

Siiri Sarkki

SYRJÄYTYSTESTIN KEHITYS JA ANALYYSITARKKUUDEN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Biotuotetekniikan koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Siiri Sarkki	Insinööri (AMK)	marraskuu 2020
Opinnäytetyön nimi		
Syrjäytystestin kehitys ja analyysitarkkuuden parantaminen		45 sivua 5 liitesivua
Toimeksiantaja		
Andriz Oy		
Ohjaaja		
Petteri Paananen, Tiina Haatainen, Riku Kopra		
Tiivistelmä		
<p>Tämän työn tarkoituksena oli kehittää Drum Displacer™ -pesuria eli DD-pesuria mallintavaa syrjäytystestiä pyrkimyksenä saada analyysitarkkuutta parannettua ja lisättyä uusia ominaisuuksia analyysiin.</p> <p>Kirjallisuusosassa perehdyttiin massan pesuun, sen periaatteisiin ja sen sijaintiin kuitulinjalla. Työssä keskityttiin DD-pesuriin, jonka toimintaperiaate on syrjäytyspesu. Pesurista käytiin toimintaperiaatteen lisäksi rakenne ja pesuun vaikuttavat tekijät.</p> <p>Syrjäytyspesussa kyse on sellumassan suotautuvuudesta, jonka teoriaan kirjallisuusosiossa syvennyttiin. Suotautuvuus on erilaista aineilla, jotka puristuvat kasaan ja kokoonpuristumattomilla aineilla. Sellumassa on kokoonpuristuvaa ja sen suotautumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, viskositeetti, kuitumateriaali, massan käsittely, paine-ero, pH ja ilman määrä.</p> <p>Syrjäytystesti on yksinkertainen testi, jossa massanäytteen läpi pakotetaan paine-eron välitessä syrjäytyspesunestettä. Syrjäytysnesteen virtausnopeus mitataan ja keskimääräinen syrjäytysnopeus lasketaan massakakun sakeuden ja virtauksen perusteella. Tämän lisäksi testistä on aiemmin saatu tuloksena syrjäytysnopeuden lisäksi se, mille tasolle massakakku painuu testin aikana.</p> <p>Kokeellisessa osiossa pyrittiin kehittämään analyysia niin, että siitä on havaittavissa, miten nopeasti massa painuu kasaan ja palautuu testin jälkeen. Painumisen havaitsemista saatiin selkeytettyä videokuvan ja merkkien ansiosta, mutta palautumisen osalta selkeitä rinnakkaisia tuloksia ei saatu. Kokeita tehtiin neljällä eri sellumassalla kolmella eri sakeudella (10 %, 12 % ja 14 %) ja paine-eroilla 40 kPa ja 80 kPa.</p>		
Asiasanat		
Syrjäytyspesu, syrjäytystesti, suotautuvuus		

Author (authors)	Degree	Time
Siiri Sarkki	Bachelor of Engineering	November 2020
Thesis title		
Development of the displacement test and improvement of the analytical accuracy		45 pages 5 pages of appendices
Commissioned by		
Andriz Oy		
Supervisor		
Petteri Paananen, Tiina Haatainen, Riku Kopra		
Abstract		
<p>The purpose of this work was to develop a displacement test which models Drum Displacer™ washer. Goal was to improve the analytical accuracy and add new features to the analysis.</p> <p>The literature section introduced the principles of pulp washing and its location on the fibre line. The operating principle of the DD washer is displacement washing. The factors affecting washing and the operating principle of the device were also studied in the work.</p> <p>Permeability is the principle of displacement washing, and it was one of the main topics in the literature part. The permeability is different for compressible and non-compressible materials. The pulp bed is compressible and factors influencing its permeability are for example temperature, viscosity, fibre material, pulps processing method, pressure, pH and air volume.</p> <p>The displacement test is a simple test where a washing liquid is forced through a mass sample at a certain pressure. The flow rate of the displacement liquid is measured, and the average displacement rate is calculated by the consistency of the pulp cake and the flow of the liquid. The test has also previously shown how many millimetres the pulp cake has been compressed during the test.</p> <p>In the experimental section, the test was improved with video recording and markers. These were used to study how quickly the pulp cake is compressed into a pile. Parallel results on pulp cake recovery were not obtained. The experiments were performed with four different pulps and the tests had two different pressures (40 kPa and 80 kPa) and three different consistencies (10 %, 12 % and 14 %).</p>		
Keywords		
displacement washing, displacement test, permeability		

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty kirjaimellisesti vuodattaen verta, hikeä ja kyyneleitä. Matka oli pitkä, mutta onneksi siihen on mahtunut myös onnistumisia, iloa ja naurua. Näistä syistä lopputyöni tekeminen on kuvannut melko hyvin koko matkaani ammattikorkeakoulussa tai oikeammin ammattikorkeakouluissa.

Ensimmäisenä kiitokset Andriz Oy:lle, jolta sain työlleni aiheen ja ohjaajia. Kiitokset Savonlinnan Kuitulaboratoriolle, jossa sain työtä tehdä ja vastauksia useisiin kysymyksiin. Sellusta kiitokset menevät Kouvolan UPM Kymille, jossa koronaviruksesta huolimatta pystyttiin järjestämään minulle näytteitä, ja kaiken lisäksi sain vain autossa istua ja odotella niiden saapumista. Alumiinin työstämisestä kiitokset kuuluvat Marine Alutec Oy Ab:lle Saloon, ja siellä erityisesti kiitokset saa Mikko Takatalo, joka toimi kannustajana myös opiskelujen alkuvaiheessa.

Suuret kiitokset tietysti koko perheelle ja ystäville, jotka ovat uskoneet minuun paljon enemmän kuin minä itse. Erityisesti mainittava kiitokset Juha-Matille, joka opetti minulle savon kielen alkeet ja auttoi pitämään katon pääni päällä. Kiitokset Pirkolle, joka toimi suomen kielen taitajana ja synonyyminikkarina. Kiitokset Annukalle, joka on ollut kipsinä kalloni päällä. Viimeisenä, muttei vähäisimpänä suuret kiitokset Ollille, jonka seurassa kyyneleet muuttuvat aina ilon kyyneleiksi.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	6
2 MASSAN PESU	8
2.1 Pesun tarkoitus ja sijainti prosessissa	8
2.2 Pesumenetelmät	9
3 DD-PESURI	11
3.1 Rakenne.....	12
3.2 Toimintaperiaate.....	14
3.3 Pesuun vaikuttavat tekijät.....	15
4 SUOTAUTUVUUS.....	17
4.1 Suotautuminen kokoon puristumattomassa kakussa	17
4.2 Suotautuminen kokoon puristuvassa kakussa	20
4.3 Suotautuvuuteen vaikuttavia tekijöitä	21
4.3.1 Lämpötila.....	21
4.3.2 Viskositeetti	22
4.3.3 Kuitumateriaali ja massan käsittely	22
4.3.4 Paine-ero.....	23
4.3.5 Massakakun sakeus ja paksuus.....	23
4.3.6 pH.....	23
4.3.7 Ilma	24
5 SYRJÄYTYSTESTI	24
5.1 Laboratorion syrjäytyslaite.....	25

	6
5.2	Matkatestilaitteisto.....26
5.3	Näytteen käsittely.....27
5.4	Syrjäytystestin suoritus.....28
6	KOEJÄRJESTELYT29
7	NÄYTTEEN LAIMENTAMINEN JA JAKAMINEN30
7.1	Massan jako osiin.....31
7.2	Tulokset ja kehitysideat32
8	ANALYYSIN KUVAAMINEN33
8.1	Analyysin kuvaaminen.....34
8.2	Kuvauksen tulokset35
8.3	Ongelmat ja kehitysideat.....37
9	KAKUN KOKOONPURISTUMISEN HAVAINNOINTIA PARANTAVAT VÄLINEET38
9.1	Merkit39
9.2	Tulokset.....41
10	KOKOONPURISTUVUUS ERI MUUTTUIJILLA.....43
10.1	Tulokset.....43
	LÄHTEET45
	LIITTEET VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.

Liite 1. Display speed

Liite 2. Kuituominaisuudet havusellu ennen happivaihetta

Liite 3. Kuituominaisuudet havusellu happivaiheen jälkeen

Liite 4. Kuituominaisuudet koivusellu ennen happivaihetta

Liite 5. Kuituominaisuudet koivusellu happivaiheen jälkeen

Liite 6. Massojen kappaluvut

Liite 7. Kuvaajat, joissa vertailtu eri massoja keskenään

Liite 8. Massojen puristuminen kasaan eri olosuhteissa

1 JOHDANTO

Massan pesu on erittäin tärkeä osa sellun valmistusta tuotannon, energiatehokkuuden ja koko ajan kehittyvien ympäristövaatimusten vuoksi. Drum Displacer™ -pesurista eli DD-pesurista on muodostunut yleisesti käytössä oleva pesuri, jossa yhdellä laitteella voidaan suorittaa tehokkaasti monivaiheinen syrjäytyspesu.

Syrjäytyspesussa massan läpi kulkee puhdas neste, joka syrjäyttää kakussa jo olevan likaisen nesteen työntäen sen pois massasta. Kun neste virtaa huokoisen massakakun läpi, painuu massa kasaan. Kuitukakku on rakenteeltaan monimutkainen ja sen painumiseen ja palautumiseen vaikuttaa usea tekijä. Mitä enemmän näistä tekijöistä tiedetään ja mitä tarkemmin niitä voidaan tutkia, sitä paremmin voidaan tehostaa pesuprosesseja.

Kirjallisuusosassa käydään lyhyesti läpi massan pesua, mitä periaatteita pesussa on ja missä vaiheissa se tapahtuu. DD-pesurista käydään läpi sen rakenne, toimintaperiaate ja pesuun vaikuttavat tekijät. DD-pesurin syrjäytyspesussa on pääosin kyse suotautuvuudesta. Suotautuvuus on erilaista kokoonpuristumattomassa ja kokoonpuristuvassa aineessa. Kirjallisuusosassa käydään molempien teoriaa läpi: miten suotautuvuutta mallinnetaan laskennallisesti, ja mitkä kaikki tekijät vaikuttavat erityisesti sellumassan suotautuvuuteen.

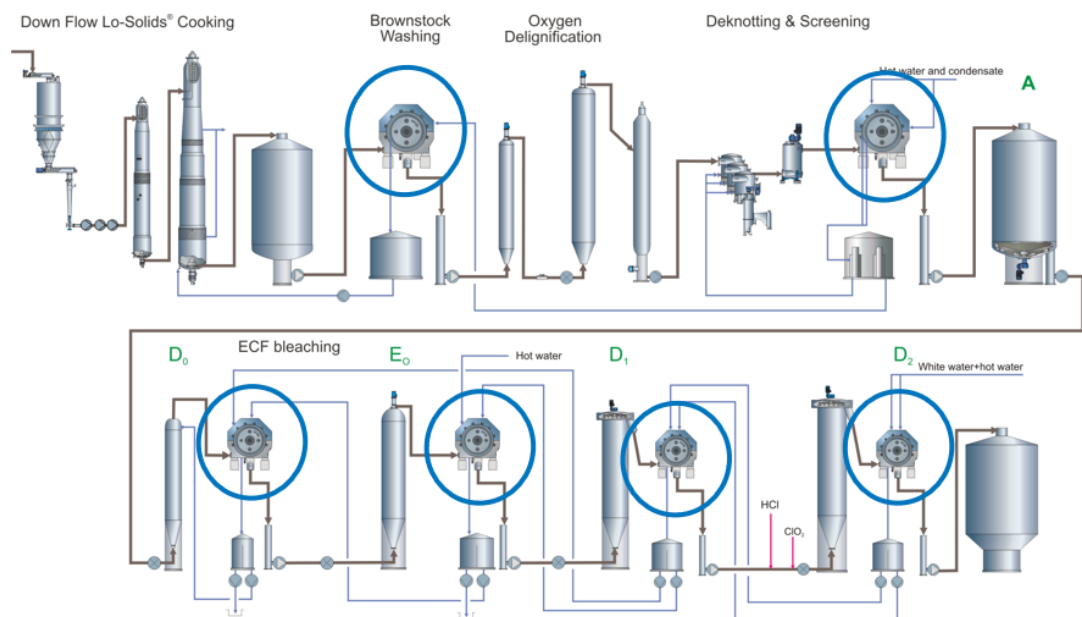
DD-pesurin toimintaa ja tehokkuutta mallinnetaan syrjäytystestillä. Syrjäytystesti on suhteellisen yksinkertainen ja epätarkka monilta osin ja kokeellisen osuuden tarkoituksena on kehittää syrjäytystestien tekemistä, mittaustulosten tarkkuutta ja mahdollistaa uusien tietojen saamista mittauksista.

