

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Paperitekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Juha Teikari

DDJ (DYNAMIC DRAINAGE JAR)

Työn valvoja

DI Arto Nikkilä

Työn teettävä

Tampereen ammattikorkeakoulu, Paperilaboratorio

Tampere 2007

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

### Paperitekniiikan koulutusohjelma

|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| Teikari, Juha | DDJ (Dynamic Drainage Jar)         |
| Tutkintotyö   | 29 sivua + 2 liitesivua            |
| Työnvalvoja   | DI Arto Nikkilä                    |
| Työn teettäjä | TAMK, paperilaboratorio            |
| Huhtikuu 2007 |                                    |
| Hakusanat:    | DDJ, retentio, arkin muodostuminen |

### TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriolla on käytössään DDJ-niminen laite, joka on ensisijaisesti tarkoitettu retention tutkimiseen. Kyseistä laitetta voidaan käyttää myös paperimassan hienoaineen määrän määrittämiseen.

Tässä työssä tutkittiin, miten laite soveltuu eri massojen tutkimiseen eri sakeuksilla ja eri täyteaineita käyttäen. Tehtävänä oli myös laatia työohje laboratoriomittauksia varten kyseiselle laitteelle.

Työn kokeellisessa osiossa tehtiin retentiomittauksia kolmella eri massalla (koivu- ja havusellu ja CTMP) sakeusalueella 2–4 grammaa kuitua per litra vettä. Täyteaineena käytettiin kalsiumkarbonaattia ja kaoliinia. Muutamassa kokeessa käytettiin myös retentiokemikaalia.

Työssä saatujen tulosten ja standardeissa olevien ohjeiden avulla suunniteltiin työohje, jolla laboratoriomittaukset DDJ:llä on mahdollisimman yksinkertaista ja luotettavaa suorittaa.

## TAMPERE POLYTECHNIC- UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

The degree program of paper technology

Teikari, Juha DDJ(Dynamic Drainage Jar)

Final thesis 29 pages + 2 appendixs

Examiner MSc. Arto Nikkilä

Commisioned by Tampere Polytechnic- University of Applied Sciences,  
paper laboratory

April 2007

Keywords DDJ, retention, sheet formation

### ABSTRACT

The paper laboratory of Tampere Polytechnic- University of Applied Sciences has a device called DDJ which is used for retention research. It can also be used for researching amount of fines in pulps.

In this thesis the suitability of DDJ was studied when using different pulps and fillers in different consistencies. Second task was also to make work instruction for laboratory measurements with the DDJ.

In the experimental part of this thesis three different pulps were tested using two different fillers (kaoline and calcium carbonate). Consistency range was from 2 up to 4 grams per liter of water. Few tests were carried out also using retention aid.

Based on the test results and written information on standards the work instruction were geared to as simple and reliable working with DDJ as possible in the laboratory environment.



## SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| 1. JOHDANTO .....                                | 2  |
| 1.1 Työn taustaa .....                           | 2  |
| 1.2 Työn tavoitteet .....                        | 2  |
| 1.3 Työn rakenne .....                           | 2  |
| 2. RETENTIO .....                                | 3  |
| 2.1 Yleistä retentiosta.....                     | 3  |
| 2.2 Kemiallinen retentio.....                    | 5  |
| 2.2.1 Mosaiikin muodostus .....                  | 5  |
| 2.2.2 Sillan muodostus .....                     | 6  |
| 2.3 Mekaaninen retentio.....                     | 6  |
| 2.4 Retentioaineet.....                          | 7  |
| 2.4.1 Koagulaatio .....                          | 7  |
| 2.4.2 Flokkulaatio .....                         | 7  |
| 2.5 Retention hallinta .....                     | 8  |
| 2.5.1 Säädön tavoitteet .....                    | 9  |
| 2.5.2 Säädön periaate .....                      | 9  |
| 2.5.3 Säädön edellytykset.....                   | 10 |
| 2.5.4 Säädön toteutus .....                      | 11 |
| 2.5.5 Säädön vaikutukset .....                   | 12 |
| 3. ARKIN RAKENTEEN MUODOSTUMINEN .....           | 13 |
| 3.1 Turbulenssi.....                             | 14 |
| 3.2 Leikkausvoimat.....                          | 14 |
| 3.3 Veden virtaus viiran läpi .....              | 15 |
| 4. DYNAMIC DRAINAGE JAR (DDJ).....               | 16 |
| 4.1 Retention laboratoriotestaus.....            | 16 |
| 4.2 DDJ laitteena.....                           | 16 |
| 4.3 DDJ:n käyttö .....                           | 17 |
| 4.4 Kokonaisretention määrittäminen DDJ:llä..... | 19 |
| 4.4.1 Näytteenotto .....                         | 19 |
| 4.4.2 Retention määrittäminen .....              | 19 |
| 4.5 Hienoaineen määrittäminen.....               | 20 |
| 5. MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN KÄSITTELY .....     | 21 |
| 5.1 Esikokeet.....                               | 21 |
| 5.2 Koivusellu .....                             | 22 |
| 5.3 Havusellu .....                              | 27 |
| 5.4 CTMP.....                                    | 29 |
| 6. OMAT PÄÄTELMÄT.....                           | 30 |

## LÄHDELUETTELO

LIITTEET (2 kpl työskentelyohjeet)

## 1. JOHDANTO

### 1.1 Työn taustaa

Tämä tutkintotyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun paperilaboratoriossa. Tarve tutkintotyön tekemiselle syntyi, kun Tampereen teknillinen yliopisto lahjoitti heille tarpeettomaksi käyneen laitteen eli DDJ:n (lyhenne sanasta Dynamic Drainage Jar) TAMK:n paperilaboratoriolle. Kyseistä laitetta ei ole koskaan käytetty TAMK:ssa, joten sen käytöstä ja soveltuvuudesta opetukseen ei ollut minkäänlaisia kokemuksia.

### 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli tutustua DDJ:n laiterakenteeseen, miten se toimii ja mihin sitä käytetään. Tavoitteena oli myös selvittää, mitä hyötyä DDJ:stä on paperilaboratoriossa ja mitä se kertoo eri paperimassojen ominaisuuksista. Työssä tehtiin laaja koeajosarja eri massoilla ja massan sakeuksilla. Työhön liittyi myös kirjallisen käyttöohjeen laatiminen DDJ:lle.

### 1.3 Työn rakenne

Tämän työn kirjallisuusosassa on käyty läpi lyhyesti perusasiat retentiosta ja sen säädöstä sekä arkin muodostumisesta paperikoneen viiraosalla. Kirjallisuusosaan kuuluu myös tutustuminen tarkemmin DDJ:n laiterakenteeseen ja siihen miten laitetta käytetään eri tutkimuskohteissa. Työn kokeellisessa osassa on selvitetty eri massojen ja sakeuksien vaikutusta retentioon.

## 2. RETENTIO

### 2.1 Yleistä retentiosta

Perälaatikon ja viiraveden sakeuksista voidaan laskea merkittävä viiraosan tehokkuuden mittari, retentio. Retentio kertoo perälaatikosta viiralle syötetystä massasta paperirainaan jääneen osan. Seuraava kaavan avulla (1) voidaan laskea viiraosan retentio./2/

### Viiraosan retentio

$$R = \frac{\dot{m}_{out}}{\dot{m}_{hx}} = \frac{\dot{m}_{hx} - \dot{m}_w}{\dot{m}_{hx}} = \frac{c_{hx} Q_{hx} - c_w Q_w}{c_{hx} Q_{hx}} \cong \frac{c_{hx} - c_w}{c_{hx}}$$

missä m on massavirtaama  
c sakeus  
Q tilavuusvirtaama

( hx = perälaatikko, w = viiravesi, out = puristinosalle )

Kaavaa voidaan käyttää myös muillakin kuin tasoviirakoneilla, mutta silloin tulee tuntea kunkin viiran läpi virtaavat vesimäärät ja sisällyttää ne kaavaan. Usein tyydytään kuitenkin määrittämään sakeus perälaatikolta ja vain alaviiralta tai viirakaivosta. Lukeman muutokset kuvaavat hyvin prosessin muutoksista ja häiriöistä, mikä onkin retentiolukeman antama tärkein tieto./2/

Optimaalisen retention määrittäminen on lähes mahdoton kysymys. Mahdollisimman korkea retentio ei kuitenkaan usein ole tavoitteena./1/

Korkeaa retentiota tärkeämpää on löytää taso, jolla saavutetaan riittävä kuituhienoaineen ja täyteaineen retentio mutta vältetään mahdolliset haitalliset ilmiöt, kuten formaation huononeminen, vedenpoiston heikkeneminen ja retentiokemikaalien yliannostelu. Sopivan retentiotason määrittämien on kone- ja prosessikohtaista. Retention avulla säädetään myös paperi- ja kartonkikoneen puhtaanapysymistä (viirat, perälaatikko jne.)./1/

Hyvästä retentiosta seuraa useita teknillis-taloudellisia etuja. Eräät niistä ovat helposti ja toiset vaikeammin osoitettavia.

Hyvän retention etuja ovat:

- täyteaineen tehokas käyttö
- lisäaineiden parempi hyödynnettävyys
- parantuva ajettavuus ja vähäisempi saostumaherkkyys
- tasaisemmat laatuominaisuudet
- mahdollisuus vesikierron tiukentamiseen eli ominaisvedenkulutuksen pienentämiseen
- parempi kiintoainetalous, vähemmän kuitu- ja täyteainehäviöitä
- helpompi vedenpoisto, pienempi höyryn ja veden kulutus./1/

Huonon retention ja/tai vedenpoiston seurauksia ovat:

- lisäaineiden tarpeettoman suuri kulutus
- toispuoleisuuden lisääntyminen
- talteenottojärjestelmän suuri kuormitus
- suuri katkofrekvenssi, lisääntyvä puhdistustarve
- hylkyongelmat
- tyhjöölinten suuri kuormitus, viirojen kuluminen, viirojen ja huopien tihenevät vaihtovälit./1/

Retentio jaetaan kahteen osaan: mekaaniseen ja kemialliseen retentioon./1/



## 2.2 Kemiallinen retentio

Kemiallinen retention on pääosassa aivan perälaatikon jälkeen, jolloin paperiraina ei ole vielä muodostunut. Tällöin pienet täyteainehiukkaset ja kuidun hienoaines saadaan retentoitumaan suurempiin partikkeleihin ja toisiinsa sitomalla ne kemikaalein avulla. Näistä ilmiöistä sitoutuminen kuituihin on toivottavinta, sillä silloin etenkin täyteaineiden optisten ominaisuuksien hyödyt saadaan parhaiten käyttöön./1/

