotta teräpinnat stabiloituisivat. Toisen kalibrointijauhatuskierroksen jälkeen SR- arvot olivat edelleen hieman korkeat, mutta edellä mainittua korjaustoimenpidettä ei uskallettu toistaa, etteivät SR- luvut painuisi alle tavoitearvojen.

Lisätutkimukset osoittivat että jauhimen teräsärmät olivat melko epätasaiset. Särmät hiottiin hiomakiveä käyttäen. Tämän korjaustoimenpiteen jälkeen SR-luvut osuivat kohdilleen $\pm 2^\circ$ tarkkuudella lukuun ottamatta 7000 kierroksen jauhatusta, joka jäi huomattavasti alle tavoitearvon. Jauhatusvirheen mahdollisuuden poistamiseksi jauhatusta toistettiin, mutta jauhatuksen tulos pysyi samana. Kolmen muun kierroksen jauhatukset onnistuivat hyvin. 7000 kierroksen jauhatuksen SR-luvun heitolle ei löydetty mitään selitystä.

PFI-jauhimen tarkkuutta voitaisiin entisestään parantaa tutkimalla jauhatuksen aiheuttamaa kuitujen pituusjakaumaa. Tämä antaisi paremman kuvan siitä, mitä jauhatuksen aikana tapahtuu ja millä toimenpiteillä epätarkkuutta voitaisiin pienentää.

7.2 Tiheyksien eroavaisuus kalibroinnissa

Kalibrintijauhatuksessa suoritettujen tiheyksien mittauksien ja Labtium Oyn tulostaulukon tiheyksien arvoissa on huomattava ero, vaikka SR-luku on hyvin lähellä tavoitearvoa. Tämä herättää ihmetystä, koska jauhatuksissa käytetään samanlaista kalibrointimassaa. Tiheyteen tiedetään vaikuttavan jauhatuksen lisäksi märkäpuristus. Tiheyksien eroavaisuuteen saattaa vaikuttaa Labtium Oyn mahdollisesti erilainen arkkienvalmistus prosessi.

7.3 PFI-jauhimen käyttäminen opetuksessa

PFI- jauhimella jauhaminen on melko nopeaa, mutta sulpun standardien mukaiseen valmisteluun pitää varata tarpeeksi aikaa. Esivalmisteluja on enemmän kuin Valley-Hollander-jauhinta käytettäessä. Mikäli massa ovat valmiiksi liotettu, niin yhden näytteen jauhatukseen pitää varata aikaa noin neljä tuntia. Yhdestä jauhatuksesta saadaan 15 litraa sulppua, josta ensin tehdään suotautuvuuskokeet. Tällöin arkkien valmistukseen jää noin 13–14 litraa sulppua. Opetustilanteessa pitää miettiä, kannattaako PFI-jauhimella jauhatukset tehdä vain demonstratiiviselta pohjalta, eikä valmistaa sulppua standardien mukaisesti. Tällöin PFI-jauhin on nopeampi käyttää. Valley-Hollander-jauhin soveltuu paremmin isojen erien jauhamiseen, mikä toisaalta voi olla eduksi opetuskäytössä. Jauhatuksen säätö on PFI-jauhimessa tarkempi. Jauhin lopettaa toiminnan, kun halutut kierrokset on saavutettu, eikä sitä voi unohtaa päälle. Jauhimilla on myös erilaiset vaikutukset valmistettavan paperin ominaisuuksiin. PFI-jauhin tuottaa suuremman repäisylujuuden ja opasiteetin, mutta Valley-Hollander vastaavasti paremman tiheyden (taulukko 4).

Taulukko 4. PFI- ja Valley-Hollander-jauhimien jauhatusprosessien vertailua

	PFI-jauhin	Valley-Hollander-jauhin
Esivalmisteluiden määrä	4	2
Sellun määrä (g)	30	360
Jauhatuksen säätö	kierrosluku (tarkempi)	aika
Vaikutus paperin ominaisuuksiin	korkeampi repäisylujuus ja opasiteetti	tiheämpi

LÄHTEET

Aaltonen, P. 1986. Kuituraaka-aineen ja paperin testausmenetelmiä. Espoo: Otakustantamo.