2 MASSAN PESU

2.1 Pesun tarkoitus ja sijainti prosessissa

Massan pesu on tärkeä osa sellun valmistusprosessia ja sitä tapahtuu useassa prosessin vaiheessa (kuva 1). Pesun tarkoituksena on kuitujen ja jäteliemen erottaminen toisistaan sellun keiton jälkeen, kemikaalien ja liuenneen puuaineksen talteenotto keittoliemestä sekä ympäristöä kuormittavien päästöjen vähentäminen. (Seppälä ym. 2001, 101–109)

Massan peseytyminen perustuu kahteen asiaan: kuitujen ja niiden välitilojen välisiin aineensiirtoilmiöihin ja kuitukakun välitiloissa olevan nesteen tilavuusosuuden ja pitoisuuden muutoksiin. (Pakarinen, 2000, 32–38)



Kuva 1 Esimerkki pesujen sijainnista kuitulinjalla (Andriz Oy, 2019)

Pestäessä keiton jälkeistä ruskeaa massaa ja happidelignifioinnin jälkeistä massaa, massasta erotetaan jäteliemi, joka sisältää liuennutta puuainetta, kuten ligniiniä ja epäorgaanisia keittokemikaaleja. Jäteliemi otetaan talteen ja siitä regeneroidaan epäorgaaniset keittokemikaalit takaisin käytettävään muotoon. Jäteliemessä oleva orgaaninen aine palaa ja se käytetään hyödyksi lämpöenergiana. Jotta jäteliemen jatkokäsittely olisi mahdollisimman taloudellista, tulee pesu suorittaa mahdollisimman pienellä vesimäärällä. Mikäli pesu on tehokasta, saadaan siitä talteen suuri osa käytetyistä kemikaaleista takaisin

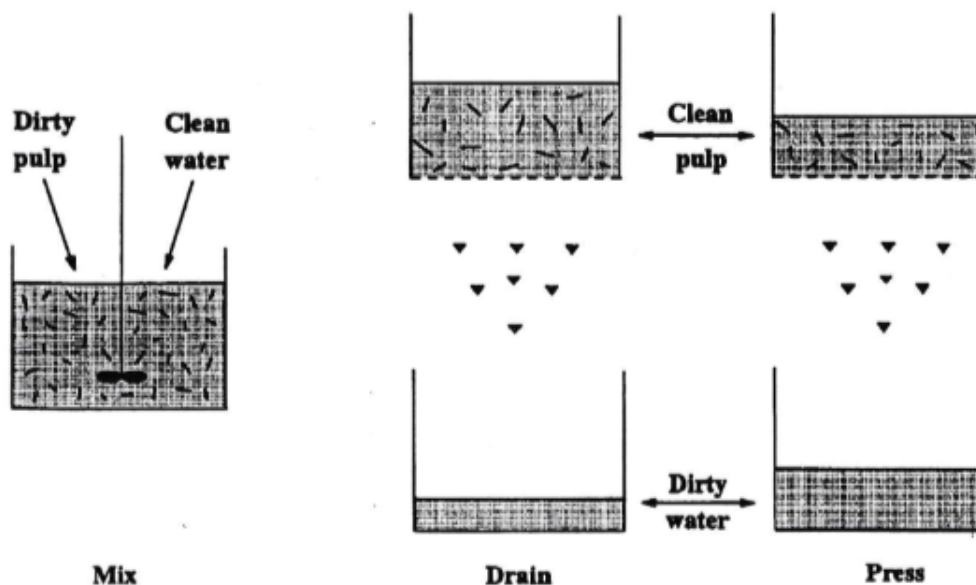
kemikaalikiertoon. Valkaisuvaiheiden jälkeisissä pesuissa tavoitteena on vähentää kemikaalien kulkua seuraaviin vaiheisiin. Usein ensimmäinen pesuvaihe tapahtuu jo keittimessä ja kuva 1 näyttää esimerkin, miten kuitulinjalla voi olla pesuvaiheita sijoiteltuna eri prosessivaiheiden välillä. (Fardim 2011, 382–456)

Massan kannalta pesu on tärkeää, jotta sen myöhemmät prosessivaiheet ovat helpommin toteutettavissa. Puhdas massa vähentää valkaisu-kemikaalien tarvetta, helpottaa massan käsittelyä esimerkiksi kuohaongelmia vähentämällä, auttaa ylläpitämään lujuusominaisuuksia happidelignifioinnissa, ja vähentää jätevesiin menevän aineen määrää valkaisuissa. Pesun tarkoituksena on siirtää lämpöä sekä massaan että pois massasta ja sitä kautta seuraaviin tai edeltäviin prosessivaiheisiin. (Fardim 2011, 382–456)

2.2 Pesumenetelmät

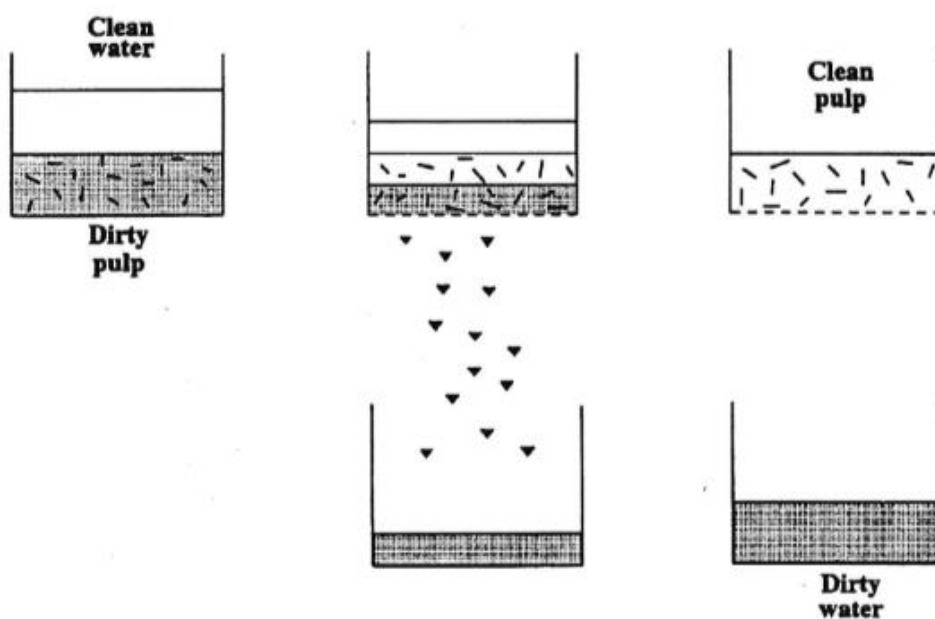
Yksinkertaisin pesumuoto on liottaa massaa nesteessä, joka on puhdasta tai ainakin puhtaampaa, kuin alkuperäinen neste, ja sen jälkeen suodattaa neste pois massasta. Tätä menetelmää kutsutaan laimennus-sakeutuspesuksi. (Fardim 2011, 382–456)

Laimennus-sakeutus menetelmässä massan kuitujen välissä oleva neste laimenee ja kuiduissa olevat epäpuhtaudet uuttuvat nestefaasiin (kuva 2). Kun massasta poistetaan sakeutusvaiheessa ylimääräinen neste, poistuu myös epäpuhtaudet. Menetelmästä saadaan tehokkaampi lisäämällä laimennus-sakeutuskertoja ja käyttämällä mahdollisimman puhdasta vettä laimennokseen. (Pakarinen, 2000, 32–38)



Kuva 2 Sakeutus-laimennuspesun periaate (Pakarinen 2000. s. 33)

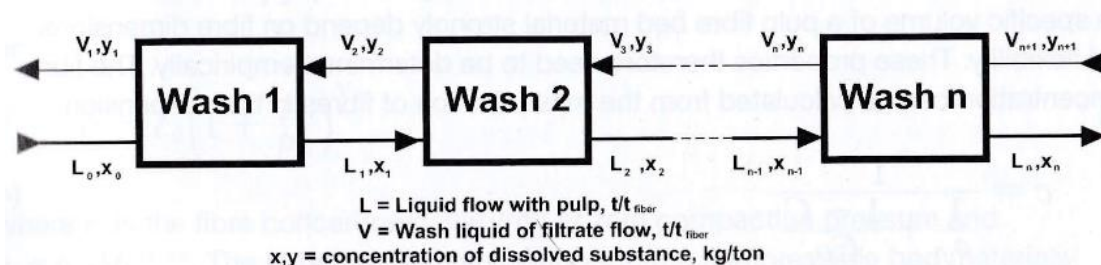
Toinen pääpesumenetelmä on syrjäytyspesu (kuva 3). Syrjäytyspesussa puhdas neste syrjäyttää massakakussa olevan nesteen ja kulkiessaan kakun läpi, neste työntää edellä olevan lian pois kakusta. Teoreettisessa ideaalitulanteessa pesuneste etenee tasaisena rintamana sekoittumatta likaiseen suodokseen ja työntää lian pois käyttäen pesunestettä vain kuitujen välitilan tilavuuden verran. Todellisuudessa nesteet kuitenkin sekoittuvat ja nestettä on käytettävä teoreettista ideaalitulannetta enemmän. (Pakarinen, 2000, 32–38)



Kuva 3 Syrjäytyspesun periaate (Pakarinen 2000. s. 34)

Syrjäytyspesu on nopea tapahtuma, joten kuituihin vahvasti kiinnittyneet ja kuitujen sisäiset epäpuhtaudet eivät juuri ehdi uuttua pesuveteen ja poistuvat siksi huonosti. (Pakarinen, 2000, 32–38)

Suurin osa sellunteollisuudesta käyttää yhdistelmää molemmista pesumenetelmistä ja useat pesulaitteet voivat olla kytkettyinä sarjaan, jossa pesuvesi kulkee vastavirtaan suhteessa massan kulkusuuntaan (kuva 4). Puhtaamman pesuvaiheen likavesi toimii puhtaana pesuvetenä aiemmassa pesuvaiheessa. Tällä menetelmällä saadaan myös minimoitua mustalipeän kulku eteenpäin prosessissa. (Fardim 2011, 382–456)



Kuva 4 Monivaiheinen vastavirtapesu, jossa jokainen lokero voi sisältää yhden tai useamman pesulaitteen syrjäytysmenetelmällä tai sakeutus-laimennusmenetelmällä (Fardim 2011, 385)

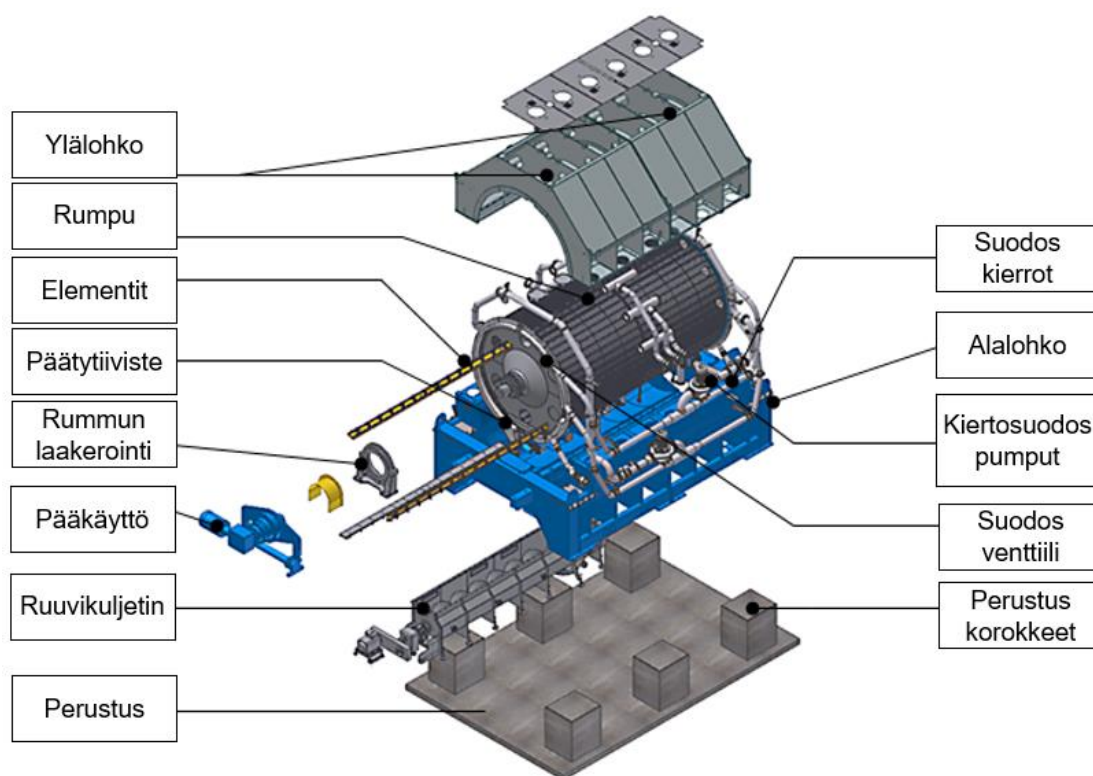
Massan pesussa käytetään yleisesti muutamaa pesulaitteistoa, joista tässä työssä käsitellään Drum DisplacerTM-pesuria eli DD-pesuria. Muita pesulaitteita ovat diffusöörit, pesupuristimet ja rumpusuotimet. (Seppälä ym. 2001, 101–109)

3 DD-PESURI

DD-pesuri on monivaiheinen puumassapesuri, jota käytetään sekä ruskean että valkaistun massan pesuun. Pesureita valmistetaan matalasakeussyöttöisinä (Low Consistency, LC), joissa syöttösakeus on 3–7 % ja keskisakeussyöttöisinä (Medium Consistency, MC), jossa syöttösakeus on 7–11 %. LC-syöttöä käytetään yleensä ruskean massan pesussa ja MC-syöttöä happivaiheen ja valkaisuvaiheiden jälkeisissä pesuissa. Pesurin maksimilämpötila voi olla jopa 100 °C ja normaali käyttölämpötila 50–95 °C. Rummun mekaaninen lujuus asettaa rajan paineen käytölle, joka voi ylimmillään olla 100 kPa ylipainetta. (Pakarinen, 2000, 40–43)

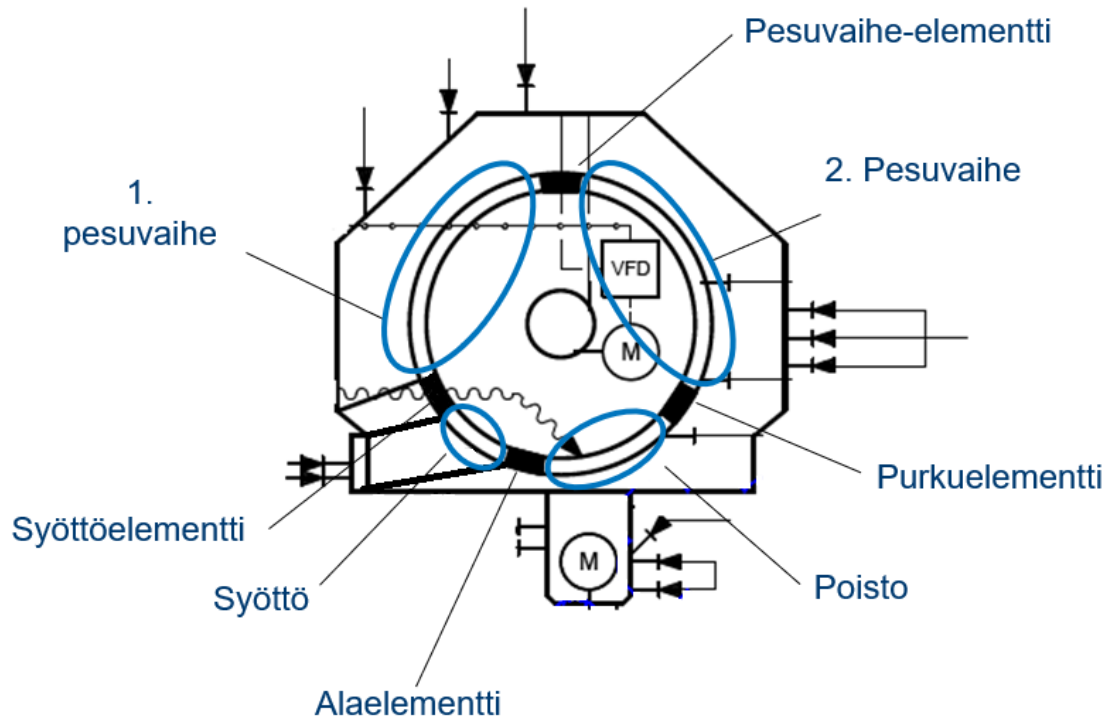
3.1 Rakenne

DD-pesuri koostuu rungosta, joka jaetaan syöttö-, pesu-, ja purkulohkoon ja sen sisällä pyörivään pesurumpuun. Rumpu on jaettu koko matkaltaan akselin suuntaisiin lokeroihin, joihin pestävä massakakku muodostuu. (Karjalainen, 2008, 35–45)