Retentiota parantavia kemikaaleja kutsutaan retentioaineiksi. Niiden toimintamekanismeja on useita. Tyypillisimpiä ovat ns. flokkulantit, jotka muodostavat tavalla tai toisella linkkejä tai siltoja partikkeleiden välille. Yleistymässä ovat monimutkaisemmat järjestelmät, joissa käytetään useita kemikaaleja annosteltuina eri prosessivaiheisiin. Tällaisella järjestelmällä on mahdollista saavuttaa parempi lopputulos vaativissa oloissa./1/

Kemiallinen retentio on luonteeltaan epästabiili, koska partikkelit luontaisesti hylkivät toisiaan, ja tätä ilmiötä pyritään kemiallisesti kumoamaan. Kemiallisen retention hallinta on erittäin tärkeää, koska siinä käytettävät kemikaalit ovat kalliita, ja ennen kaikkea koska häiriöt kemiallisessa retentiossa voivat aiheuttaa vakavia tuotantohäiriöitä. /1/

### 2.2.1 Mosaiikin muodostus

Mosaiikkimuodostuksessa lyhytketjuinen, voimakkaasti varautunut polymeeri adsorboituu täyteainepartikkelin pinnalle, jolloin partikkelin sähköinen kaksoiskerros paikallisesti neutraloituu ja vaihtaa merkkiä. Tällöin syntyy sähköinen vetovoima tämän kohdan ja toisen partikkelin sellaisen kohdan välille, johon polymeeriä ei ole sitoutunut. Teoriassa maksimaalinen flokkaus ja retentiovaikutus saavutetaan mosaiikkimekanismilla silloin, kun puolet partikkelin pinnasta on peitetty vastakkaisen varauksen omaavalla polymeerillä ja toinen puoli säilyy peittämättömänä. Tällöin todennäköisyys sille, että polymeerien peittämät ja peittämättömät alueet osuvat kohdakkain, on suurin ja edellytykset partikkelien väliselle flokkuloinnille ovat maksimissaan./2/

### 2.2.2 Sillan muodostus

Sillanmuodostuksessa pitkäketjuiset polymeerit kiinnittyvät partikkelien pintaan muodostaen kauaksikin partikkelien pinnasta ulottuvia lenkkejä ja silmukoita. Nämä lenkit voivat kiinnittyä toiseen partikkeliin partikkeleiden välisen repulsion häiritsemättä. Retentiomekanismin luonteen vuoksi sillanmuodostuksella voidaan saada aikaan hyvä retentio korkeasta z-potentiaalista huolimatta. Silloittumalla muodostuneet flokit kestävät hyvin hydrodynaamisia leikkausvoimia, mutta flokin hajotessa uudelleen flokkaaminen on hidasta ja tehotonta polymeeriketjun hajoamisesta takia. /2/

### 2.3 Mekaaninen retentio

Mekaaninen retentio perustuu partikkeleiden kiinnijäämiseen paperirainaan niiden koon ja rainan tiiveyden vuoksi. Pitkillä kuiduilla saadaan luonnostaan suuri mekaaninen retentio, kun taas täyteainepartikkeleilla se on alhainen. Mekaaninen retentio korostuu viiraosan loppupuolella, kun raina on jo selvästi suotautunut. Toisin sanoen se muodostaa tiiviin maton, johon pienetkin partikkelit jäävät kiinni. /1/

Tärkeimmät mekaaniseen retentioon vaikuttavat tekijät ovat:

- suotauttavan kuituverkoston paksuus
- kuidunpituus
- täyteainepartikkelin koko ja muoto
- suotautumisnopeus
- kuituverkoston huokoisuus
- ominaispinta-ala /2/.

Retentiota kasvattavat mm. korkeampi perälaatikon sakeus, neliömassa, alhaisempi freeness, hitaampi ajonopeus ja suuri retentioaineiden annostelu. Viimeksi mainittua rajoittavat kuitenkin aineen tehokkuuden rajat, kustannukset ja etenkin ylisuuren annostelun aiheuttamat formaatio-ongelmat ja mahdolliset vedenpoisto-ongelmat. /1/

## 2.4 Retentioaineet

Retentioaineet ovat kemikaaleja, jotka reagoivat joko koaguloitumalla tai flokkaantumalla paperimassassa olevien kuitujen, hienoaineksen, täyteaineiden ja pigmenttien kanssa tarkoituksena parantaa näiden retentiota./3/

Retentioaineet jaotellaan kahteen pääryhmään niiden toimintatavan mukaan:

- koagulantit
- flokkulantit /3/.

### 2.4.1 Koagulaatio

Koagulaatio on agglomeraatio(paakkuuntumis) reaktio, jossa pienet partikkelit tai kolloidit jotka ovat vesipohjaisessa liuoksessa neutraloituvat jonkun aineen vaikutuksesta./3/

#### Koagulantit

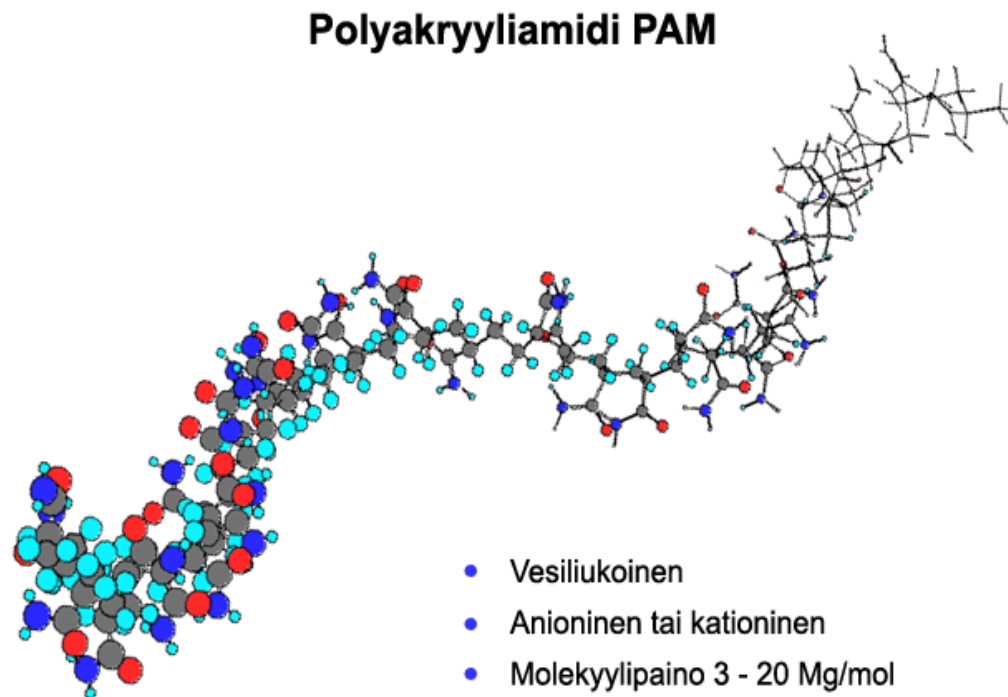
Koagulantit ovat polymeerisiä kemikaaleja joilla on hyvin suuri kationinen (positiivinen) varaus jotka siten neutralisoivat negatiivisia varauksia paperimassassa. Yleisimpiä käytössä olevia koagulantteja: aluna, polyamiini, polyeteeni./3/

### 2.4.2 Flokkulaatio

Flokkulaatio on kemiallinen elektrostaattinen siltautumisreaktio synteettisen tai luontaisen flokkulantin ja paperimassassa olevan partikkelin kanssa. Tämä reaktio aiheuttaa flokkautumisen (hiutaloitumisen) näiden aineosasten kesken./3/

#### Flokkulantit

Flokkulantti on polymeerinen kemikaali, jolla on tietty varaus: kationisen, anionisen tai ionittoman ja korkean molekyyli massan. Yleisimpiä käytössä olevia flokkulantteja ovat polyakryyliamidi (PAM) ja polyetyylioksidi (PEO). /3/



Kuva 1. Rakennekuva polyakryyliamidista./2/

## 2.5 Retention hallinta

Perinteisesti retention hallinta on perustunut käsinäytteidenottoon ja sakeuksien määrittämiseen laboratoriossa. Menetelmä on liian hidas ollakseen toimivan retention säädön perusta. Lisäksi se vaatii runsaasti laboratorioresursseja ja aikaa. Nykyaikainen paperikoneen määränpään hallintajärjestelmä vaatii jatkuvatoimisen on-line-mittauksen, joka kykenee havaitsemaan myös nopeat muutokset paperikoneella./2/

Retention hallinnassa suora viiraretention säätö ei ole paras ratkaisu. Retentio on laskennallinen suure kahdesta toisilleen viiveellisestä sakeusmittauksesta, jolloin sen mittaustarkkuus on heikompi. Jotkut häiriöt eivät edes vaikuta retentioon, vaikka sakeudet vaihtelevat samaan aikaan suuresti. Tuolloin lopputuloksena on häiriöiden päätyminen paperiin, vaikka samaan aikaan retentiossa ei ole häiriöitä./2/

### 2.5.1 Säädön tavoitteet

Retention säädössä on tavoitteena hallita märkäosan yksi osaprosessi, jonka avulla vaikutetaan tehokkaammin märkäosan toimintaan kokonaisuudessaan. Ratkaisun tulee olla mahdollisimman yksinkertainen, sillä se parantaa säädön käytettävyyttä koneella. Retentiota säädettäessä varsinainen viirarentio, joka on kahden eri sakeuden viiveellinen osamäärä, ei ole paras mahdollinen säädettävä suure. Viirarentio voi pysyä jopa vakiona, kun lyhyen kierron sakeudet vaihtelevat voimakkaasti./2/

Vakauttamalla viiraveden kiintoainekoostumuksen kuidulle ja täyteaineelle selektiivisellä mittauksella paperitehtaat ovat onnistuneet vähentämään märän pään rainakatkoja ja laadultaan kelpaamattoman tuotteen määrää. Retention onnistunut säätö on avain myös ajonopeuden kasvattamiseen ajettavuuden parantuessa. Retention onnistunut säätö on kasvattanut useissa tapauksissa myyntiin kelpaavan tuotannon määrää jopa 5 %:lla. Samalla on säästynyt sekä raaka-ainetta että kemikaaleja./2/

### 2.5.2 Säädön periaate

Viiraveden kokonaissakeuden säätö perustuu yhden lyhyen kierron suureen säätöön, joka johtaa myös muiden lyhyen kierron tilasuureiden häiriöiden vähentymiseen. Säädettäväksi suureeksi sopivin on viiraveden kokonaissakeus, joka stabiloidaan retentiokemikaalin annostelua ohjaamalla. Suurin osa huonosti retentoituvasta materiaalista on viiravedessä, josta se palautuu perälaatikkoon. Juuri näihin massan komponentteihin retentioaineella pyritään vaikuttamaan./2/

