

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Kemiantekniikan osasto

PAPERIKONEEN VESITASEEN SIMULOINTI

Tarkastajat: Professori Juha Kallas
Lehtori Ritva Tuunila

Juho Uusitalo
17.6.2008

Sisällys	
1. Johdanto	2
KIRJALLINEN OSA	3
2. Prosessisimulointi	3
2.1 Simulointiohjelmitot.....	3
2.2 Balas-simulointiohjelmito.....	4
2.2.1 Balasin käyttö paperinvalmistusprosessin simuloinnissa.	5
3. Paperinvalmistus prosessi.....	6
3.1 Massan valmistus ja käsittely.....	6
3.2 Lyhyt kierto	7
3.3 Perälaatikko.....	7
3.4 Rainanmuodostus.....	7
3.5 Märkäpuristus.....	8
3.6 Kuivatus.....	8
3.7 Lisäkäsittely	9
4. Paperitehtaan kiertovesijärjestelmä.....	9
5. Tuoreveden kulutuksen vähentäminen	10
5.1 Vesikiertojen sulkeminen	11
6. Kiekkosuodin.....	12
6.1 Kiekkosuotimen rakenne.....	12
6.2 Kiekkosuotimen toimintaperiaate	13
6.3 Kiintoaineen talteenotto	15
7. Kirkassuodosten käyttö suihkuvesinä.....	15
KOKEELLINEN OSA.....	17
8. Työn tarkoitus.....	17
9. Paperikoneen vesitaseen malli.....	17
10. Simulointitulokset	18
11. Johtopäätökset.....	21
LÄHTEET.....	24

LIITTEET

Liite I	Vesitasemalli
Liite II	Tasetulokset

1. Johdanto

Veden käytön vähentäminen on yksi paperiteollisuuden suurimmista haasteista. Veden hinta on korkea ja sen saatavuus voi olla rajoitettu sekä jätevesien ympäristö kuormitukset voivat olla suuria. Siksi paperiteollisuus pyrkii vähentämään veden ominaiskulutusta vähentämällä prosessin veden tarvetta ja lisäämällä kiertovesien käyttöä prosessissa.

Tämän työn tavoitteena on tutkia paperikoneen tuoreveden käytön vähentämisen vaikutusta kiertovesien kiintoainepitoisuuksiin. Kirjallisuusosan kappaleessa 2 kerrotaan prosessisimuloinnista ja erilaisista prosessisimulointiohjelmistoista sekä Balas-simulointiohjelmiston soveltuvuudesta paperinvalmistusprosessin simulointiin. Kappaleessa 3 esitetään paperinvalmistus prosessi. Kirjallisessa osassa on kerrottu myös mahdollisuuksia paperitehtaan vedenkäytön tehostamiseksi. Kokeellisessa osassa tutkitaan paperinvalmistus prosessin vesitasetta Balas-simulointiohjelmiston avulla. Simulointi suoritetaan Balasin valmiin vesitasemallin avulla.

Kokeellisessa osassa simuloidaan paperikoneen vesitasemallia muuttamalla tuoreveden käyttöä paperikoneen suihkuvesinä. Kokeellisessa osassa tehdyssä herkkyyksianalyysissä tutkitaan tuoreveden käytön vähentämisen vaikutusta kiintoaine- ja LK-ainepitoisuuksiin suihkuvesisäiliöön menevässä virrassa sekä pulppereille menevässä virrassa. Kappaleessa 9 on esitetty simulointiin käytetty vesitasemalli ja kerrottu työn suorituksesta. Johtopäätökset ovat esitetty kappaleessa 11.

KIRJALLINEN OSA

2. Prosessisimulointi

Prosessisimuloinnilla tarkoitetaan todellisen prosessin tai prosessiosan laskemista virtauskaavion avulla siten, että aine- ja energiataseet täsmäävät. Laskenta tapahtuu yleensä tietokoneen avulla. Prosessisimulointia voidaan hyödyntää erityisesti silloin, kun tarvittavien kokeiden tekeminen on kustannus- tai turvallisuussyistä kannattamatonta tai mahdotonta. [13]

Prosessisimulointia voidaan käyttää moniin tarkoituksiin.

- Uuden tehtaan suunnittelun optimoinnin
- Vanhan tehtaan ongelmanratkaisu
- Vanhan tehtaan toiminnan optimointi
- Uuden teknologian kehittäminen

Prosessisimulointi voi olla joko staattista tai dynaamista. Staattinen simulointi perustuu prosessin virtauskaavion luontiin ja hetkelliseen taselaskentaan. Se soveltuu uuden prosessin suunnitteluun, käyttöhenkilöstön koulutukseen sekä ongelmanratkaisun tueksi. Dynaaminen simulointi on haluttujen arvojen ratkaisemista ajan suurena. [13]

Simuloinnin suorittaminen koostuu tyypillisesti tiedon keruusta, simulointimallin laatimisesta, virheiden selvittämisestä ja korjaamisesta sekä tuloksien listaamisesta ja virhearviosta. Simuloinnin suorittamisen jälkeen on tärkeää tutkia mahdolliset vaihtoehtoiset prosessikytkennät kuten laitteiden järjestys. [13]

2.1 Simulointiohjelmistot

Prosessisimulointiin on kehitetty runsaasti erilaisia ohjelmistoja. Erityisesti ohjelmistojen graafisten käyttöliittymien kehittämiseen on panostettu. Markkinoilla on runsaasti erilaisia puunjalostusteollisuuden simulointiohjelmistoja, kuten Balas, FlowMac, PulpSim, WinGEMS ja Apros Paper. Balas ja PulpSim ovat suomalaisia dynaamisia simulointiohjelmistoja, joista Balas sopii sekä sellu- että paperiprosessin simulointiin. PulpSim on

suunnattu selluteollisuuden tarpeisiin. Tässä työssä käytetään Balas-simulointiohjelmistoa. [13]

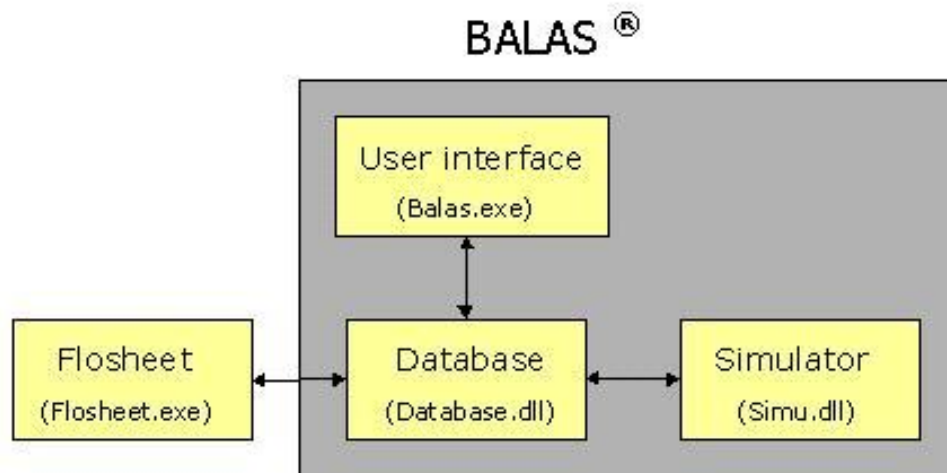
2.2 Balas-simulointiohjelmisto

Balas-simulointiohjelmisto on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen kehittämä dynaaminen simulointiohjelmisto pääasiassa puunjalostusprosessien simulointiin. Ohjelma soveltuu jossain määrin myös kemiallisten prosessien simulointiin. Balas perustuu jatkuvuus tilassa olevien prosessien aine- ja energiataseiden laskentaan. Ohjelma sisältää suuren joukon valmiita yksikköprosesseja, osaprosesseja sekä prosessikokonaisuuksia, jotka voidaan muokata vastaamaan simuloitavaa kohdetta. [9]

Balas-ohjelma sisältää kaksi eri ohjelmaa, jotka toimivat yhteistyössä. Ensimmäisellä ohjelmalla luodaan prosessilaitteet ja virtauskaaviot. Toisella ohjelmalla tutkitaan ja simuloidaan luotua prosessia. Prosessilaitteiden ja virtauskaavioiden luontiin voi käyttää joko Balas-ohjelmiston sisältämää FloSheet-ohjelmaa tai vaihtoehtoisesti Microsoftin Visio suunnitteluohjelmaa. Varsinainen simulointiohjelmisto sisältää seuraavat osat:

- Balas-käyttöliittymä toimii liittymänä käyttäjän ja simulaattorikirjaston välillä.
- Simulaattori suorittaa varsinaiset laskelmat ja simulaatiot.
- Tietokanta sisältää kaiken tiedon, jota simulaattori laskelmissaan tarvitsee. [10, 11]

Balas sisältää liittymän pinnan Excel- taulukkolaskenta ohjelman kanssa, joten tulokset mahdollista siirtää Exceliin ja jatkaa tulosten tarkastelua Excelissä. Balas ohjelmiston rakenne on esitetty kuvassa 1. [9]