Kuva 5 DD-pesurin rakenne (Andriz, 2019)

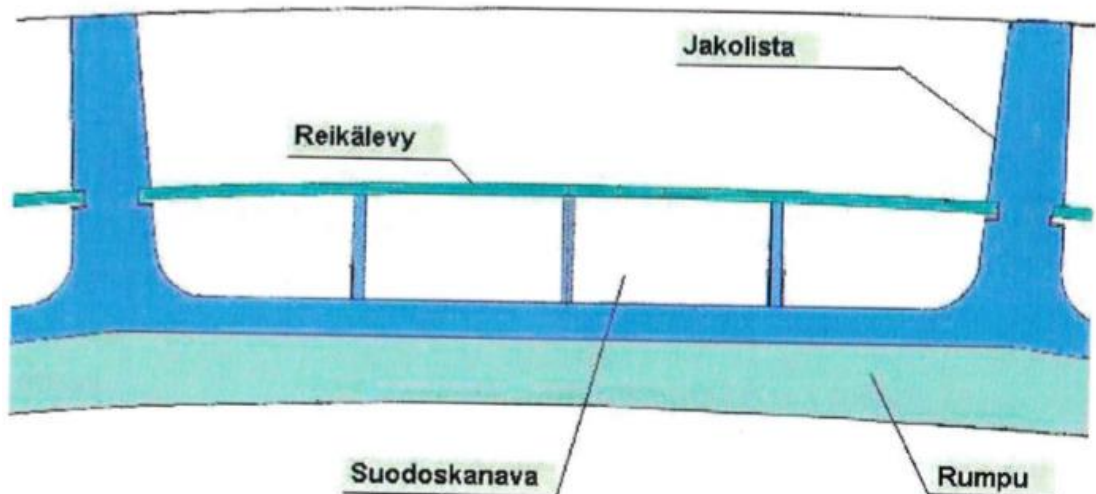
Pesuvyöhykkeellä tarkoitetaan koko aluetta, jossa pesua tapahtuu. Pesuvyöhyke on jaettu yhdestä neljään pesuvaiheeseen, joista jokainen vaihe on jaettu pesusektioihin. Pesusektioita on tavallisesti kuusi ja niistä jokaiseen tulee pesusuodos, joka on joko puhdasta suodosta tai jo kerran massakakun syrjäyttäneitä suodosta. (Karjalainen, 2008, 35–45)



Kuva 6 DD-pesurin pesuvaiheiden erotus ja elementit (Andriz, 2019)

Pesuvaiheessa pesuneste syrjäyttää massakakun sisällä olevan likaisen nesteen, eli 2-vaiheisessa pesurissa massa syrjäytetään kahdesti. Pesuvaiheet erotetaan toisistaan tiiviste-elementillä. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Pesulokerot ovat rummun pinnalla ja ne ovat erotettu toisistaan jakolistoilla. Lokeron pohjalla on reikälevy ja sen alla suodoskanava, josta syrjäytetty suodos poistuu (kuva 7). (Karjalainen, 2008, 35–45)

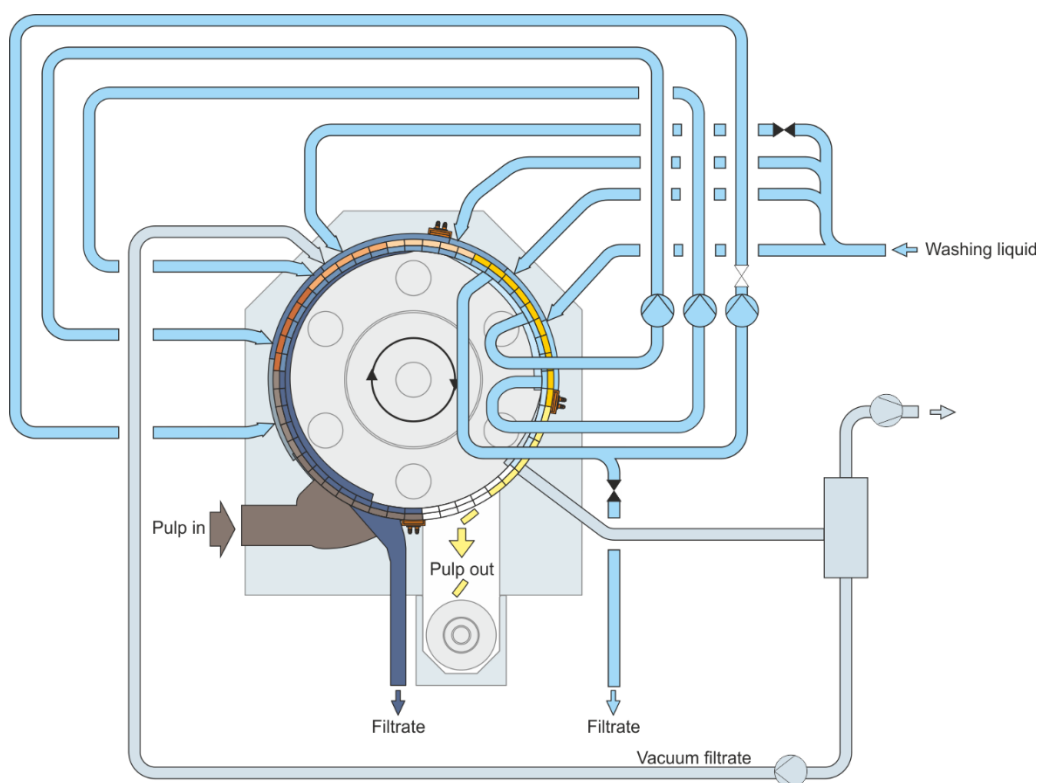


Kuva 7 Pesulokeron rakenne (Karjalainen, 2008, s. 41)

3.2 Toimintaperiaate

Massa pumpataan DD-pesuriin prosessin mukaan 4–10 % sakeudessa pesuriin syöttövyöhykkeeseen 10–50 kPa paineessa. Massa tiivistyy rummun loke-roihin ja suodos läpäisee reikälevyn. Pyörivä rumpu siirtää lokerossa olevan massan ensimmäisen tiivistyselementin kautta pesuvyöhykkeeseen. Ohittaes-saan ensimmäisen tiivistelevyn, jakolistan korkeuden ylittävä massa pyyhkiy-tyy pois ja kakku saa pesukorkeutensa. Jotta massakakun huokoisuus saa-daan tasaiseksi, syöttöpaine säädetään vakioiksi. Tämä mahdollistaa myös optimaalisen pesutuloksen saavuttamisen kaikilla tuotantomäärillä. (Karjalai-nen, 2008, 35–45)

Pesurissa tapahtuu vastavirtaperiaatteella 1–4 pesua ja massakakun sakeus pesuvyöhykkeessä on 10–13 %. Puhtaammasta pesuvaiheesta tuleva syrjäy-tyssuodos käytetään uudelleen syrjäyttämään likaisemman pesuvaiheen massa. Viimeisen pesuvaiheen pesuvetenä käytetään mahdollisimman puh-dasta prosessivettä. (Karjalainen, 2008, 35–45)



Kuva 8 DD-pesurin vesikierrat (Andriz, 2019)

Pesuvyöhykkeiden jälkeen massa siirtyy purkuvyöhykkeeseen viimeisen tiiviste-elementin kautta. Tiiviste-elementin kohdalla reikälevyn alla oleva suodosneste imetään pois, jonka jälkeen reikälevyyn kohdistetaan paineilmapulssi massakakun irrottamiseksi lokeroista. Irronnut massakakku putoaa purkuruuville, josta se kulkeutuu pois pesurista. Ennen lokeron siirtymistä takaisin syöttövaiheeseen, sen reikälevy pestään 8–10 baarin paineeseen nostetulla vesisuihkulla. Reikälevyn pesua voidaan tarvittaessa tehostaa korkeapainepeputken suihkulla. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Ideaalisessa tilanteessa pesuun käytetään vettä vain sen verran, mitä viimeisiin pesusektioihin tuodaan. Todellisuudessa sektioiden välillä tapahtuu kuitenkin jonkin verran virtausta. Sektioon tulee niin paljon vettä, että se kulkeutuu kakun päällä olevassa kammiossa seuraavaan sektioon. (Karjalainen, 2008, 35–45)

3.3 Pesuun vaikuttavat tekijät

Massan peseytymiseen, ja sitä kautta tuotantomäärään ja laatuun vaikuttavat useat tekijät, kuten massan syöttösakeus, lämpötila, veden määrä ja puhtaus, rummun pyörimisnopeus ja tiiviste-elementti. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Massan *syöttösakeus* on optimoitava, jotta pesu onnistuu. Jos sakeus on liian pieni, massaa ei sakeudu tarpeeksi nopeasti pesuriin, jolloin syöttöpaine on pidettävä korkeana. Matalasakeuksisesta massasta muodostuu myös liian tiivis massakakku, jolloin vesi ei pääse sen läpi puhdistamaan sitä. Matalalla sakeudella myös tuotantomäärä jää pieneksi. Mikäli sakeus on liian korkea, massakakusta ei tule tasainen ja se kuljettaa mukanaan ilmaa eikä puhdistu kunnolla. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Pyörimisnopeudella on suuri vaikutus sekä tuotantomäärään että pesutulokseen. Liian kova nopeus kuljettaa massaa nopeasti, mutta se ei sakene kunnolla, eikä sitä kautta peseydy tarpeeksi. Pieni pyörimisnopeus laskee tuotantomäärää, aiheuttaa kakun liian suuren tiivistymisen ja sen takia huonon pesutuloksen. Liian pieni pyörimisnopeus nostaa myös rummun momenttia eikä se jaksa pyöriä kunnolla. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Pesunesteen määrällä on suuri merkitys taloudellisesti ja laadullisesti. Liian pieni vesimäärä aiheuttaa ajettavuusongelmia, eikä pesutulos ole haluttu. Käykästä tulee liian tiivis, jättösakeus nousee ja liian sakean massan pumppaus aiheuttaa ongelmia. Liian suuri vesimäärä nostaa syöttöpainetta, aiheuttaa ohivuotoja ja pesun jälkeen massaa on kuivattava enemmän, jolloin haihduttamon kuormitus nousee. (Karjalainen, 2008, 35–45)

Laimennoskerroin eli DF-luku kuvaa pesuvaiheessa käytettävän veden kulu-
tusta. Laimennoskerroin on pesuun tulevan ja massan mukana poistuvan ve-
simäärän erotus:

$$DF = V_2 - L_2$$

jossa:	DF	laimennuskerroin
	V_2	tulevan pesunesteen määrä
	L_1	massan mukana poistuvan nesteen määrä

Mitä pienempi laimennuskerroin, sitä pienempi on suodoksen haihdutustarve ja syntyvän jäteveden määrä. Ideaalisessa tilanteessa arvo on nolla, mutta todellisuudessa näin ei tapahdu. Pesu pyritään kuitenkin toteuttamaan mahdollisimman pienellä laimennuskertoimella, kuitenkin niin, että aikaansaadaan haluttu pesutulos. (Pakarinen, 2000, 32–38)

Tiiviste-elementillä on myös vaikutusta pesutulokseen. Elementin ollessa liian väljä, tapahtuu ohivuotoja, joissa pesunestettä pääsee siirtymään likaisem-
masta vaiheesta puhtaampaan. Liian tiukka tiiviste-elementti taas aiheuttaa
rummun kulumista, momentin kasvua ja sitä kautta jopa rummun pysähty-
mistä. Tiiviste-elementin etäisyys rummusta on säädettävissä suurimmissa
DD-pesureissa. (Karjalainen, 2008, 35–45)

4 SUOTAUTUVUUS

4.1 Suotautuminen kokoon puristumattomassa kakussa

Nesteen virtaaminen kokoon puristumattoman huokoisen ainekerroksen läpi on riippuvainen neljästä tekijästä: virtauksen aiheuttavasta paine-erosta, virtaavan nesteen luonteesta, ainekerroksen rakenteesta ja huokosten pinnan kemiallisesta luonteesta. (Arjas 1983, 121–149)

Darcy on todennut kokeellisesti, että ainekerroksen nesteessä aiheuttama painehäviö on suoraan verrannollinen virtausmäärään. Darcyn laki perusmuodossaan:

$$Q = \frac{KA\Delta p}{L} \quad (1)$$

jossa	Q	nesteen tilavuusvirta kakun lävitse
	K	permeabiliteettivakio
	A	kakun pinta-ala
	L	kakun paksuus
	Δp	paine-ero kakun eri puolilla

Kokeellisesti on todettu, että nesteen vaikutus voidaan erottaa permeabiliteettivakiosta K, kirjoittamalla yhtälö 1 muotoon:

$$Q = \frac{kA\Delta p}{\eta L} \quad (2)$$

jossa	k	permeabiliteetti
	η	nesteen dynaaminen viskositeetti

Yhtälön on todettu pitävän paikkansa, mikäli Reynoldsin luku on pienempi kuin 2.

