Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Imatra
Prosessitekniikan koulutusohjelma

Teemu Väisänen

Staattisen kemikaalisekoittimen optimointi sellutehtaan koivuvalkaisulinjalle D2- vaiheeseen

Opinnäytetyö 2013

Tiivistelmä

Teemu Väisänen
Staattisen kemikaalisekoittimen optimointi sellutehtaan koivuvalkaisulinjalle D2-vaiheeseen, 74 sivua, 8 liitettä
Saimaan ammattikorkeakoulu Imatra
Prosessitekniikka
Ohjaajat:
lehtori Jarkko Männynsalo, Saimaan ammattikorkeakoulu
DI Kari Peltonen, Andritz Oy Kotka
DI Timo Perttula, Andritz Oy Kotka
DI Markku Kauppinen, UPM - Kymmene Kaukas

Opinnäytetyö tehtiin Andritz Oy:n kemikaali- ja massayksikölle Kotkaan. Tutkimuspaikkana oli UPM- Kymmene Oy:n Kaukaan tehdas Lappeenrannassa.

Opinnäytetyössä tutkittiin uuden staattisen kemikaalisekoittimen toimivuutta Kaukaan koivuvalkaisulinjalla, samalla tarkasteltiin sen kustannuksia ja kannattavuutta. Uusi sekoitinlaite vaihdettiin koivuvalkaisulinjaan D2-vaiheeseen vanhan dynaamisen sekoittimen tilalle. Kemikaalisekoittimen toimivuutta tarkasteltiin D2- vaiheeseen mittaus ja laboratoriotuloksilla. Tavoitteena oli saada laatu pysymään hyvänä ja tarkoitus oli säästää energiaa ja saada kemikaalikulutukset alhaisiksi.

Samalla oli tarkoitus tutkia kemikaalisekoittimien historiaa ja vertailla uusia staattisen kemikaalisekoittimien patentteja toisiinsa. Tavoite oli saada oikeat tulokset ja tuloksista johdettavat päätelmät.

Asiasanat: staattinen sekoitin, energian kulutus, kemikaalikulutus

Abstract

Author: Teemu Väisänen
Optimization of the Static Mixer in Birch Wood Bleaching Line in D2- Phase of a Pulp Mill
School: Saimaa University of Applied Sciences, Imatra
Process Engineering
Supervisor: Mr. Jarkko Männynsalo, MSc, Senior Lecturer, Saimaa UAS
Instructor: Mr. Kari Peltonen, MSc, Mr. Timo Perttula, MSc, Andritz Ag and Mr. Markku Kauppinen, MSc, UPM Kymmene Kaukas.

This final project was commissioned by Andritz Oy Chemicals and Fiber Division is mass unit in Kotka. UPM - Kymmene the study was the venue of Corporation is Kaukas mill in Lappeenranta.

This final year project was to study how the static mixers will work in a new place in the hard wood line where raw material is birch, - the bleach line in D2-phase of a pulp mill. I studied how the new mixer was working, how it can save energy and how profitable it was. The purpose of this project was to study the measurement results and different laboratory results. The main thing was to get low consumption of chemicals.

The static mixer was a new patent of Andritz Ag. Replacing the dynamic mixer.

Keywords: Static Mixers, Consumption of Energy, Consumption of Chemicals

Sisältö

1 Johdanto……..……..6
2 Puunkäsittely……..……..7
2.1 Puun kuljettaminen ja varastointi…..7
2.2 Puun kuorinta.....7
2.3 Haketus.....7
2.4 Hakkeen seulonta ja varastointi.....8
3 Keitto…..9
3.1 Massan pesu……..10
3.2 Keittokemikaalien talteenotto.....11
3.3 Massan lajittelu.....13
4 Massan valkaisu…..13
4.1 Valkaisun tavoite.....13
4.2 Valkaisun sekvenssit.....14
4.3 Valkaisukemikaalit.....16
4.3.1 Klooridioksidi, ClO_3.....16
4.3.2 Happi, O_2.....16
4.3.3 Vetyperoksidi, H_2O_2.....17
4.3.4 Natriumhydroksidi, NaOH.....17
4.3.5 Natriumbisulfiitti, $NaHSO_3$.....17
4.3.6 Rikkihappo, H_2SO_4.....17
4.4 Klooridioksidi valkaisu.....18
4.5 Klooriton valkaisu…….....18
4.6 Mekaanisen massan valkaisu…….....18
4.7 Sellun kuivaus ja varastointi.....21
4.7.1 Sellun kuivaus.....21
4.7.2 Sellun varastointi.....21
5 Valkaisuvaiheen laitteet…….....22
5.1 Pesuri…….....23
5.2 Pudotusputki.....23
5.3 MC- pumppu.....24
6 Kemikaalisekoittimia…….....27
6.1 Dynaamisia sekoittimia.....28
6.1.1 Andritz Amiz.....29
6.1.2 Kamyr MC- sekoitin (GL&V).....30
6.2 Staattisia sekoittimia.....31
6.2.1 Komax, US 3,923,288…….....31
6.2.2 Kvaerner pulping AB, US 6,347,883 B1.....35
6.2.3 Metso paper, US 2005/083780 A1.....36

7. Kaukaan koivuvalkaisu.....39
7.1 Koivuvalkaisun valkaisusekvenssit.....39
7.1.1 A- vaihe.....39
7.1.2 D0- vaihe.....40
7.1.3 E1- vaihe.....40
7.1.4 D1- vaihe.....40
7.1.5 E2- vaihe.....41
7.1.6 D2- vaihe.....41
7.2 Rauma Repola- tappisekoitin.....43
7.3 Staattisen sekoittimen optimointi.....44
7.4 D2- vaiheen putkisto.....45
7.5 Dynaamisen ja staattisen sekoittimien eroja.....46
8. Tulokset.....47
8.1 Kappaluku.....47
8.2 Vaaleus.....47
8.3 pH- arvot.....48
8.4 Kemikaalikulutukset.....48
8.5 Trendit.....48
8.5.1 Huhtikuu.....48
8.5.2 Heinäkuu.....52
8.5.3 Marraskuu ensimmäinen viikko.....55
8.5.4 Marraskuu toinen viikko.....58
8.5.5 Joulukuun ensimmäinen tarkastelujakso.....61
8.5.6 Joulukuun toinen tarkastelujakso.....64
8.5.7 Referenssiviikko.....67
9 Yhteenveto.....70
Kuvat.....72
Kuviot.....73
Taulukot.....73
Lähteet.....74

Liitteet

Liite 1 Kemikaalikulutukset heinäkuu
Liite 2 Kemikaalikulutukset marraskuu
Liite 3 Kemikaalikulutukset joulukuun ensimmäinen jakso
Liite 4 Kemikaalikulutukset joulukuun toinen jakso
Liite 5 Kemikaalikulutukset Referenssiviikko tammikuu
Liite 6 Laboratorion uuteaineprosentti
Liite 7 Laboratorion valkaisutulokset
Liite 8 Laboratorion viskositeettitulokset

1 Johdanto

Työ tehtiin Andritz Oy:lle Kotkaan. Andritz Oy on itävaltalaisen Anditz Ag:n tytäryhtiö. Se valmistaa selluteollisuuden prosessilaitteita ja on yksi suurimmista massa - ja paperiteollisuuden laitevalmistajista maailmassa.

Työ tehtiin UPM- Kymmene Oyj:n Kaukaan sellutehtaan kanssa Lappeenrannassa. Kaukaan sellutehtaalla on tavoitteena tehdä 720 000 tonnia sellua vuodessa, ja se on yksi suurimmista sellutehtaista Suomessa.

Työssä tutkittiin staattisen kemikaalisekoittimen soveltuvuutta UPM- Kymmene Kaukaan koivuvalkaisulinjalla D2- vaiheessa. Työssä otettiin huomioon eri kuukaudet, joissa verrattiin vanhaa ja uutta sekoitinta keskenään.

Tutkittava sekoitin asennettiin syyskuun seisakissa 2011 viikolla 37. Valkaisuvaiheen toimintaa tarkasteltiin ennen ja jälkeen seisokin. Työn tavoitteena oli saada kemikaalit sekoittumaan hyvin staattisessa sekoittimessa ja tarkoitus oli saada pysymään tavoiteltu valkaisutulos. Työssä otettiin huomioon kemikaaliannostukset ja laboratoriotulokset. Tärkeätä työn kannalta oli myös se, että uusi staattinen kemikaalisekoitin säästää energiaa ja kunnossapitokuluja.

2 Puunkäsittely

2.1 Puun kuljettaminen ja varastointi

Sellun valmistamiseen kuuluu useita eri osaprosesseja. Ensimmäisenä on raaka- aineen kuljetus. Puut tuodaan tehtaalle auto-, juna-, laiva- tai uittokuljetuksena.

Kuorellinen puu voidaan varastoida vedessä, kun puut tuodaan vettä pitkin. Auto-, juna- tai laivakuljetuksena tuleva puutavara varastoidaan lajeittain asfalttikentille. Näin pyritään välttämään maa - aineksen tulo prosessiin. (1.)

2.2 Puun kuorinta

Varastoinnin jälkeen puut kuoritaan. Yleensä tehtailla on havu- ja koivukuorintaan omat linjat. Kuorinta tehdään rumpukuorintakoneilla. Siellä puut hankaavat toisiaan ja rummun seinämää vasten, jolloin kuoret irtaantuvat toisistaan.

Rummuissa kuorinta voidaan suorittaa märkä- tai kuivakuorintana. Märkäkuorinnassa rumpuun syötetään vettä, ja silloin loppupää toimii kuivana. Kuoret poistuvat rumpuvaipan kuoriaukoista ja putoavat kuorenkeräyskuljettimelle, josta kuljetin vie kuoren käsittelyyn.

2.3 Haketus

Sellun valmistuksessa haketus on välttämätön osa prosessia. Puu täytyy saada pieniksi palasiksi, jotta keittoliuos pystyy imeytymään hyvin puun sisään. Näin se pystyy reagoimaan puussa olevan ligniinin kanssa.

Keittoliuoksen imeytyminen tapahtuu osittain diffuusion voimalla ja osittain tunkeutumalla. Tarkoitus on saada hakkeet ja keittoliuokset toimimaan hyvin jatkoprosesseissa. (1.)