Kuva 1. Balas simulointiohjelmiston rakenne [9]

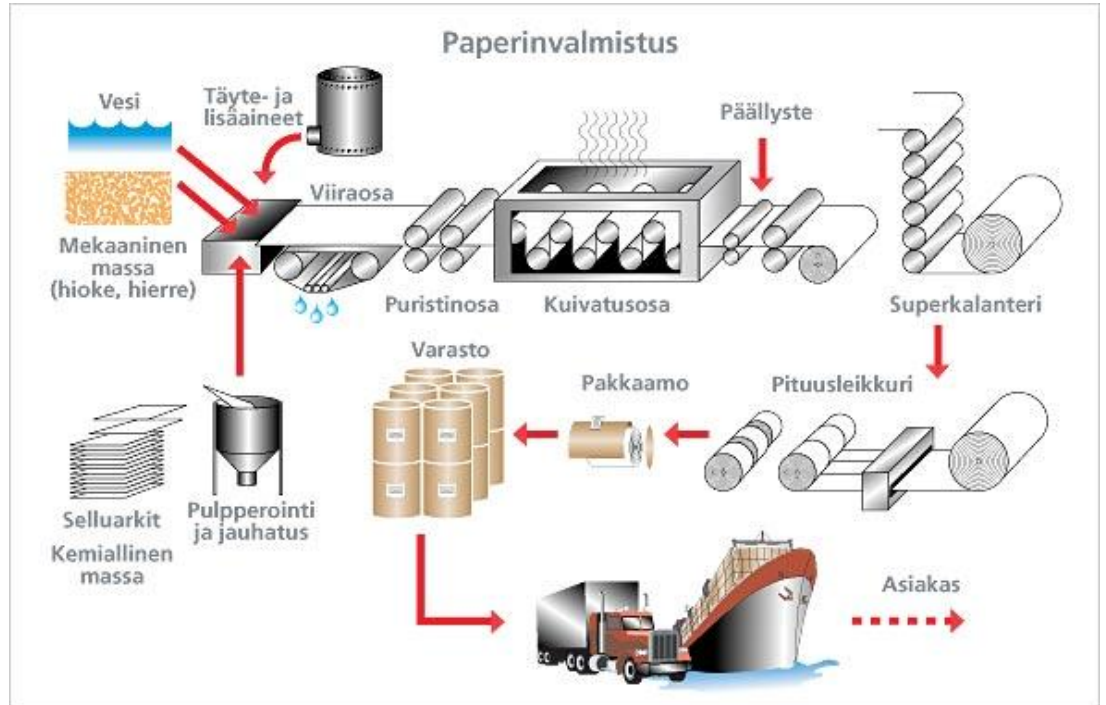
2.2.1 Balasin käyttö paperinvalmistusprosessin simuloinnissa.

Paperinvalmistusprosessin simuloinnissa voidaan tutkia prosessikytkentöjä sekä laite- ja ajoparametrien vaikutusta prosessiin toiminnallisuuden ja taloudellisuuden kannalta. Paperinvalmistusprosessin simulointi voi joissain tapauksissa on vaikeaa, sillä paperissa käytettävät aineet muodostavat veden kanssa epähomogeenisen seoksen, jonka käyttäytymistä on hankala ennustaa. Osasta paperinvalmistuksen yksikköoperaatioista on ongelmallista saada mallinnukseen sopivaa mittaustietoa. Simulointimallia rakennettaessa on tärkeää ottaa tarkasti huomioon prosessin ja automaation tärkeimmät osat. [13]

Balas-ohjelmistolla on mallinnettu useita suomalaisia paperitehtaita. Yleensä mallinnus on suoritettu aine- ja energiataseiden tarkastelua varten. Valtion teknisellä tutkimuskeskuksella on tehty useita projekteja liittyen veden käytön ja energian kulutuksen optimointiin paperitehtailta Balasin avulla. Balas sisältää lukuisia valmiita yksikköprosessimalleja, ei kuitenkaan kaikkia mahdollisia. Silloin kun sopivaa mallia ei löydy, joudutaan yhdistelemään eri osaprosesseja. Tämä edellyttää hyvää mallinnettavan prosessin ja ilmiöiden tuntemista. Simulointimalli voikin poiketa rakenteiltaan todellisesta prosessista, joten sitä ei voi verrata oikeaan prosessikaavioon. [12]

3. Paperinvalmistusprosessi

Paperinvalmistus prosessin tarkoituksena on irrottaa puun kuidut toisistaan ja vettä apuna käyttäen muodostaa niistä luja, yhtenäinen matto. Kuvassa 2. on esitetty paperinvalmistusprosessi havainnollisessa muodossa.



Kuva 2. Paperinvalmistusprosessin pääperiaatteet

3.1 Massan valmistus ja käsittely

Kuitujen irrottaminen toisistaan tapahtuu joko mekaanisen käsittelyn, kemiallisen käsittelyn tai molempien avulla. Puusta irrotettujen kuitujen sitoutumiskyky sellaisenaan on huono. Lietteessä olevia kuituja jauhetaan, jotta kuitujen sisäiset sidokset aukeavat ja niiden sitoutumispinta-ala kasvaa suuremmaksi. Jauhatus on tärkeimpiä paperinvalmistuksen osa-prosesseja, jossa voidaan vaikuttaa kuitujen ominaisuuksiin. [1, 2]

Ennen paperikoneelle syöttöä erilaiset massat, mahdolliset täyteaineet sekä paperikoneelta tuleva hylky sekoitetaan keskenään, valmistettavan paperin vaatimusten mukaisesti. Sekoitus tapahtuu sekoitussäiliössä. [1]

3.2 Lyhyt kierto

Paperikoneen lyhyellä kierrolla tarkoitetaan prosessinosa, joka sijoittuu massojen annostelun ja paperikoneen perälaatikon väliin. Lyhyen kierron tarkoituksena on viiraosan läpi virtaavan veden käyttö paperikoneen perälaatikkoon virtaavan konemassan laimentamiseen. [1, 2]

Lyhyen kierron tehtäviä ovat konemassan laimentaminen haluttuun sakeuteen, kuituaineiden sekä täyteaineiden talouden parantaminen, ilman ja epäpuhtauksien poistaminen massasta, rainan ja hiukkaskokojakauman tasoittaminen, sakeus- ja painevaihteluiden minimointi sekä kemikaalien, täyteaineiden ja väriaineiden annostelu massaan. [1]

3.3 Perälaatikko

Perälaatikko on varsinaisen paperikoneen ensimmäinen osa. Perälaatikon tehtävä on syöttää haluttuun sakeuteen laimennettu massa hallitusti viiran levyiseksi suihkuksi. Perälaatikossa sijaitsevien jakopillien avulla massaan muodostuu voimakas homogenisoiva turbulenssi. Turbulenssi ansiosta massaan syntyneet kuitukimput eli flokit hajoavat. Perälaatikon päädyssä sijaitsevassa huulikanavassa massan virtausnopeus kasvatetaan paperikoneen virtausnopeuteen ja massa johdetaan huuliaukon kautta viiralle. [1, 2]

3.4 Rainanmuodostus

Rainanmuodostuksessa viiralle syötetystä massasuspensiosta poistuu vettä suotautumalla sihtinä toimivan viirakankaan läpi. Viiraosan tuottamien hydrodynaamisten voimien avulla pyritään hajottamaan syntyneitä kuituflokkeja sekä estämään uusien syntyminen. Vedenpoistopaineen kasvaessa kuitukerros tiivistyy viiralle, samalla sen suotaumisvastus kasvaa ja vedenpoisto hidastuu. Rainanmuodostus vaiheessa paperiraina on saatava riittävän korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen, jotta sen siirto puristinhuovalle onnistuu. Rainan kuiva-ainepitoisuus on rainamuodostusvaiheen jälkeen noin 20 prosenttia. [1]

3.5 Märkäpuristus

Märkäpuristusvaiheessa rainasta poistetaan vettä mekaanisesti puristamalla. Puristusta kutsutaan nipпитapahtumaksi, jossa raina kulkee puristinhuovan ja sileän telan välissä tai kahden puristinhuovan välissä. Nipпитapahtuma voidaan jakaa neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa ilma poistuu nipistä. Toisessa vaiheessa paperiraina on kokonaan veden kyllästämä. Kolmannessa vaiheessa kokonaispaine alkaa laskea ja paperiraina saavuttaa suurimman kuiva-aine pitoisuutensa. Neljännessä vaiheessa paperiraina imee hieman kosteutta takaisin eli tapahtuu niin sanottu uudelleenkostuminen. Nykyaikaisissa paperikoneissa on 3-4 puristinnippiä. [1]

Puristusosan tarkoituksena on poistaa rainasta niin paljon vettä, että rainansiirto kuivatusosalla onnistuu ilman katkoja. Märkäpuristus vaikuttaa voimakkaasti paperin ominaisuuksiin. Märkäpuristusvaiheen jälkeen paperin kuiva-aine pitoisuus on noin 45-55 prosenttia. Märkäpuristusvaiheessa saavutettu korkea kuiva-ainepitoisuus vähentää energiankulutusta paperin kuivatusosalla. [1]

3.6 Kuivatus

Kuivatusosan tehtävä on haihduttaa vettä paperista. Kuivatukseen käytetään kolmea päämenetelmää.