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Koskenhely, K. Refining of chemical pulp fibres 2007. Teoksessa Paulapuro, H. (toim.) Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. Jyväskylä: Gummerus Oy, 94-134

Labtium Oyn mäntysulfaattisella kalibroinnin vertailutaulukko 30.4.2013. Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorio. Luettu 10.2.2014

Mutikainen, H. 2008 Paperin ja kartongin venymä ja venymään vaikuttavat tekijät. Luettu 14.4.2014

(<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42101/nbnfi-fe200809021875.pdf?sequence=3>)

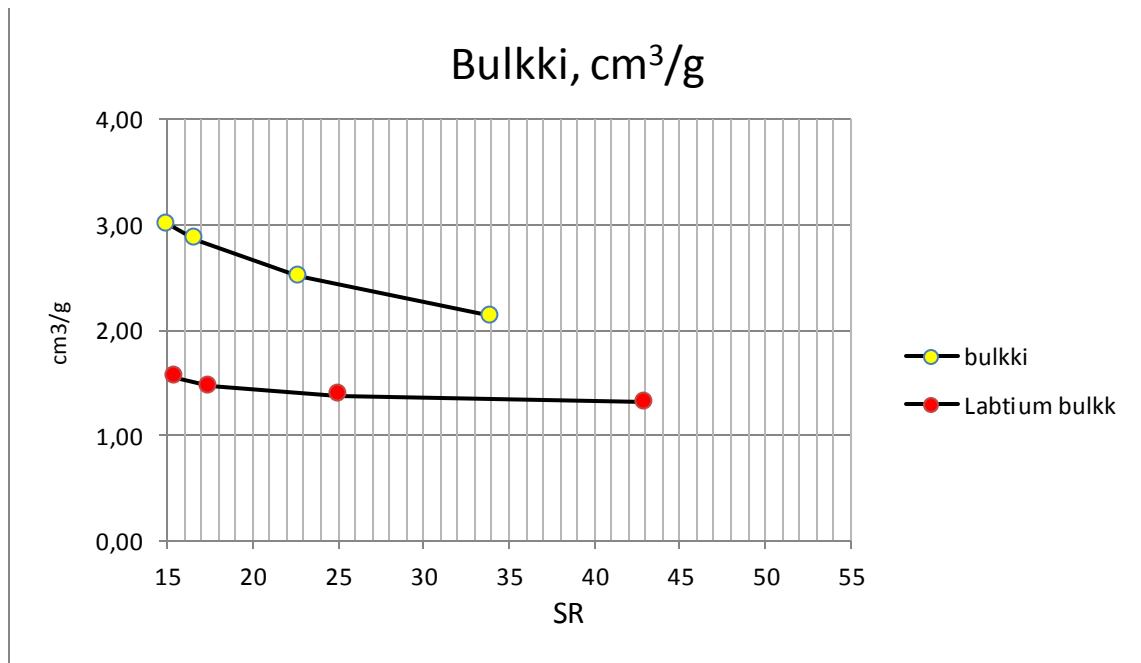
Retulainen, E. 2013. Formable cellulosic material for packaging. Luettu 14.4.2014
(http://fibic.fi/wp-content/uploads/2013/09/8_retulainen_FubioSeminar_WP4_task2.pdf)

SFS-EN ISO 5264-2:en Pulps. Laboratory beating. Part 2: PFI mill method (ISO 5264-2:2011) Luettu 10.2.2014