2.4 Hakkeen seulonta ja varastointi

Hakkeet jaetaan seuraavasti:

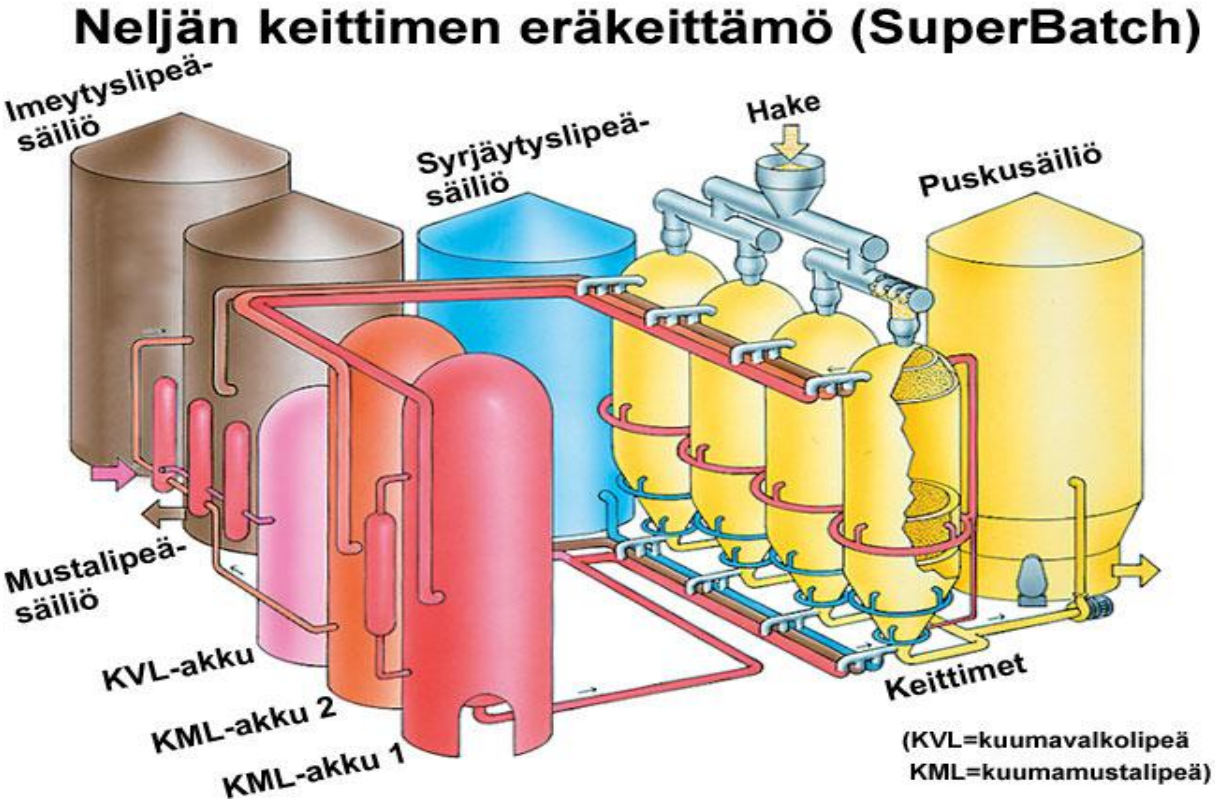
Ylisuuri jae palautetaan murskaukseen ja uudelleen haketukseen. Pienennyksen jälkeen se lajitellaan uudestaan. Ylisuuret jakeet kypsyvät epätasaisesti ja sisäosat jäävät keittymättä. Siksi ne haketetaan uudestaan ja näin saadaan parempi keittotulos. Oksajakeen osuus kasvaa keiton jälkeen.

Ylipaksu jae johdetaan paksuusseulonnassa litistäviin mankeihin. Tasoseulonnassa edelliset jakeet voivat olla yhdessä.

Hyväksytty jae, jonka palakoko on oikea kuidutukseen, johdetaan eräkeittoon. Se voidaan myös hiertää hierrejauhimessa. Tikkujae erotetaan hakevirrasta ja palautetaan hakevirtaan hallitusti. (1.)

3 Keitto

Kaukaan sulfaattisellutehtaalla on Super Batch – eräkeittämö, jossa on havupuulle kahdeksan keitintä ja koivupuulle neljä keitintä. Sulfaattikeiton tarkoituksena on poistaa puukuituja toisiinsa sitova ligniini, joka on keskittynyt välilamelliin ja sekundääriseinään. Keitto tapahtuu voimakkaasti alkalisella liuoksella. Seuraavassa kuvassa esimerkki Super Batch – eräkeittämöstä.



Kuva 1. Esimerkki keittämöstä (4.)

Keittimessä käytetään lämmitykseen höyryä, joko suorasti tai epäsuorasti. Keittoaika ja sen lämpötila muodostuvat siitä, mikä ligniinipitoisuus massalle halutaan. Keittämöä ohjataan pääsääntöisesti video- ja automaatiovalvonnalla. Ohjaamosta ohjataan digitaalisesti prosessia, joka mahdollistaa laitteiden pysäytykset ja käynnistykset halutussa järjestyksessä sekä vaarallisten kohteiden lukitukset. (1.)

3.1 Massan pesu

Pesun tärkeimmät perustoiminnot ovat laimennus, sakeutus ja syrjäytys. Mekaaninen työ näiden yhteydessä auttaa massan puhdistumista. Käytännössä näitä toimintoja tapahtuu samanaikaisesti. Näin ollen mikään pesumenetelmä ei perustu vain yhteen toimintoon, vaikka suurin osa massan puhdistamisesta saattaa olla sen aikaansaama. Jos pesuun laitetaan liikaa vettä, niin se laimentaa liikaa mustalipeää ja vaikeuttaa talteenottolinjan toimintaa. Laimennuskerroin (Dilution Factor) on käytetyn pesunesteen ja massan mukana poistuvan nesteen erotus massatonnia kohden. Laimennuskerroin lasketaan seuraavan kaavan 1 mukaan.

$$DF = V2 - L2 \qquad (1)$$

V2 on pesuvesimäärä t/t massaa
L2 on pesulaitteesta poistuvassa massassa oleva nestemäärä t/t massaa (2.)

Pesun neljä tavoitetta

1. Sellun ja keittoliemen erottaminen toisistaan
2. Keittoliemen kemikaalien talteenotto käytettäväksi uudelleen
3. Liuenneen perusaineksen talteenotto polttoaineeksi
4. Ympäristöä likaavien päästöjen eliminointi

Massan pesu tapahtuu heti keiton jälkeen. Pesun tarkoituksena on erottaa kuituvirrasta keiton aikana liuennut puuaines sekä keittokemikaalit eli ns. jäteliemi. (1.)

3.2 Keittokemikaalien talteenotto

Keiton aikana liukenevat noin puolet puun painosta. Keittoliuoksen väri muuttuu mustaksi ja siksi sitä kutsutaan mustalipeäksi. Mustalipeä koostuu kuiva-aineesta ja vedestä. (1.)

Talteenotossa käytetystä keittoliuoksesta ja mustalipeästä on tarkoitus haihduttaa vettä niin paljon, että se voidaan polttaa. Talteenottolinja tuottaa lämpöenergiaa yli oman tarpeen. Poltossa talteen otetut kemikaalit käytetään uudelleen valmistaessa uutta keittoliuosta eli valkolipeää. (1.)

Karkealajittelussa oksamassa erotetaan pois ja syötetään takaisin keittoon. Sillä parannetaan keiton saantoa. Keiton aikana puusta irtoaa raakatärpättiä, raakasuopaa ja haisevia orgaanisia yhdisteitä. Raakatärpätti eroaa kaasuina ja se lauhdutetaan nestemäiseen muotoon. Raakasuopa eroaa mustalipeästä keiton jälkeen lipeäsäiliössä. Mäntysuopa keitetään hapolla mäntyöljyksi. Väkevät hajukaasut poltetaan meesauunissa, ja laimeat hajukaasut syötetään soodakattilaan tertiääri- ilman joukkoon. Talteenottolinja täytyy suunnitella ja rakentaa huolellisesti, siihen kuuluu eristykset, ja laitteita joudutaan uusimaan tietyn väliajoin. Uusiminen johtuu laiterikosta tai niiden käyttöiän loppumisesta. (1.)

Oikein suoritetulla haketäytöllä on ratkaiseva merkitys siihen, että tulokseksi saadaan mahdollisimman hyvää ja tasaista massalaatua. Ensin vaaditaan hyvin valvottu automaatiojärjestelmä, josta huomataan keitosta toiseen, että hakemäärä pysyy samana. Eri puumäärät vaikuttavat alkalisuhteeseen, ja massan kovuusluku vaihtelee. Lehtipuu pehmenee nopeammin kuin havupuu, koska se sisältää vähemmän ligniiniä. Eri vuodenajat ovat tärkeitä hakkeen

kannalta. Kesäpuun kuidut ovat parempia, koska ne säilyttävät paremmin putkimaisen muotonsa kuin kevätpuut. (3.)

Taulukossa 1. on valkolipeän määrittely

Kokonaisalkali, g/l	Kaikki Na-yhdisteet	$NaOH, Na_2S, Na_2CO_3, Na_2SO_4$, $Na_2S_2O_3, Na_2\ SO_3$
Vaikuttava alkali, g/l (aktiivialkali)	**$NaOH + N_2S$**	Eniten keittoon vaikuttavat kemikaalit
Tehollinen alkali, g/l	**NaOH +** 1/2**Na_2S**	**S^{2-}** + **HS^-** + **OH^-** (reaktion oltava täydellinen)
Sulfiditeetti, %	$\frac{Na_2S}{NaOH+NaS_2} * 100$	Na_2S:n muodossa oleva aktiivinen alkali
Kaustisoitumisaste, %	$\frac{NaOH}{NaOH+Na_2CO_3} * 100$	Kaustisointireaktio $Ca(OH)_2+NaCO_3 = 2\ NaOH+ CaCO_3$
Pelkistymisaste, %	$\frac{Na_2S}{Na_2S+Na_2SO_4} * 100$	Reduktioaste kertoo, kuinka suuri osa $NaSO_4$ on pelkistynyt Na_2 S:ksi

Taulukko 1. Keittoliemenä käytetyn valkolipeän määrittely (1.)

3.3 Massan lajittelu

Keiton jälkeen massassa on epäpuhtauksia esim. oksia ja tikkuja. Niistä on päästävä eroon, jotta massa voi jatkaa seuraavaan prosessiin. Puhdistus tapahtuu pääasiassa lajittamossa, mutta sitä tapahtuu myös muissa osaprosesseissa. Lopputuotteen, joka menee myyntiin tai paperikoneelle, täytyy sisältää mahdollisimman vähän epäpuhtauksia. Prosessikehitys on viime vuosina vähentänyt lajittamoiden kuormittuneisuutta. Laitteet ovat nykyisin parempia, ja niitä kehitetään vuosi vuodelta enemmän. (1.)

Lajittelu tehdään yleensä kahdessa prosessivaiheessa:

ruskealle massalle ennen valkaisua ja

valkaistulle massalle jälkivalkaisun jälkeen

Lajittimeen tulevaa massaa kutsutaan lajittelun syötöksi. Aksepti on hyväksytty jae ja rejekti on hylätty jae. Rejektisuhde on lajittimen rejektivirta suhteessa syöttöön. (1.)

4. Massan valkaisu

4.1 Valkaisun tavoite

Valkaisussa vaaleutta pyritään nostamaan halutulle tasolle, ja valkaisu sisältää yleensä 4 - 5 vaihetta. Ennen valkaisua massa pestään ja lajitellaan, jotta valkaisuun tulevien epäpuhtauksien määrä olisi mahdollisimman pieni. Massan valkaisuun vaikuttaa esimerkiksi vielä puuraaka - aine, vesikiertojen rakenne, suodosten epäpuhtaudet ja sulkemisaste. (4.)