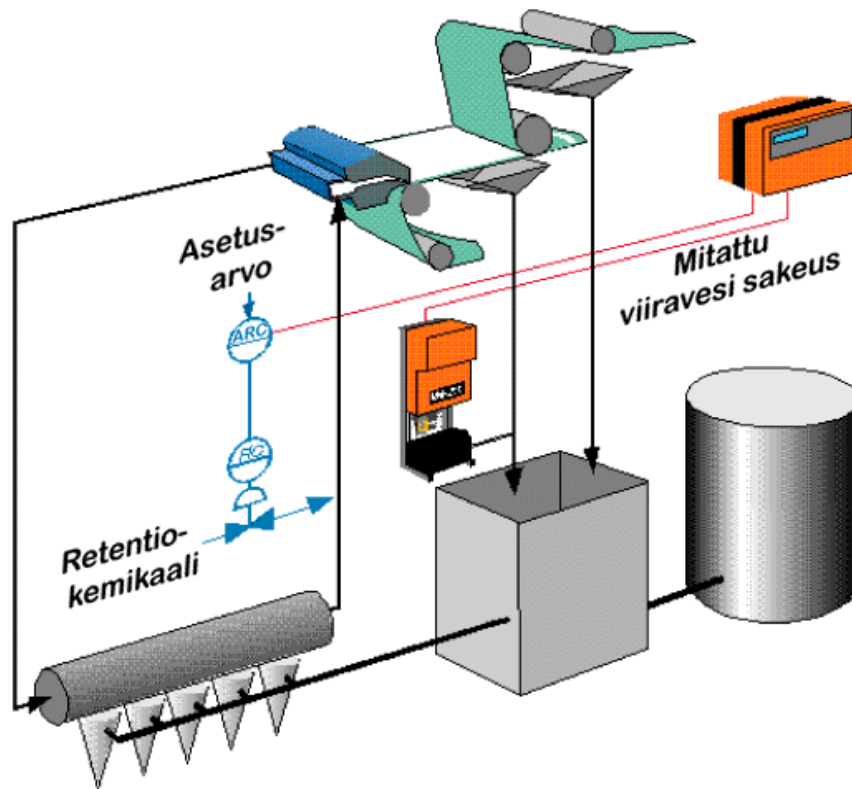
Viiraveden kokonaissakeuden vaihtelujen pienentyminen vähentää sakeusvaihteluja koko lyhyessä kierrossa, mikä vähentää retentiovaihteluja. Retention hallinta toteutetaan siis epäsuorasti viiraveden kokonaissakeussäädöllä./2/

Viiravesinäyte otetaan siitä viiravesijakeesta, joka antaa selkeämmän vasteen retentiokemikaalimuutoksiin. Retentioaineen merkitys on suurin viiraosan alussa, jossa kemiallinen retentio on pääroolissa. Näyte pyritään ottamaan yleensä läheltä perälaatikkoa, mutta aina kuitenkin viirarännistä. Viirakaivosta näytettä ei oteta, koska sinne johdetaan ylijouksuja ja rejektejä. Viirakaivon sakeuden vaste retentioaineannosteluun on viivästyneempi ja hitaampi./2/

### **2.5.3 Säädon edellytykset**

Tehokkaan säätöratkaisun edellytyksiä ovat toimiva sakeusmittaus ja toimiva retentiokemikaaliratkaisu. Sakeusmittauksen tarkkuus asettaa luonnolliset rajat säätötulokselle. Mitä tarkempi ja vakaampi mittaus, sitä pienempi sakeusvaihtelu voidaan säädöllä saavuttaa. Toisaalta mittauksen tulee olla luotettava ja riittävän nopea./2/

Säädon kannalta toimiva retentiokemikaaliratkaisu on sellainen, jolla saadaan kemikaalin annosmuutokseen selvä vaste laimennusveden (viiraveden) sakeudessa. Retentioaineen annostelulaitteiston tulee olla sakeussäätökäytön edellyttämällä tasolla. Yleensäkin lähelle perälaatikkoa tulevat virtaukset on syytä pitää mahdollisimman tasaisina, koska prosessissa ei ole ennen perälaatikkoa häiriöitä vaimentavia viivelinjoja tai suuria tilavuuksia./2/



Kuva 2. Retentioaineen annostelun toteutus paperikoneen lyhyessä kierrossa./2/

#### 2.5.4 Säädön toteutus

Ratkaisu on konventionaalinen kiinteäparametrinen PID-säätimiin perustuva toteutus. Säädin ohjaa retentiokemikaalin syöttöä viira- tai laimennusveden kokonaissakeusmittauksen perusteella (kuva2). Ratkaisu perustuu Kajaani RM-200 -märkeosan säätöjärjestelmään(kuva 3). Järjestelmä mittaa viiraveden kokonais- ja täyteainesakeudet tuottaen uuden mittaustuloksen 4 s. välein. Ennen säädön implementointia on sakeusanturi kalibroitava ja varmistuttava sen toiminnasta./2/

Säätöä rakennettaessa ovat retentiokemikaalien askelvastekokeet tärkeitä. Niiden avulla voidaan nähdä, toimiiko kemikaali, kuinka tehokas kemikaali on ja jossain määrin voidaan myös luonnehtia anturin toimintaa./2/

Itse säädön toteutus koneella on yksinkertainen. PI- tai PID-säätäjä säätää sakeutta, ja kaskadissa siihen viritetään kemikaalin virtaussäädin. Kemikaalivirtaukselle on asetettava rajat, joita ei voi ylittää tai alittaa./2/



Kuva 3. Kajaani RM-200 -säätöjärjestelmä/2/

### 2.5.5 Säädön vaikutukset

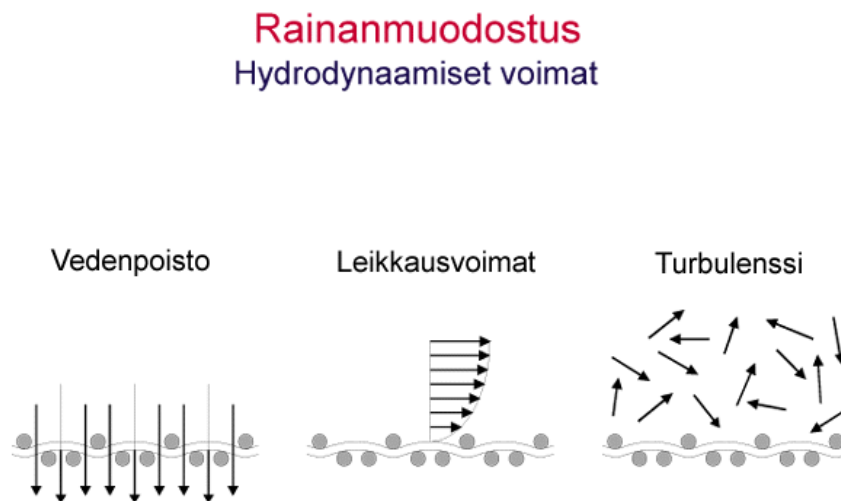
Lyhyen kierron sakeuksien stabiloituminen pienentää selvästi konesuuntaisten laatuominaisuuksien vaihtelua. Samalla yleensä saavutetaan retentioainesäästöjä, koska säätö käyttää vain tarvittavan määrän retentiokemikaalia ja yliannostelu jää pois. Toisaalta liian pientä annostelua säätö ei salli, mikä varmistaa hyvän ajettavuuden. Paperin konesuuntaisten vaihtelujen pienentyminen vähentää paperin konesuuntaisen lujuuden vaihtelua. Seurauksena on tuotannon kasvu katkojen pienentymisen tai nopeuden nousemisen vuoksi. Samalla saadaan huomattavasti tasalaatuisempaa paperia./2/



### 3. ARKIN RAKENTEEN MUODOSTUMINEN

Paperissa raaka-aineet ovat aina epätasaisesti jakautuneita sekä tason suunnassa että arkin paksuussuunnassa. Kuidut ovat flokkautuneina erikokoisiksi kuitukimpuiksi, ja ne ovat orientoituneet pääasiassa konesuuntaan. Lisäksi raaka-aineiden seossuhde saattaa vaihdella arkin eri kohdissa. Kuidut ovat tärkein paperin ja kartongin rakenteeseen vaikuttava tekijä. Kuitujen väliset sidokset muodostavat kuituverkoston, joka antaa paperille sen rakenteen ja vaikuttaa oleellisesti paperin lujuusominaisuuksiin. Eri raaka-aineista saatavat kuidut poikkeavat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan. toisistaan erittäin paljon./1/

Viiraosalla sulppuun kohdistuu hydrodynaamisia voimia. Näitä aiheuttavat vedenpoisto viirojen läpi, leikkausvoimat ja turbulenssi (kuva 4). /1/



Kuva 4. Paperirainaan vaikuttavat hydrodynaamiset voimat/2/

### 3.1 Turbulenssi

Turbulenssilla tarkoitetaan massasuspension sisälle virtaustilan häiriöiden johdosta syntyvää epäsäännöllistä liikettä. Käytännössä massasuspensiota sekoittava turbulenssi näkyy vaihtelevan kokoisina pyörteinä ja virtaustilan häiriöinä. Turbulenssin avulla aiheutetaan massasuspensiossa muutoksia, jotka estävät flokkien muodostumista ja hajottavat jo muodostuneita flokkeja./2/

Turbulenssin suuruutta kuvataan pyörteilyn voimakkuudella ja pyörteiden koolla. Mitä pienempi pyörteen koko on, sen suurempi on pyörteessä vaikuttava nopeuskenttä, ja sen voimakkaampi on sen flokkeja hajottava leikkausvaikutus. Pyörteen kesto aika riippuu sen koosta. Mitä pienempi pyörteen koko on, sitä nopeammin se vaimenee. Pyörteen ja kuitujen sekä flokkien keskinäisellä koolla on merkitystä. Paras hajottava vaikutus saadaan aikaan, kun pyörteen koko on lähellä kuidun keskimääräistä pituutta. Flokin kokoon nähden liian suuri pyörre voi päästää kimpun pyörteen läpi hajottamatta sitä tai ainoastaan hieman muokaten sitä. Turbulenssi ei yleensä pysty hajottamaan flokkeja täysin erillisiksi kuiduiksi, vaan suuremmat kuitukimput hajoavat heikoimmasta kohdastaan pienemmiksi kimpuiksi. Sen vuoksi tietyn tasoisella turbulenssilla syntyy tietyn kokoisia flokkeja. Voimakas pienipyörteinen turbulenssi tuottaa pieniä flokkeja. Jos tällaisessa tilassa oleva huulisuihkun vedenpoisto viiraosalla tapahtuu nopeasti, tuloksena on ryynimäinen rainan rakenne. Viiraosalla näitä pieniä ja kiinteitä flokkeja on erittäin vaikea edelleen hajottaa. Tämä on normaalitilanne nykyaikaista hydraulista perälaatikkoa ja kitaformeria käytettäessä. /2/

### 3.2 Leikkausvoimat

Massasuspensioon syntyy leikkausvoimia (leikkausvoimakenttä), kun siihen aiheutetaan nopeuseroja eri kerrosten välille. Leikkausvoimia esiintyy aina massasuspension virtauksissa johtuen rajapintojen kitkan aiheuttamista nopeuseroista virtauksen keskustan ja reunan välillä. Myös viiraosalla rainaan muodostuu leikkausvoimia, kun viiran ja massasuspension eri kerrosten välille syntyy nopeuseroja.