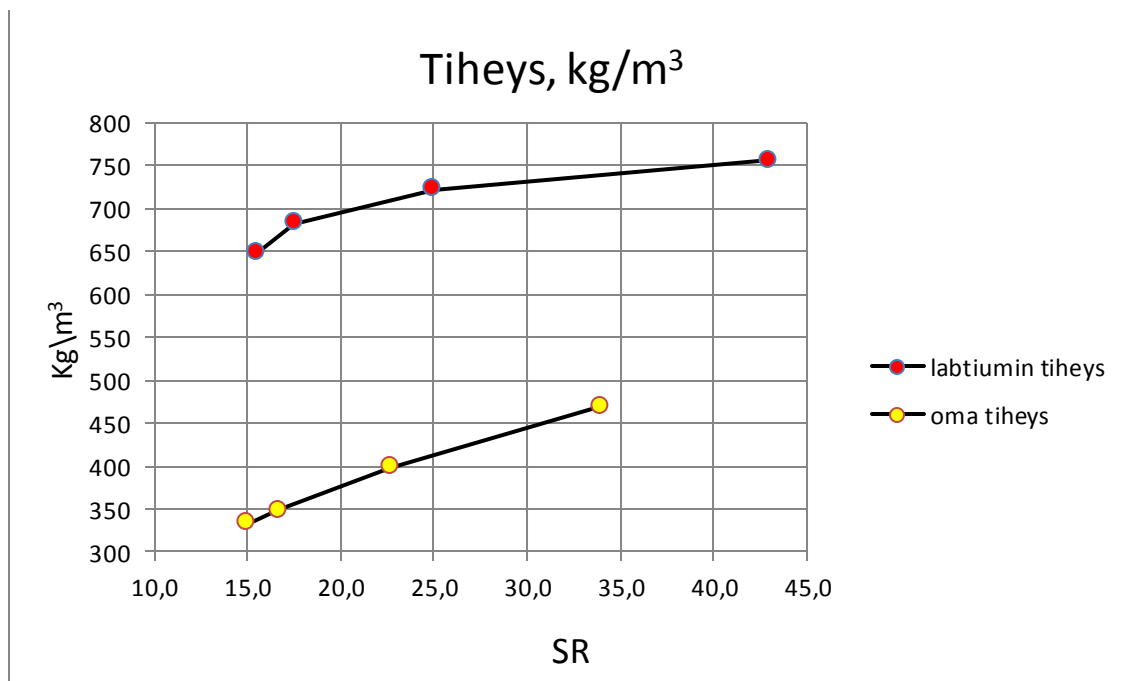
(<http://sales.sfs.fi.elib.tamk.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=248635>.)

The original PFI mill operating instructions edition 628, 2005. Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratorio. Luettu 10.1.2014

VTT / Proledge Oy 2013. KnowPap versio 15.0 (12/2013). Luettu 5.4.2014

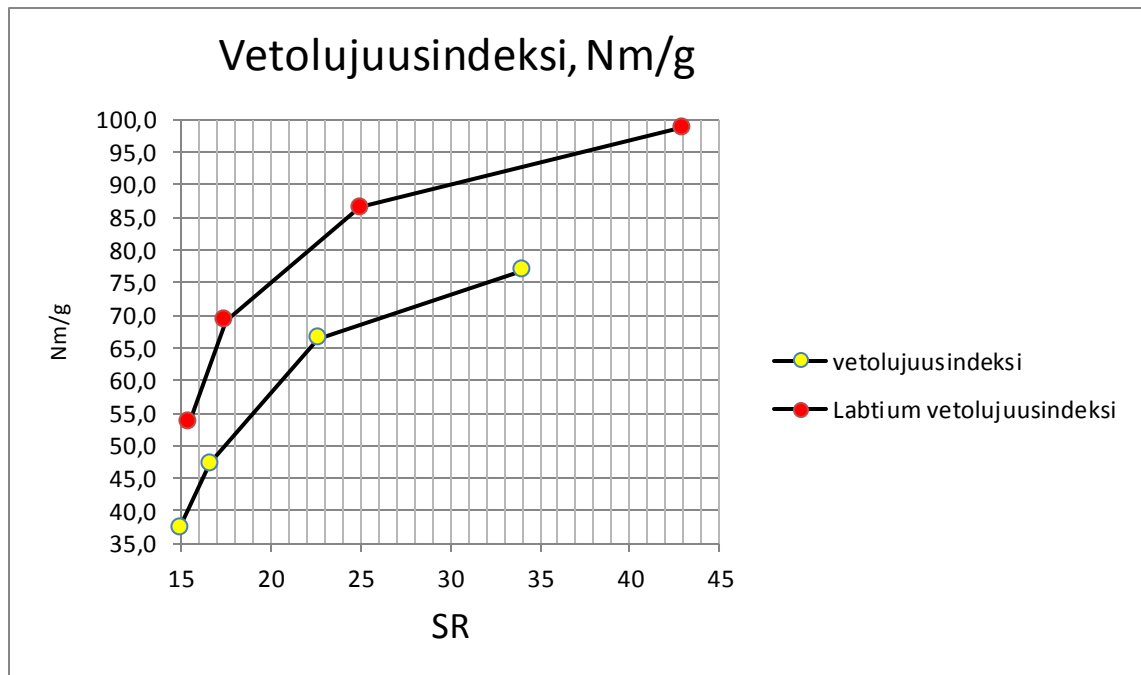
LIITTEET:Liite 1. PFI-jauhimen kalibroinnin tulokset


Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin bulkki ja Labtium Oy:n vertailutaulukon antama bulkki jauhatuasteen suhteen.

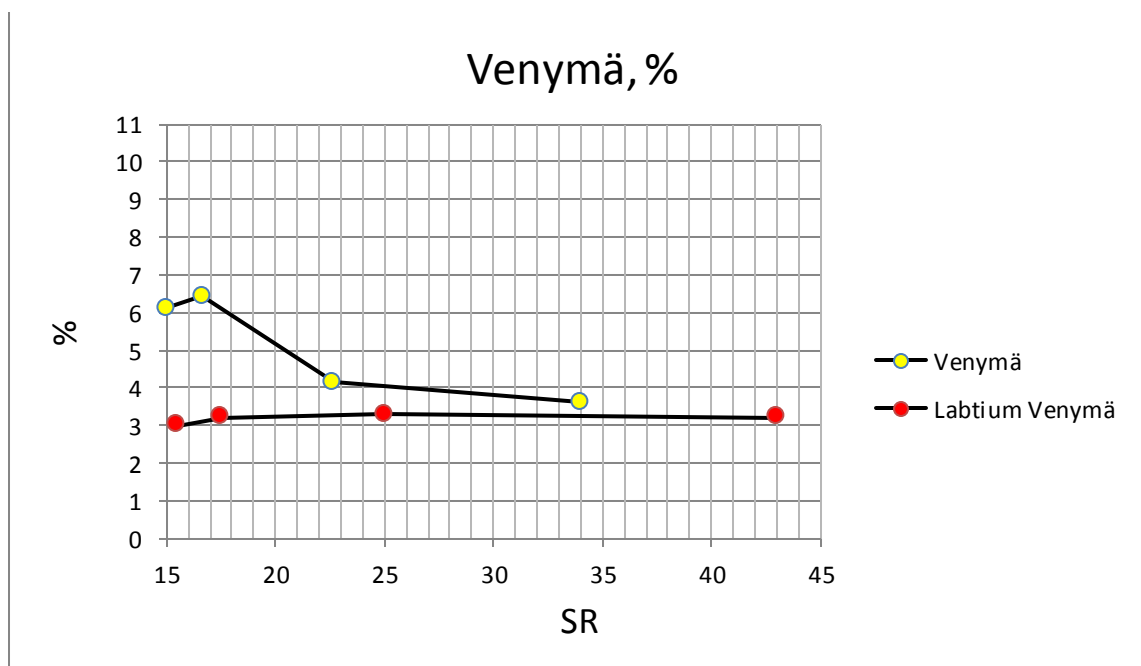


Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin tihey ja Labtium Oy:n vertailutaulukon antama tiheys jauhatuasteen suhteen

(2/4)