- Sylinterikuivatus
- Puhalluskuivatus
- Säteilukuivatus

Kuivatusvaiheessa paperiin tuodaan ulkopuolelta lämpöenergiaa, joka haihduttaa ylimääräisen veden pois. Kuivatusvaihe kuluttaa suurimmanosan paperinvalmistusprosessiin tuotavasta lämpöenergiasta. Eri kuivatusmenetelmät eroavat toisistaan energiantuontitavoissa, jonka takia laiteratkaisut voivat olla hyvinkin poikkeavia toisistaan. [1, 2]

Kuivatusosalla paperin tiheys ja vetolujuus kasvaa sekä valonsirontakerroin alenee. Kuivatuksen jälkeen paperin kuiva-aine pitoisuus on noin 95 prosenttia. [1]

3.7 Lisäkäsittely

Paperikoneelta tuleva paperi ei sellaisenaan sovellu loppukäyttötarkoituksiin. Kaikille paperilajeille tehdään tyypillisesti rullaukset ja pituusleikkaus. Muut paperille tehtävät tavallisimmat lisäkäsittelyt ovat päällystys ja kalanterointi. [1]

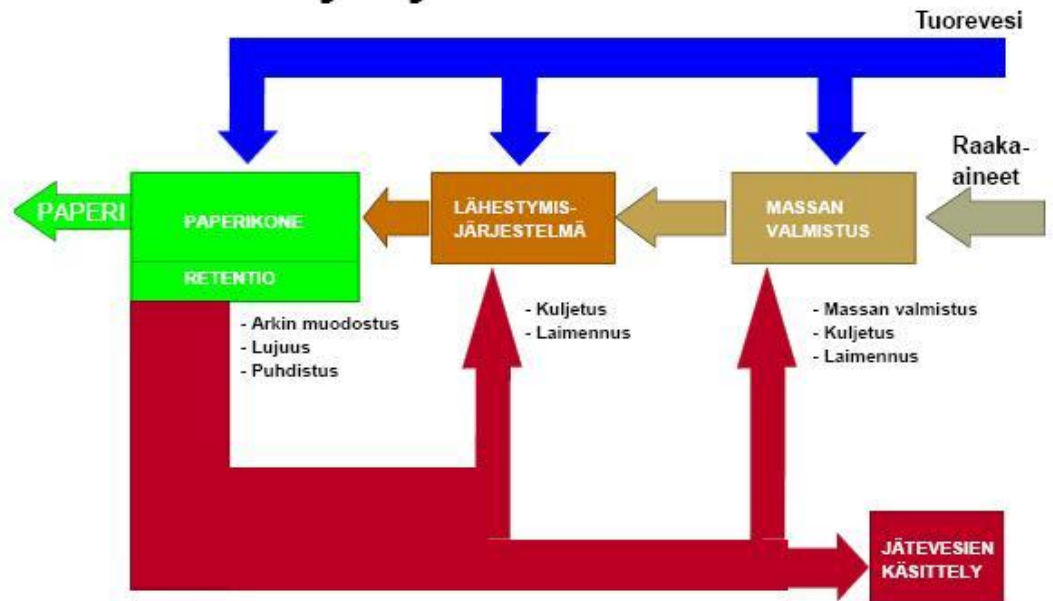
Päällystyksessä paperin pintaan levitetään pasta, joka sisältää pigmentin ja sideaineen. Yleisimmät päällystyspigmentit ovat talkki, kaoliini ja kalsiumkarbonaatti. Sideaineina käytetään tavallisesti lateksia tai tärkkelystä. Päällystyksellä parannetaan paperin painettavuutta ja optisia ominaisuuksia. [2]

Kalanteroinissa paperin pinta kiillotetaan viemällä paperiraina kahden tai useamman sileän telan nippisysteemin läpi. Kalanteroinilla vaikutetaan paperin paksuuteen, sileyteen sekä kiiltoon. [1]

4. Paperitehtaan kiertovesijärjestelmä

Kiertovesijärjestelmän tarkoitus paperitehtaalla on prosessin materiaalitalouden parantaminen, energiankulutuksen vähentäminen sekä ympäristökuormitusten pienentäminen. Kiertovesijärjestelmä toimii vastavirtaperiaatteella. Kemiallisesti puhdistettu tuorevesi tuodaan prosessiin lämmitettynä esilämmitysjärjestelmän kautta. Tuorevettä käytetään paperitehtaalla paperikoneen suihkuvesinä, kemikaalien laimennus- ja saattovesinä, massanvalmistuksen make-up vesin, prosessien jäähdytysvesinä, prosessien tiivistevesinä sekä voimalaitosten kattilavesinä. Kiertovesijärjestelmän tehtävät on esitetty kuvassa 3. [1, 2]

Kiertovesijärjestelmän tehtävät



Kuva 3. Paperitehtaan kiertovesijärjestelmän tehtävät [10]

Paperikoneen viiraosalta saatava kuituainesta sisältävä vesi kierrätetään viirarännin kautta viirakaivoon. Viirakaivossa suurin osa kiintoaineesta laskeutuu pohjalle, josta se lähtee lyhyen kierron mukana takaisin paperikoneelle. Viirakaivon ylijouksu johdetaan kiertovesisäiliöön, josta sitä puhdistetaan suodattamalla. Saatuja suodoksia voidaan käyttää prosessin eri osissa, kuten paperikoneen suihkuvesinä. Kiertovesijärjestelmään lisäksi kuuluvat vesitornit toimivat puskureina erilaisten ajotilanteiden, kuten katkosten aikana. [1, 2]

5. Tuoreveden kulutuksen vähentäminen

Energian hinnan nousu ja ympäristömääräysten tiukentuminen on lisännyt paperitehtaiden kiinnostusta kiertovesijärjestelmien kehittämiseen ja tuoreveden kulutuksen vähentämiseen. Paperinvalmistuksessa vesi toimii vetysidosten muodostajana. Tuorevettä käytetään kuitujen käsittelyn lisäksi prosessin voitelu-, tiiviste- ja jäähdytysaineena. Suurin osa paperinvalmistusprosessin tuorevedestä käytetään viira ja puristinosilla suihkuvesinä. Suihkuvesien tarkoituksena on kuitujen kunnostus ja kitkavoimien alentaminen. Tärkeimmissä kohteissa suihkuvetenä käytetään kemiallisesti puhdistettua vettä. [3, 4]

Tuoreveden kulutusta voidaan vähentää yksinkertaisimmillaan käyttämällä prosessin kiertovettä tuoreveden sijaan. Tuoreveden käyttökohteissa vedelle kohdistuu suuret laatuvaatimukset, josta johtuen kiertovesiä täytyy puhdistaa ja niiden laatu selvittää tarkasti ennen prosessimuutoksia. Veden käytön vähentämisessä tärkeä periaate on, ettei missään kohteessa käytetä liian puhdasta vettä, vaan aina pyritään mahdollisuuksien mukaan käyttämään kiertovettä ja kehittämään kiertoveden puhdistusmenetelmiä. Yhtenä mahdollisuutena veden kulutuksen vähentämiseen pidetään jäähdytysvesien ja tiivistevesien pitämistä erillään kiertovedestä, jolloin niitä voidaan sellaisenaan käyttää uudelleen. [2, 4, 12]

5.1 Vesikiertojen sulkeminen

Suljetulla tehtaalla tarkoitetaan tehdasta, joka ei tuota ollenkaan jätevettä. Suljettu tehdaskin tarvitsee tuorevettä, sillä vettä poistuu haihtumalla ja lopputuotteeseen sitoutuneena. Vesikiertojen sulkeminen alentaa paperin tuotantokustannuksia, sillä kiertovesistä talteen saatu kuitu vähentää uuden kuidun valmistuskustannuksia. Tuoreveden käytön vähentäminen on oleellinen tekijä paperitehtaan kustannussäästöissä. Keski-Euroopassa tuoreveden saanti ja sen kustannukset voivat olla rajoittavia tekijöitä tehtaan kapasiteettia kasvatettaessa. [2, 12]