Valkaisun tärkein tavoite on nostaa massan vaaleutta ja puhtautta poistamalla värillisiä aineita. Suurin väriä aiheuttava aine on jäännösligniini. Se tulee poistaa

tai vaalentaa mahdollisimman tarkoin ja selektiivisesti. Kemialliset massat valkaistaan aina ligniiniä poistavalla tavalla. (4.)

Happi on uuttava ligniiniä poistava kemikaali. Peroksidi on pinta - aktiivinen kemikaali. Klooridioksidilla on molemmat ominaisuudet.

Valkaisussa on lopussa laatutavoite, johon pyritään, ja valkaisumalleja on erilaisia. Kemialliset massat valkaistaan ligniiniä poistamalla, ja mekaaniset massat ligniiniä säästävällä tavalla. (1.)

Kemikaalit pystyvät pilkkomaan jäännösligniinin vesi- tai alkaliliukoisiin osiin mahdollisimman vähäisellä vaikutuksella hiilihydraatteihin (eli saantoon ja lujuuteen) (4.)

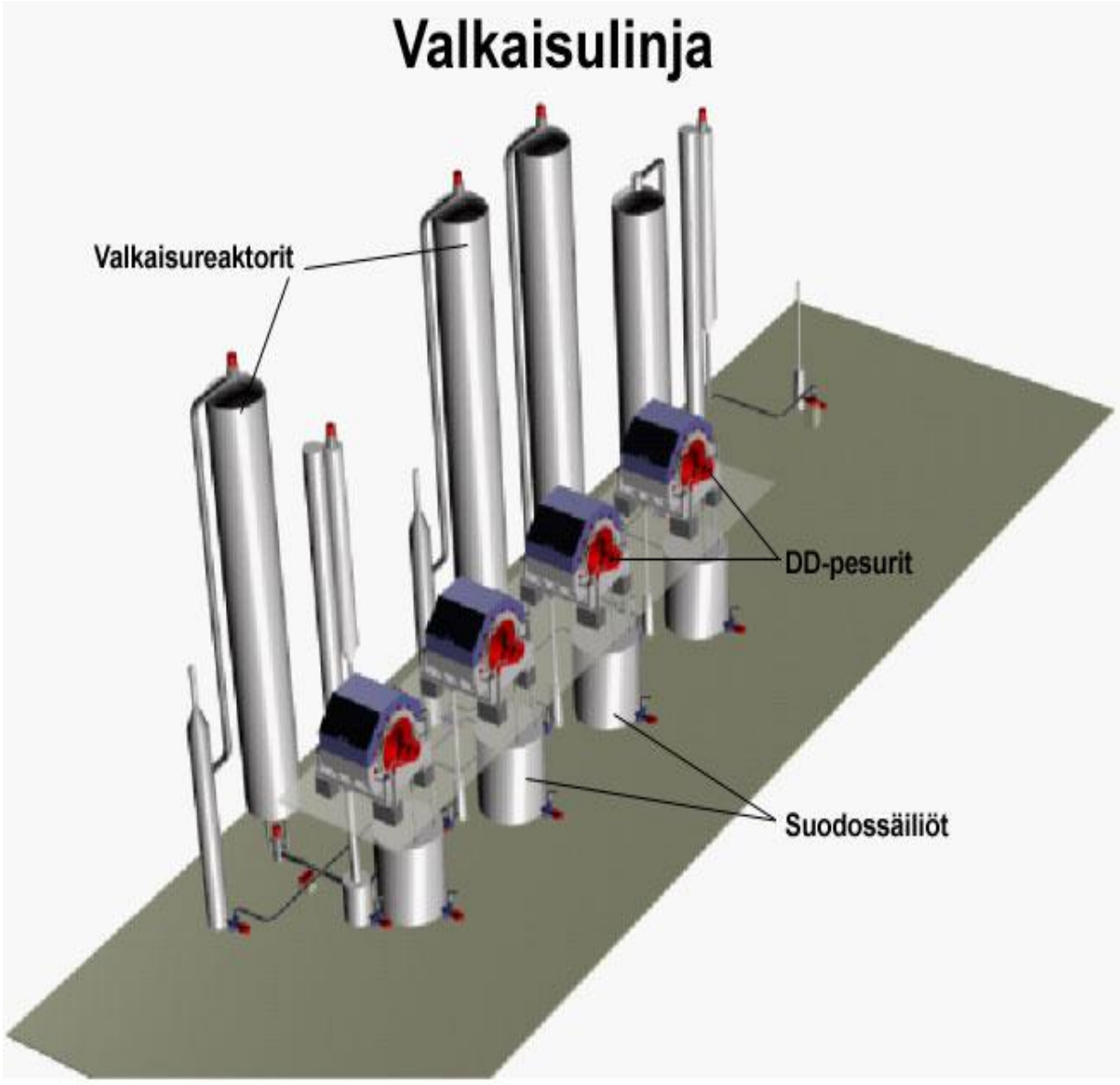
4.2 Valkaisun sekvenssit

Valkaisutavoitteena on poistaa ligniini mahdollisimman taloudellisesti ja ympäristölle ystävällisesti. Valkaisu on vuosien varrella kehittynyt kovasti, mutta se on silti suurin veden kuluttaja ja jätevesipäästöjen tuottaja. Ihmisten turvallisuus on otettava huomioon jokaisessa prosessissa. (1.)

Tyypillisesti valkaistu massa on tasolla ISO 86 – 92 % - vaaleus. Vaaleuden tavoite riippuu siitä, mitä lopputuotetta halutaan ja mistä puuraaka- aineesta sitä tehdään. Valkaisu koostuu erilaisista sekvensseistä, joissa käytetään erilaisia kemikaaleja ja reaktioita. Valkaisukemikaalien yhteisreaktiot tekevät valkaisusta tavoitteellisen tuloksen. Siinä on vuorotellen happamia ja emäksisiä vaiheita. Happamissa vaiheissa kemikaaleina käytetään klooridioksidia, emäksisissä vaiheissa massasta uutetaan korkeassa lämpötilassa reaktiotuotteet kuiduista. On tärkeää, että massa on hyvin pesty ennen valkaisua. Valkaisussa voi olla esimerkiksi seuraavia sekvenssejä

- D-E-D-E-D
- D-E-D-D
- D-EOP-D-PO

Seuraavassa kuvassa on esimerkki valkaisulinjasta.



Kuva 2. Esimerkki valkaisujärjestelmästä. (4.)

Kemikaalien sekoitus massaan on erittäin tärkeä osa prosessia. Kemikaali täytyy sekoittaa massaan hyvin, jotta saadaan tuotteesta tasalaatuista. Huono sekoitus lisää kemikaalikulutusta, energiankulutusta ja huonontaa samalla valkaistun massan laatua. (5.)

4.3 Valkaisukemikaalit

4.3.1 Klooridioksidi, ClO_2

Valkaisussa käytetään monia eri kemikaaleja. Klooridioksidi on D- vaiheen valkaisukemikaali. Se on kaasuna myrkyllinen, vihertävää, ärsyttävää ja pistävän hajuista. Klooridioksidin valmistusmenetelmiä on useita. Perusaineena käytetään natriumkloraattia. Kloraatti pelkistetään rikkidioksidilla, natriumkloridilla, metanolilla, suolahapolla tai kromihapolla happamissa olosuhteissa. (1.)

Kaukaalla se valmistetaan laimeana kaasuna, varastoidaan ja käytetään laimeana vesiliuoksena. Väkevyys vaihtelee lämpötilan mukaan 16:sta 24:ään g akt. Cl/l. Klooridioksidi on herkästi hajoavaa ja voi räjähtää ulkoisista ärsykkeistä. (6.)

4.3.2 Happi, O_2

Happea käytetään O, EO, EOP ja PO- vaiheessa. Se on väritön, hajuton, mauton ja vähän ilmaa raskaampi kaasu. Vapaa happi reagoi helposti muiden aineiden kanssa. Happi ylläpitää palamista. Happi ei ole syttyvää, mutta se lisää tulipalon voimakkuutta. Kaasumainen happi reagoi helposti monien orgaanisten ja epäorgaanisten kemikaalien kanssa aiheuttaen palo- ja räjähdysvaaran.

Yleinen tapa on jäähdyttää ilma nesteeksi, jonka jälkeen se erotetaan tislaamalla. Toinen tapa hapen valmistukseen on absorptiomenetelmä. Se perustuu molekyyliseulaan, jossa tapahtuu ilman kaasujen erottelu. Molekyyliseula koostuu zeoliitti – ja alumiinioksidilevyistä, joita on seulassa

vuorotellen. Typpi, hiilidioksidi ja vesi jäävät seulaan, sen sijaan happi ja argon kykenevät virtaamaan seulan läpi. Tämä absorptiomenetelmä tuottaa noin 95 – prosenttista happea. (6.)

4.3.3 Vetyperoksidi, H_2O_2

Vetyperoksidi on P, EOP ja PO- vaiheen kemikaali. Se on kirkas ja hajuton neste. Yleensä se tuodaan tehtaalle 50 - prosenttisena vesiliuoksena. Se on erittäin voimakas hapetin, jonka käsittely vaatii varovaisuutta.

Kaukaan sellutehtaalle vetyperoksidi laimennetaan käyttötarkoituksen mukaan käyttöväkevyyteen. (6.)

4.3.4 Natriumhydroksidi, NaOH

Natriumhydroksidia käytetään E- vaiheessa. Kloorausvaiheessa syntyneet klooriligniinit on tarkoitus poistaa tässä vaiheessa NaOH:lla.

Natriumhydroksidiannosta säädetään ensimmäisessä alkalivaiheessa pH:n avulla 10,5 - 11,00. Vaiheen lämpötila täytyy olla 70 - 78 °C. (6.)

4.3.5 Natriumbisulfiitti, $NaHSO_3$

Natriumbisulfiitti on epäorgaaninen ioniyhdiste. Sitä käytetään selluteollisuudessa pelkistämään aktiivinen kloori.

Tätä käytetään D- vaiheiden jälkeen. Mitä enemmän sitä käytetään sitä huonommin prosessi on edennyt. (6.)

4.3.6 Rikkihappo, H_2SO_4

Rikkihappo on voimakas ja syövyttävä veteen liukeneva epäorgaaninen yhdiste. Sitä käytetään koivuvalkaisussa A-vaiheessa.

Se on yksi teollisuuden tärkeimmistä kemikaaleista. Rikkihappoa voidaan käyttää myös muihin teollisuuden tarpeisiin. (6.)

4.4 Klooridioksidi valkaisu

ECF- valkaisussa (Elementary Chlorine Free) ei käytetä ollenkaan kloorikaasua vaan klooridioksidia. Kemiallisessa reaktiossa liukoiseksi muuttunut ligniini uutetaan massasta irti alkalisilla kemikaaleilla.

Massaan sekoitetaan happea ennen alkalivaihetta. Happi tehostaa ligniinin poistoa. Klooridioksidin on tarkoitus poistaa jäännösligniini miltei kokonaan. (7.)