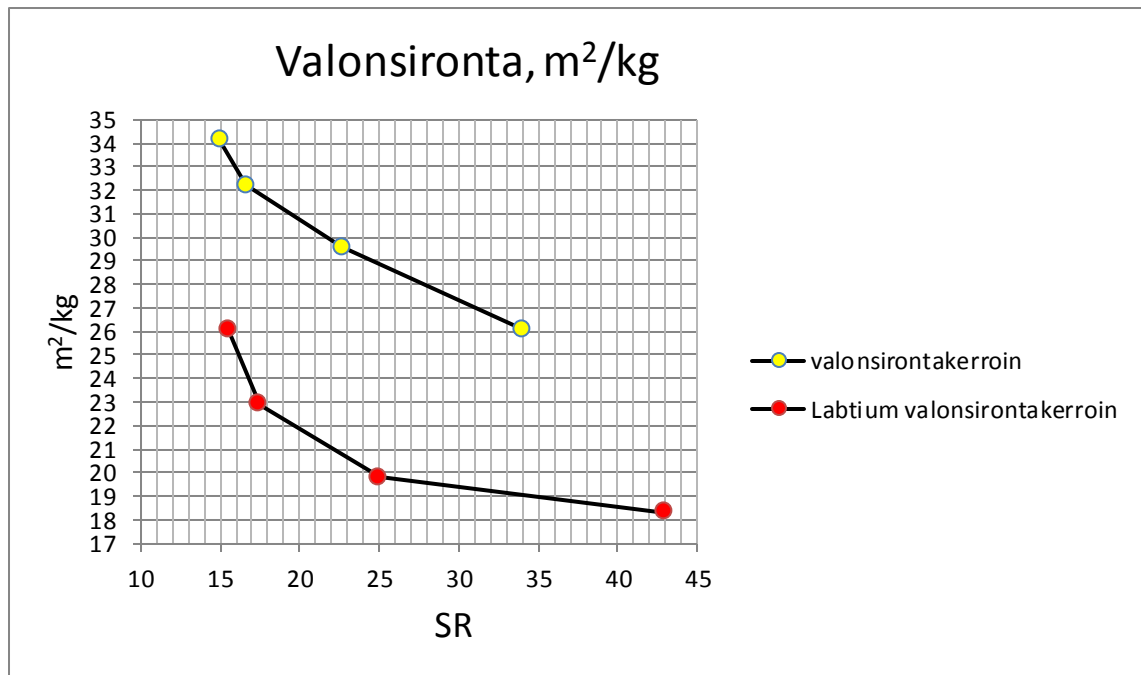


Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin vetolujuusindeksi ja Laktium Oy:n vertailutaulukon antama vetolujuusindeksi jauhatuasteen suhteen