Yhtälö voidaan myös kirjoittaa käyttämällä permeabiliteetin sijasta sen käänteislukua R eli suotautumisvastusta. Tällöin yhtälö saa muodon:

$$Q = \frac{A\Delta p}{\eta LR} \quad (3)$$

jossa R suotautumisvastus

Suotautumisvastus R on täysin ainekerrokselle ominainen suure, johon vaikuttaa sen muodostavien hiukkasten koko, muoto, pintaominaisuudet ja ainekerroksen huokoisuus. Ainekerroksen huokoisuuden muotoutuminen samoista hiukkasista saattaa vaihdella hyvin paljon ainekerroksen syntymätavan mukaan. Tämän takia suotautumisvastus ei yksinään kerro materiaalin suotautumisominaisuuksista, vaan siitä on tiedettävä myös huokoisuus suotautumisvastusta mitattaessa. (Arjas 1983, 121–149)

Yleisimmin käytetty yhtälö kuvaamaan materiaalin suotautumisvastuksen ja huokoisuuden välistä yhteyttä on Kozey-Carmanin yhtälö, jossa lähtökohtana on kapillaarimalli. Huokoinen kakku ajatellaan joukoksi suoria kapillaareja, joiden yhteistilavuus on sama kuin kakun huokoistilavuus. Hagen-Poiseuillen yhtälön mukaan virtaus kakun läpi on (Arjas 1983, 121–149):

$$Q = \frac{n\pi r^4 \Delta p}{8nL} \quad (4)$$

jossa n kapillaarien lukumäärä
r kapillaarin säde

Kapillaarikimpun huokoisuudelle ja ominaispinta-alalle saadaan yhtälöt, jotka kuvaavat kimpun rakennetta:

$$\varepsilon = \frac{nL\pi r^2}{LA} \quad ja \quad S = \frac{nL2\pi r}{LA} \quad (5)$$

jossa ε huokoisuus
S ominaispinta-ala suhteessa kakun tilavuuteen

Eliminoimalla edellisistä yhtälöistä (4) ja (5) n ja r saadaan yhtälö:

$$Q = \frac{AP^3 \Delta p}{2\eta S^2 L} \quad (6)$$

Vertaamalla saatua yhtälöä (6) Darcyn yhtälöön (2), voidaan kapillaarisysteemin suotautumisvastus esittää muodossa:

$$R = \frac{fS^2}{\varepsilon^3} \quad (7)$$

jossa f Kozenyn vakio

Kozenyn vakio saa teoreettisella laskennalla arvoja välillä 1,7–3 sen mukaan, minkä muotoiseksi kapillaarien poikkipinta oletetaan. Kokeet ovat kuitenkin osoittaneet puukuiduille tämän arvon olevan 5,55, joka on alun perin mitattu kuivista puukuiduista. (Arjas 1983, 121–149)

Carman muotoili yhtälöä toiseen muotoon määrittämällä ominaispinnan kiinteään aineen tilavuusyksikköä kohti, jolloin saadaan suotautumisvastukselle Kozeny-Carmanin yhtälö (Arjas 1983, 121–149):

$$R = \frac{fS_0^2(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad (8)$$

jossa S_0 ominaispinta-ala kiinteään aineen tilavuuden suhteen

Sijoittamalla Kozeny-Carmanin yhtälö (8) yhtälöön (2) saadaan virtausyhtälöksi:

$$Q = \frac{AP^3 \Delta p}{f\eta S_0^2 L(1-P)^2} \quad (9)$$

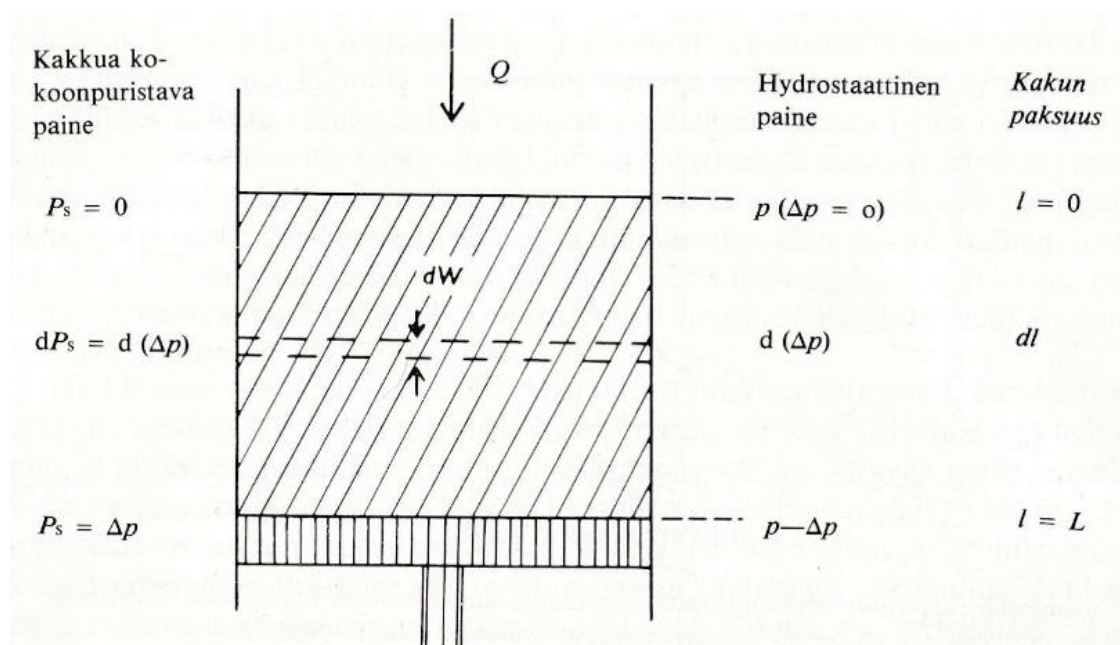
Huokoisille ainekerroksille on kokeellinen yhtälö, joka on todettu varsin paikansa pitäväksi, kun huokoisuusarvot ovat suuret. Puukuiduilla tätä yhtälöä (10) käytettäessä vakioden arvoiksi on mitattu $a = 3,5$ ja $b = 57$. Yhtälö on (Arjas 1983, 121–149):

$$R = S_0^2 a (1 - \varepsilon)^{3/2} [1 + b(1 - \varepsilon)^3] \quad (10)$$

jossa a ja b vakiot

4.2 Suotautuminen kokoon puristuvassa kakussa

Nesteen virratessa huokoisen ainekerroksen läpi, kitkavoimat aiheuttavat siihen painehäviön, joka on Darcyn yhtälön mukaan laminaarisella virtauksella suoraan verrannollinen virtausmäärään. Huokoiseen aineeseen nestettä jarruttava kitka vaikuttaa yhtä suurella voimalla, pyrkimällä puristamaan sitä kaasan virtauksen suunnassa. (Arjas 1983, 121–149)



Kuva 9 Kaavioesitys huokoisen ainekerroksen paineoloista (Arjas 1983, s. 130)

Kuvassa 9 on yksinkertaisuuden vuoksi oletettu ainekerroksen olevan putkessa männän päälle muodostettu kakku, jossa kakun pinnalla hydrostaattinen painehäviö Δp on 0 ja männän pinnalla sama kuin kokonaispaine-ero Δp koko kakun yli. Tarkasteltaessa mielivaltaista kakun poikkileikkausta paksuudelta dl , kerrosta kokoonpuristava paine on virtauskitkan tässä kerroksessa aiheuttaman paineen, ja kaikkien sen yläpuolella virtauksen suunnassa olevien kerrosten paineputouksien summa.

Kokoonpuristuvassa ainekerroksessa paine aiheuttaa tiivistymistä: eli mitä suurempi paine on, sitä enemmän huokoisuus pienenee. Kuten edellä

todettiin, paine kakun eri kohdissa on erilainen, ja tästä syystä suotautumisvastus on riippuvainen kakun paksuudesta. Kuitukakun huokoisuus (ε) voidaan ilmaista seuraavalla kaavalla: (Koramo, 2006, 21–26)

$$\varepsilon = 1 - \alpha c \quad (11)$$

jossa α vedessä olevien kuitujen ominaistilavuus
 c kuitukerroksen konsentraatio

Konsentraation on todettu kokeellisesti riippuvan kokoon puristavasta paineesta likimääräisesti seuraavan yhtälön (12) mukaan:

$$c = Mp_s^N \quad (12)$$

jossa M ja N kokeellisesti määritellyjä kuitulajista riippuvia vakioita
 (selluilla N on välillä 0,30–0,45)
 p_s kakkua puristava paine

4.3 Suotautuvuuteen vaikuttavia tekijöitä

Massakakun suotautuvuuteen vaikuttaa useita tekijöitä, kuten suodatettava materiaali, siinä oleva neste, sakeus, lämpötila, paine-ero, pH, ilman määrä, ikä ja suovan määrä.

4.3.1 Lämpötila

Lämpötilan vaikutus suotautuvuuteen johtuu sen vaikutuksesta viskositeettiin ja pintajännitykseen. Veden viskositeetti laskee lämpötilan noustessa jyrkästi, erityisesti alle 50 °C lämpötiloissa, mutta myös sen jälkeen. Kuituliete sisältää usein mustalipeää ja myös sen viskositeetti laskee lämpötilan noustessa. (Österman, 1998, 15–25)

Lämpötilan nousun on myös havaittu pienentävän kuitujen ominaispinta-alaa, jolloin suotautumisvastus pienenee. Tällöin saman tilavuuden omaavan kerroksen läpi kulkiessaan, suodos kohtaa vähemmän sen kulkua vastustavaa kitkapintaa. (Österman, 1998, 15–25)

Yksi esitetty teoria suotautumisen helpottumiselle lämpötilan noustessa on heimiselluloosan pehmenemisestä johtuva kuitujen rakenteen pettäminen ja niiden painuminen virtauskanavien seinämille. (Pakarinen, 2000, 26–32)

Epäorgaanisten suolojen ja muiden aineiden liukoisuus veteen kasvaa yleensä lämpötilan kasvaessa. Korkea lämpötila heikentää myös saostumien muodostumista, kertymistä pinnoille ja helpottaa siten suotautuvuutta. (Uotinen, 2016, 16–24)

4.3.2 Viskositeetti

Viskositeetti eli nesteessä oleva sisäinen kitka kuvaa nesteen juoksevuutta. Mitä suuremmaksi viskositeetti kasvaa, sitä vaikeampi nesteen on virrata, ja esimerkiksi pumppauksen tarve kasvaa. Nesteissä molekyylien väliset voimavaikutukset heikkenevät lämpötilan noustessa, ja tästä syystä lämpötilan nousu aiheuttaa viskositeetin pienenemisen. Mitä korkeampi viskositeetti, sitä heikompaa on suotautuvuus. (Inkinen & Tuohi, 2012, 333–336)

4.3.3 Kuitumateriaali ja massan käsittely

Kuitususpensio on suotautumisominaisuuksiltaan monimutkainen aine, koska kuitukakun huokosrakenne on epämääräinen ja matemaattisesti vaikeasti kuvattava. Kuitukerroksen rakenteeseen vaikuttavat eniten kuitujen pituusjakauma, turvonneisuus, fibrilloituminen ja jäykkyys. (Leminen, 1993, 16–21)

Eri puulajien kuidut eroavat luonnollisesti toisistaan pituuden, paksuuden, taipuvuuden, muodon, pinnan karheuden ja myös hienoaineen määrän suhteen. Kun samaa puulajia vielä prosessoidaan eri tavoilla, muuttuvat kuidut erilaisiksi toisiinsakin nähden. Mitä tiiviimmäksi massakakku muodostuu, sitä pienempää on suotautuvuus. Koska koivun kuidut ovat lyhyempiä ja ohuempia kuin havupuun kuidut, muodostavat ne tiiviimmän kakun ja suotautuminen hidastuu. Myös kuitujen ikä vaikuttaa niiden käyttäytymiseen. (Österman, 1998, 15–25)

Hienoaineen määrä lisää kakun tiiviyyttä, kuten myös pienet kuidut. Mitä enemmän massa jauhaantuu, sitä enemmän siitä irtoaa hienoainesta, ja

suotautumien pienenee. Jauhamisen seurauksena kuitujen pinnasta tulee karhea, ja niiden sitoutumispinta-ala kasvaa. Myös tämä vaikuttaa suotautuvuuteen. (Uotinen, 2016, 16–24)

4.3.4 Paine-ero

Kokoonpuristumattomilla kakuilla paine-ero kakun yli on suoraan verrannollinen suotautumisnopeuteen (kaava 2).

Paine-ero vaikuttaa suotautumiseen kuitukerroksen kokoonpuristuvuuden kautta ja muuttaa kakun huokoisuutta. Kuitukerroksen huokoisuus pienenee paksuus suunnassa pohjalle mentäessä, eikä ole vakio. Massakakun huokoisuus on pienimmillään kakun pohjalla, jonne vaikuttaa suurin paine.