4.5 Klooriton valkaisu

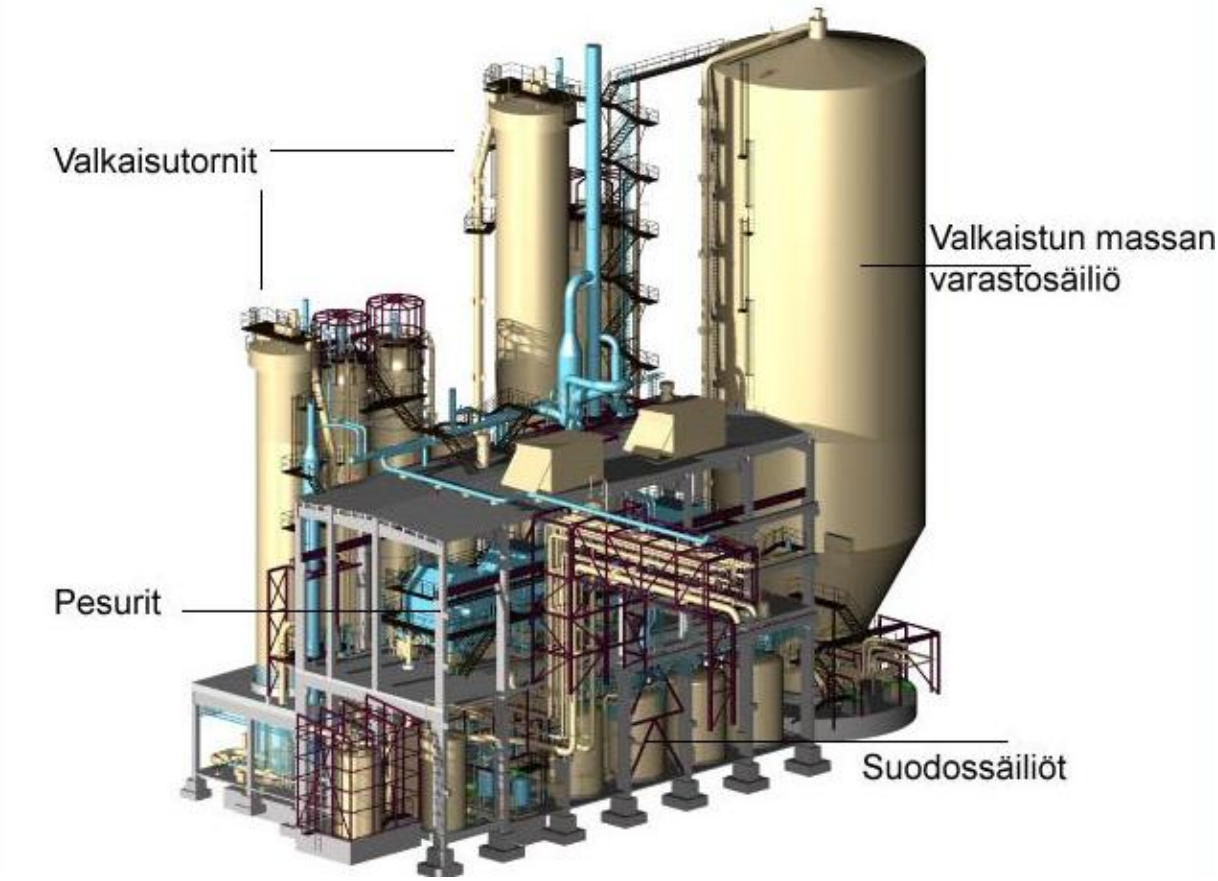
Täysin kloorittomassa valkaisussa eli TCF- valkaisussa (Total Chlorine Free) ei käytetä ollenkaan kloorikemikaaleja vaan peroksidia ja otsonia, kun otsoni lisätään peroksidiin, saadaan myös enemmän ligniiniä sisältävistä havupuu massoista vaaleita.

Otsonia ei voida varastoida,+ vaan se pitää valmistaa tehtaalla. Valkaisussa käytettävän otsonin konsentraatio on 10 - 12 paino- %, loput kaasuseoksesta on happea ns. kantokaasua. (7.)

4.6 Mekaanisen massan valkaisu

Mekaanisen massan valkaisun tavoitteena on parantaa massan vaaleutta ja puhtautta. Mekaanisen massan valmistuksessa lähes kaikki puuaines jätetään massaan. Massa valkaistaan siten, että siitä poistetaan mahdollisimman vähän ligniiniä. Kemialliseen massan valkaisuun verrattuna ero on siinä, että ligniiniä ei poisteta, vaan ligniinin värilliset yhdisteet pyritään ainoastaan muuttamaan värittömään muotoon. Tämä tapahtuu joko hapettavilla tai pelkistävillä valkaisukemikaaleilla.

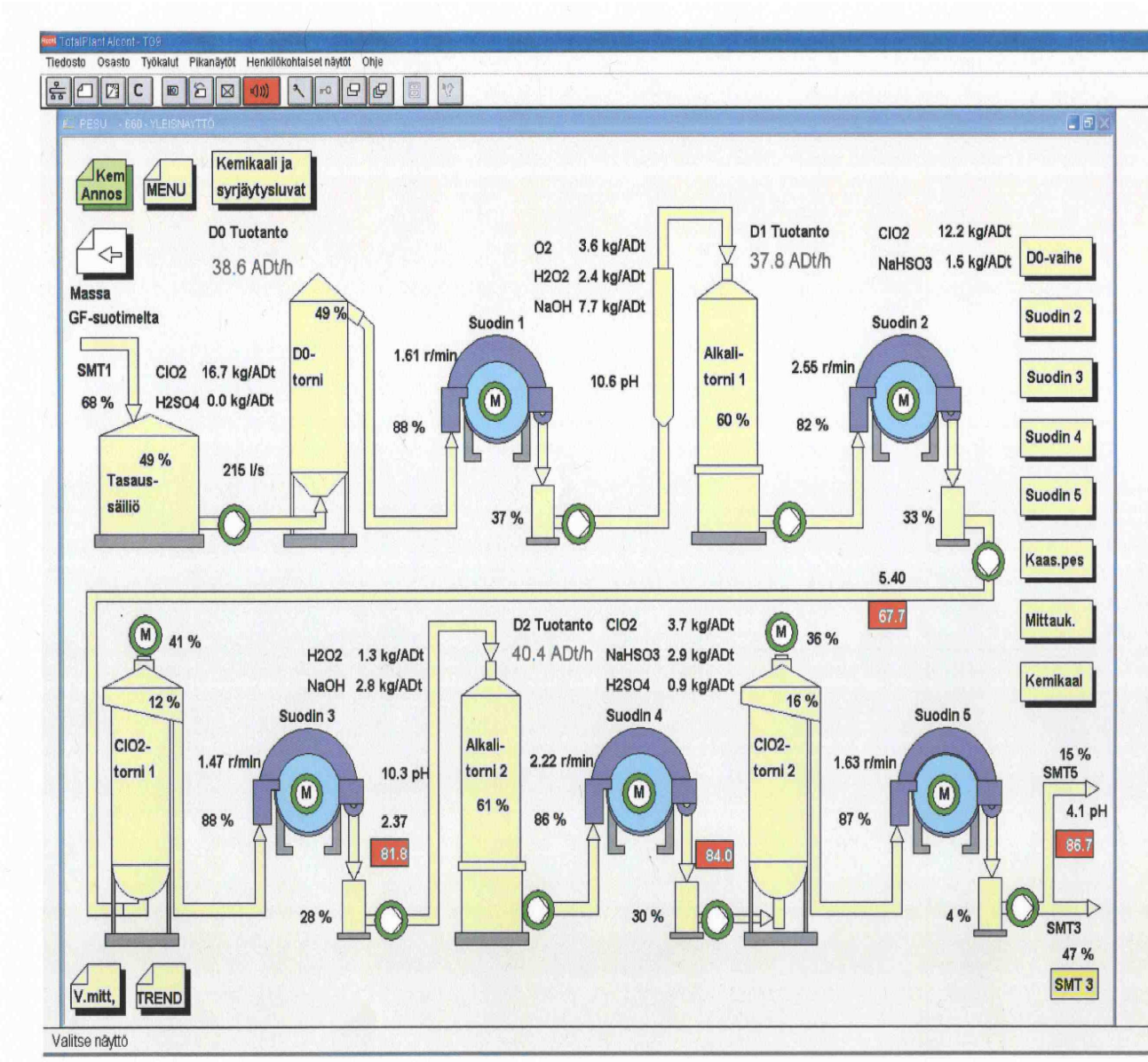
Hapettavista valkaisukemikaaleista yleisin on vetyperoksidi. Pelkistävistä yleisin valkaisukemikaali on natriumditioniitti. Nykyisin ollaan laatuvaatimusten vuoksi menossa hapettavien valkaisumenetelmien käyttöön. Seuraavassa kuvassa 3. esimerkki valkaisimosta. (7.)



Kuva 3. Esimerkki valkaisimosta (4.)

Kuvassa 3 on valkaisimon periaatekuva. Kuvassa havaitsemme suodossäiliöt, pesurit, valkaisutornit ja valkaistun massan varastosäiliö.

Kuvassa 4 seuraavalla sivulla on esimerkki Kaukaan koivuvalkaisusta.



Kuva 4. Näyttökopio Kaukaan koivuvalkaisusta

Kuvassa havaitaan kemikaalien annostukset, vaaleudet, suotimien nopeudet, tuotantomäärät, pH: t ja säiliöissä olevat määrät prosentteina.

4.7 Sellun kuivaus ja varastointi

Kaukaan sellutehtaalla on kaksi eräkeittämöä havupuulle ja koivupuulle. Havupuu pumpataan keiton ja valkaisun jälkeen suoraan paperitehtaalle pumppumassana jauhatusosastolle, joka edeltää ennen paperikonetta.

Jos sellu täytyy kuljettaa jollekin toiselle paperitehtaalle koti - tai ulkomaille, on se silloin ensin kuivatettava kuivauskoneella kaikkien prosessien jälkeen. Asiakkaat täytyy pitää tyytyväisenä ja sen takia omalla tehtaalla tutkitaan sellun ominaisuuksia.

4.7.1 Sellun kuivaus

Kuivauskone koostuu eri osista

- Perälaatikko, josta laimennettu massasulppu johdetaan viiraosalle.
- Viiraosa, jossa massa rainataan ja siitä poistetaan vettä.
- Puristinosa, jossa vettä poistetaan puristamalla.
- Kuivatusosa, jossa suoritetaan massan rainan lopullinen kuivatus.
- Massa jäähdytetään ja leikataan arkeiksi.
- Paalausosa, jossa sellu paalataan kuljetettavaksi ja varastoitavaksi. (1.)

Kuivauskoneella tapahtuva prosessi on tärkeä tehtaalle, koska tuotanto riippuu kuivatusta sellusta. Katkoja täytyy välttää ja tuotantoa on jatkettava.