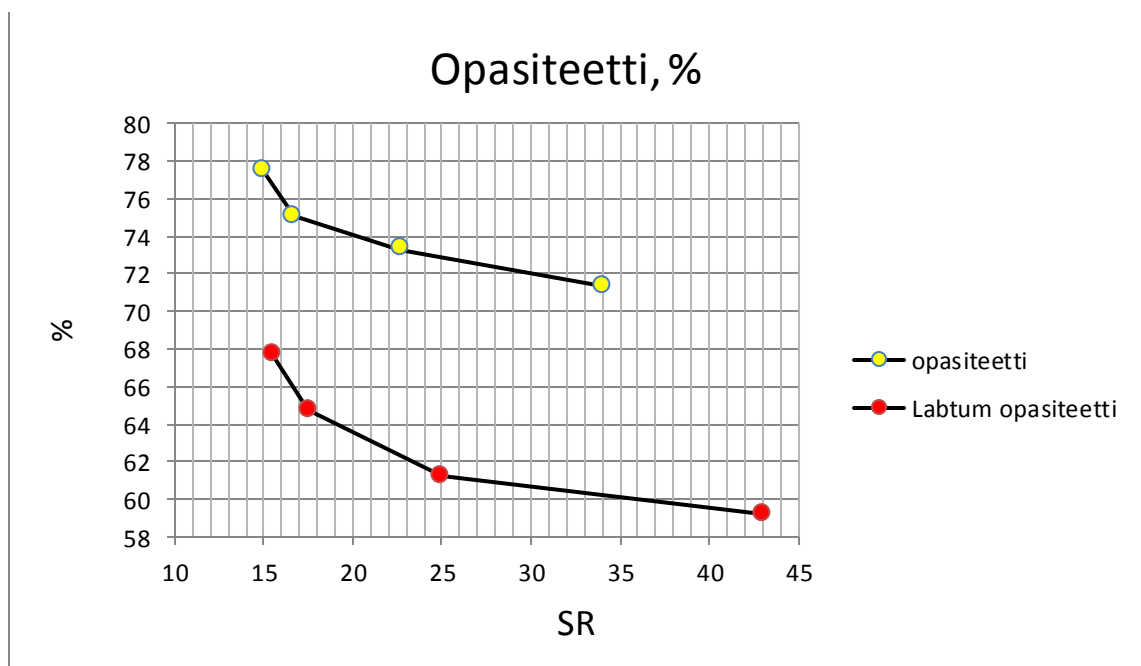


Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin venymä ja Laktium Oy:n vertailutaulukon antama venymä jauhatuasteen suhteen.

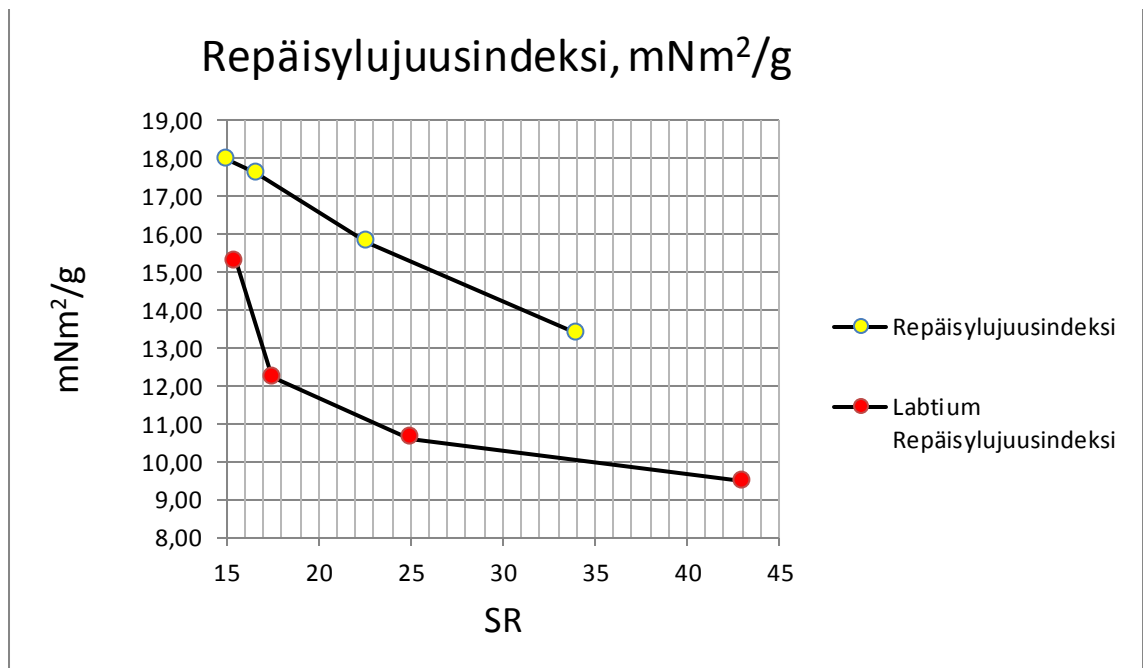
(3/4)



Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin valonsirontakerroin ja Laktium Oy:n vertailutaulukon antama valonsirontakerroin jauhatuasteen suhteen.



Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin opasiteetti ja Laktium Oy:n vertailutaulukon antama opasiteetti jauhatuasteen suhteen.



Taulukko 1. Mitattu PFI-jauhimella tehdyn arkin repäisylujuusindeksi ja Labtium Oy:n vertailutaulukon antama repäisylujuusindeksi jauhatuasteen suhteen.