Leikkausvoimat hajottavat syntyviä flokkeja tehokkaasti ja parantavat muodostuvan paperin formaatiota. Flokkien hajottamiseen vaadittavien leikkausvoimien suuruus määräytyy kyseisen massan leikkauslujuudesta. Leikkauslujuus riippuu voimakkaasti massan ominaisuuksista ja sakeudesta. Mitä korkeampi sakeus on, sen suurempi lujuus ja sitä suurempia leikkausvoimia tarvitaan flokkien hajottamiseen. Toisaalta käytettävien leikkausvoimien suuruutta rajoittaa se, että ei uudelleen hajoteta jo viiran päälle muodostettua kuitukerrosta. /2/

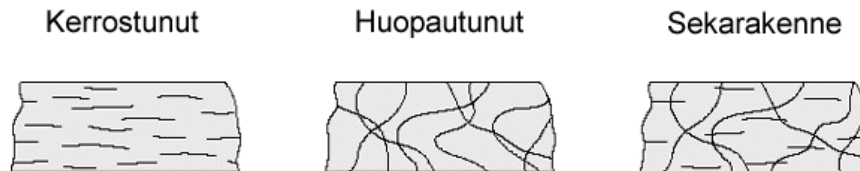
### 3.3 Veden virtaus viiran läpi

Paperin kuituverkostorakenteeseen vaikuttaa olennaisesti veden poistumistapa sulpusta. Suotautumalla tapahtuvassa vedenpoistossa kuidut laskeutuvat erillisinä viiralle jo muodostuneen kuitumaton päälle. Kuidut asettuvat tällöin tasaisemmaksi verkostoksi ja orientoituvat enemmän, kuin jos kuidut saisivat ensin vapaasti saostua ja flokkaantua ennen veden poistamista viiran läpi. Suotautuneen arkin rakenne on kerrostunut, kun taas saostumalla muodostuneen arkin rakenne on huopautunut. Saostumisessa ei kuitumattoa esiinny lainkaan, vaan sulpun sakeus säilyy sulppukerroksessa paksuussuunnassa likimain samana veden poistuessa ja sulpun keskimääräisen sakeuden kasvaessa. Puhdas saostuminen ei tule kuitenkaan kysymykseen rainamuodostuksessa, koska se johtaa hyvin huonoon viirarententioon. Kerrostuneessa rakenteessa on suhteellisen harvoja kuituja, jotka arkin paksuussuunnassa sivuavat useita peräkkäisiä risteäviä kuituja samalta puolelta. /1/

Huopautuneessa rakenteessa on runsaasti kuituja myös rakenteen pystysuunnassa, jolloin sen paksuussuuntainen lujuus on selvästi parempi kerrostuneen rakenteen. Paperin kerroksellisuuden kehittyminen alkaa jo perälaatikossa, jossa kuitususpensioon kehittyy sen paksuussuunnassa erilaisia nopeus- ja leikkauskenttiä rajakerrosten seurauksena. Lisäksi ulostulevan suihkun turbulenssitaso ja sen laajuus vaikuttavat ratkaisevasti syntyvän paperin pinta- ja kerrosrakenteeseen. Paperi on kuitenkin lähempänä kerrostunutta kuin huopautunutta rakennetta. Kerrostuneisuuden syntyminen voidaan selittää vedenpoiston aikana paperikoneen viiralla vallitsevien virtausolojen perusteella. /1/

## Vedenpoistomekanismit

### Kuituverkon rakenteet



Kuva 5. Kuituverkon eri rakenteet/2/

## 4. DYNAMIC DRAINAGE JAR (DDJ)

### 4.1 Retention laboriotestaus

Retention ja vedenpoistoon keskittyvillä laboriotesteillä on tarkoituksena ratkaista niihin liittyvät ongelmat ja etsiä parannuksia paperinvalmistuksessa. Syitä laboriotesteille voivat olla mm. seuraavat:

- Uusien raaka-aineiden etsiminen ja niiden soveltuvuuden testaaminen ennen kuin niitä aletaan käyttää tuotannossa.
- Tutkia mahdollisia soveltuvuusongelmia eri kemikaalien/raaka-aineiden välillä ja miten eri kemikaalit/raaka-aineet vaikuttavat prosessin muissa vaiheissa./4/

Jos vain on mahdollista, kaikki paperinvalmistuksessa tapahtuvat kemikaalien/raaka-aineiden vaihdokset tulisi ensin testata laboriossa. Täytyy kuitenkin muistaa, että laboriomittakaavassa tehdyt tutkimukset eivät aina päde todellisessa tilanteessa

paperikoneella ja koko paperinteko prosessin läpivieminen laboratorio olosuhteissa on mahdotonta täysin luotettavien tulosten saamiseksi. /4/

#### 4.2 DDJ laitteena

Laitteena DDJ on todella yksinkertainen. Se koostuu sekoittajasta ja astiasta, jonka pohjalla on venttiili. Astian ”pohjana” on yleensä 200 meshin viira. Sekoittaja on kierrosnopeuden säädöllä varustettu kolmilapainen 150 mm varrella oleva propelli. Lavat ovat pyöreitä ja halkaisijaltaan 17,5 mm ja niiden kaltevuuskulma on 30 astetta./5/

#### 4.3 DDJ:n käyttö

DDJ:tä käytetään kolloidisten ja huokoisten kiintoaineiden retention määrittämiseen turbulenttisissa olosuhteissa eri massoilla. DDJ on oivallinen laite hienoaineen ja täyteaineiden retention mittaamiseen dynaamisissa olosuhteissa, koska se on erittäin yksinkertainen, helppokäyttöinen ja suhteellisen luotettava laite. DDJ soveltuu myös erilaisten kuitujen ja hienoaineen erotteluun. Sitä voidaan käyttää suuntaa antavana laitteena, kun mitataan vedenpoistoa viiran läpi tiettyä aikayksikköä kohden./5/



Kuva 6. TAMK:n paperilaboratoriossa oleva DDJ sekoittajalla varustettuna.

## 4.4 Kokonaisretention määrittäminen DDJ:llä

### 4.4.1 Näytteenotto

DDJ:llä testattava näyte on aluksi laimennettava 0,05–0,5 % sakeuteen. Jos mahdollista, olisi suotavaa käyttää massan laimentamiseen vettä, joka vastaisi mahdollisimman hyvin paperikoneella käytettyä vettä (esim. tislattu vesi). Kun näyte on laitettu astiaan, valitaan tarvittava kierrosnopeus (yleensä 700 - 1400 kierrosta/minuutti) halutun turbulenssin saamiseksi. Halutun ajan kuluttua näytteen sekaan lisätään retentioaineet ja mahdolliset täyteaineet. Sovitun ajan kuluttua laitteen käynnistämisen jälkeen avataan pohjassa oleva venttiili ja otetaan 200 ml näyte, josta määritetään kiintoainemäärä. /5/

### 4.4.2 Retention määrittäminen

Mittauksessa on käytettävä tuhkattomia ja kuivattuja suodatinpapereita, joiden tarkka massa kuivana on tiedossa. DDJ:stä otetun näytteen tilavuus tarkistetaan vielä mittalaseilla. Seuraavaksi suoritetaan Büchner-suodatus. Suodatinpaperi kastellaan ionivaihdetulla vedellä ja suodatuksen jälkeen on myös huuhdeltava näyteastian reunat että kaikki hienoaines saadaan talteen. Suodatuksen jälkeen suodatinpaperi+DDJ-suodoksen kiintoaine kuivataan lämpökaapissa (vähintään 4 h ajan) ja punnitaan välittömästi kuivatuksen jälkeen. Punnitus kanssa pitää tehdä nopeasti sillä suodatinpaperi alkaa välittömästi imeä ilmasta kosteutta. Kokonaisretentio voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla:

$$\text{kokonaisretentio} = \frac{\text{sulpuunakeus} - \text{suodoksensakeus}}{\text{sulpuunakeus}} \cdot 100\% \quad (1)$$

(suodoksen sakeus saadaan punnitun kiintoainemäärän ja mitatun suodostilavuuden avulla)

Jos halutaan määrittää myös täyteaineretentio, niin suodatinpaperit on säästettävä tuhkausta varten. /6/

## 4.5 Hienoaineen määrittäminen

Testattava massa laimennetaan ensin 0,5 %:n sakeuteen. Näytettä otetaan 100–125 grammaa, joka laimennetaan 500 ml tilavuuteen. Tämän jälkeen näyte laitetaan DDJ:n astiaan. Sekoittaja asetetaan sovittuun kierrosnopeuteen. DDJ:n alle asetetaan näytteen ottamista varten sopiva astia. Venttiili aukaistaan ja annetaan pinnan tason laskea DDJ:ssä n. 5 mm korkeudelle viiran pinnasta. Tämän jälkeen DDJ:n astiaan lisätään 500 ml tislattua vettä ja venttiilin alle asetetaan uusi astia. Nämä kyseiset toimenpiteet suoritetaan niin monta kertaa että DDJ:stä tuleva neste on kirkasta eikä sisällä hienoainesta/kuituja. Nesteen kirkkauden arviointi suoritetaan silmämääräisesti, mutta yleensä 4–5 annoksen jälkeen neste on kirkasta. Tämän jälkeen DDJ:n läpi suodatettu neste kaadetaan Büchner-suppiloon, ja suodatinpaperi ja sen päälle jäänyt hienoaines laitetaan uuniin kuivumaan. DDJ:n viiran päälle jäänyt massakakku suodatetaan myös Büchnerissä. Lopuksi suoritetaan lasku seuraavan kaavan mukaan:

$$F = \frac{D}{A} \cdot C \cdot 100 \quad , \text{ jossa} \quad (2)$$

F = hienoaineen määrä %

D = hienoaineen määrä suodatinpaperilla

A = alkuperäisen näytteen paino g

C = sakeus g/g (veden tiheydeksi oletetaan 1000 g/l)