Vesikiertoja suljettaessa vesiin kertyy haitta-aineita, jotka heikentävät lopputuotteen laatua, paperikoneen ajettavuutta, veden poistumista viira- ja kuivatusosalla sekä lisäävät retentioaineiden kulutusta. Tästä johtuen suljettuihin vesikiertoihin voi joutua etsimään uusia prosessikemikaaleja. Retentioaineilla tarkoitetaan paperin ajettavuutta ja laatua parantavia kemiallisia yhdisteitä. Vesikiertoja suljettaessa hyvän retention merkitys korostuu. Retentioaineiden toiminnan heiketessä kuitujen pintaominaisuudet heikkenevät haitta-aineiden absorboituessa kemiallisten ja mekaanisten massojen pinnoille. Suljettaessa vesikiertoja LK-aineiden määrä kasvaa suhteessa tuoreveden vähenemiseen. LK-aineilla tarkoitetaan prosessin aikana liuenneita ja kolloidisia aineita. LK-aineet muodostavat saostumia, jotka heikentävät paperikoneen ajattavuutta ja paperin laatua. Vesikiertojen sulkeminen aiheuttaa lämpötilan nousua, josta ei kuitenkaan aiheudu merkittävää haittaa. Vaahdonestokemikaalien toiminta heikkenee korkeissa lämpötiloissa. Toisaalta veden korkeampi lämpötila parantaa

suotautuvuutta paperikoneen viiraosalla. Kiintoaineen talteenotto prosessi ja kiertovesien kemiallinen puhdistus ovat merkittävässä asemassa paperitehtaan vesikiertoja suljettaessa. [3, 4, 12]

Tuoreveden kulutuksen laskiessa alle 10 m³/tuotetonnei täytyy suodosten puhdistamiseen kiinnittää lisää huomiota. Tällöin tulevat kysymykseen kehittyneemmät puhdistustekniikat kuten kalvosuodatus ja haihdutus. Kalvosuodatuksessa virrasta poistetaan aineosia, tai sitä konsentroidaan puoliläpäisevän kalvon avulla. Kalvosuodatusmenetelmät jaetaan kalvon huokoskoon mukaan mikro-, ultra- ja nanosuodatusmenetelmiksi. Haihdutusta voidaan pitää mahdollisena menetelmänä, jos on käytettävissä helposti ylimääräistä lämpöenergiaa. Haihdutuksella vedestä saadaan erotettua kuidut, LK-aineet ja lähes kaikki epäorgaaniset yhdisteet. Lauhde onkin puhtaampaa kuin tuorevesi ja sitä voidaan käyttää missä kohteessa tahansa. Yhtenä tulevaisuuden visiona suihkuvesien valmistuksessa pidetään kalvosuodatuksen ja haihdutuksen yhdistämistä. [3, 4, 12]

6. Kiekkosuodin

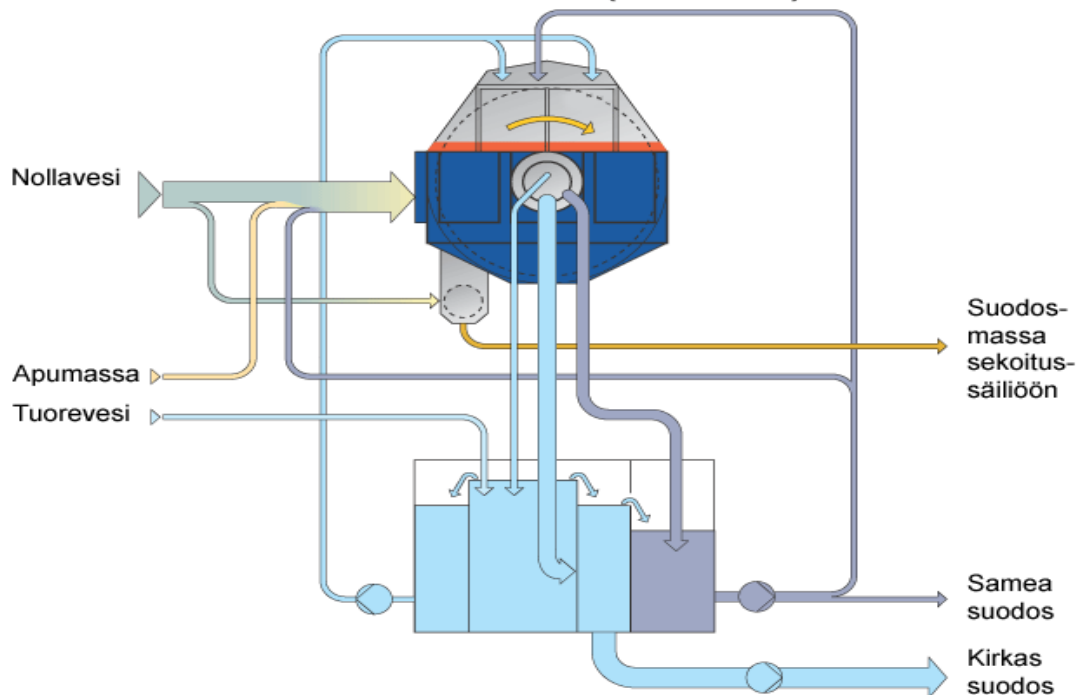
Kuitujen talteenotto on tärkein vaihe paperikoneiden kiertoveden puhdistuksessa. Kuitujen talteenoton tarkoitus on pitää kiertovedessä oleva kiintoaine paperikoneen kierrossa, säästää lämpöenergiaa, säästää raakaveden kulutusta sekä parantaa kiertovesijärjestelmän stabiilisuutta. Suotimia käytetään yleisesti kiintoaineen talteenotossa. Yleisimpiä suotimia ovat kiekko- ja rumpusuotimet, joista kiekkosuodin on suosituimpi talteenottimena, johtuen muun muassa sen paremmasta kapasiteettisuhteesta. Kiekkosuotimia valmistetaan tuotanto- ja kapasiteettivaatimusten mukaan. [1,8]

6.1 Kiekkosuotimen rakenne

Kiekkosuodin koostuu pyörivästä keskiakselista, johon on säteittäin kiinnitetty sektoreita kiekoksi. Jokaiselta sektorilta on yhteys keskiakselin solaan, jota pitkin

suodos virtaa akselin toisessa päässä olevaan suodosventtiiliin. Kiekon pyöriessä massaan upotettuna suodos jaetaan saostussovellutuksissa normaalisti kahteen jakeeseen, sameaan ja kirkkaaseen suodokseen. Tarvittaessa imuventtiili voidaan varustaa useammallakin suodosputkella. Jokaisella kiekolla on keskimäärin 18 sektoria, joiden päälle on asennettu viirakangas ja akselilla voi olla 3-40 kiekkoa tarvittavasta kapasiteetista riippuen. Tyypillisesti suodinkiekkujen halkaisijat vaihtelevat välillä 3.5 - 5.7 metriä. Kuvassa 4. on esitetty kiekkosuotimen rakenne. [1,7,8]

Kuiduntalteenottosuotimen (AhIDisc) virtauskaavio



Kuva 4. Kiekkosuotimen kytkentä tehtaankiertovesijärjestelmään [1]

6.2 Kiekkosuotimen toimintaperiaate

Kiekkosuotimessa kiertoveteen sekoitetaan niin kutsuttua apumassaa. Apumassana käytetään paperikoneelle annosteltavaa massaa. Suodatuskapasiteetti ja suodospuhtaus määräytyvät muun muassa käytetyn apumassan, alipaineen suuruuden, kiertoveden kiintoainepitoisuuden sekä massakakun paksuuden perusteella. [1]

Suodatusprosessi voidaan jakaa karkeasti kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa (kakun muodostus) apumassan sisältämät pitkät kuidut muodostavat kuituverkoston suodatinmateriaalin päälle. Osa kuiduista ja hienoainepartikkelit pääsevät vielä tässä vaiheessa massakakun läpi. Kakunmuodostus aloitetaan usein alipaineettomana. Syntyvät suodokset kerätään talteen ja viedään takaisin prosessiin. [1]

Suodatusprosessin edetessä suodatinmateriaalin päälle muodostuu huokoinen kakku, joka toimii tehokkaana suodattimena. Kuidut ja hienoainepartikkelit jäävät massakakkuun ja tuloksena saadaan kirkasta suodosta. Massakakku irrotetaan kiekon pinnalta vesisuihkujen avulla. Kiekkosuotimelta talteenotettu kuitu- ja hienoaines pumpataan takaisin sekoitussäiliöön. Samalla pesusuihkut pesevät suodatinmateriaalin puhtaaksi. [1]

0-vesi, apumassa ja suodattimelle palautettava samea suodos sekoitetaan keskenään ennen suotimelle syöttöä. Massaseos sekoittuu homogeeniseksi syöttölaatikossa, jonka kautta se virtaa varsinaiseen altaaseen. Kun sektori uppoaa massaseokseen, viirakankaan päälle alkaa kerrostua kuitua ja muuta kiintoainetta. [1]

Suodatuksessa tarvittava alipaine saadaan aikaan imujaloilla. Tarvittava imujalkakorkeus on normaalisti 7 metriä. Kiekkosaostin voidaan installoida perinteisen imujalkasysteemin sijaan myös yhdelle tasolle. Tarvittava alipaine aikaansaadaan ns. GF-pumpulla, joka kykenee pumppaamaan ilmapitoista suodosta. [1, 5]