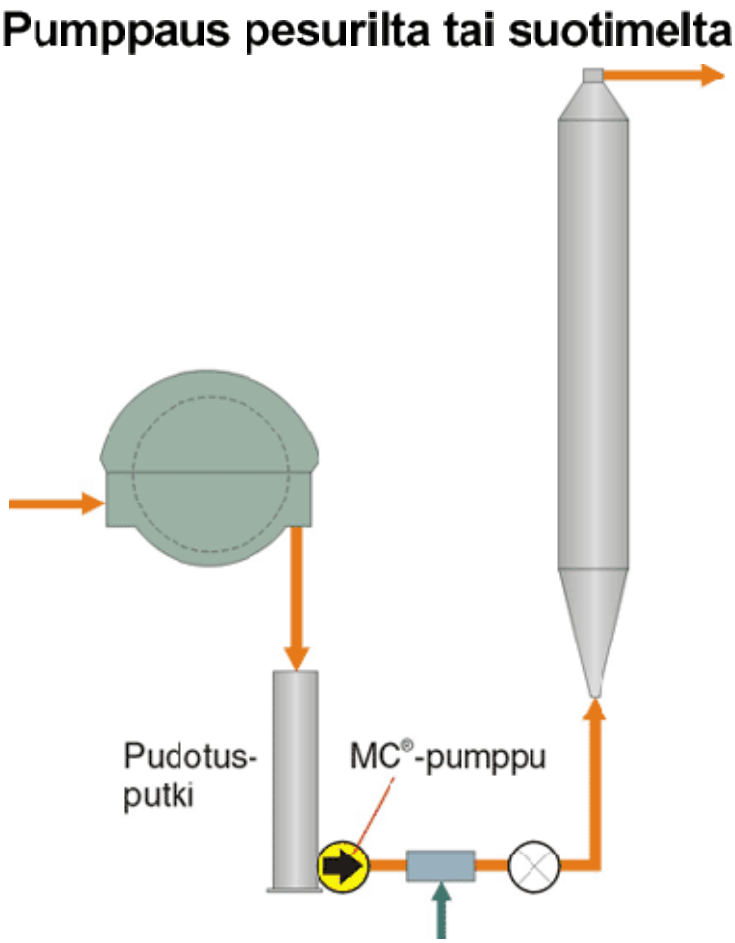
4.7.2 Sellun varastointi

Kaukaalla on molemmilla kuivauskoneilla omat varastotilat, joista suoraan voidaan lastata selluarkit junaan tai rekka - autoihin. Lastauksen tekevät trukkikuskit, joita on yksi henkilö omassa vuorossa ja päivävuorossa toimii lastaajina useat henkilöt.

Varastot lastataan järjestelmällisesti sellun laadun mukaan. Järjestelmällisyys auttaa selluarkkien toimitusta tehtaalta eteenpäin. Trukkia ajaessa täytyy turvallisuus ottaa huomioon.

5. Valkaisuvaiheen laitteet

Valkaisuvaiheessa on pesuri, pudotusputki, MC-pumppu, kemikaalisekoitin ja reaktiotorni. Kuvassa 5. huomataan pumppaus pesurilta tai suotimelta.



Kuva 5. Esimerkki valkaisun laitteistoista (4.)

Kuvassa havaitaan massan kulku pesurilta pudotusputkeen. Pudotusputken jälkeen tulee MC – pumppu, josta massa kulkee kemikaalisekoittimelle.

Kemikaalisekoittimessa massaan syötetään valkaistava aine eli klooridioksidi. Tämän jälkeen reaktiotornissa tapahtuu valkaisureaktio, josta massa on valmis seuraavaan prosessiin.

5.1 Pesuri

Valkaisussa massa pestään pesurissa vedellä hyvin ja näin saadaan massasta ylimääräiset likaisuudet pois. Ligniinin ja epäpuhtauksien poiston seurauksena massa vaalenee.

Massan seasta poistuu myös valkaisuprosessissa epäpuhtauksia, joita siihen on jäänyt pesuvaiheen jälkeen. Pesun tarkoituksena on palauttaa mahdollisimman suuri osa keittokemikaaleista takaisin kemikaalikierron kautta keittoon ja vähentää näin kemikaalikustannuksia.

5.2 Pudotusputki

Pudotusputkeen menevään massaan on tarkoitus annostella eri kemikaaleja ennen MC- pumppua. Pudotusputkesta nähdään lasireiästä massan väri ja siitä voidaan päätellä laatua.

Reaktio- olosuhteiden, kemikaalipitoisuuksien ja lämpötilan täytyy olla oikeissa suhteissa, jotta kemiallinen reaktio tapahtuu erinomaisesti, kun kemikaali saavuttaa reaktiovyöhykkeen pudotusputkessa.

5.3 MC- pumppu

Pumpun toiminta perustuu kuvan 6 mukaisesti viiteen alueeseen.

A. Homogenisointi ja fluidisointialue, jossa juoksupyörä hajottaa massan kuituverkoston.

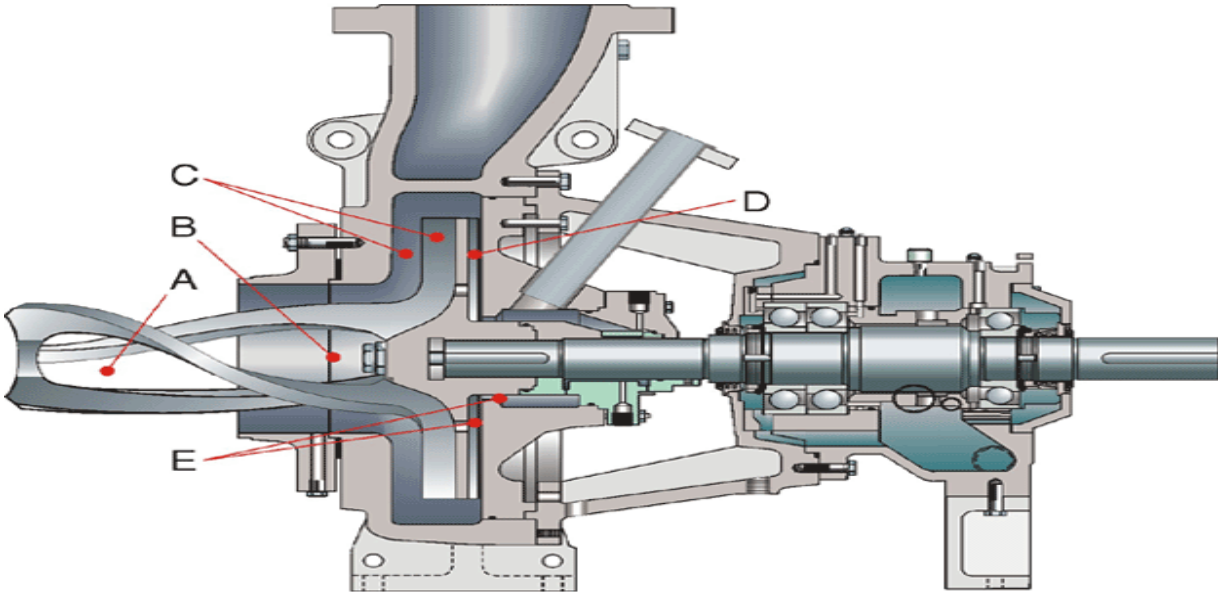
B. Kaasun erotusalue

C. Pumppausalue, jossa juoksupyörän siivet pumppaavat massaa eteenpäin.

D. Kuitujen palautusalue, jossa kaasualueelta kaasun mukana tulevat kuidut palautetaan takaisin pumppaukseen juoksupyörän takasiipien avulla.

E. Kaasun poistoalue, jossa kaasu poistetaan kaasunpoisto yksikköön.

MC- pumppu seuraavassa kuvassa.

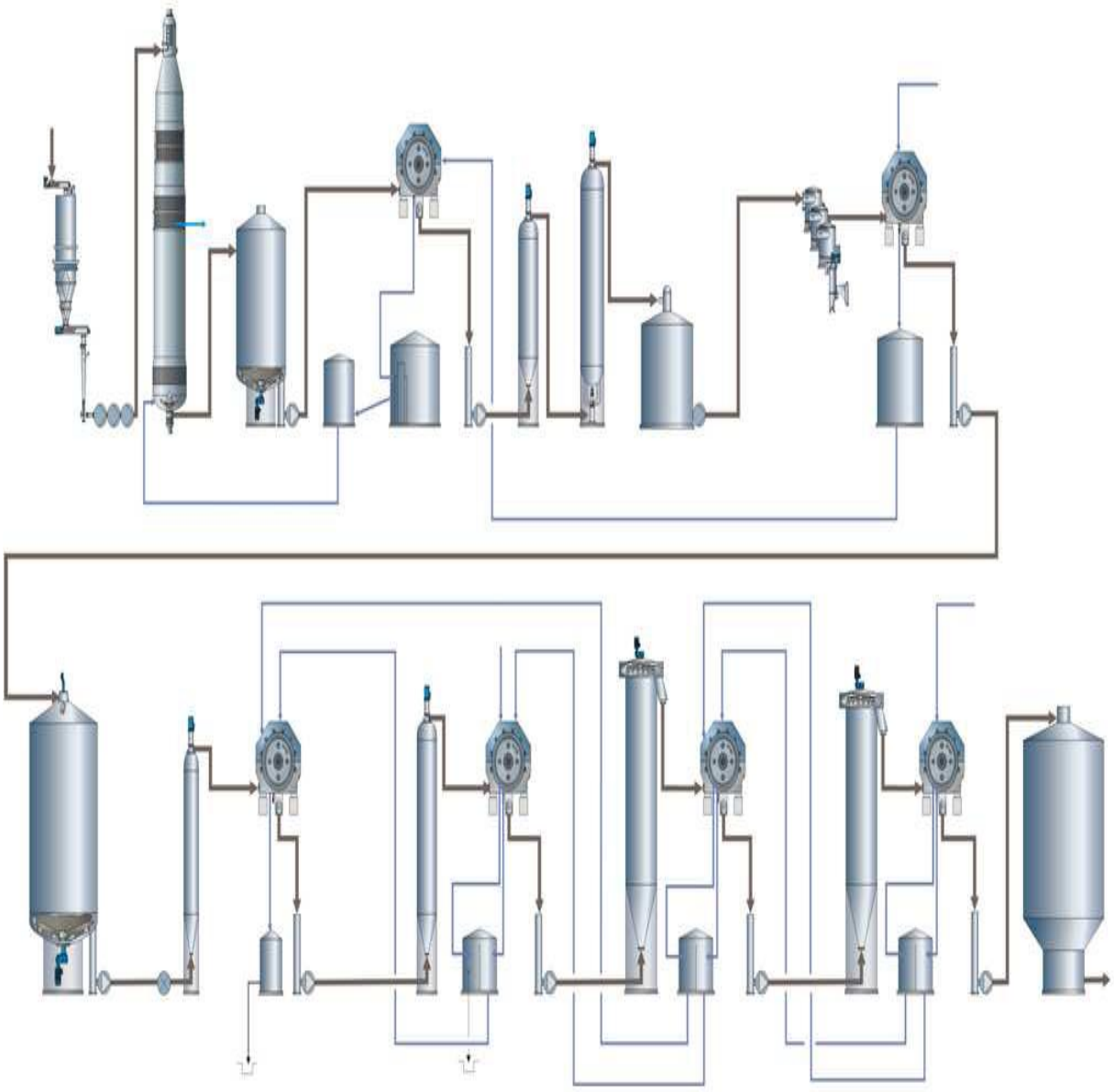


Kuva 6. MC- pumppu

Keskisakean massan pumppu on yksi valkaisun tärkeimmistä päälaitteista. Se sopii erinomaisesti sellu- ja paperiteollisuuteen. Pesuvaiheissa nostetaan sakeus alhaisesta keskisakean massan sakeuteen. Pesuvaiheessa massan sakeus nousee keskisakeuteen 8- 16 %:iin (medium consistency). Massaa siirretään tasaisesti MC- pumpulla valkaisu- ja varastotorneista.