Paine-ero lisää suotautuvuutta, mutta samalla kuitukerroksen huokoisuus pienenee ja vaikeuttaa siten suotautumista. Usea kestoaltaan lyhyempi paineimpulssi poistaa veden kuitulietteestä tehokkaammin kuin yksi pidempiaikainen paineimpulssi. (Österman, 1998, 15–25)

4.3.5 Massakakun sakeus ja paksuus

Darcyn lain mukaan kakun paksuus on kääntäen verrannollinen suotautumisnopeuteen. Tätä vahvistavat kokeet, joita on tehty kuitukakkujen paksuusväliillä 40–70 mm. Myös eri sakeuksilla tehdyt kokeet ovat osoittaneet sakeuden nousun pienentävän huokoisuutta ja kasvattavan sitä kautta suotautumisvastusta. Carmanin yhtälö ja Kozenyn vakio ovat voimakkaasti riippuvaisia huokoisuudesta ja kakun sakeuden on havaittu vaikuttavan paksuutta enemmän suotautumisnopeuteen. (Pakarinen, 2000, 26–32)

Mitä sakeampaa kuitumassa on, sitä vähemmän kuiduilla on vapaata tilaa liikua, jolloin ne asettuvat ristikkäin. Kun tilaa on pienellä sakeudella enemmän, kuidut asettuvat helpommin päällekkäin, jolloin neste pääsee helpommin virtaamaan kuitujen väleistä. (Leminen, 1993, 45–49)

4.3.6 pH

pH arvon vaikutus suotautuvuuteen johtuu suurelta osin ominaistilavuuden muuttumisesta. Lämpötilan lisäksi myös pH vaikuttaa aineiden liukoisuuteen ja

saostumiseen ja on tätä kautta vaikuttava suotautumiseen. (Uotinen, 2016, 16–24)

Erilaisissa testeissä on todettu pH:n kasvaessa välillä 7–11, syrjäytysnopeuden pienenevän puolella. Vaikka pH taso pidettiin testeissä samana, havaittiin alkalisten olosuhteiden aiheuttavan eroa suotautumisessa. Voimakkaasti alkalisisissa oloissa syrjäytysnopeus jäi pienemmäksi. pH:n vaikutus suotautuvuuteen on erilainen eri prosessivaiheissa. Tämä johtuu pH:n vaikutuksesta sellukuidun eri osiin. Itse selluloosaan pH ei juuri vaikuta, kun taas ligniiniä ja hemiselluloosaa pH:n kasvu turvottaa. Tästä syystä ruskea massa turpoaa pH:n vaikutuksesta enemmän kuin valkaistu massa. (Pakarinen, 2000, 26–33)

Elektrolyytit ja pH voivat vaikuttaa virtausoloihin ja sitä kautta suotautuvuuteen myös sähköisten pintailmiöiden vuoksi. Sähköisen tasapainon muutokset saattavat vaikuttaa kuitujen kaksoiskerroksen paksuuteen ja niiden välisiin sidoksiin. (Pakarinen, 2000, 26–32)

4.3.7 Ilma

Kuitulietteessä oleva ilma heikentää suotautuvuutta. Tutkimuksissa on todettu ilmanpoiston vaikuttavan suotautumiseen kohottaen suotautumisnopeutta 20–25 % ja parantaen sitä kautta kakun muodostumista ja prosessin tuottavuutta. (Österman, 1998, 15–25)

Ilma voi olla vapaassa muodossa, jolloin se pyrkii muodostamaan kuplia ja vaahtoamaan. Vaahto voi suurina määrinä häiritä kakun muodostumista, ja veden virtausta sen läpi. Vapaa ilma voi toisaalta myös poistua kuitulietteestä itsekseen. Toinen vaihtoehto ilmalle on olla sitoutuneena mikroskooppisina kuplina kuituihin, joka aiheuttaa suurimman suotautumisvastuksen. Ilman kolmas vaihtoehto on olla liuenneena liuokseen, joka voi olosuhteiden muuttuessa muuttua sitoutuneeksi ilmaksi. (Österman, 1998, 15–25)

5 SYRJÄYTSTESTI

Kuitulaboratoriolla on kaksi eri laitetta syrjäytystestien tekemiseen: laboratorion kiinteä syrjäytyslaitteisto ja matkalaitteisto. Laitteiden toiminnot eroavat hieman toisistaan, mutta periaate pysyy samana.

Massanäyte, jolla on tunnettu sakeus, sakeutetaan sylinterimäisessä kammi-
ossa kahden reiitetyn levyn välille tiettyyn paksuuteen. Tämän jälkeen syrjäy-
tysneste pakotetaan kakun läpi, tietyn paine-eron vallitessa kakun yli, ja syr-
jäytysnesteen virtausnopeus mitataan. Keskimääräinen syrjäytysnopeus las-
ketaan kakun sakeuden ja syrjäytysnesteen virtauksen perusteella.

Testilaitteiden sylinterit ovat läpinäkyvää muovia ja niiden halkaisija on 130
mm. Sylinterin ulkoreunaan on asetettu mitta, jonka avulla massakakun ko-
koonpuristuvuutta voidaan havainnoida 1 mm tarkkuudella testin aikana. Sy-
linterin pohjalla on kartioporattu reikälevy, jonka reikien halkaisija on 1 mm,
kolmiojako 2 mm ja avoin tila 22,7 %. Levy toimii syrjäytystilan pohjana, jonka
läpi massakakku ei pääse. Sylinterin kansi on teräksinen ja se lukitaan paikal-
leen ruuvisalvoilla. Kannessa on läpiviennit männälle, painemittarille ja ohitus-
venttiilille. Neste tuodaan sylinteriin männän onttoa vartta pitkin sen alapää-
hän ja männän korkeutta kakun paksuuden muuttamiseksi voidaan säätää
männän varteen kiinnitetyn lukituskappaleen avulla. Männän alapäässä on rei-
kälevy, jonka läpi syrjäytysneste pääsee massaan.

5.1 Laboratorion syrjäytyslaite

Laboratorion syrjäytyslaitteisto koostuu syöttösäiliöstä, jossa on sekoitin ja up-
pokuumennin, syrjäytysnestepumpusta, suodosnesteen mittasäiliöstä, testi-
sylinteristä ja tietokoneesta, joka kerää mittaustulokset yhteen.

Syöttösäiliö on 70 l haponkestävästä teräksestä valmistettu säiliö, jossa syöt-
tövesi lämmitetään ja pumpataan testilaitteeseen virtausmittarin, syöttöventti-
ilin ja paineenalennusventtiilin kautta. Paineenalennusventtiilillä on erittäin
suuri merkitys, koska sillä säädetään haluttu paine syrjäytystestiin.

Testilaitteen suodoksen mittasäiliö on haponkestävästä teräksestä valmistettu
20-litrainen putki, jonka pohjalla on tyhjennysventtiili ja paineanturi, joka ilmai-
see hydrostaattisen paineen avulla suodoksen kertymisnopeuden testin ai-
kana. Tietokoneelle tallentuu mittaustulokset syrjäytysnesteen virtausnopeu-
desta ja lämpötilasta ennen syrjäytystä, syrjäytyspaineesta ja kakun läpäis-
seen suodoksen lämpötilasta. Tietokone kerää mittaustuloksia kymmenen

kertaa sekunnissa koko mittauksen ajan, ja ohjelmaan syötetään kakun paksaus mittauksen päätyttyä.

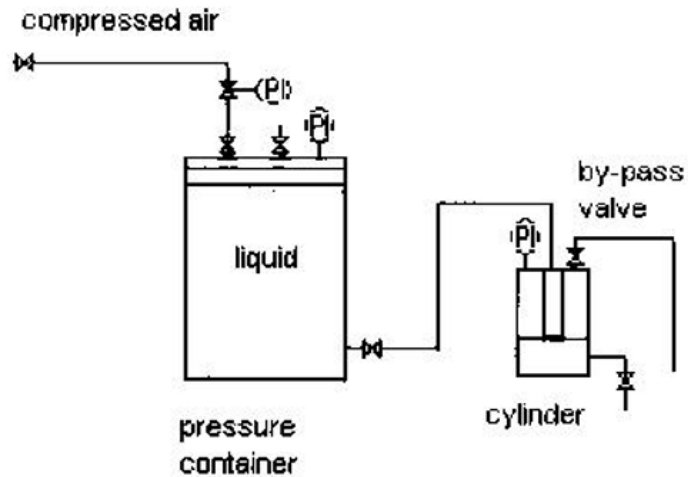


Kuva 10 Syrjäytystestilaitteisto, jonka eteen kamera aseteltu kuvaamaan analyysia

5.2 Matkatestilaitteisto

Matkatestilaitteistossa suurin ero laboratoriolaitteistoon on, ettei sitä ole kytketty tietokoneeseen, joka keräisi automaattisesti tuloksia. Testilaitteistossa paine aikaansaadaan syöttösäiliöön liitettävän paineilman avulla ja virtausnopeus lasketaan itse. Suotautuva neste lasketaan mittalasiin ja tästä otetaan aika, jonka avulla saadaan laskettua virtausnopeus l/s.

Matkalaitteen syöttösäiliössä on lämpövastukset nesteen lämmittämiseksi ja lämpömittari.



Kuva 11 Kaavakuva matkalaitteistosta (työohje AHL11)

5.3 Näytteen käsittely

Mikäli massan analysointi testissä olisi mahdollisimman luotettavaa, tulee näytteet käsitellä ohjeiden mukaisesti, rinnakkaiset samalla tavalla ja toistettavasti. Yhtenä osana työn tarkoitusta on myös selvittää, voiko näytettä laimentaa lisää, jotta tasaisen kakun saaminen helpottuu.

Testissä käytettävän massakakun halutun alkusakeuden mukaan massaa on otettava testeihin eri määriä. Sakeus lasketaan absoluuttisen kuivasta massasta. Testissä tilavuutta voidaan muuttaa säätämällä massakakun paksuutta. Tarvittava massa eri sakeuksille lasketaan kaavalla:

$$m_{p.abs} = \frac{c_i * V}{100} \quad (13)$$

jossa	$m_{p.abs}$	absoluuttisen kuivan massan määrä
	C_i	massakakun haluttu alkusakeus
	V	tilavuus

Massanäytteiden sakeudet ovat erilaisia, joten näytteistä on mitattava sakeus ennen kuin mittauksia tehdään. Kun sakeus on selvitetty, voidaan sen avulla laskea testiin tarvittava massamäärä kaavalla:

$$m_p = m_{p.abs} * \frac{100 \%}{c_s} \quad (14)$$

jossa m_p testiin tarvittavan massan paino
 c_s massanäytteen sakeus

Tarvittava massamäärä punnitaan märkähajottimen astiaan, laimennetaan 2 l tilavuuteen ja hajotetaan 500 kierroksella märkähajottimessa. Hajottamisen jälkeen massa kaadetaan kattilaan ja kiehautetaan. Jokaista testiä varten on tehtävä vähintään kaksi rinnakkaista näytettä.

5.4 Syrjäytystestin suoritus

Ennen itse testiä on muutamia asioita, jotka pitää näytteenkäsittelyn lisäksi tehdä. Syöttösäiliö pitää täyttää vedellä ja lämmittää oikeaan lämpötilaan, sylinterin mäntä on säädettävä oikeaan alkukorkeuteen, mittasäiliö on tyhjennettävä ja sen pohjaventtiili suljettava, tietokoneelta on käynnistettävä mittausohjelma ja asetettava siihen tarvittavat lähtötiedot ja mittasylinterin pohjaventtiili on suljettava.

Kun edellä mainitut toimenpiteet on tehty, kaadetaan kuuma massanäyte sylinteriin niin, että siitä syntyy mahdollisimman tasainen massakakku. Sylinterin kansi asetetaan ja kiinnitetään paikalleen, jonka jälkeen mäntä painetaan ja lukitaan alas. Tämän jälkeen syöttöveden putki laitetaan paikalleen ja hanaa avataan sen verran, että sylinteri täyttyy vedellä ja ilma poistuu putkistoista. Kun sylinteri on täynnä, päästetään ohivirtauksesta hetki vettä läpi, jonka jälkeen molemmat hanat suljetaan.

Tämän jälkeen mahdollisimman yhtäaikaisesti käynnistetään tietokoneelta mittaus, avataan sylinterin pohjaosan suodosventtiili ja avataan syöttöventtiiliä niin paljon, että saavutetaan haluttu mittauspaine. Mittauksen aikana painetta on tarkkailtava ja säädettävä, jotta se pysyy halutussa paineessa.

Kun syrjäytystä on tapahtunut tarpeeksi, avautuu mittasäiliön toinen pohjaventtiili automaattisesti ja samaan aikaan on toinen pohjaventtiili avattava manuaalisesti. Mittasäiliön tyhjennyttyä pohjaventtiilit suljetaan ja mittaus jatkuu

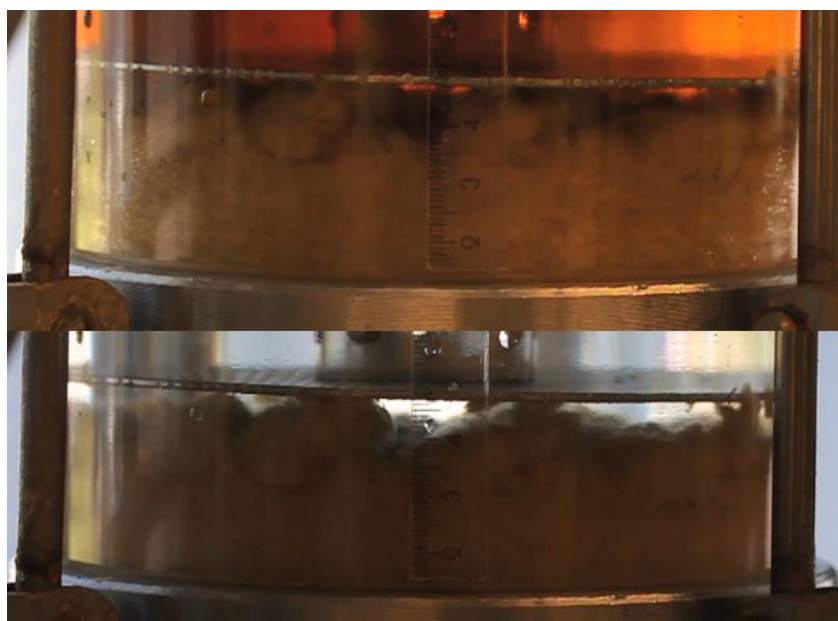
vielä hetken. Kun tietokone lopettaa mittauksen, katsotaan mille tasolle massakakku on painunut ja mittaus lopetetaan.

Mittauksen päätyttyä syöttöventtiili kierretään kiinni ja paine puretaan vielä avaamalla ohivirtausventtiili, ennen kuin syöttövesiputki irrotetaan sylinteristä. Kansi avataan ja poistetaan sylinteristä ja neste jätetään valumaan pois massasta. Massakakku otetaan talteen ja laitetaan kuivumaan 105 °C lämpötilaan, kunnes sen paino on vakioitunut vähintään 12 tunniksi.

6 KOEJÄRJESTELYT

Syrjäytystestillä mallinnetaan DD-pesurin toimintaa. DD-pesurit ovat erilaisia, ja niillä pestään erilaisia massoja. Pystytäänkö testerillä mallintamaan pesuja tarpeeksi hyvin, ja miten mallintamista voisi vielä parantaa? Koejärjestelyjen tarkoituksena on kehittää syrjäytystestien tekemistä, mittaustulosten tarkkuutta ja mahdollistaa uusien tietojen saamista mittauksista.

Tässä työssä koejärjestelyt jakautuvat neljään osaan: näytteiden käsittelyyn (laimentaminen ja osiin jako), analyysin kuvaamiseen, havainnointia parantaviin merkkeihin ja analyysin eri muuttujiin.



Kuva 12 Kuvaa standardianalyysistä. Kokoonpuristuvuutta vaikea tulkita, koska massa puristuu kasaan epätasaisesti. Työn tarkoituksena on kehittää tähän parempia ratkaisuja.