Suodatuksen alussa viirakankaan pinnalla ei ole vielä muodostunut kuituja pidättävää massakakua. Suuri osa kuiduista pääsee kankaan läpi ja näin syntyneen samean suodoksen kiintoainepitoisuus on suurempi kuin suodatuksen edistyessä muodostuvan kirkkaan ja superkirkkaan suodoksen. [1]

Kiekon pyöriessä sektorin pinnalle muodostunut massakakku nousee pinnan yläpuolelle ja tietyn kuivatusvaiheen jälkeen imu katkeaa ja massakakku irrotetaan pesusuihkun avulla. Massakakku putoaa poistokourujen ohjaamana poistoruuville, jossa se laimennetaan pumppaussakeuteen. Ruuvi kuljettaa massan massasäiliöön, josta se pumpataan edelleen koneelle annosteltavaksi. [1, 8]

Kun kakku on irrotettu, viirakangas pestään oskilloivalla pesusuihkulla ja uusi suodatusjakso alkaa. Suotimen allaspinta eli kiekkojen upotussyvyys voi vaihdella välillä 50-65 %. [6]

6.3 Kiintoaineen talteenotto

Kiekkosuotimella pyritään käsittelemään hyvin suuria vesimääriä laajalla kuiva-ainepitoisuusalueella. Puhdistettavan 0-veden kiintoainepitoisuus voi vaihdella tyypillisesti välillä 500-6000 mg/l riippuen paperikoneen tyypistä ja käytettävistä raaka-aineista. Talteenotettu kuitu palautetaan prosessiin yleensä ennen konesäiliötä, jolloin mahdolliset sakeusvaihtelut ehtivät tasaantua ennen perälaatikkoa. Talteenotetun massan poistosakeus on n. 8-10% ja laimennuksen jälkeen 3-5 %. [1]

Kiekkosuotimelta saatavien suodosvesijakeiden (samean ja kirkkaan) kiintoainepitoisuudet riippuvat hyvin voimakkaasti käytettävän apumassan laadusta ja määrästä sekä 0-veden määrästä ja siinä olevasta kiintoaineesta. Tyypillisesti suodosten pitoisuudet ovat 5-600 mg/l. Samean suodoksen kiintoainepitoisuus on välillä 100-500 mg/l ja kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuusvaatimus on normaalisti noin 50 mg/l. Kirkasta suodosta käytetään mm. paperikoneen korkea- ja matalapainesuihkuissa, suodattimen omissa pesu- ja irroitussuihkuissa, sakeussäätöön ja pulpperin laimennuksiin. Samea suodos voidaan kierrättää takaisin kiekkosuotimelle syötettävän kiertoveden ja apumassan sekaan. Kiekkosuotimelta saatavaa superkirkasta suodosta, jonka kiintoainepitoisuus voi olla alle 5 mg/l, käytetään yleensä koneen suihkuissa ja joskus jopa täyteaineen liettämiseen. [1, 8]

7. Kirkassuodosten käyttö suihkuvesinä

Paperikoneella käytetään suihkuvesiä neljään eri tehtävään. Niitä käytetään viirojen pesuun, viirojen voiteluun, paperiradan reunojen leikkaukseen sekä reunanauhojen pudotukseen ja katkon aikana koko rainan pudotukseen pulpperille. Suihkut voivat olla matala- tai korkeapaine suihkuja. [1]

Olenainen asia kiertovesien käytössä paperikoneen suihkuvesinä on kyseisen suihkuveden puhtausvaatimus. Likaantumisen lisäksi kiertovedet voivat vaikuttaa

retentiojärjestelmän toimivuuteen. Suihkuvesinä voidaan käyttää kuiduntalteenotosta saatavia kirkkaita- ja superkirkkaita suodoksia. Kiintoainepitoisuuden lisäksi suodosten LK-ainepitoisuuksilla on merkitystä niiden soveltuvuudelle suihkuvesiksi.

[12]

Kirkkaita suodoksia voidaan käyttää viiraosan matalapainesuihkuissa ja reunanauhojen alapudotussuihkuissa. Hyvin toimivalla suodatuksella voidaan kirkassuodoksella korvata jopa 70 prosenttia tuorevedestä paperikoneen suihkuissa. Ongelmia kirkassuodoksen käytössä saattaa tulla suodattimen häiriötilanteessa, jolloin suodokseen voi päästä pitkiäkin kuituja, jotka voivat aiheuttaa tukkeumia suihkuissa. Tällaisten tilanteiden varalle tulee kiinnittää huomiota suodosten jatkuvaan puhtausanalyysiin, jotta pystytään tarvittaessa korvaamaan suodos tuorevedellä. Jotta voitaisiin todeta, että kirkassuodokset soveltuvat hyvin suihkuvesiksi, täytyisi niiden kiintoainepitoisuus olla korkeintaan 10 mg/l. Lisäksi suodoksen kuitupituusjakauman tulisi olla tasainen. Superkirkkailla suodoksilla voidaan osittain korvata viiraosan korkeapainesuihkuja. Tällöin kuiva-ainepitoisuuden lisäksi LK-aineiden pitoisuuksiin suodoksessa kohdistuu entistä suurempi huomio. Lisäksi korkeapainesuihkut vaativat tällöin automaattiharjauksen, jottei putkien seinämiin tai suuttimiin ala kertyä saostumia. [3,4, 12]

KOKEELLINEN OSA

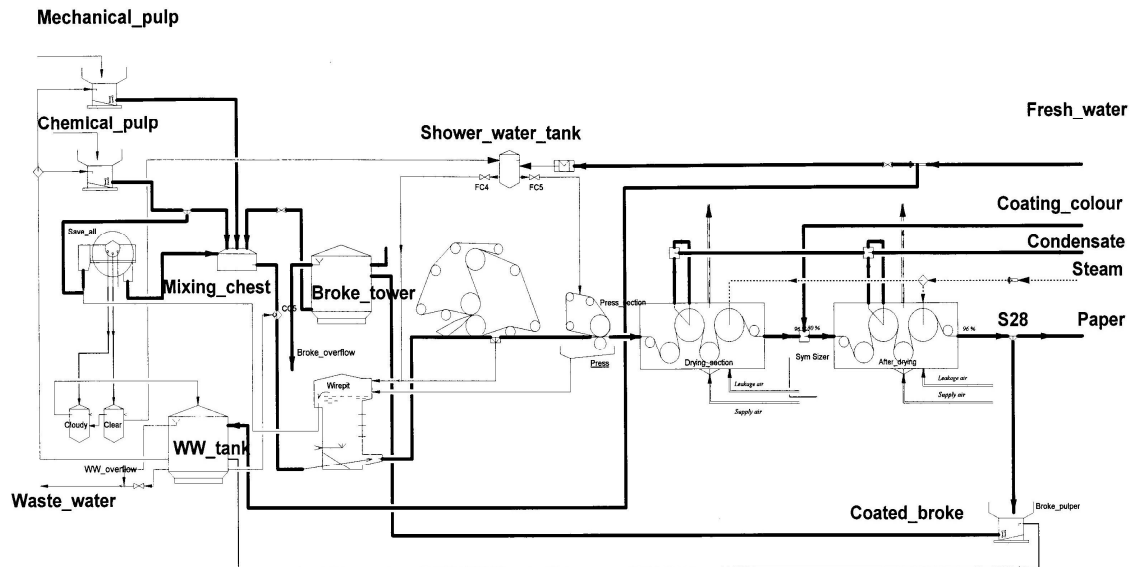
8. Työn tarkoitus

Työn tarkoituksena on tutkia paperikoneen vesitasetta Balas-simulointiohjelman avulla. Simulointi suoritettiin Balasin valmiin paperikoneen vesimallin avulla. Mallin avulla testattiin muutettujen ajotapojen vaikutusta tuoreveden kulutukseen sekä kiintoaine- ja LK-aine pitoisuuksiin suljetuissa kierroissa.

Simulointivaiheessa lisättiin kiekkosuodattimelta saatavien kirkkaiden suodosten käyttöä viiraosan suihkuvesinä sekä korvattiin tuorevesi kokonaan kirkkailla suodoksilla viiraosan suihkuissa. Kirjallisuusosassa esitettiin mahdollisuuksia paperikoneen tuoreveden kulutuksen vähentämiseen. Kokeellisessa osassa tutkittiin simuloimalla kirkkaiden suodosten käytön lisäämisen vaikutuksia prosessiin. Vesimallin avulla testattiin ajotapojen muutosten vaikutusta tuoreveden kulutukseen sekä kiintoaineiden ja LK-aineiden rikastumista suihkuvesissä käytettäviin kirkkaisiin suodoksiin ja pulpperille menevään kiertoveteen.

9. Paperikoneen vesitaseenmalli

Balas sisältää yksinkertaistetun paperikoneen vesitasehallin, joka on esitetty kuvassa 5. sekä liitteessä I. Mallissa on kuvattu paperinvalmistusprosessin vesikierrot pelkistetysti. Massoina mallissa käytetään mekaanista massaa ja kemiallista massaa, jotka syötetään pulppereille. Pulppereilta massat syötetään sekoitussäiliöön, johon syötetään myös kiekkosuotimelta talteenotettu massa sekä pulperoitu paperikoneen hylky. Sekoitussäiliöstä massa johdetaan perälaatikkosakeuteen laimennettuna paperikoneelle. Mallissa kiintoaineentalteenotto tapahtuu yhdellä kiekkosuotimella, joka tuottaa 70 % kirkasta suodosta ja 30 % sameaa suodosta.