Torneissa tapahtuva valkaisu on kaikista suosituin tapa suorittaa valkaisua, ja syrjäytysvalkaisua ei ole viime vuosina rakennettu, koska siinä oli suurempi valkaisukemikaalien kulutus. (7.)

Seuraavalla sivulla kuvassa 7 on kuitulinjan virtauskaavio.



Kuva 7. Esimerkki kuitulinjan virtauskaaviosta

Kuitulinjan virtauskaaviosta havaitaan miten massa kulkee erilaisten vaiheiden läpi. Kuvassa huomaamme välisäiliöitä, reaktiotorneja, pesureita, pumppuja ja lopuksi loppusäiliön mistä massa voidaan toimittaa paperitehtaalle tai sellukuivauskoneelle.

6 Kemikaalisekoittimet

Kemikaalisekoittimet ovat myös valkaisun päälaitteita. Sekoittimien laadukas toiminta takaa kemikaalien parhaan sekoituksen. Sekoittimet sijaitsevat valkaisussa ennen reaktoreita.

Eri kemikaaleille on valmistettu eri sekoittimensa. Sekoittimen merkitys on kemikaaleilla erilainen ja sekoittimen rakenne on suunniteltu aina tietylle kemikaalityypille.

Teollisuus sekoitimet	**Sakeus (C %)**	**Viipymisaika**	**Tehohäviö (W/m^3)**	**Energia (MJ/t)**
Andritz, Amix	8,0 - 20	0,03 – 0,2	1,6 x 10^6	**2,0 - 6,0**
Kamyr MC	9,0 - 14,0	0,2 - 0,9	6 - 12 x 10^6	**14,0 - 43,0**
Sunds SM	9,0 - 14,0	0,025 - 0,05	4 - 11 x 10^7	**9,0 - 18,0**
Sunds T-25	18(max)	0,05 - 0,2	5 x 10^7	**3,0 - 6,0**

Taulukko 2. Teollisuussekoittimet

Taulukossa on valmistajien dynaamisten sekoittimien toiminnallisia ominaisuuksia. Sekoittimien arvot ovat tärkeät, mutta tärkeintä on seurata energian kulutusta. (7.)

6.1 Dynaamisia sekoittimia

Dynaamiset sekoittimet koostuvat sekoituskammioista ja roottoreista. Tärkeintä on saada flokkien rakenneverkosto hajoamaan, jotta kemikaali leviää tasaisesti massavirtaan. Sekoittimen pesä ja pesässä pyörivä roottori muodostavat sekoitusvyöhykkeen. Sekoitusvyöhykkeessä roottorin aiheuttavan turbulenssi saa aikaan fluidisoitumisen.

Sekoittimien perusvaatimukset

- sekoitustehokkuus
- tehokkuus sekä kaasumaisten, että nestemäisten kemikaalien sekoituksessa
- laaja sakeusalue 8 - 15 %
- soveltuu kaikkiin valkaisuvaiheisiin
- joustava ja helppo asentaa
- mahdollisimman pieni energiankulutus (5.)

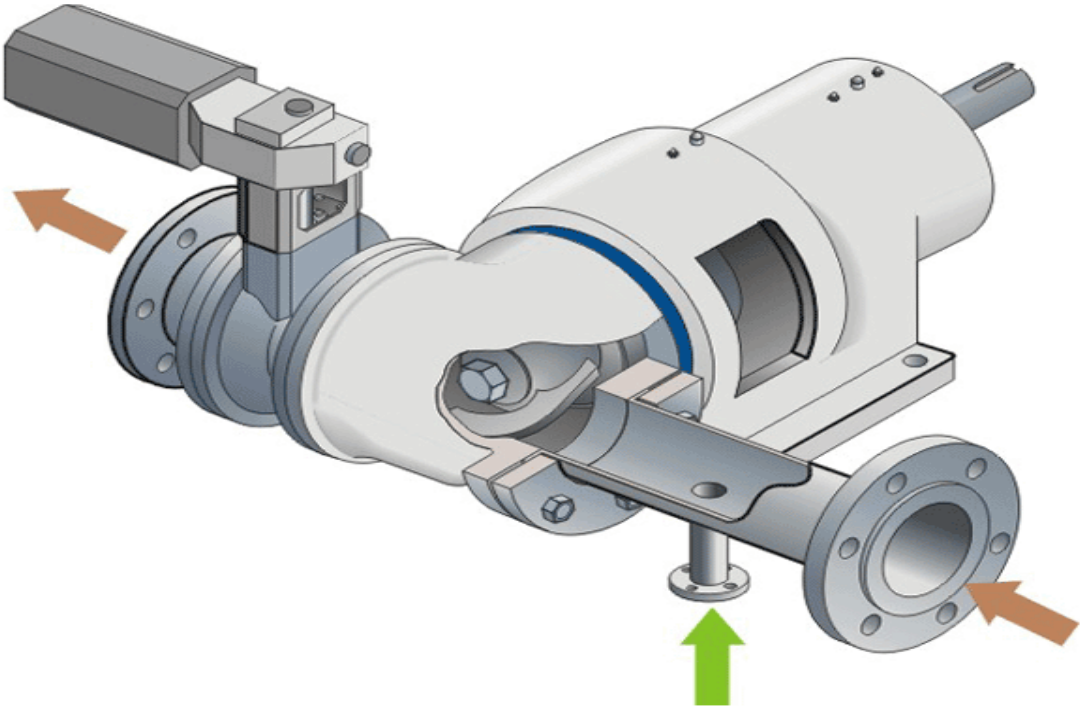
Dynaamisessa sekoittimessa roottoria pyörittää sähkömoottori, joka on mitoitettu yhdessä sekoittimen rakenteen kanssa valkaisulinjan tuotantomäärälle soveltuvaksi. Sekoittimen tehokkuus ja energian käyttö ovat tärkeimpiä tekijöitä.

6.1.1 Andritz Amix

Amix valmistetaan korroosiota kestävistä materiaaleista, kuten haponkestävästä teräksestä ja titaanista. Valmistusmateriaali riippuu sekoittavista kemikaaleista ja valkaisuaseman järjestelyistä. Sekoittimen toiminta perustuu kuvan 8 mukaisesti.

Amix - sekoittimen rakenteen suunnittelulle on ominaista.

- virtaussuuntaan kohtisuorassa oleva roottori
- 0 – 4 metristä painehäviö
- suora käyttö
- pysäytettynä sekoitin päästää massan virtaamaan laitteen läpi. (4.)



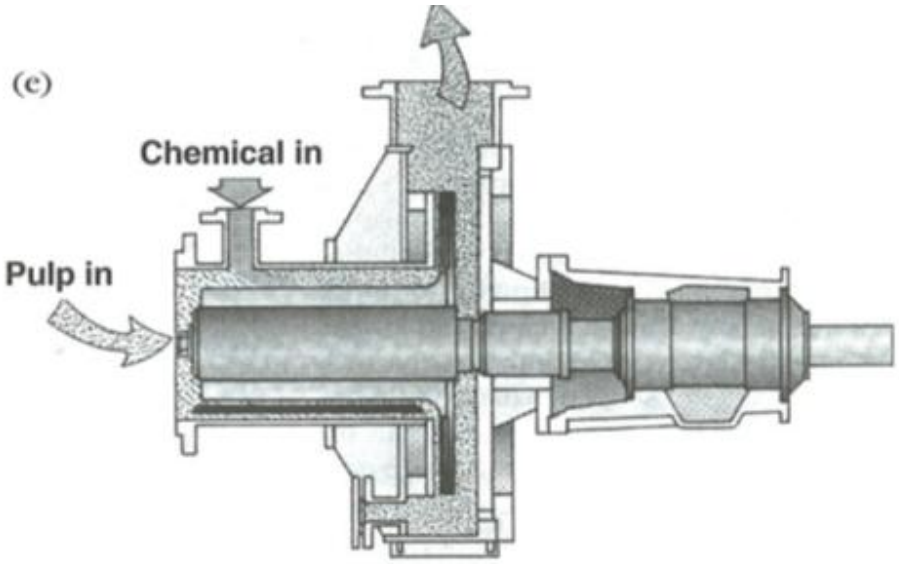
Kuva 8. Andritz Amix kemikaalisekoitin (4.)

Kuvassa ruskeat nuolet näyttävät massavirran ja vihreä nuoli on kemikaalien syöttöpiste ennen sekoitusta. Kemikaalien sekoitus tapahtuu roottorin kohdalla ennen ulosmenoa.

6.1.2 Kamyr MC- sekoitin (GL&V)

Kamyr MC on keskisakean massan sekoitin. Sekoitin koostuu pesästä ja roottorista. Pesä koostuu pitkittäisistä ripoista ja säteittäin asetetuista suuttimista. Roottorissa ovat aksiaaliset siivekkeet. Roottorin on tarkoitus fluidisoida massaa sen pyöriessä sekoituspesässä.

Virtaukseen tulee turbulenttinen vaikutus. Suuttimista lisätään kemikaalit fluidisoituun massaan nopealla ja tehokkaalla sekoituksella. Kamyr MC-sekoitin (GL&V) esitellään seuraavassa kuvassa 9. (5.)



Kuva 9. Kamyr MC- sekoitin (GL&V)

Kuvassa havaitaan massavirtaus sisään (Pulp in) ja kemikaalien virtaus massaan (Chemical in). Massa ja kemikaalit sekoittuvat yhteen turbulenttisesti sekoittuen ja näin massa voi jatkaa seuraavaan prosessiin.

6.2 Staattisia sekoittimia

Staattiset sekoittimet eivät ole vielä yleistynyt valkaisukemikaalien sekoituksessa. Tarkastelu on tehty patenttihakemusten perusteella.