7 NÄYTTEEN LAIMENTAMINEN JA JAKAMINEN

Työn tekeminen aloitettiin silmämääräisillä kokeilla saatavissa olleella sellumassalla. Massasta mitattiin sakeus, jotta näihinkin testeihin saatiin mahdollisimman samanlaiset ja vertailukelpoiset näytteet.

Ensimmäisenä vaiheena oli massan saaminen mahdollisimman tasaisesti sylinteriin. Työohjeen mukaan 66,4 g näytettä laimennetaan vedellä noin kahden litraan, jolloin sen sakeus on noin 3,3 %. Nyt massa laimennettiin noin kolmeen litraan, eli n. 2,2 % sakeuteen. Tällöin kaadettaessa sylinteriin massa on tasaisemmin kaadettavissa, eikä siihen synny heti sekoituksen lopetettua niin helpolla suurilla massapaakkuja.

Kun massaa kaadetaan sylinteriin, aiheuttaa massa painetta siihen kohtaan, johon massa kaatuu. Tämän vuoksi massa tulisi kaataa mahdollisimman laajasti koko pinta-alalle. Kaadettaessa massaa kattilasta sitä läiskyy helposti sylinterin reunoille ja reunojen yli. Kauhalla olisi hyvä saada autettua, mutta mikäli massaa yrittää kaataa eri suunnista on auttaminen hankalaa. Kattila painaa massoineen myös melko paljon ja auttaessa kauhalla joutuu kattilaa kannattelemaan yhdellä kädellä. Kannusta massan kaataminen on huomattavasti helpompaa, mutta tällöin massa on kaadettava ensin kannuun ja siinä massan sekoittaminen ei ole enää kovin helppoa ja massaa voi läiskyä kannun reunojen yli.



Kuva 13 Massa painuu epätasaisesti, vaikka aluksi näyttää olevan tasainen. Viiva kuvastaa linjaa, jolta kakun painautumiskorkeus on luettu. Massa on kaadettu sylinteriin kuvan vasemmalta reunalta.

7.1 Massan jako osiin

Massaa yritettiin jakaa osiin. 10 % sakeudella massa laimennettiin kolmeen litraan ja kaadettiin mitta-asteikolliseen kannuun. Kannussa massa sekoitettiin mahdollisimman tasaisen näköiseksi ja kaadettiin osissa sylinteriin. Kun toista osaa kaadettiin sylinteriin, piti massa kaataa vielä varovaisemmin, jottei uusi massa painaisi keskelle laitettua merkkiä vinoon (kuva 14). Tähän pientä helpotusta sai, kun ensimmäisen massaosan painoi alkupaksuuteen sylinterin männällä ennen toisen osan kaatamista ja kauhalla otettiin vastaan toista kaadettua massaosaa.

Kannussa massaa on haastavampi pitää hyvin sekoitettuna, jolloin myös 10 % sakeudella massa ei ole enää tasalaatuista kaadettaessa sylinteriin. Neste kaatuu helpolla ensin ja tämän jälkeen massa paakkuina päälle. Kun massa menee paakkuina sylinteriin, ei kokoonpuristuminenkaan ole tasaista. Massa ehtii myös hieman jäähtyä, kun sitä kaadetaan astiasta toiseen. Tällöin on huomioitava, että massa on keitetty kunnolla tarvittavaa 65 °C astetta kuumemmaksi.

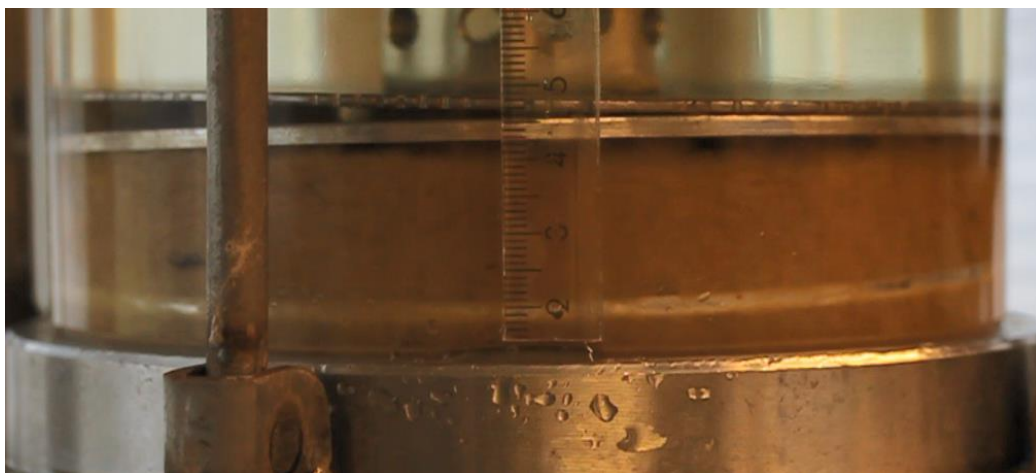


Kuva 14 Massan jakoa kahteen osaan: massa kaadettu sylinterin vasemmalta reunalta, jolloin se painoi merkin oikealta reunalta alas

7.2 Tulokset ja kehitysideat

10 % sakeudella massan saa melko hyvin jaettua kahteen tai useampaan osaan, kun massan laimentaa kolmeen litraan. Eroa oli koivu- ja havusellun välillä, joista koivu on helpommin jaettavissa. 12 % ja 14 % sakeuksilla kahtiajako on erittäin hankalaa. Vaikka näilläkin sakeuksilla massan laimentaa kolmeen litraan, kaataessa massaa sylinteriin se tulee isoina paakkuina, läiskyy vielä helpommin reunoille ja kasautuu hyvin epätasaisesti sylinteriin. Kolmen litran tilavuudessa 12 % massan sakeus on 2,7 % ja 14 % massan sakeus on 3,1 %.

Mikäli massan jakaa tasan puoliksi eli 1,5 l ja 1,5 l ja massa painuu paljon, jää massan keskellä oleva merkki helposti sylinterin alareunan tasalle tai ainakin mittanauhan alle. Tällöin massan keskellä oleva merkki jää turhaksi, kun painumislukemaa ei saa otettua. Mikäli massaa jakaa, on kannattavaa laittaa alaosaan 2 litraa massasta ja merkin päälle litra. Ensimmäinen massaosa on painettava sylinterin männällä alkupaksuuteen, jotta merkin päälle kaadettava loppuosa ei pääse heiluttelemaan merkkiä niin paljoa. Aivan tasaiseksi massaa on erittäin vaikea saada painamisesta huolimatta.



Kuva 15 Massan keskellä oleva merkki on suhteellisen vaakatasossa, mutta pinnan merkki kallistui. Tässä ongelmana on arvioida mistä kakun korkeus tulisi ottaa

Riippumatta massan kaatosuunnasta massakakku painui enemmän kasaan kuvaussuunnasta katsottuna oikealta reunalta. Massan kahtiajako tasaisesti on näissä analyyseissä ollut käytännössä kaikilla massoilla epätarkkaa. Satunnaisesti jako onnistuu, mutta rinnakkaisia tuloksia ei ole. Vaikka massan alemman osan painoi sylinterin männällä alas ennen merkin laittoa, huomasi

analyysin käynnistyessä massan olevan epätasaisesti, kun jompikumpi tai molemmat merkit menivät vinoon. Koska työn tarkoituksena oli saada luotettavia tuloksia merkin käytöstä, on niissä analyyseissa, joista kuvaajat on piirretty, käytetty vain pinnalla olevaa merkkiä.

Mikäli massan puristumista eri korkeuksilta halutaan tutkia tarkemmin, voi nyt todeta sen olevan mahdollista, mutta jonkinasteista kehitystä tarkkuuden saamiseksi se vielä vaatii.

8 ANALYYSIN KUVAAMINEN

Analyysin kuvaamisen tarkoituksena on selvittää, millä nopeudella ja miten massakakku painuu kasaan, kun sen läpi vaikuttaa virtaus ja paine, sekä miten massakakku palautuu, kun virtaus ja paine poistetaan. DD-pesurin tiiviste-elementin kohdalla virtaus poistuu hetkellisesti. Mikäli massakakku ei ehdi palautua alkupaksuuteensa nopeasti, elementin kautta pääsee virtaamaan edellisen pesuvaiheen vettä seuraavaan.

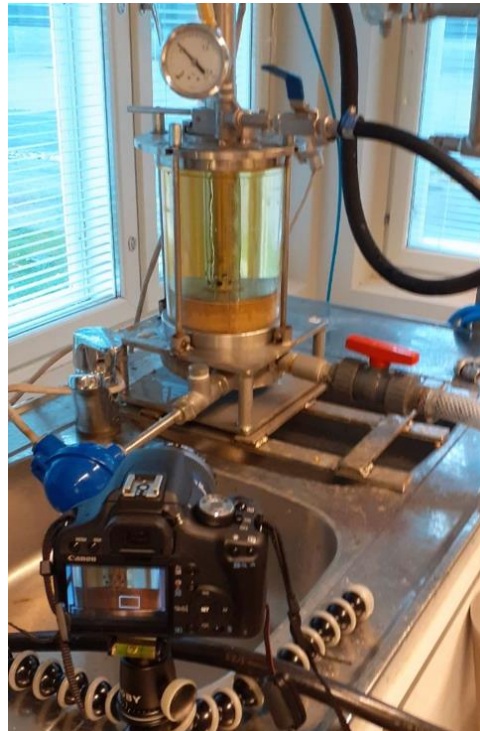
Pelkällä valokuvauksella on mahdollista kuvata, mihin massa asettuu, mutta videokuvauksella voi olla mahdollisuus seurata massan liikkumista koko mittauksen ajan. Näissä koejärjestelyissä pyritään selvittämään, riittääkö normaalin videokuvan kuvamäärät sekunnissa kuvaamaan kakun puristumisen ja palautumisen tarpeeksi tarkasti, vai pitääkö ottaa käyttöön suurnopeuskamera. Kuvaamalla on tarkoitus tehdä analyysin havainnoinnista helpompaa, joten olisi tärkeää saada hyvin kuvattua myös massakakun pinta. Onko kakku tasainen ja yhtä paksu joka puolelta?

Analyysien ollessa käynnissä vettä roiskuu ja tilat ovat melko ahtaat. Kun analyysi käynnistetään, on monta asiaa hoidettava yhtä aikaa, joten kamera ei saisi olla laitteiston tiellä. Miten kamera sijoitetaan, ettei se ole tiellä, eikä sille aiheudu vahinkoa esimerkiksi vesiroiskeista? Sylinterissä on yksi mitta-asteikko, joten sen tulisi olla kuvassa mahdollisimman selkeänä. Mikäli lisävalaistus on tarpeen, miten se saadaan sijoitettua paikalle?

8.1 Analyysin kuvaaminen

Videokuvaukseen käytetään Canonin järjestelmäkameraa. Kuvausaluksaksi vakioitui pieni tiskipöydälle sijoitettava jalusta, joka on helppo pitää lähes samalla kuvauskorkeudella ja joka on helppo siirtää sivuun analyysien välissä. Lattiajalustaan verrattuna pikkujalustan etu on myös se, ettei se vie lattialla liikkumistilaa laitteiston edessä. Lattiajalustan etuna on, ettei pöydän tärinä vaikuta kuvaukseen. Pöytä tärisee eniten, kun venttiiliä avataan ja suljetaan, mutta uuden venttiilin vaihto pienensi tärinän määrää, eikä tärinä häiritse enää merkittävästi kuvausta. Kameran kuvataajuudeksi asetukseksi valittiin 30 fps.

Ennen mittauksen aloittamista kamera asetellaan laitteiston vierelle, tarkennetaan ja videointi aloitetaan juuri ennen kuin analyysi käynnistetään tietokoneelta. Korkeus on tärkein säätö kamerassa. Mikäli kamera kuvaa liian korkealta tai matalalta, on tasaisuutta vaikea havainnoida. Videokuvaus päättyy, kun paine on poistettu sylinteristä, syöttöventtiili irrotettu laitteistosta ja kun massakakku vaikuttaa siltä, ettei se enää palaudu enempää. Kuvauksen voi myös pitkissä hitaissa analyyseissä keskeyttää, ja aloittaa uudelleen juuri ennen analyysin lopetusta.



Kuva 16 Kamera aseteltuna tiskipöydälle analyysia kuvaamaan

8.2 Kuvauksen tulokset

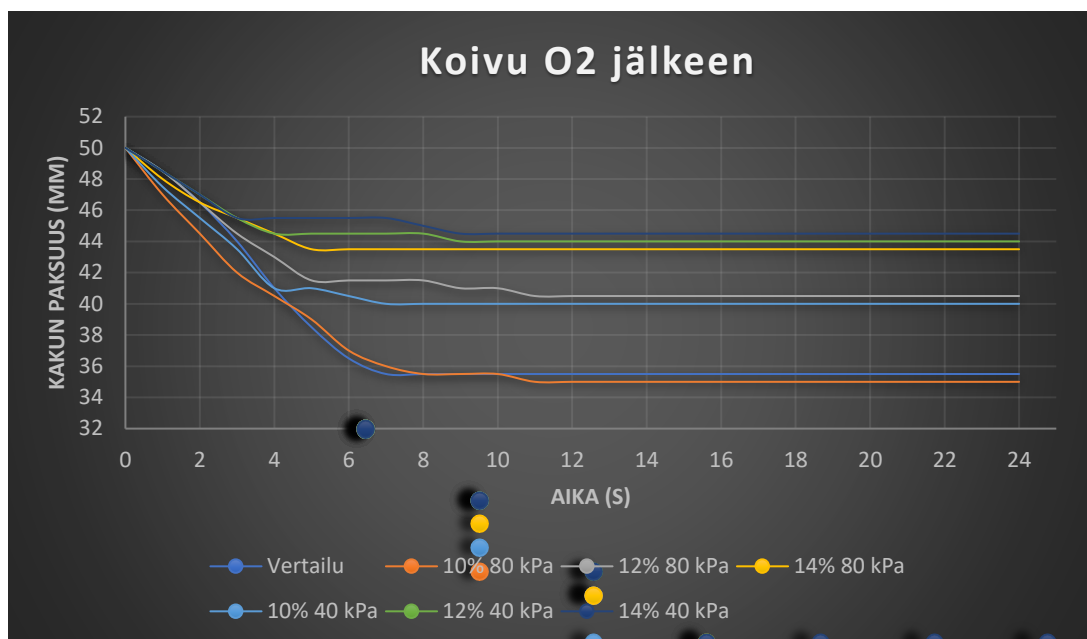
Videokuvaus oli hyvä ja melko yksinkertainen keino lisätä analyysiin tarkkuutta ja toimintoja. Kamera on helppo sijoittaa laitteiston vierelle, ja sen videokuvan kuvamäärät sekunnissa ovat riittävät havaitsemaan kakun kokoonpuristuvuutta, eikä esimerkiksi suurnopeuskameralle ole tarvetta. Mikäli käyttää matkatesteriä, on kamera helppo ottaa jalustoineen mukaan testipaikkaan. Koska nykypuhelimien kamerat ovat myös erittäin hyviä, saa tilanteen vaatiessa myös niillä tarpeeksi hyvää kuvaa analyysistä.