## 5. MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN KÄSITTELY

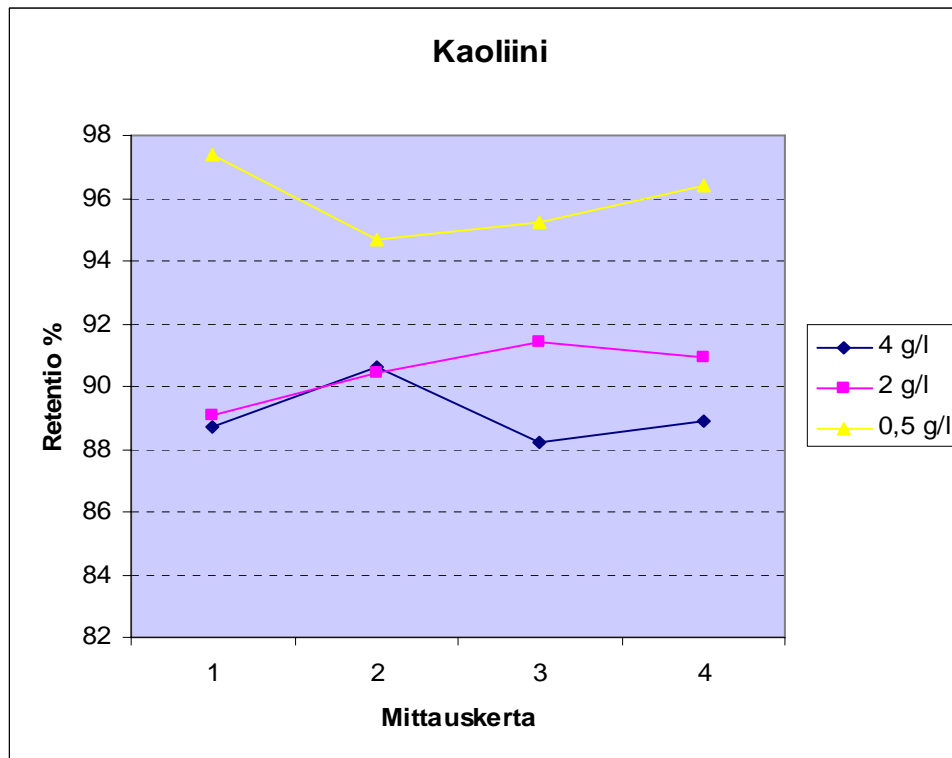
### 5.1 Esikokeet

Esikokeiden tarkoituksena oli lähinnä tutustua DDJ:n käyttöön ja alustavasti suunnitella, millä massoilla ja minkälaisilla sakeuksilla varsinaisia kokeita aletaan tehdä. Standardien mukaan DDJ:tä voidaan käyttää kaikenlaisilla massoilla sakeusalueella 0,5–5 grammaa kuitua per litra vettä. Aluksi testattiin jauhamatonta koivusellua sakeudella 5 g/l. Täyteaineena käytettiin kaoliinia, jota lisättiin 20 % kuidun määrästä. Oli todettavissa, että sakeus on aivan liian korkea koska retentioksi tuli käytännössä 100 %. Massa oli sen verran sakeaa, että se muodosti näytettä otettaessa välittömästi DDJ:n viiralle suodattavan massakakun, ja sen takia retentio nousi niin korkeaksi. DDJ:n tarkoituksena on nimenomaan tutkia retentiota ilman massakakun muodostumista viiralle. Seuraavaksi testattiin, miten toimii pitkälle jauhettu koivusellu hieman alhaisemmalla sakeudella. Vastaus oli sama kuin sakeammalla massalla eli retentioksi tuli 100 %. Pitkälle jauhettu koivusellu yksinkertaisesti satoi niin hyvin kaiken täyteaineen itseensä, että viiran läpi ei käytännössä tullut mitään. Jauhatuksen tuloksena myös osa kuiduista oli luultavasti jauhautunut sen verran hienoksi että se nosti myös massan kykyä muodostaa suodattava kakku viiralle. Viimeisenä kokeiltiin vielä siistausmassaa sakeudella 5 g/l, jolla tulos oli täysin vastaava kuin koivusellullakin. Tämä tosin ei enää ollut suuri yllätys, sillä siistausmassa sisältää mekaanista massaa ja muita hienojakoisia partikkeleita, jotka muodostavat vielä tiiviimmän kakun viiran päälle kuin koivusellu. Esikokeiden avulla pääteltiin, että varsinaisissa kokeissa ei kannata käyttää suurinta sallittua massan sakeutta ja testattavat massat ovat joko jauhamattomia tai todella vähän jauhettuja. Valitettavasti retentioainetta ei päästy kokeilemaan esikokeissa, koska koululla ei ollut sopivia kemikaaleja.

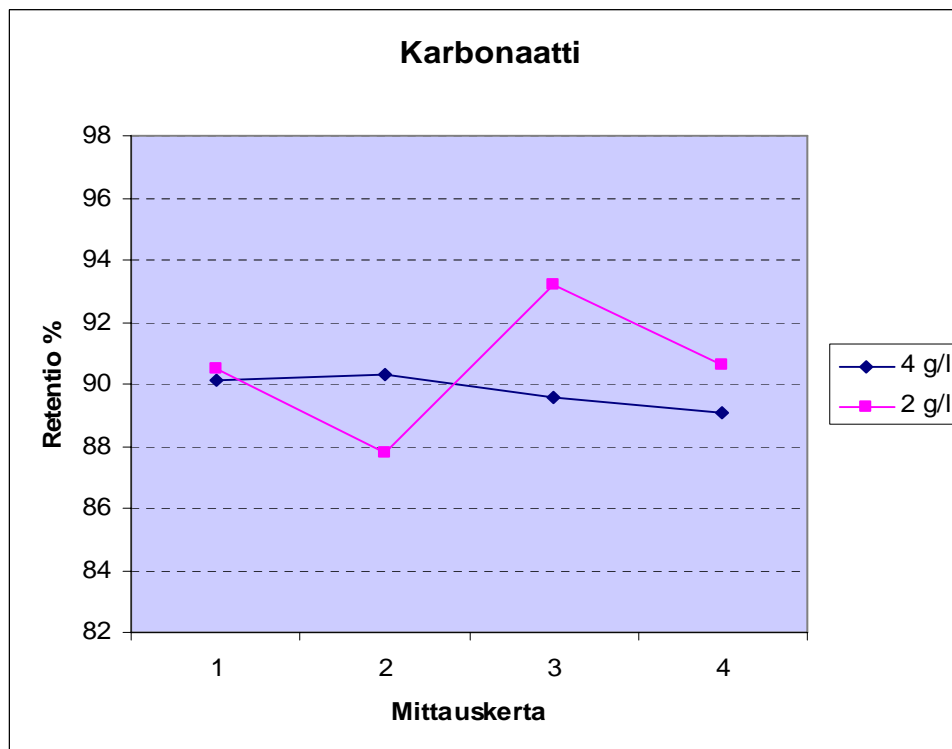
Esikokeiden perusteella laadittiin seuraavanlaisen koeajosuunnitelman:

- testattavat massat: havu- ja mäntysellu sekä CTMP
- sakeudet: 0,5, 2 ja 4 g/l
- käytettävät täyteaineet: kaoliini ja kalsiumkarbonaatti, joita lisätään 20 % näytteissä olevasta kuidun määrästä.

## 5.2 Koivusellu



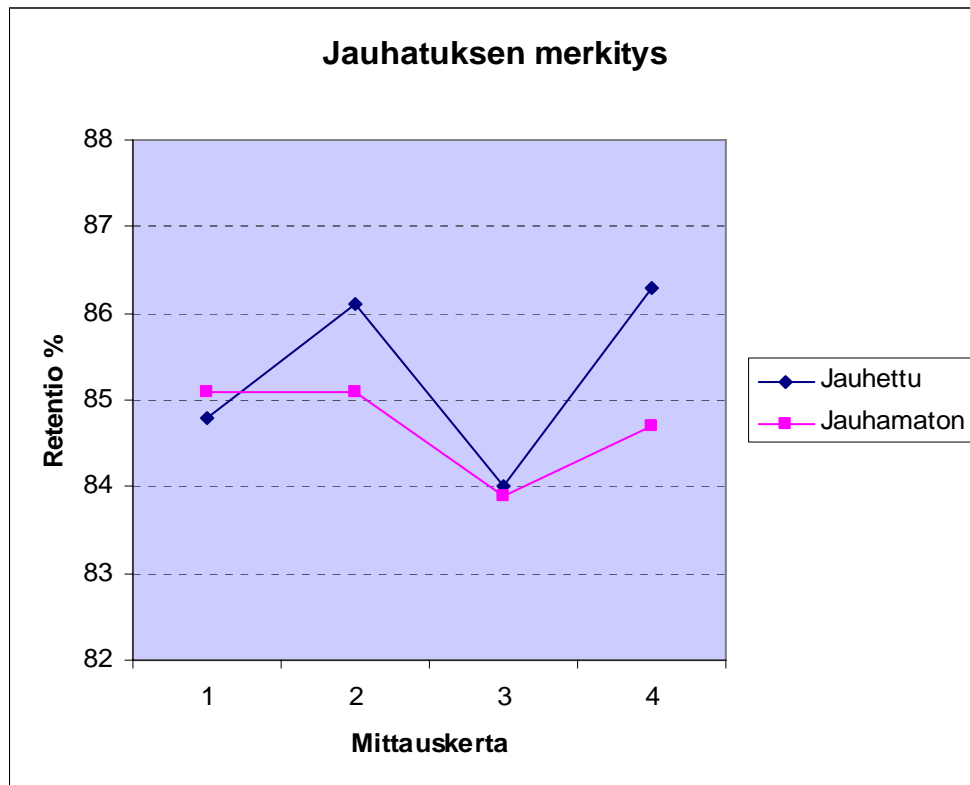
Kuva 7. Retention muutos sakeuden muuttuessa käytettäessä kaoliinia



Kuva 8. Retention muutos sakeuden muuttuessa käytettäessä kalsiumkarbonaattia

Kuvassa 7. ja 8. on kuvattuna retention muutokset, kun massana on koivusellu ja täyteaineena on käytetty kaoliinia ja kalsiumkarbonaattia. Kummallakin täyteaineella retentio on suhteellisen korkea, mikä johtuu pitkälti siitä, että tehdyissä kokeissa ei käytetty minkäänlaista alipainetta, vaan näytteet otettiin DDJ:ssä olevan venttiilin läpi vain maan vetovoimaa hyväksi käyttäen. Vaikka massa on jauhamatonta, on silti retentio jopa yllättävän korkea. Sakeuksilla 2 g/l ja 4 g/l tulokset ovat yhteneviä ja eroja eri täyteaineilla ei juuri ole. Ainoina poikkeuksina ovat 2 g/l sakeudella otetut mittaukset 2 ja 3 (kuva8). Luultavasti täyteaineen annostelu ei ole sujunut toivotulla tavalla tai mittaustulokset ovat vain sattuneet virhealueen ylä- ja alapäähän.