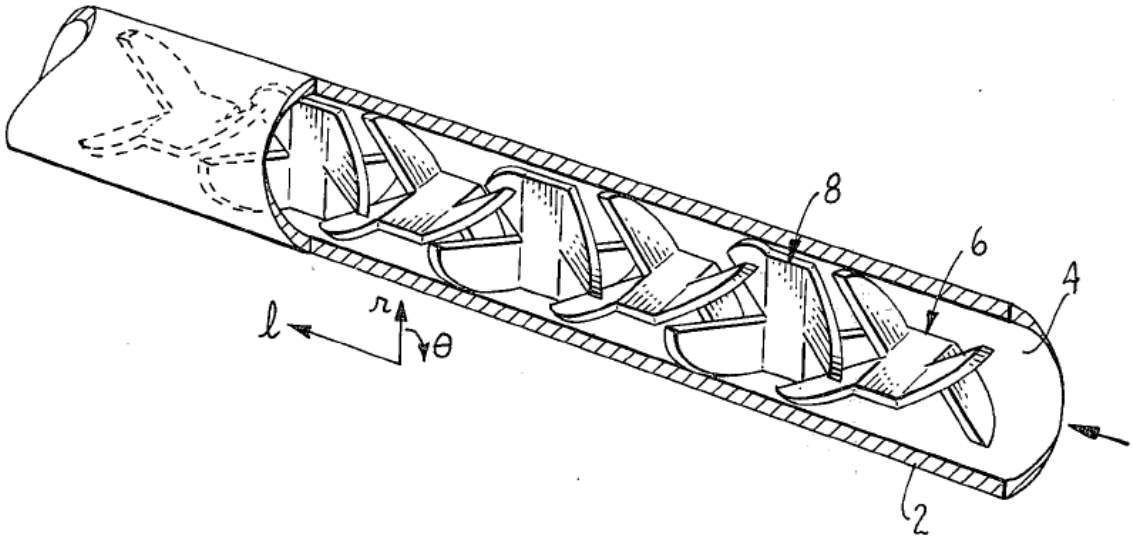
Tavoite on uudistaa valkaisukemikaalien sekoitusta säästämällä energiaa. Seuraavaksi esitän muutaman esimerkin staattisista sekoittimista.

6.2.1 Komax, US 3,923,288

Hakemuksen mukaan laite on halpa, ja sitä voidaan käyttää kaikille materiaaleille, nesteelle ja kaasulle. Sekoituselementtien määrä vaihtelee sekoitustarpeen ja materiaalin mukaan.
Elementit ovat halpoja, ja ne voidaan valmistaa esimerkiksi takomalla. Sekoituselementit koostuvat neljästä korvakkeesta ja tasaisesta alueesta. Korvakkeet antavat sekoitettavalle materiaalille, korvakkeiden asennosta

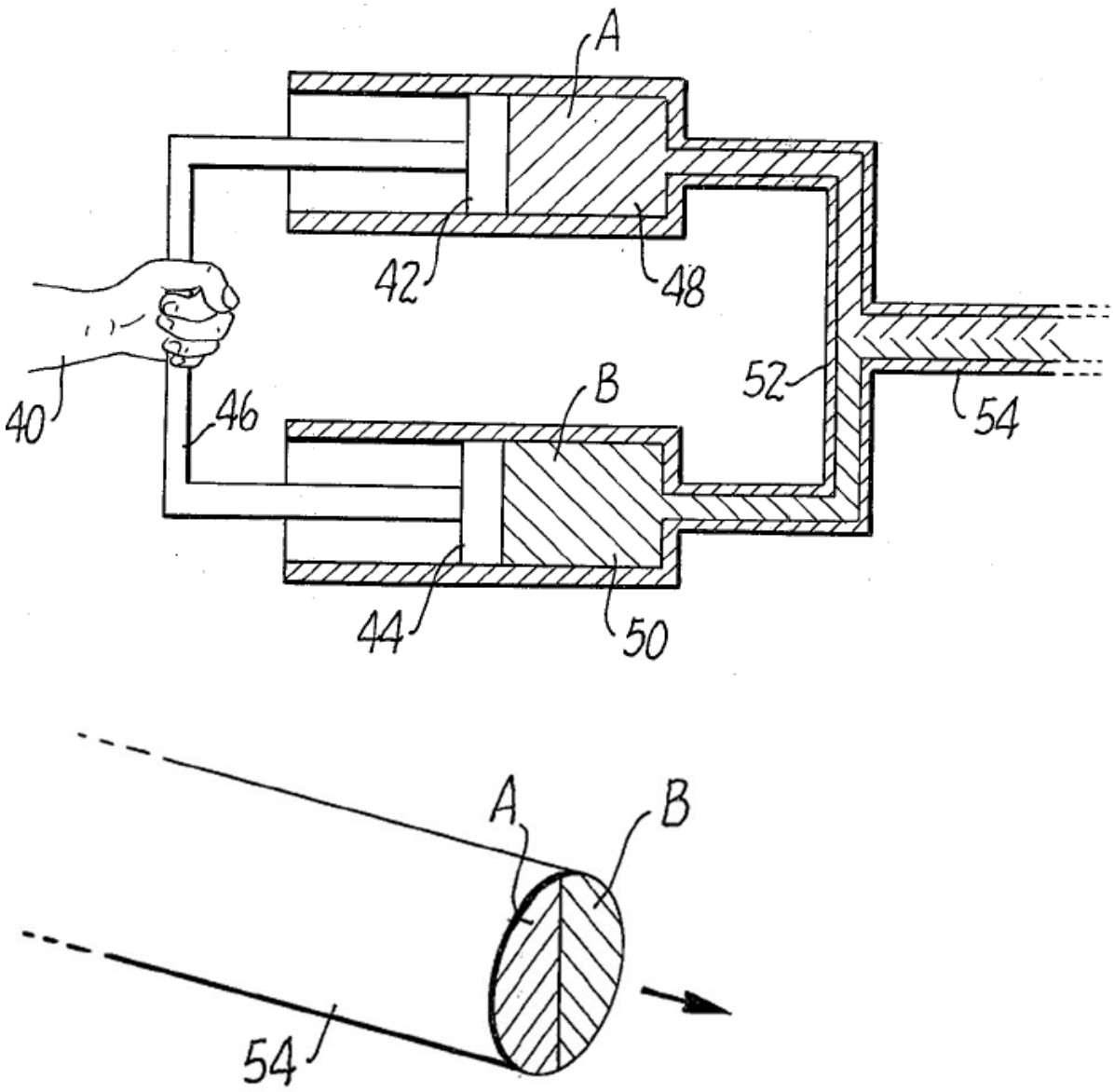
riippuen, joko sisään tai ulospäin olevan nopeusvektorin. Korvakkeiden välinen suositeltava kulma on 30 ja 120 asteen välillä. Edeltävän ja sitä seuraavan elementin korvakkeet menevät lomittain toistensa päälle. Sekoittuminen tapahtuu tällä vyöhykkeellä säteis- (η) ja kulmavektoreiden (θ) aiheuttaman leikkausilmiön vaikutuksesta. Sekoituselementit eivät ole kiinni toisissaan, ja ne asettuvat sekoittimessa oikeaan asentoon itsestään.

Tasainen alue edesauttaa sekoittumista, ja sen pituus on määriteltävä suhteessa korvakkeiden kulmiin. Tasaisen alueen pituus ei saa olla liian pitkä, jottei tapahdu paineen alenemista. Komax - staattinen sekoitin esitellään kuvassa 10, 11, ja 12. (8.)



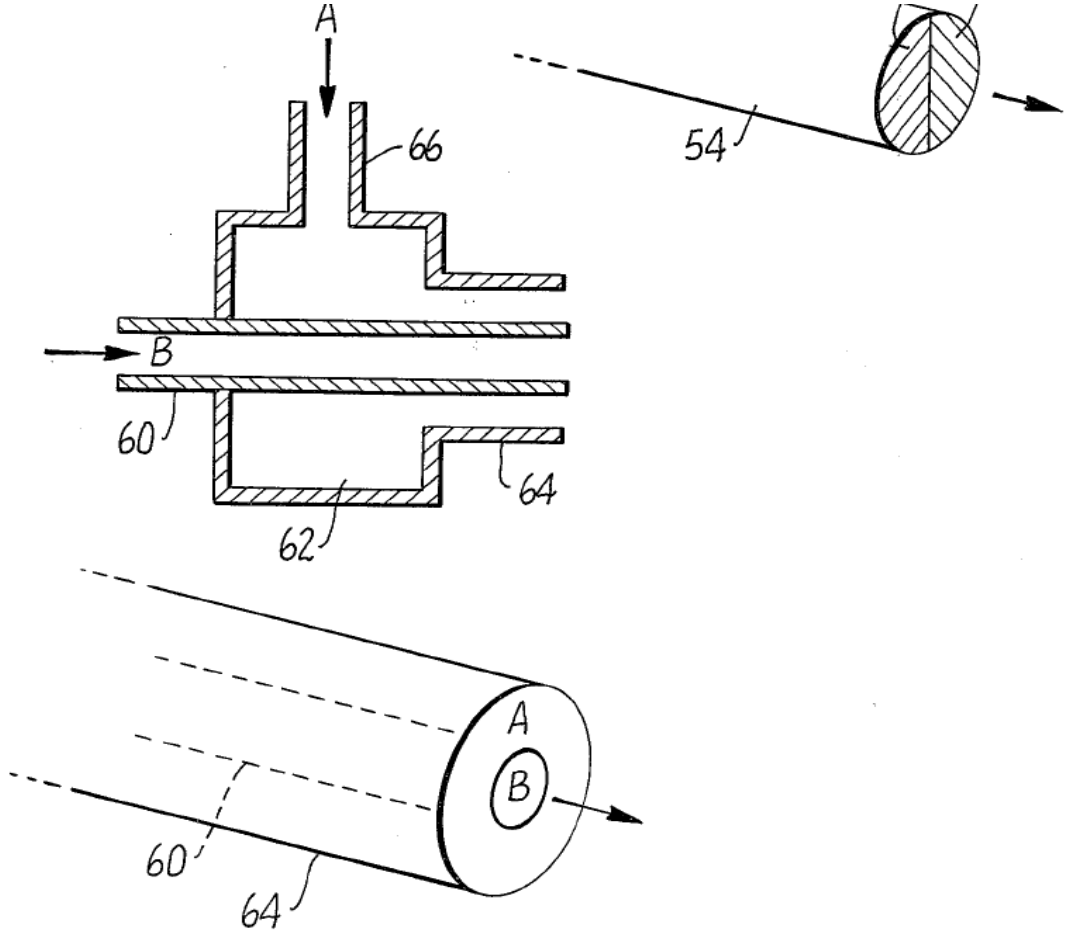
Kuva 10. Komax staattinen sekoitin.

Kuvasta 10 näkyy, kuinka staattinen sekoitin koostuu toistensa perään asetetuista sekoituselementeistä, jotka ovat toistensa peilikuvia. Seuraavalla sivulla kuva 11 syöttöpäästä. (8.)



Kuva 11. Komax syöttöpää.

T-risteys malli, jossa kahta eri materiaalia syötetään samanaikaisesti yhteen putkeen. Missä tahansa kohdassa putkea on sama määrä molempia materiaaleja, mutta ne eivät ole täydellisesti sekoittuneet säteis- (η) ja kulmakoordinaattien (θ) suunnassa. (8.)