Videokuvasta saa jälkikäteen tarkistettua miten, paljon massa on painunut ja siitä saa katsottua miten nopeasti kakku painuu kasaan ja palautuu. Kakun kasaan painuminen on melko selkeää ja tapahtuu nopeasti, kun virtaus käynnistetään (kuva 17). Pysäyttämällä videon sekunnin välein, saa mittanauhalta katsottua painumisen, ja sen kautta voi piirtää kuvaajan painumisesta (kuva 18).



Kuva 17 Kuvasarjassa video pysäytetty ensimmäisessä 4 kuvassa sekunnin välein. Viimeinen kuva on noin minuutti analyysin alkamisesta, jolloin kakku on loppupaksuudessaan.

Kuvaajien piirtämiseksi katsottiin videot rinnakkaisista näytteistä, ja niistä otettiin keskiarvo painuminen/sekunti, josta kuvaajat piirrettiin (kuva 18, 26, 27 ja liitteet 7 ja 8).



Kuva 18 Esimerkkikuvaajat kakun painumisesta: sama massa eri paineilla ja sakeuksilla

Massan palautumisen tulkinta on huomattavasti vaikeampaa kuin painuminen. Painuminen ei tapahdu välttämättä tasaisesti, mutta palautuminen tapahtuu vielä epätasaisemmin. Palautuminen lähtee tapahtumaan, kun virtaus ja paine poistetaan. Analyysissä paine pyritään poistamaan mahdollisimman nopeasti sulkemalla paineenalennusventtiili, avaamalla ohivirtausventtiili ja irrottamalla syöttövesiputki.

Massa saattaa palautua lähes alkupaksuuteen, mutta lähes joka analyysissä palautuminen ei ole tasaista, ei tapahdu loppuun asti, eivätkä rinnakkaiset näytteet palautu samalla tavalla. Kuvasta 19 huomaa selkeästi, miten epätasaisesti massakakku palautuu, vaikka kakku näyttää analyysin lopulla lähes tasaiselta. Näin käy todella monessa testissä, ja nopeammin palautuva reuna on lähes aina oikea reuna.



Kuva 19 Ylhäältä alas, paine (80 kPa), keskimmaisessä kuvassa painetta on alettu laskea, ja alimmassa kuvassa paine on poissa, ja analyysi lopetettu.

DD-pesuria ajatellen tiiviste-elementtien kohdalla massa ei todennäköisesti palaudu alkupaksuuteen ja edellisen pesuvaiheen likaista vettä pääsee kulkemaan massan päällä seuraavaan vaiheeseen.

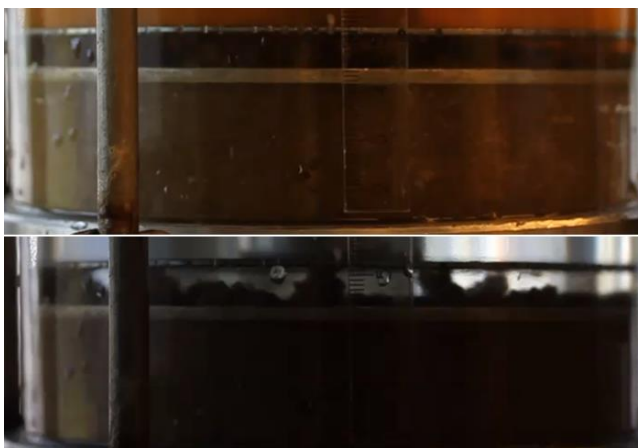
8.3 Ongelmat ja kehitysideat

Kuvauksessa on myös joitain ongelmia. Mikäli sudosvesi on analyysin alussa kovin tummaa ja kirkastuu analyysin aikana paljon, kamera tekee herkästi omia tarkennuksiaan ja kuvan tarkkuus ei välttämättä pysy samanlaisena koko analyysin ajan. Näiltä videoilta voi ainakin lopussa tapahtuva mahdollinen palautuminen olla vaikeasti tulkittavissa (kuva 20). Pitkissä analyyseissä, joissa videointi keskeytetään, voi kameran tarkentaa uudelleen.

Analyysi kestää nopeimmillaan noin 3 minuuttia, ja pisimmillään yli 10 minuuttia. Kolmen minuutin video on kooltaan noin 600 Mt, ja koska suurimmassa osassa analyysiä ei tapahdu massan puristumisen suhteen mitään merkittävää, voi videoinnin lopettaa alun puristumisen jälkeen ja aloittaa sen uudelleen ennen analyysin lopetusta ja paineiden poistamista.

Mikäli ajan kulkua haluaa havainnoida videolle vielä tarkemmaksi, voi laitteiston vierelle asetella sekuntikellon. Tämä kuitenkin lisää tavaraa laitteiston

ympärille, ja analyysin alussa on käynnistettävä yksi laite lisää. Mikäli kello on selkeästi kuvassa, se myös kastuu helpolla.



Kuva 20 Kuvissa sama analyysi yhdellä kuvauksella. Kamera säätää itse valaistusta, joten kuvauksen lopussa saattaa kuvan tulkinta olla paljon vaikeampaa kuin alussa.

Sylinterissä on tällä hetkellä vain yksi mitta-asteikko. Mikäli asteikkoja laittaisi useammalle reunalle, olisi muistakin suunnista helposti tarkistettavissa, onko massa painunut kasaan tasaisesti. Tämä olisi myös kameralla helposti kuvattavissa. Ennen paineiden poistoa kameran voisi irrottaa jalustasta, kuvata sillä valokuvoin tai videolla muiden reunojen mitta-asteikot ja palauttaa kamera takaisin jalustalle kuvaamaan paineen poiston.

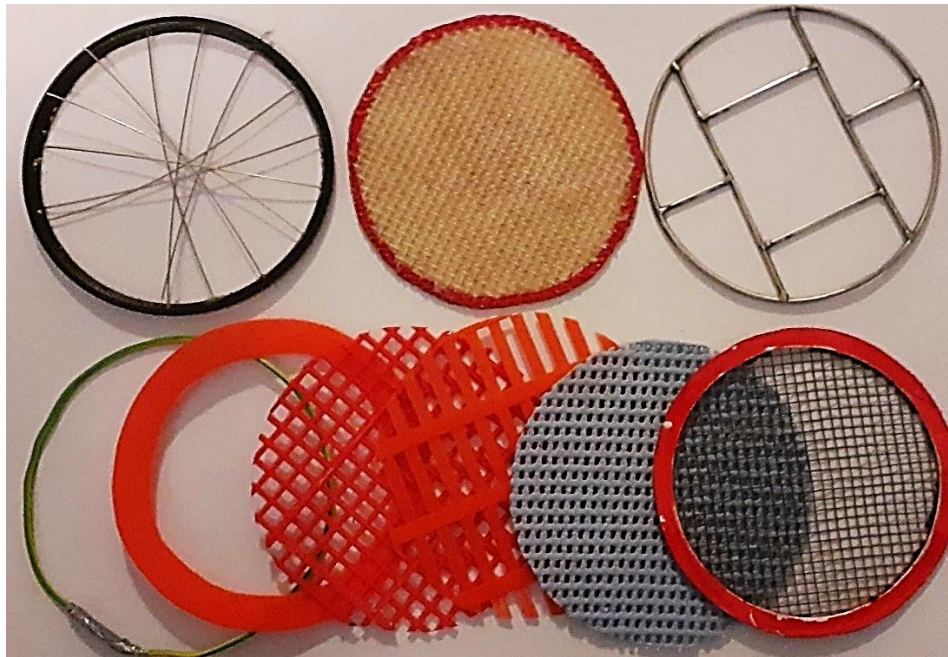
9 KAKUN KOKOONPURISTUMISEN HAVAINNOINTIA PARANTAVAT VÄLINEET

Kun vesi pyrkii läpäisemään kuitumateriaalin, etsii se itselleen helpoimman reitin, jolloin massakakusta ei synny täydellisen tasalaatuista. Syrjäytystestissä mitataan kokoon puristuneen massakakun korkeutta, mutta pinnan epätasaisuuden vuoksi on haastavaa todeta, miltä korkeudelta mittaustulos otetaan (kuva 12).

Mikäli kokoonpuristuvuuden havainnointiin käytetään jotain merkkiä, se ei saa aiheuttaa massaansa ylimääräistä painetta, eikä se toisaalta saa vastustaa nesteen virtausta massan läpi. Merkin on kuitenkin oltava sellainen, ettei se kellu ja että se on selkeästi nähtävissä massakakun pinnalla ja sen sisällä.

9.1 Merkit

Mahdollisia merkkejä havainnoinnin parantamiseksi lähdettiin kehittämään monenlaisista materiaaleista. Kuvan 21 vasemmalla ylhäällä oleva muovinen rengas rautalankalävistäjillä, oli ensimmäinen käytetty merkki. Merkki toimi melko hyvin, mutta ongelmiakin oli. Merkki on noin 5 mm paksu, joten se vie painumiselta melko paljon näkyvyyttä. Koska lävistäjät menevät melkein keskeltä rengasta, jäi siihen kiinni massaa melko helposti. Merkin paino ei myöskään ole tasaisesti jakautunut, ja jänteet irtosivat siitä melko nopeasti.



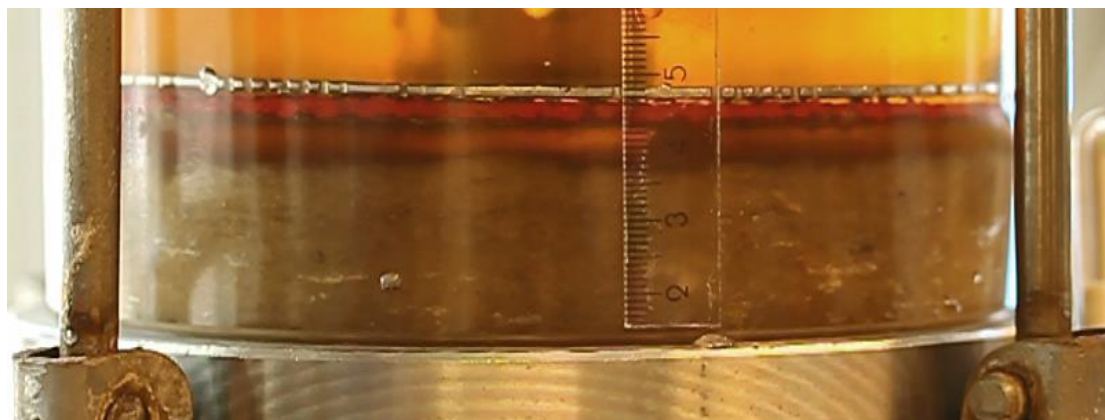
Kuva 21 Testattuja merkkejä

Pelkät renkaat merkinä kallistuvat, ainakin jos ne eivät ole tarpeeksi hyvin muodossaan pysyviä. 1,5 mm² sähköjohtoa ei saa pysymään tarpeeksi hyvin muodossaan mihinkään suuntaan, jotta se olisi toimiva merkinä. Toisaalta ohuesta muovista (kuva 21 alarivi 2. vasemmalta) tehty rengasmerkki pysyy pyöreänä, mutta lämmön vaikutuksesta alkaa aaltoilla. Muovinen rengas on myös niin kevyt, ettei se pysy massan päällä, vaan nousee pinnalle, vaikka virtaus ja paine on päällä.

Kuvan 21 alarivin muut muoviset merkit ovat analyysissä massan pinnalla oleviksi merkeiksi liian kevyitä. Massan keskellä merkit pysyvät, mutta ovat liian ohuita, jotta niitä olisi helppo huomata. Kuvan alarivin oikealla oleva merkki on metallista ohutta verkkoa, johon on reunalle havainnoimisen parantamiseksi

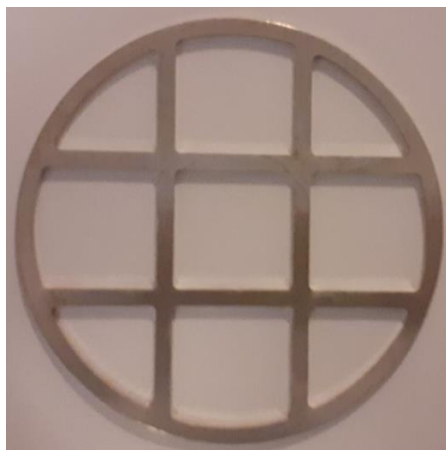
kiinnitetty silikonilla muovinen rengas. Tämä merkki toimii massan keskellä ja pinnalla melko hyvin, mutta sitä on vaikea asetella sylinteriin massan päälle ja merkkiin jää paljon massaa kiinni.

Kuvan 21 ylärivin keskimmäinen merkki on viiraa, jonka reunoille on purkautumisen estämiseksi laitettu silikonua. Kuten kuvastakin huomaa, merkki ei ole symmetrisen pyöreä ja sen ongelmana on myös massan päälle asettelemisen vaikeus. Viiramerkin massa on 15,7 g, joten sen aiheuttama paine massaan, suhteessa virtauksen aiheuttamaan paineeseen, on prosentin sadasosia. Merkki vaikutti aluksi hyvältä ja toimivalta vaihtoehdolta, kunnes paineen ollessa hieman 80 kPa pienempi, tämäkin merkki jäi kellumaan.