Kuva 5. Simuloinnissa käytetty paperikoneen vesitasemalli

Tuorevettä mallissa käytetään viiraosan suihkuvesissä sekä tarvittaessa välisäiliöiden laimennuksissa. Kiekkosuodattimelta saatavaa kirkasta suodosta käytetään viiraosan suihkuissa sekä laimennusvesinä. Kiekkosuotimen sameasuodos menee välisäiliön kautta laimennettuna syötettävien massojen pulppereiden kautta takaisin kiertoon sekä jätevetenä ulos prosessista. Massojen ja tuoreveden lisäksi mallissa prosessiin syötetään päällystepasta ja paperikoneen kuivatusosaan käytettävä höyry. Jäteveden ja valmiin paperin lisäksi prosessista poistuu kuivatusosalta saatava lauhde.

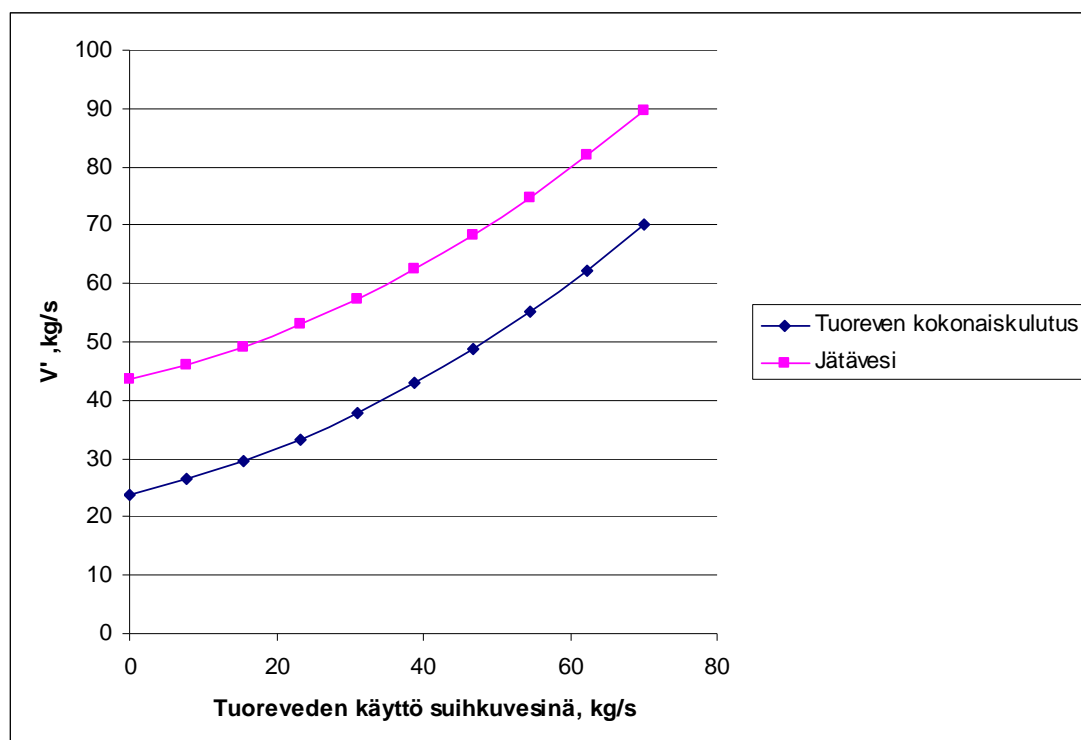
10. Simulointitulokset

Simuloinnissa käytetyssä mallissa prosessiin syötetyt vakiovirrat olivat mekaaninen massa ja kemiallinen massa. Molemmat massa virrat sisälsivät kuitujen lisäksi vettä ja liuennutta selluloosaa. Liuenneella selluloosalla mallinnettiin massojen kuidutuksessa syntyviä LK-aineita. Virtojen suuruudet ja komponentit on esitetty taulukossa I. Valmiin paperin tuotanto mallissa oli 11 kg/s. Höyryn kulutus paperikoneen kuivatusosalla oli 15,5 kg/s

Taulukko I. Prosessiin syötettävien massavirtojen suuruudet ja koostumukset

	Virtausnopeus [kg/s]	Vesi [%]	Kuitu [%]	LK-aineet [%]
Mekaaninen massa	6	9	90	1
Kemiallinen massa	4	9	90	1

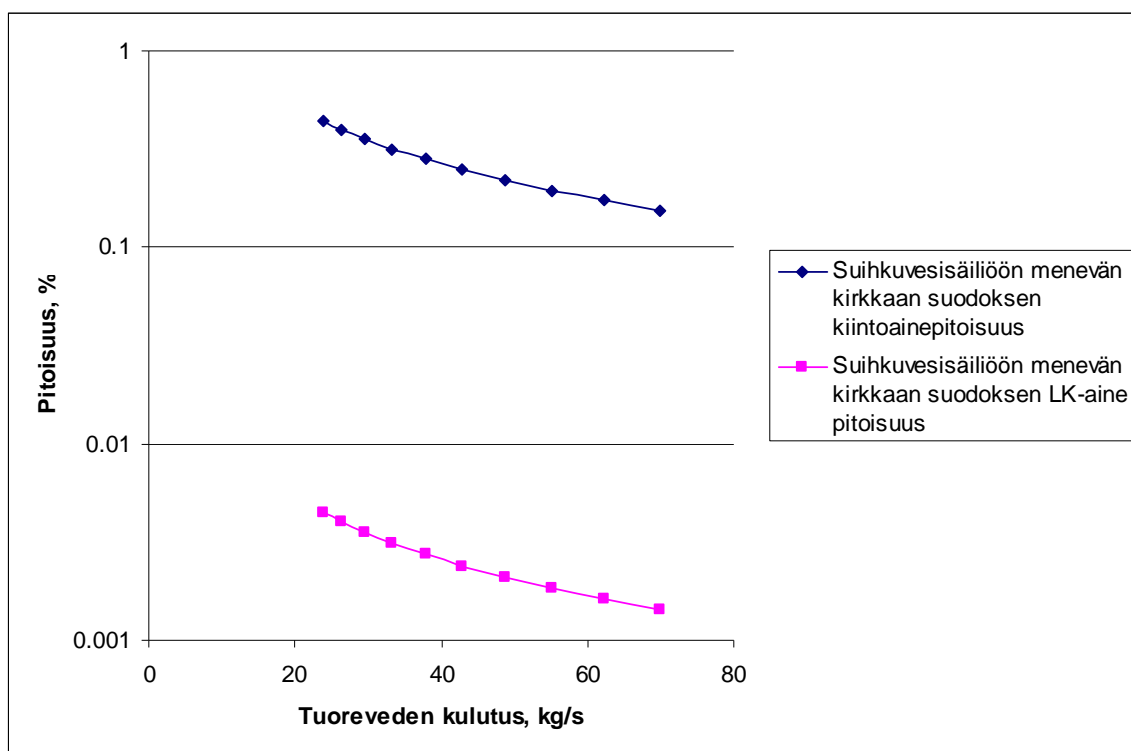
Simuloinnissa suoritettiin herkkyysanalyysi. Herkkyysanalyysin tulokset siirrettiin Excel-linkin avulla Exceliin tarkasteltavaksi. Suihkuvesisäiliöön menevän tuorevesivirran virtausnopeutta muutettiin venttiilin avulla. Virtausnopeutta muutettiin välillä 70 kg/s – 0 kg/s. Muutosväli oli 10 kg/s. Suihkuveden kulutuksen asetusarvo mallissa oli 90 kg/s. Tuoreveden väheneminen suihkuvesissä korvattiin kiekkosuotimelta saatavalla kirkkaalla suodoksella. Simuloinnissa tutkittiin tuoreveden kokonaiskulutusta sekä suihkuvesisäiliöön ja pulpperille menevien virtojen kiintoaine- ja LK-aine pitoisuuksia muutettaessa tuoreveden virtausta suihkuvesisäiliöön. Kuvassa 6. on esitetty tuoreveden kokonaiskulutuksen määrä ja prosessista poistuvan jäteveden määrä vähennettäessä tuoreveden käyttöä suihkuvesinä.



Kuva 6. Paperikoneen simuloitu tuoreveden kokonaiskulutus ja prosessista poistuva jäteveden määrä suihkuvesinä käytetyn tuoreveden määrän funktiona

Kuvasta havaitaan, että jäteveden määrä pienenee selvästi vähennettäessä tuoreveden käyttöä suihkuvesinä. Muutos pienenee selvästi tuoreveden käytön vähentyessä. Tuoreveden kokonaiskulutus laskee aluksi samassa suhteessa vähennettäessä tuoreveden käyttöä suihkuvesissä. Tuoreveden suihkuvesissä käytön laskiessa alle 40 kilogrammaan sekunnissa tuoreveden kokonaiskulutuksen muutos pienenee selvästi, sillä tuorevettä tarvitaan laimennusvesinä kirkkaiden suodosten käytön lisääntyessä.