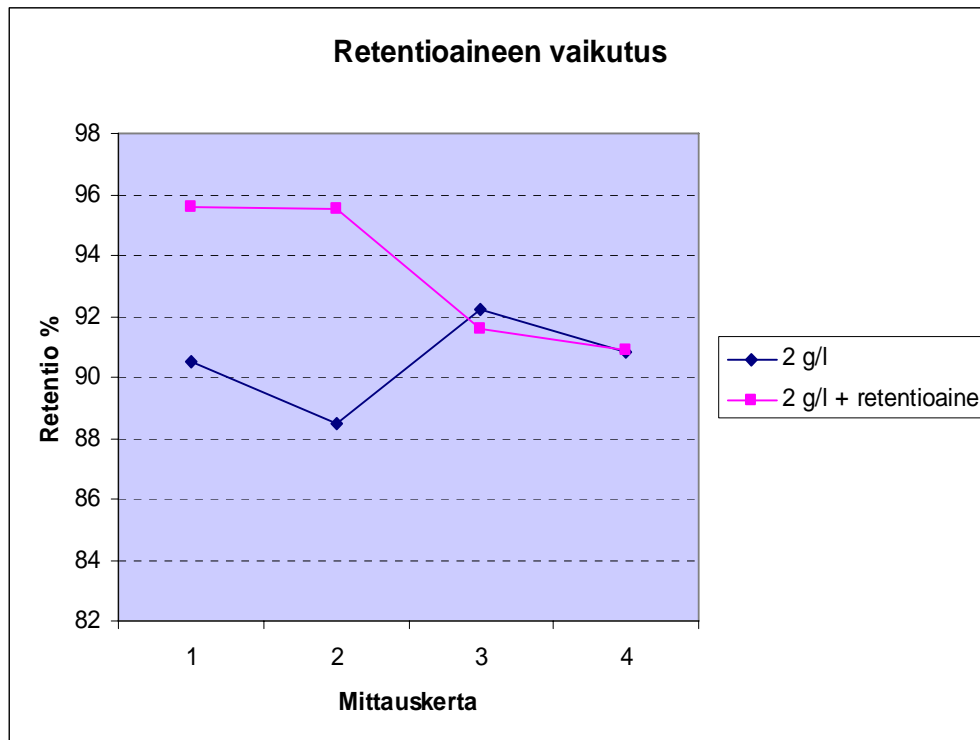
0,5 g/l sakeudella tehtävät kokeet tuottivat todella paljon ongelmia. Ongelman aiheutti täyteaineen annostelu. Annosteltava määrä oli 0,08–0,09 gramman luokkaa per näyte. Koska annostelu tapahtui ruiskuttamalla injektioruiskulla täyteaine massaan DDJ:n yläpuolelta, usein osa täyteaineesta osui sekoittajan varteen tai lensi astian reunoille. Toiseksi 0,08–0,09 grammaa on vain muutama pisara täyteainetta, ja se hukkuu 500 millilitran massanäytteen sekaan niin totaalaisesti että retentiomittauksia on todella hankala tehdä ja koska sellut eivät sisällä juurikaan hienoainetta, ainoa viiran läpi tuleva aines on täyteainetta. Kaoliinilla kuitenkin tuloksia onnistuttiin saamaan, ja odotusten mukaisesti retentio oli sillä todella korkea.



Kuva 9. Jauhatuksen merkitys kun täyteainetta kaksinkertainen määrä normaaliin verrattuna.

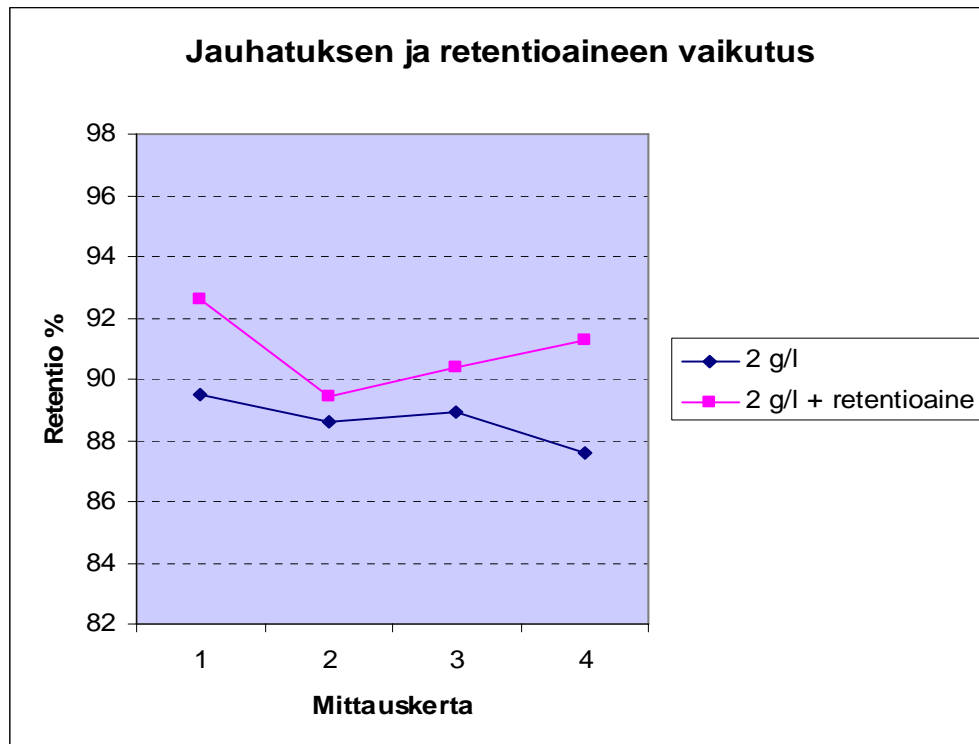
Kuvassa 9 olevasta kuvaajasta ilmenee retention muutokset, kun täyteainetta on käytetty kaksinkertainen määrä normaaliin verrattuna. Koe tapahtui inhimillisen erehdyksen seurauksena, sillä alun perin ei ollut aikomusta tutkia, miten retentio muuttuu kun täyteainetta on 40 % kuidun määrästä. Massoina on käytetty hieman jauhetta ja jauhamatonta koivusellua, ja täyteaineena on kalsiumkarbonaatti. Massojen freeness-tasot ovat jauhetulla 600 ml ja jauhamattomalla 640 ml.

Retentio on luonnollisesti alhaisempi kuin normaalilla täyteaine määrällä koska kuidut eivät pysty sitomaan itseensä lähellekään kaikkea täyteainetta joka massaan lisättiin. Jauhatuksen vaikutuksesta on mahdotonta sanoa varmuudella vaikka jauhetulla massalla retentio näyttää olevan hieman korkeampi, sillä erot ovat kuitenkin niin pieniä että ne mahtuvat virhemarginaaliin. Jauhatuksen tosin pitäisi teoriassa nostaa retentiota, koska kuituja jauhettaessa niiden pinta-ala kasvaa ja täyteaineelle on suurempi mahdollisuus kiinnittyä niihin.



Kuva 10. Retentioaineen vaikutus retentioon

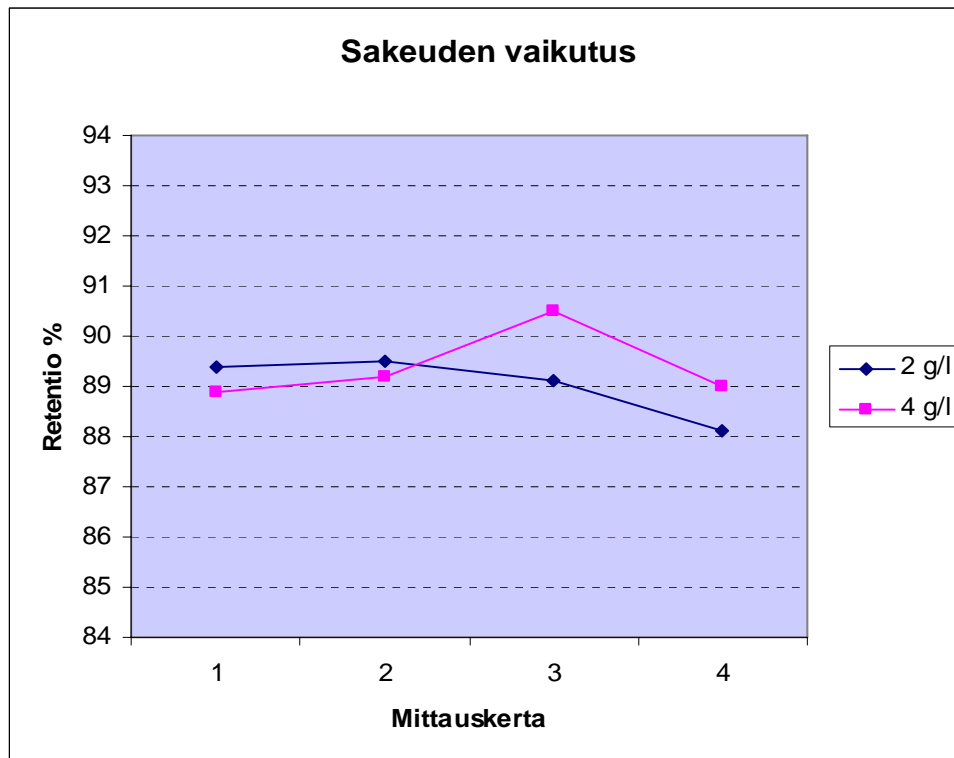
Testissä käytetty retentioaine on nimeltään Fennopol K, joka on yhtä markkinoiden tehokkaimmista retentiokemikaaleista. Massana on koivusellu ja täyteaineena kalsiumkarbonaatti. Fennopol K on kationinen polyakryyliamidi, jota annostellaan prosessissa 200–600 grammaa per kuitutonni. Jos täyteaineen annostelu oli hankalaa varsinkin alhaisilla sakeuksilla, retentioaineen käyttö oli vähintään yhtä haasteellista. Loppujen lopuksi retentioainetta lisättiin 10-kertainen määrän suositukseen nähden, jotta annostelu olisi edes jotenkin mahdollista. Mittauksissa 1 ja 2 retentioaine näyttää tehonneen toivotulla tavalla mutta 3 ja 4 mittauksissa (kuva 10) retentioaineella ei näytä olevan vaikutusta, vaan retentio näyttää olevan aivan samalla tasolla kuin ilman retentiokemikaaleja.