Kuva 22 Viiramerkki kelluu sylinterin mäntää vasten

Kuvan 21 ylärivin oikealla oleva metallinen merkki toimii merkkinä hyvin. Se painaa 40,7 g, joka on tarpeeksi estämään sen kellumisen. Merkki on myös melko pieni pinta-alaltaan, joten se vastustaa vähän virtausta. Valmistettaessa merkkiä järeästä rautalangasta saumakohdat venyttivät metallia ja muuttivat ympyrän epätäydelliseksi ja hieman epätasaiseksi. Tästä mallista jatkojalostettiin työn lopullinen merkki.



Kuva 23 Alumiinista jyrsimällä tehty merkki

Merkin tärkeitä ominaisuuksia ovat, että se on helppo havainnoida massan päältä ja keskeltä, se ei saa aiheuttaa liikaa painetta massaansa eikä aiheuttaa virtaukselle turhaa vastusta. Merkin tulisi olla helposti aseteltavissa massan sekaan, ja mitä helpommin siihen kiinnittyvä massa on poistettavissa, sen parempi.

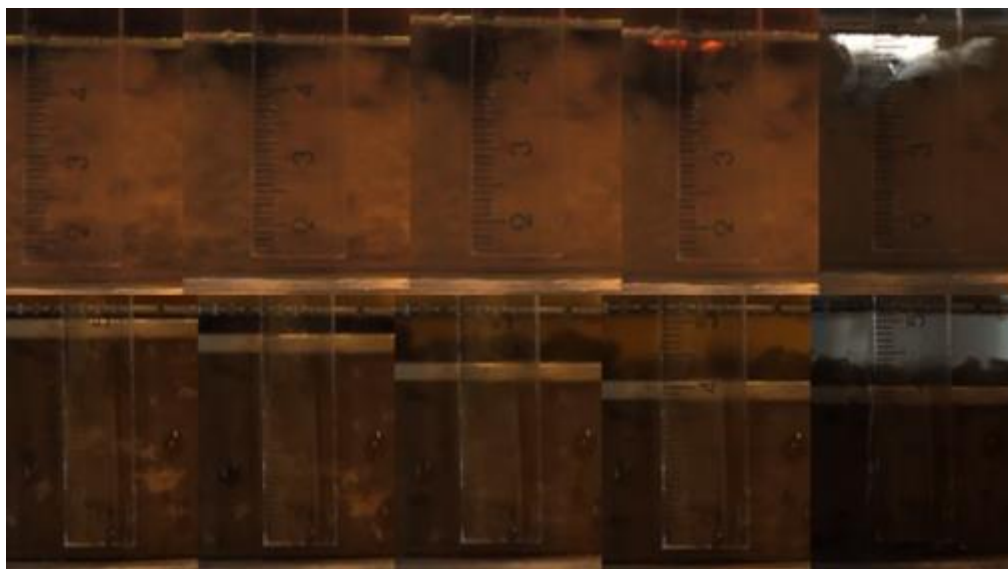
Kuvan 23 merkki (2 kpl) tehtiin työtä varten mittojen mukaan. Se on 3 mm paksusta alumiinista jyrsimällä valmistettu. Sen massa on 32,8 g ja sen pinta-ala on 4647 mm². Vaikka analyysin paine olisi 40 kPa ja merkkejä olisi siinä kaksi, niiden aiheuttama paine suhteessa analyysin paineeseen on noin 0,1 %. Virtausvastusta merkki varmasti aiheuttaa jonkin verran, koska sen pinta-ala suhteessa sylinterin pinta-alaan on 31,2 %. Virtausvastuksen muutosta merkin takia testattiin kaikilla massoilla rinnakkaisnäytteillä, merkeillä ja ilman.

9.2 Tulokset

Merkin käyttö massan pinnalla on lähes poikkeuksetta hyvä analyysin parantaja. Vaikka massa on tasaisesti sylinterissä, se ei painu täysin tasaisesti kasaan. Merkki auttaa havaitsemaan, mille tasolle ainakin pääosa massaa painuu, ja painuuko se tasaisesti. Myös massan keskellä merkki on selkeä, mutta ongelmana on massan tasainen kahtiajako.

Merkiksi toimivin on alumiinista valmistettu merkki, joka ei vertailutesteissä vaikuttanut testin lopputuloksiin. Joka massalla ilman merkkiä tehdyt analyysit antoivat hyvin rinnakkaiset tulokset merkkien kanssa tehtyihin analyysihin. Mikäli merkillä tehdyssä analyysissä puristumistulos on suurempi, johtuu se

siitä, että puristuminen on helpompi havaita eikä siitä, että merkki puristaisi massaa kasaan.



Kuva 24 Ylempi kuvasarja on ilman merkkiä, alempi merkillä. Alemmassa on selvästi helpompi tulkita puristumista

Analyysin päätyttyä ja veden valuttua pois sylinteristä, on merkki helposti nostettavissa pois sylinteristä. Kun massa on otettu sylinteristä talteen, merkin voi putsata juoksevan veden alla sylinterissä, jolloin siihen mahdollisesti tarttunut massa saadaan talteen sylinterin pohjalta.

Palautumista tutkiessa merkistä on enemmänkin haittaa. Merkki saattaa nousta epätasaisesti korkeimman kohdan mukana, toki sen kautta huomaa, miten epätasaisista palautuminen yleensä on (esimerkkinä kuva 19). Haittaa merkki aiheuttaa myös, jos massa painuu vain hyvin tai ei painu ollenkaan kasaan. Merkki ei ole kovin paksu (3 mm), mutta kolmekin millimetriä on näköeste, mikäli massa painuu vain sen verran.

Kuvan 25 mukaan massa ei painunut kasaan, eikä myöskään vastaavissa olosuhteissa ilman merkkiä tehdyssä kokeessa painumista tapahtunut. Mikäli merkkiä käyttää tällaisessa analyysissä, jossa puristumista ei tapahdu, on tehtävä rinnakkainen mittaus ilman merkkiä voidakseen todeta, ettei merkki ole näkyvyyden esteenä puristumiselle.



Kuva 25 Havu sellua 40 kPa paineessa ja 14 % sakeudessa. Massan koostumuksessa näkyy muutoksia, mutta varsinaista kokoonpuristumista ei havaittavissa.

10 KOKOONPURISTUVUUS ERI MUUTTUJILLA

DD-pesureita on erilaisia ja niillä pestään erilaisia massoja prosessin eri vaiheissa. Miten eri massat eri vaiheista käyttäytyvät testissä, kun vielä sakeutta ja painetta muutetaan? Näkyykö sama merkki sekä tumman että vaalean massan sisällä? Riittääkö videokameran kuva havainnoimaan painumista kaikilla massoilla?

Työhön käytetään neljää massaa, koivua ja havua, kahdesta eri kuitulinjan vaiheesta (ennen ja jälkeen happivaiheen). Joka massasta tehdään analyysit kolmella eri sakeudella (10,12 ja 14 %), kahdella paineella (40 ja 80 kPa) ja rinnakkaisanalyysijä on tehtävä vähintään kaksi.

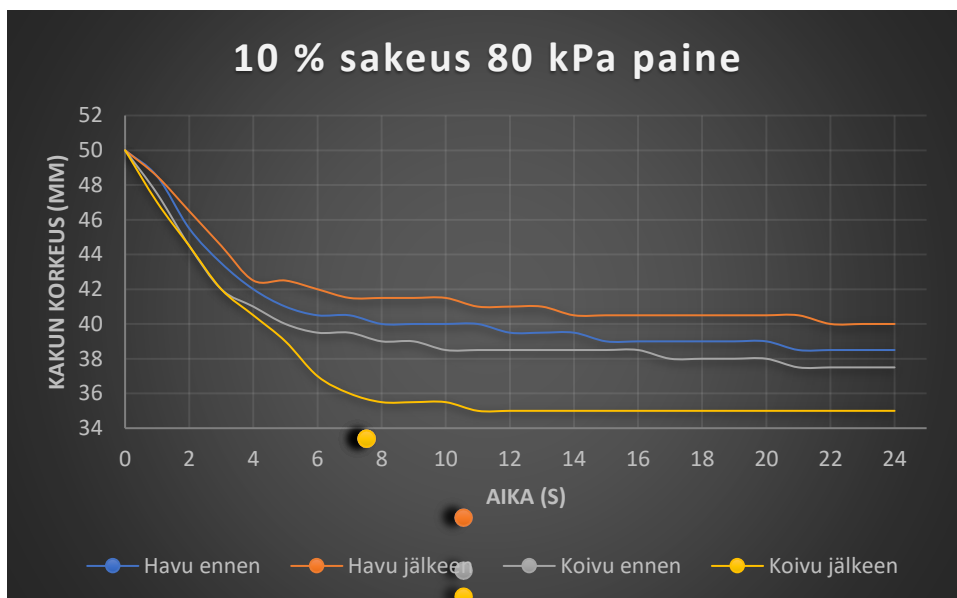
Massoista tehdään myös analyysit niiden kuituominaisuuksista, jotka ovat vaikuttajina siihen, miten massa puristuu kasaan. (liitteet 1–6)

Tehdyistä analyyseistä piirretään kuvaajat kokoonpuristuvuuden nopeudesta ja kuvaajista voi verrata, miten paine ja sakeus vaikuttavat eri massoihin, tai miten eri massat samoissa olosuhteissa käyttäytyvät toisiinsa nähden.

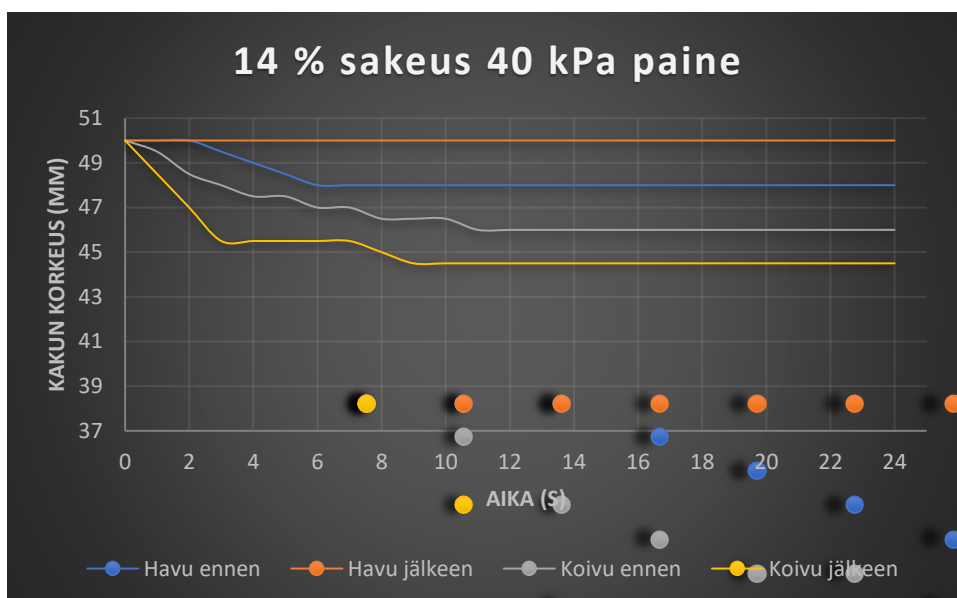
10.1 Tulokset

Tuloksia vertailtiin keskenään samasta näytteestä eri olosuhteilla sekä samoilla olosuhteilla eri näytteistä. Kuva 18 on esimerkki kuvaajista, jossa verrataan saman näytteen käyttäytymistä eri oloissa. Kaikki massat puristuvat heti analyysin alussa, ja puristumista tapahtuu eniten sakeudeltaan pienimmillä

näytteillä ja suuremmalla paineella. Koivusellu puristuu enemmän kuin havusellu, mutta vaihtelua oli molemmilla selluilla siinä, painuuko enemmän happivaihetta ennen vai jälkeen oleva massa.



Kuva 26 Suurin painuminen tapahtui 10 % sakeudella 80 kPa paineessa.



Kuva 27 Vähiten puristumista tapahtui 14 % sakeudella 40 kPa paineessa.

Tulokset olivat hyvin loogisia teoriaan verraten. Mitä enemmän painetta, sitä enemmän puristumista. Mitä sakeampaa massa on, sitä vähemmän se pääsee puristumaan ja koivun lyhyemmät ja pienemmät kuidut painuvat pitkiä havukuituja helpommin kasaan (kaikki tulokset ja kuvaajat liitteinä). Varsinainen puristuminen tapahtuu heti analyysin alussa, mutta mitä pidempään analyysi kestää, sitä tasaisemmaksi kakku muodostuu. Alumiininen merkki näkyi hyvin joka massassa.

LÄHTEET

Andriz Group. 2019. Yhtiön sisäinen DD-pesuri PowerPoint-esitelmä

Andriz, Fibreflow research center. 14.5.2002. Työohje AHL11: Displacement test

Fardim, P. (toim.) 2011 Chemical Pulping Part 1: Fibre Chemistry and Technology. 2.painos. Espoo: Puunjalostusinsinöörit ry, Paperi ja Puu Oy

Isotalo, K. 2004. Puu- ja sellukemia. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus

Inkinen, P. & Tuohi, J., 2012, Momentti 1 Insinöörifysiikka. 4.–9. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Pro Gradu. Karjalainen, S. 2008. DD-pesurin ajomallin kehittäminen. Teknillinen korkeakoulu: Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta

Pro Gradu. Koramo, J. 2006. Korkeakappa-massan suotautuvuus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Kemiantelekniiikan osasto, <https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/30572/TMP.objres.441.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pro Gradu. Leminen, J. 1993. Kuituparametrien määrittäminen. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Kemiantelekniiikan osasto

Pro Gradu. Pakarinen, J. 2000. Puumassapesurin suotautumisolojen kartoitus ja simulointi. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Kemiantelekniiikan osasto

Seppälä, M., Klementti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H., Siironen, R. 2001. Paperimassan valmistus. 2. tarkistettu painos. Opetushallitus: Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Arjas, A. (Toimittanut). 1983. Paperin valmistus, Suomen paperi-insinöörien yhdistyksen oppi- ja käsikirja III osa 1. 2. painos. Turku: Suomen paperi-insinöörien yhdistys ry.

Pro Gradu. Uotinen, H. 2016. Saostumat kartonkikoneen märkäässä sekä kemikaalikierrrossa. Jyväskylän yliopisto: Fysiikan laitos, <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/50674/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201607013425.pdf>

Pro Gradu. Österman, S. 1998. Kokoonpuristuvan kuitukakun muodostuminen painesuodatuksessa. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Kemiantelekniiikan osasto

Liitteet

Vain alkuperäistyössä