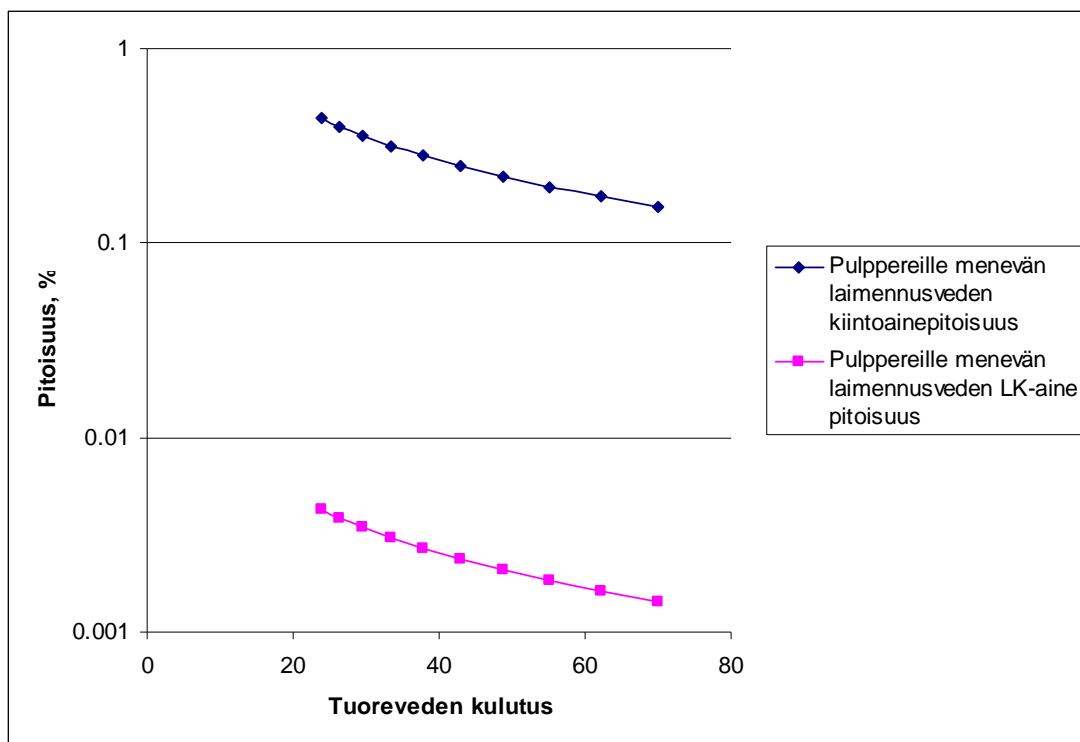
Tuoreveden kulutuksen vähentyessä prosessin mukana kulkevat kiintoaineet ja LK-aineet alkavat konsentroitua virtoihin. Kuvassa 7. on esitetty paperikoneen suihkuvesisäiliöön menevän kirkkaan suodoksen kuiva-ainepitoisuus sekä LK-aine pitoisuus tuoreveden kokonaiskulutuksen vähentyessä.



Kuva 7. Paperikoneen simuloitu suihkuvesisäiliöön menevän kirkkaan suodoksen kiintoainepitoisuus sekä LK-ainepitoisuus tuoreveden kokonaiskulutuksen funktiona

Tuoreveden käytön vähentyessä kirkkaisiin suodoksiin rikastuu kiintoainetta sekä LK-aineita. Pitoisuuksien kasvu voimistuu tuoreveden kulutuksen laskiessa alla 40 kilogrammaan sekunnissa.

Mallissa kiertovettä käytettiin myös muun muassa pulppereiden laimennusvesinä. Nämä vedet otettiin välisäiliön kautta, johon kertyi kiekkosuotimelta saatavat sameat suodokset sekä osa kirkkaista suodoksista. Pulppereiden laimennusvesiksi menevän virran kiintoainepitoisuus sekä LK-aine pitoisuus tuoreveden kulutuksen vähentyessä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Paperikoneen simuloitu pulppereille menevän laimennusveden kiintoainepitoisuus sekä LK-ainepitoisuus tuoreveden kokonaiskulutuksen funktiona

Tuoreveden kokonaiskulutuksen laskiessa kiintoainepitoisuus ja LK-aine pitoisuus kasvavat. Suihkuvetenä käytettävään kirkkaaseen suodokseen verrattuna pitoisuuksien kasvu ei ole aivan niin suurta, sillä tuoreveden suihkuvesinä käytön laskiessa tuorevettä johdetaan välisäiliöön korvaamaan suihkuvesiin menevää kirkasta suodosta.

11. Johtopäätökset

Paperiteollisuuden vedenkäytön optimointi on yksi suurimmasta paperiteollisuuden haasteista. Ympäristönäkökohtien lisäksi makeanvedenvarat ovat rajalliset ja hinta voi nousta korkeaksi. Tässä työssä tutkittiin simuloimalla tuoreveden käytön vähentämisen vaikutuksia paperikoneen vesikiertoihin. Työ toteutettiin tutkimalla Balas-simulointiohjelmistossa olevaa valmista

paperikoneen vesitasemallia, joka on esitetty kuvassa 5 ja liitteessä I. Simuloinnissa vähennettiin tuoreveden syöttöä paperikoneen suihkuvesisäiliöön ja tutkittiin sen vaikutusta tuoreveden kokonaiskulutukseen sekä kiintoaineiden ja LK-aineiden rikastumista kiertovesiin.

Työssä tehty simulointi onnistui hyvin. Käytetty vesitasemalli on hyvin pelkistetty ja virtauskytkennät ovat todellisissa paperikoneissa erilaisia. Tästä johtuen työssä ei päästy niin pieneen tuoreveden kokonaiskulutukseen kuin olisi mahdollista nykyaikaisilla paperikoneilla.

Työssä havaittiin, että tuoreveden käytön vähentyessä kiintoaineet rikastuvat vesikiertoihin. Pulpperille menevän laimennusveden LK-ainepitoisuus kasvoi 0,002 %:sta 0,007 %:iin tuoreveden kulutuksen pienentyessä 70:stä 24:een kg/s. Suihkuvesisäiliöön menevän virran LK-ainepitoisuus kasvoi 0,0015 %:sta 0,0045 %:iin tuoreveden kulutuksen pienentyessä 70:stä 24:een kg/s. Kohonneet kiintoainepitoisuudet aiheuttavat häiriötä prosessin ajattavuuteen sekä heikentävät lopputuotteen laatua. Tähän voidaan vaikuttaa parantamalla kiintoaineen talteenottoa käyttämällä toista kiekkosuodinta sekä käyttämällä parempia menetelmiä kirkkaiden suodosten lisäpuhdistukseen. Myös LK-ainepitoisuudet kasvavat tuorevedenkäytön vähentyessä. Kasvanut LK-aineiden määrä aiheuttaa saostumia, jotka aiheuttavat ajettavuusongelmia prosessiin. LK-aineiden rikastumisen estäminen vaatii monia toimenpiteitä. Suodosten puhdistuksen parantamisen lisäksi myös kiertovesijärjestelmän pH tason nostolla on edullinen vaikutus LK-aineiden määrään vesikiertoissa.

Simulointi on hyvä apuväline kehitettäessä paperinvalmistusprosessia. Sen avulla voidaan yleisesti tarkastella paperinvalmistus prosessia sekä vertailla erilaisia kytkentöjä ja ajotapoja. Haluttaessa paras mahdollinen hyöty simulointiohjelmasta, täytyy simulointimalli rakentaa todellisesta käytössä olevasta paperinvalmistusprosessista. Prosessista tulee kerätä tarkat mittaustiedot ja niiden avulla rakentaa simulointimalli. Näin päästään parhaiden tutkimaan erilaisia ajotapojen ja kytkentöjen vaikutusta todellisuudessa. Tässä työssä ongelmia tuotti virtauskytkentöjen muuttaminen. Virtauksia ei voinut yhdistää laitteisiin suoraan, vaan ne täytyi kerätä nimellisiin välisäiliöihin, jollaisia ei todellisessa prosessissa välttämättä tarvitsisi. Jatkossa kannattaisi tutkia

virtauksien yhdistämismahdollisuuksia sekä säiliöiden parametrien asettamista helpommaksi, jolloin koko simulointimallia voidaan kehittää paremmaksi.