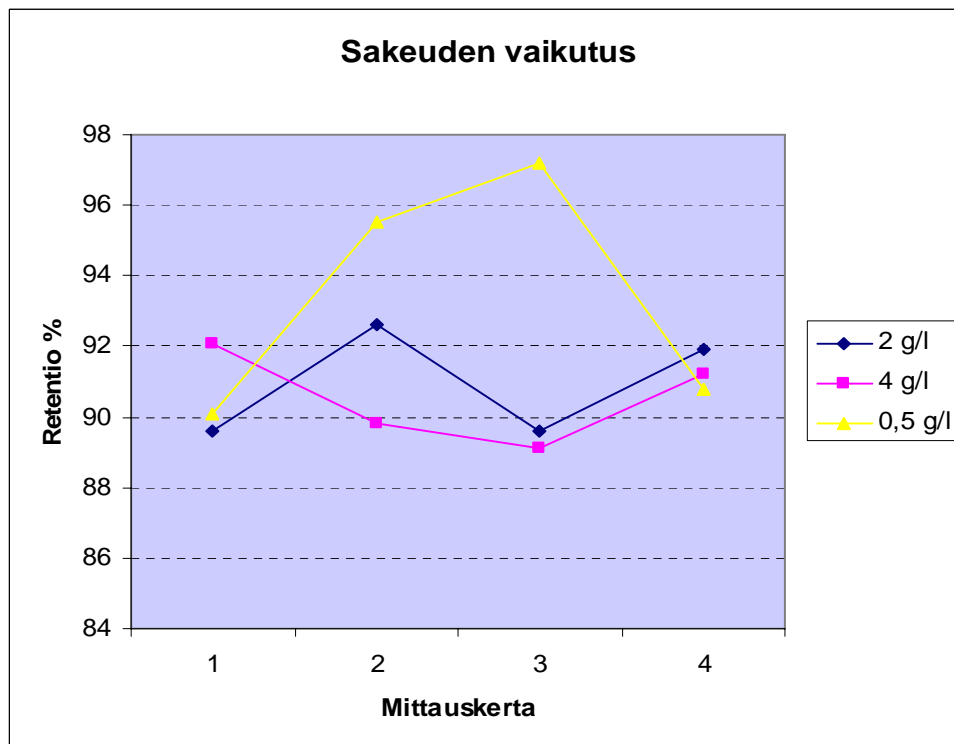
Kuva 11. Retentioaineen vaikutus jauhetussa massassa

Testissä (kuva 11) on käytetty samaa retentioainetta kuin aikaisemmin, massana jauhamaton ja hieman jauhettu koivusellu ja täyteaineena kaoliini. Massojen freeness-tasot ovat jauhamattomalla 640 ml ja jauhetulla 600 ml. Tämä testi onnistui paremmin kuin edellinen, sillä tällä kertaa retentio näyttää olevan johdonmukaisesti korkeampi käytettäessä retentioainetta. Tosin tässäkin testissä kemikaalia on käytetty 10-kertainen määrä suositukseen nähden. Jauhatuksella ei näytä olevan tässä tapauksessa suurta merkitystä retention kannalta. Jos verrataan kuvassa 8 olevia käyriä, voi huomata, että retentiotaso on suurin piirtein sama, vaikka massat ovat jauhamattomia kyseisessä testissä.

### 5.3 Havusellu

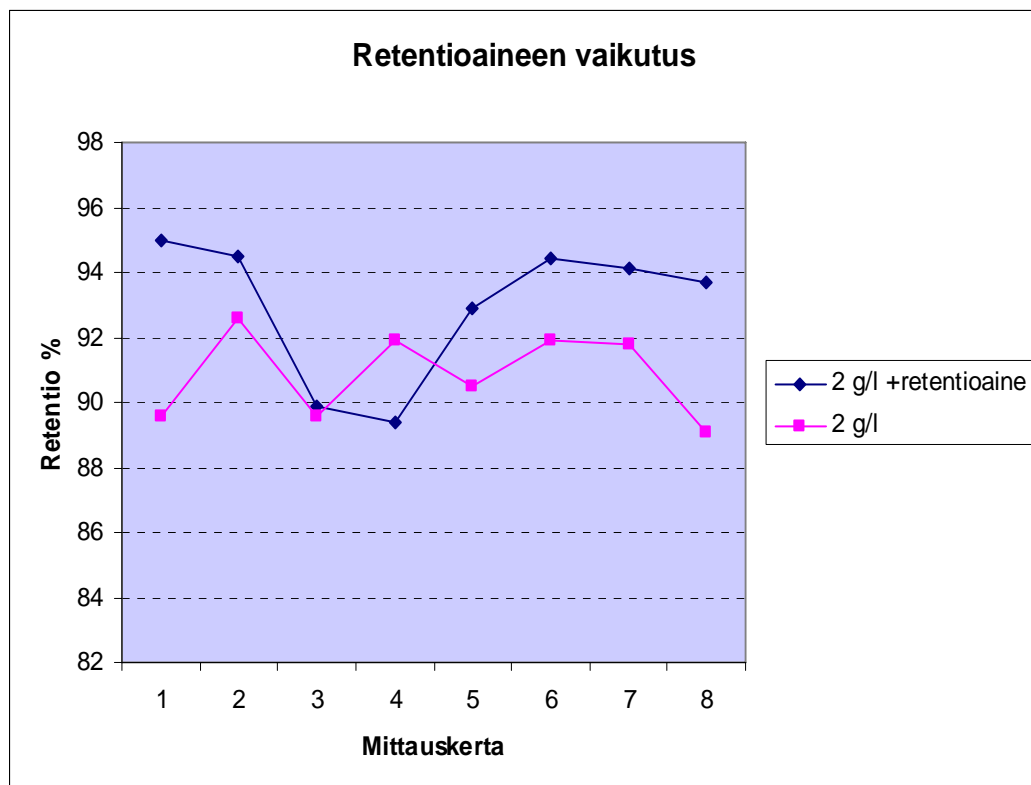


Kuva 12. Retention muutos sakeuden muuttuessa käytettäessä kaoliinia



Kuva 13. Retention muutos sakeuden muuttuessa käytettäessä kalsiumkarbonaattia

Kuvissa 12 ja 13 olevat testit on tehty havusellulla. Jos vertaa koivusellulla tehtyjä kokeita (kuvat 8 ja 9), niin voi huomata, ettei retentiossa ole eroavaisuuksia vaikka voisi kuvitella että havusellulla retentio olisi alhaisempi. Vaikka havusellussa kuidut ovat pidempiä ja jäykempiä, silti retentio asettuu 88–92% väliin aivan kuten koivusellullakin. Luultavasti eroja voisi tulla, jos vedenpoisto olisi suoritettu rankemmalla tavalla eli alipaineella. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, suodatus tapahtui vain maan vetovoiman avulla. Havusellullakaan ei juuri ole huomattavissa eroja eri täyteaineiden välillä. Sakeudet 2 g/l ja 4 g/l käyttäytyvät yhteneväisesti. 0,5 g/l sakeus aiheutti aivan yhtä paljon päänvaivaa kuin koivusellullakin eikä kaoliinilla onnistuttu saamaan tulosta lainkaan. Kalsiumkarbonaatilla onnistuttiin saamaan kovalla yrittämisellä sentään jonkinlaisia tuloksia.

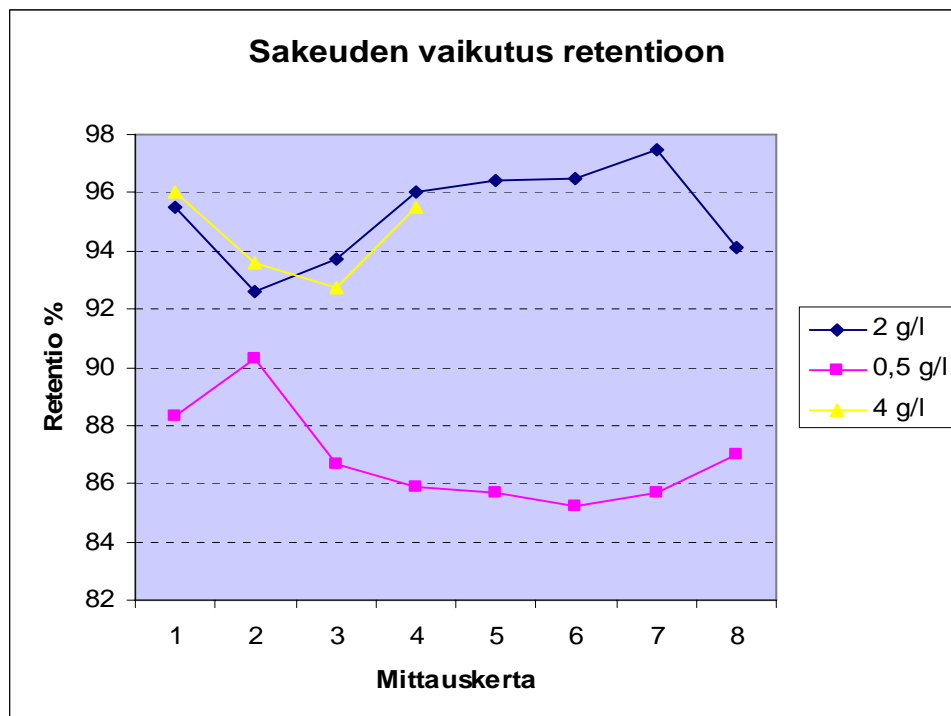


Kuva 15. Retentioaineen vaikutus retentioon



Retentioaineella tehtiin myös yksi useamman mittauskerran koe. Massan sakeus oli 2 g/l ja täyteaineena käytettiin kalsiumkarbonaattia. Tulokset eivät eronneet mitenkään aikaisemmasta koivusellulla tehdystä kokeesta, sillä ilman retentioainetta retentio asettui 88–92% välille ja retentioaineen kanssa muutaman prosenttiyksikön korkeammalle. Muutamassa mittauksessa retentioaineen tehoa ei huomannut lainkaan, mutta se ei ollut yllätys aikaisempien kokeiden perusteella. Retentioainetta käytettiin 10-kertainen määrä suosituksiin nähden kuten aikaisemminkin.