(1/2)

Liite 2. Käyttöohjeet

Standardin mukainen massan valmistelu

Kolmekymmentä grammaa (30 g) uunikuivaa kalibrointimassaa revitään 2,5 cm x 2,5 cm kokoisiksi paloiksi ja asetetaan puoleen litraan vettä likoamaan neljäksi tunniksi. Veden sähkönjohtavuuden tulee olla 0,25 mS/m tai sen alle, jotta se on riittävän puhdas- ta jauhatukseen käytettäväksi. Palat on laitettava vesiasiaan siten, että kaikki palat ovat vedenpinnan alapuolella.

Liottamisen jälkeen selluastiaan lisätään vettä siten, että kokonaistilavuudeksi saadaan kaksi litraa. Seoksen lämpötilan pitää olla $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Seosta esikuidutetaan märkähajottimella 30 000 kierrosta minkä jälkeen sulppu erotellaan Buchner-pullon avulla. Jäljelle jää noin 150 grammaa kosteaa sellua. Siihen lisätään vielä vettä siten, että kokonaismassaksi saadaan 300 grammaa. Tällöin massan sakeus on standardin vaatima kymmenen prosenttia.

Massa painellaan käsin jauhinpesän sisäpintaan mahdollisemman tasaiseksi kerrokseksi, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka ja tasalaatuinen jauhatus. Jauhatus tehdään kalibrointimassan toimittajan antamalla kierrosluvuilla. Jauhatuksen jälkeen näyte poistetaan jauhimesta käsin ja huuhdellaan vedellä jauhinpinnoilta kaikki kuidut mukaan näytteesseen. Jauhettu näyte laimennetaan kahden litran tilavuuteen lisäämällä vettä, jonka lämpötila on 25 °C astetta.

Laimennettua näytettä jälkihajotetaan märkähajottimella 10 000 kierrosta ja lopuksi näyte laimennetaan lisäämällä 13 litraa vettä. Näin saadun sulpun sakeus on 2 g/l.

(2/2)

Jauhatus

Huom! Normaali tilanteessa terän ja pesän tulee pyöriä vastapäivään.

1. Valmistele massa standardin mukaisesti (Katso sivu 38)
2. Kytke jauhimeen päävirta.
3. Kytke jauhimeen paineilma.
4. Käännä ”Controller” ja ”Motor” kytkimet asentoon ”1”.
5. Aseta jauhatuskierroksien lukumäärä F1->luku->enter->esc.

Tarkista, että säätöruuvien ja laipan välissä **on** välystä. Välys poistetaan vain silloin kun halutaan kunnostaa teräpintoja tai suoritetaan erikoisjauhatuksia, jotka vaativat standardia pienemmän terävälän. Helpointa tämä on tarkastaa käynnistämällä jauhin ”Motor” kytkin ”0” asennossa. Tällöin jauhin toimii normaalisti, mutta ei pyöritä terää eikä kulhoa. Palauta jauhin lepoasentoon ”STOP”-kytkimellä ja käännä ”Motor” asentoon ”1”. Jatka kohtaan 6.

6. Aseta standardin mukaisesti valmisteltu massa käsin jauhinkulhon seinämille mahdollisimman tasaiseksi nauhaksi/kerrokseksi.
7. Paina molempia ”START”-kytkimiä samanaikaisesti, jolloin terä siirtyy jauhipesän keskelle.
8. Sulje jauhimen kansi varmasti pohjaan saakka.
9. Paina molempia ”START”-kytkimiä samanaikaisesti, jolloin jauhatus alkaa.
10. Poista jauhettu näyte. Muista huuhdella näytteeseen myös kaikki kuidut terästä ja kulhosta. Huuhteluun voit käyttää koneen alla olevaa teräskulhoa.
11. Nosta jauhimen kansi yläasentoon.
12. Puhdista laite perusteellisesti.

Hätätilanteessa paina koneen kyljessä olevaa ”STOP” –kytkintä.

”STOP” kytkin palauttaa jauhimen aina lepoasentoon.

Mikäli halutaan muuttaa teräkuormaa standardin mukaisesta 3.33Kpa F2->luku->enter->esc