LÄHTEET

1. KnowPap, 10.4.2008
2. Hiltunen E, Papermaking science and technology, Book 17: Pulp and Paper Testing, Levlin, J. E, Sjöderhjelm, L, Fapet Oy, Helsinki, 1999
3. Alakangas E, Cactus Teknologiaohjelman Vuosikirja 1998, Vähävetinen paperinvalmistus –teknologian toteutus, Edelman K, VTT Energia, 1998
4. Alakangas E, Cactus Teknologiaohjelman Vuosikirja 1998, Vähävetinen paperinvalmistus –teknologian toteutus, Paperitehtaiden vedenkäytön vähentäminen – EKY 02, Pekuri T, Pekkanen A, UPM-Kymmene Oyj, 1998
5. Pohjalainen, K, Kapillaarisen kiekkosuodattimen tutkimus, diplomityö, LTKK, 1994
6. Halberthal, J, The Disc Filter, <http://www.solidliquid-separation.com/VacuumFilters/Disc/disc.htm>, [viitattu 10.4.2008]
7. Sundholm, J, Mechanical Pulping, Gummerus Printing, Jyväskylä 1991, p.345-346
8. Kärkkäinen, Taisto, Massa- ja kiertovesijärjestelmien prosessiselvitys painopaperitehdasintegraatissa., diplomityö, LTKK, 1995
9. Yleiskatsaus Balas-simulointiohjelmaan (viitattu 13.12.2005) [www-sivu]. Saatavilla:
<http://virtual.vtt.fi/virtual/balas/index.html?http&&&virtual.vtt.fi/virtual/balas/overview.html>
10. FloSheet-ohjelmiston kotisivut (viitattu 18.2.2006) [www-sivu]. Saatavilla:
http://www.coastform.co.uk/procede/intro_2.htm
11. Nurminen, M, Balas-simulointiohjelmisto ja sen soveltuvuus kemiantekniikan opetukseen Tampereen ammattikorkeakoululla, tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2006
Saatavilla:
<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4477/TMP.objres.505.pdf?sequence=1>
12. Vallittu, J, Päällystävän paperikoneen vesikiertojen mallinnus, diplomityö, LTKK, 2002
13. Mäkelä, K, Paperikoneen vesi- ja energia tehokkuuden parantaminen, diplomityö, LTY, 2007

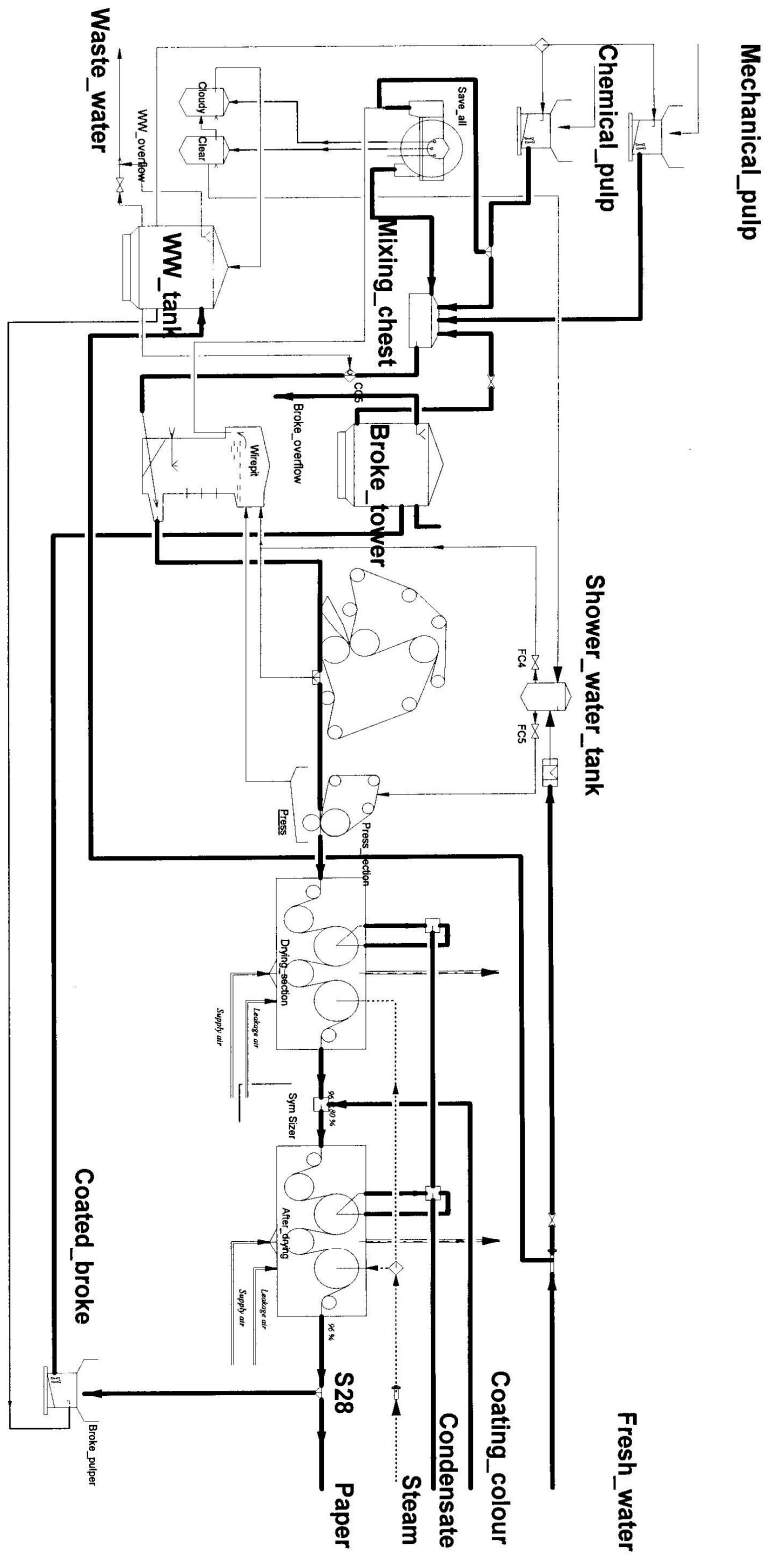
LIITTEET

Liite I

Vesitasemalli

Liite II

Taseiden tulokset



Taseiden tulokset

Liite II

FC_fresh_water Flowrate (kg/s)	Fresh_water Total flow kg/s	Waste_water Total flow kg/s	Waste_water Solid Softwood fraction
70	70	89,56494224	1
62,22222222	62,30619613	81,869082	0,999998306
54,44444444	55,19237898	74,75329893	0,999984819
46,66666667	48,73974011	68,29890522	0,999957655
38,88888889	42,94815294	62,50568767	0,999916558
31,11111111	37,81755339	57,37369249	0,99986126
23,33333333	33,34810982	52,9030555	0,999791487
15,55555556	29,54020356	49,09426789	0,999706949
7,777777778	26,39476491	45,94808382	0,999607344
0	23,9130512	43,46576677	0,999492351
	Waste_water		
Waste_water Solid CaCO3 fraction	Liquid Dissolved cellulose fraction	%STR007151 Total flow kg/s	%STR007151 Solid Softwood fraction
0	0,001443682	215,530621	1
1,69377E-06	0,001624767	215,535437	0,999998306
1,51811E-05	0,00183759	215,5397711	0,999984819
4,23446E-05	0,00208458	215,5434973	0,999957655
8,34423E-05	0,002370213	215,5465729	0,999916558
0,00013874	0,002696089	215,5489643	0,99986126
0,000208513	0,003061049	215,5506378	0,999791487
0,000293051	0,003457101	215,5515655	0,999706949
0,000392656	0,003866678	215,5517234	0,999607344
0,000507649	0,00425883	215,5510939	0,999492351
	%STR007151		
%STR007151 Solid CaCO3 fraction	Liquid Dissolved cellulose fraction	Condensate Total flow kg/s	Paper Total flow kg/s
0	0,001443682	15,30785	10,98779017
1,69377E-06	0,001624767	15,31938	10,99095704
1,51811E-05	0,00183759	15,34202	10,99454429
4,23446E-05	0,00208458	15,37412	10,99859084
8,34423E-05	0,002370213	15,41081	11,00316901
0,00013874	0,002696089	15,47061	11,00831917
0,000208513	0,003061049	15,54929	11,01404681
0,000293051	0,003457101	15,65024	11,0202683
0,000392656	0,003866678	15,77249	11,02676401
0,000507649	0,00425883	15,91709	11,03312197
		%STR000155	
		Liquid Dissolved cellulose fraction	%STR000155 Total flow kg/s
Steam Total flow kg/s	%STR000155 Dry content %		
15,3078514	0,148404049	0,001443682	155
15,31937763	0,166539301	0,001625041	162,7777778
15,34216302	0,188073367	0,001840389	170,5555555
15,37433171	0,213385839	0,002093522	178,3333341
15,41078959	0,243077219	0,002390447	186,1111111
15,47060316	0,277505789	0,002734745	193,8888889
15,54929089	0,316799399	0,003127696	201,6666666
15,65026656	0,360429626	0,003564015	209,4444448

15,77249925	0,406891636	0,004028652	217,2222226
15,91709565	0,453230937	0,004492063	225,0000003