#### 5.4 CTMP



Kuva 16. Retention muutos sakeuden muuttuessa käytettäessä kalsiumkarbonaattia

Viimeisenä massana testattiin CTMP:n retention muutoksia eri sakeuksilla. Täyteaineena oli kalsiumkarbonaatti. Ennen testejä oli odotettavissa, että retentio olisi kyseisellä massalla lähellä 100%. Kyseinen massa nimittäin sisältää hienoainesta huomattavasti enemmän kuin havu- tai koivusellu, ja siten se muodostaa helpommin tiiviin suodattavan massakakun viiran päälle näytettä otettaessa. CTMP:n freeness oli hieman yli 200 ml, kun havu- ja koivusellun vastaavat olivat 600–800 ml tietämällä.

2 g/l ja 4 g/l sakeuksissa tulokset olivat juuri sellaisia, kuin alun perin oli odotettu. Retentio oli selkeästi korkeampi kuin selluilla. Kun ensimmäisen 4 mittauksen koe 0,5 g/l sakeudella oli tehty, tuloksia luultiin ensin virheelliseksi, koska ne eivät olleet sellaisia kuin odotettiin. Kokeet 2 g/l ja 0,5 g/l sakeudella toistettiin ja saatiin samansuuntaiset tulokset kuin ensimmäisellä testikerralla. Hetken pohdinnan jälkeen tajuttiin, mistä johtuu, että 0,5 g/l sakeudella saatiin yllättävän alhaisia retentiotuloksia. CTMP sisältää itsessään jo huomattavasti hienoainetta toisin kuin sellut. Koska 0,5 g/l sakeus on todella alhainen, luonnollisesti suodattava massakakku viiran päälle muodostuu huomattavasti heikommin kuin suuremmilla sakeuksilla. Joten kun otettiin näyte DDJ:n pohjaventtiilin kautta, veden mukana tuli massan sisältämää hienoainetta suhteellisen paljon, ennen kuin viiran päälle alkoi kertyä suodattava massakerros. Luultavasti tässäkin kokeessa täyteaineella ei ollut juuri mitään merkitystä, vaan se hukkui massan sekaan, kuten kävi selluilla alhaisilla sakeuksilla. Kaikki viiran läpi rejektoitunut aine oli vain massan sisältämää hienoainetta.

## 6. OMAT PÄÄTELMÄT

Kirjallisuudessa DDJ:tä kuvaillaan yksinkertaiseksi laitteeksi, joka antaa kohtuullisen luotettavia tuloksia. Laite, jossa ei ole kuin yksi liikkuva osa, on taatusti helppo käyttää, siitä ei ole epäilystäkään. Uskon myös, että pitemmillä koeajosarjoilla DDJ:llä saadaan ainakin kohtuullisen luotettavia tuloksia. Myös kaikkien massojen testailu onnistuu varsin luontevasti, kunhan kyseessä eivät ole kovin pitkälle jauhetut massat. Mekaanisilla massoilla tosin retentio on uskomattoman korkea, mikä tuli selväksi testattaessa CTMP:tä. Ainoa asia jossa en täysin ole samaa mieltä standardeissa mainittujen asioiden kanssa, ovat sakeudet, joilla massoja voidaan testata. Mielestäni 0,5-5 g/l skaala on liian laaja, ja omien testieni perusteella 2-4 g/l on paljon parempi ja luotettavampi. Tehdessäni esikokeita sain 5 g/l sakeudella tehdyissä kokeissa retentioksi 100 %. Tosin käyttämäni massat olivat siistausmassaa, ja pitkälle jauhettua koivusellua joten ehkä massat eivät olleet kaikista otollisimpia. Kuitenkin 5 g/l mielestäni on liian korkea sakeus testeihin.

Toinen ääripää eli todella alhainen sakeus 0,5 g/l aiheutti eniten päänvaivaa lähinnä täyteaineen annostelun takia. Muutaman täyteainepisaran annostelu oli todella hankalaa ainakin niillä välineillä, joka minulla oli käytössä. Siksi suosittelen, että opetuskäytössä testattavien massojen sakeus olisi 2–4 g/l tietämällä. Retentioaineen käyttöä kannattaa myös harkita, sillä kemikaalien annostelumäärät ovat niin pieniä, että luotettavien testitulosten saaminen on haasteellista.

Loppujen lopuksi olen suhteellisen tyytyväinen saamiini testien tuloksiin. Retentioarvot näyttivät asettuvan suhteellisen tasaisesti eri massoilla ja täyteaineilla 88–92% väliin, ja kovin suuria heittoja ei mittauksissa tullut muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta.

Jos alkaisin tehdä testejä alusta uudelleen nykyisillä tiedoilla, tekisin ehdottomasti pitempiä mittaussarjoja ja karsisin eri koepisteiden määrää. Neljä mittausta per koepiste ei ole todellakaan riittävästi vaan mieluiten vähintään 10 mittausta per piste. Tällä toimenpiteellä karsittaisiin huomattavasti heittoja mittaustuloksissa, ja mikä luonnollisesti nostaisi tulosten luotettavuutta. Toinen asia, jonka muuttaisin jälkikäteen ajatellen, niin hankkisin jostain todella pitkän injektioruiskun, jolla täyteaineen pystyisi annostelemaan massan sekaan sen ollessa DDJ:ssä. Täyteaineen annostelu DDJ:n päältä massan sekaan oli hiukan roiskimista, niin että aina ei voinut olla aivan varma, kuinka paljon täyteaineesta loppujen lopuksi päätyi massan sekaan.

Lopuksi voisi vielä summata tekemieni kokeiden perusteella saatuja havaintoja pähkinänkuoressa:

- Luotettavin sakeusalue testien tekemiseen DDJ:llä on 2–4 g/l, standardeissa mainittu sakeusalueen 0,5–5 g/l ylimmät ja alimmat arvot aiheuttavat ongelmia.
- Retentioaineen käyttö haasteellista pienten annostelumäärien takia.
- Täyteaineen annostelu on vaikeaa nykyisillä välineillä. Ehdottomasti pidempi injektioruisku on saatava käyttöön, että täyteaineen saa kokonaisuudessaan massan sekaan ilman, että osa siitä roiskuu pitkin astian seinämiä tai sekoittajan vartta.

- DDJ:n käyttö mekaanisilla massoilla on kyseenalaista. Retentio muodostuu niillä todella korkeaksi ainakin CTMP:llä tehtyjen testien perusteella
- Pidemmät mittausarjat, 4 mittaus per koepiste ei ole riittävästi luotettavien tulosten saamiseksi.
- Käytettävien massojen tulisi olla jauhamattomia tai vain hieman jauhettuja, muuten retentioarvot nousevat lähelle 100 %.



## LÄHDELUETTELO

1. Häggblom-Ahnger, Ulla, - Komulainen, Pekka, Paperin ja kartongin valmistus. Gummerus Kirjapaino Oy 2005.
2. Knowpap 8.0
3. Gess, Jerome M., Retention of fines and fillers during papermaking. TAPPI press 1998
4. Neimo, Leo, Papermaking chemistry. Gummerus Kirjapaino Oy 1999.
5. TAPPI test methods  
TAPPI press 1996
6. Arjas, Antti, Paperin valmistus  
Turun sanomat Oy 1983
7. Teknillisen korkeakoulun internetsivut, <http://www.tkk.fi/Yksikot/Paperi>

## NÄYTTEENOTTO DDJ:LLÄ

1. Kokoa laite.
2. Kaada 500 ml näyte laitteeseen (sakeus 2 g/l)
3. Laita sekoitin päälle (800 kierrosta minuutissa, jos ei muuta ohjetta annettu)
4. Annostele välittömästi näytteen joukkoon täyteaine.
5. Anna sekoittua 30 sekuntia.
6. Lisää retentioaine ja anna sekoittua vielä 10 sekuntia.
7. Avaa pohjaventtiili ja ota noin 50 ml suodosta. Tätä osuutta ei käytetä varsinaisiin määrittäisiin.
8. Seuraavaksi otetaan 200 ml varsinainen näyte.
9. Tyhjennä ja puhdista laite rinnakkaisia näytteitä varten.
10. Laitteen käytön jälkeen muista pestä laite ja sen osat huolellisesti.

## KOKONAISRETENTION MÄÄRITYS

1. Käytä mittauksessa **kuivattuja** suodatinpapereita, joiden tarkka massa kuivana on tiedossa.
2. Mittaa DDJ:stä otetun näytteen tarkka tilavuus mittalasilla.
3. Suorita Büchner-suodatus. Muista kastella suodatinpaperi vedellä ennen suodatusta. Suodatuksen jälkeen huuhtelee lopuksi vedellä myös näyteastian reunat, jotta kaikki hienoaines saadaan talteen.
4. Suodatuksen jälkeen suodatinpaperi + DDJ-suodoksen kiintoaine kuivataan ja punnitaan välittömästi kuivatuksen jälkeen. Ole nopea punnituksessa sillä vaa'an lukema alkaa nousta välittömästi paperin alkaessa imeä kosteutta.
5. Retentio voidaan laskea oheisen yhtälön avulla:

$$\text{kok.retentio} = 100 \% * (\text{sulpun sakeus} - \text{suodoksen sakeus}) / \text{sulpun sakeus}$$

(suodoksen sakeus saadaan punnitun kiintoainemäärän ja mitatun suodostilavuuden avulla)

## HIENOAINEEN MÄÄRÄN MÄÄRITYS

1. Ota 100 – 125 grammaa näytettä jonka **sakeus** on tiedossa.
2. Laimenna näyte 500 ml tilavuuteen.
3. Kaada näyte DDJ:hin ja aseta sekoittaja haluttuun kierrosnopeuteen.
4. Avaa pohjaventtiili ja laske suodosta niin kauan että viiran päälle jää muutama milli näytettä.
5. Lisää DDJ:hin vettä noin 500 ml.
6. Toista kohta 4. ja 5. niin monta kertaa että saatu suodos on kirkasta silmämääräisesti arvioituna. Jokainen 500 ml:n suodoserä otetaan talteen erillisiin astioihin. Yleensä suodos on kirkasta 4-5 annoksen jälkeen.
7. Suorita Büchner-suodatus ja näytteen kuivatus.
8. Hienoaineen määrä lasketaan seuraavasti:

*Näytteessä oleva kuiva-aine – suodatinpaperilla oleva hienoaineen määrä*

( Näytteen kuiva-aine määritetään näytteen massan ja sakeuden perusteella)