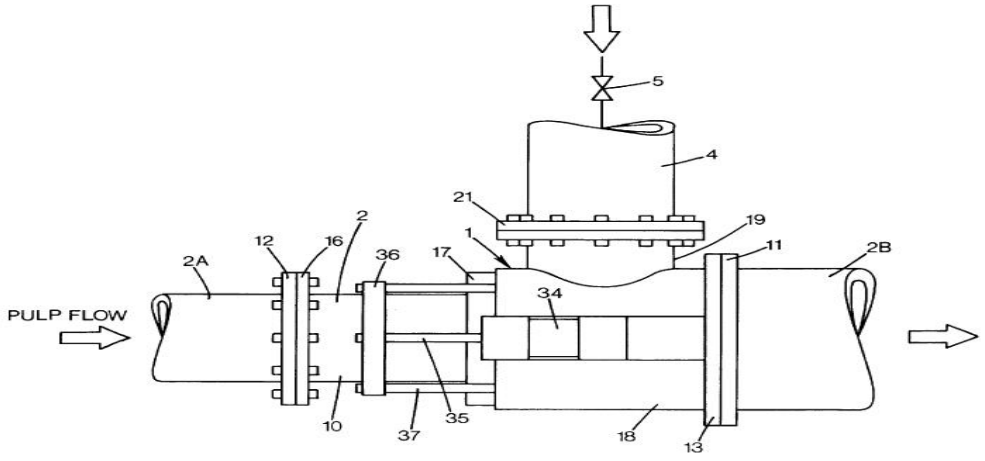
Kuva 12. Materiaali B kulku pesän läpi menevässä putkessa

Pesään tulee materiaali A, joka kulkee kapenevaan putkeen lopulta sekoittuen materiaalin B kanssa. Sama- akselisen syöttöpään putket ovat samansuuntaisia, jolloin sekoitus tapahtuu pituus- (l) ja kulmakoordinaattien (θ) suunnassa. Puuttuva säteissuunnan (η) sekoitus tapahtuu staattisessa sekoittimessa. (8.)

6.2.2 Kvaerner pulping AB, US 6,347,883 B1

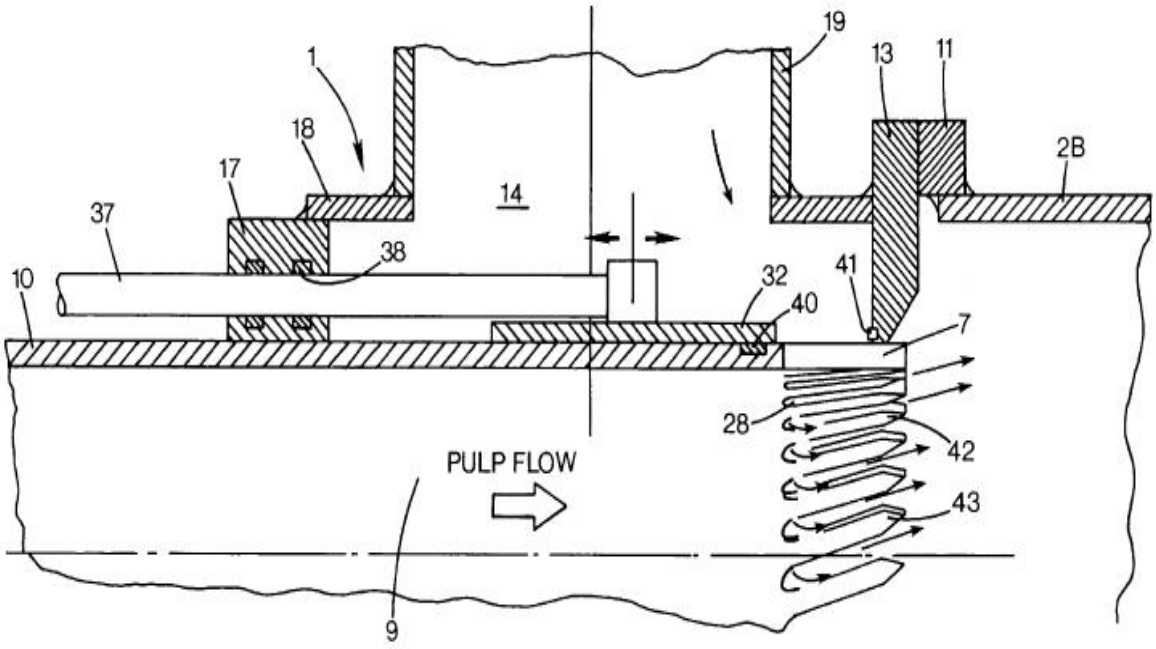
Hakemuksen mukaan laitteen tarkoituksena on sekoittaa kahta ainetta keskenään putkessa. Laitteen poikkipinta-ala laajenee virtaussuuntaan askelmaisesti. Laitteessa on höyrykammio, josta höyry syötetään. Laitteessa on yhde lisättävälle kemikaalille. Höyry tuodaan kammioon, josta se johdetaan massaan putkimaisesti muotoiltujen aukkojen kautta. Sekoitus tapahtuu höyrykammion ja massaputken välisen paine-eron avulla.

Laite on suunniteltu erityisesti höyryn lisäämiseen massan esilämmittämisessä. Patenttihakemuksen mukaan laitetta voidaan käyttää kemikaaleja lisättäessä. Hakemuksen mukaan materiaalin tulisi olla mielellään kaasumaisessa muodossa, kuten kloorikaasu. Kuvassa 13 nähdään sekoittimen periaate. (8)



Kuva 13. Kvaerner pulping AB

Tässä kuvassa on sekoitin ulkopuolelta kuvattuna. Massa virtaa vasemmalta ja poistuu oikealta. Höyry tai kemikaali syötetään ylhäältä. Kuvassa 14 nähdään sekoitin sisältäpäin kuvattuna. (8.)



Kuva 14. Kvaerner pulping AB

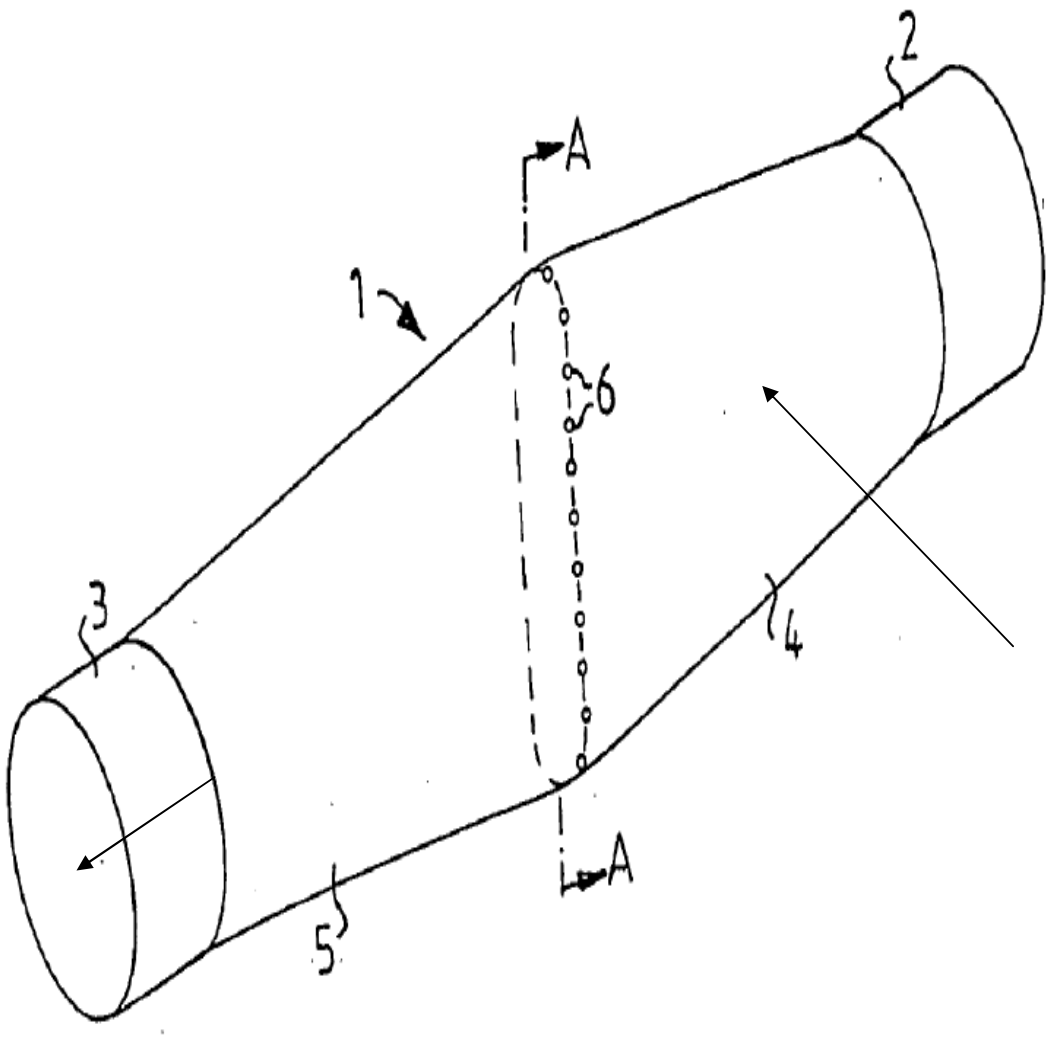
Kuva 14 esitetään sisältäpäin. Massa ja höyry tai kemikaali sekoittuu suuttimien kohdalla kammion, ja massaputken välisen paine-eron avulla. Massavirtaus on oikealle suuntaava nuoli (Pulp Flow). Massavirtauksen etupuolella on suuttimet numeroilla 28, 41 ja 43. Yläpuolelta tuleva höyry tai kemikaali tulee omalla painevirtauksena suuttimiin samalla, kun sinne tulee massavirtaus. Sekoitus tapahtuu suuttimien kohdalla. Kampi numero 37 määrää höyryn tai kemikaalin paineen asennollaan riippuen siitä missä kohtaa kampi on tietyllä hetkellä. Näin paineet muuttuvat tai kammen voi laittaa myös sellaiseen asentoon jatkuvasti, jotta saadaan tasaista painetta. (8.)

6.2.3 Metso Paper, US 2005/083780 A1

Kuvassa 15 on esitetty US patentin 2005/083780 A1:n kuvattu sekoitin. Sekoituspesään virtaavan materiaalin poikkileikkauksen pinta- ala ei muutu tai se johtuu sekoittimen geometrian muutoksesta. Tämän takia johtuen virtaan ei kohdistu huomattavaa puristusta vaan ainoastaan massavirran muoto muuttuu.

Kemikaalin sekoitus pesässä tapahtuu sen kapeimmassa kohdassa, jossa sekoitussuuttimien ja virtaavan materiaalin kaikkien osien välinen etäisyys on pienimmillään. Materiaalien sekoituttaminen vaatii turbulenttista virtausta ja tämä varmistetaan soikiomaisen osan minimi korkeuden määrittämisellä eri materiaaleille. Massan viskositeetin mukaan sekoituspesään voidaan lisätä kuristin turbulenttisuuden varmistamiseksi. Kyseistä kuristinta voidaan myös käyttää hyväksi haluttaessa pienentää sekoituslaitteen kokoa.

Muodonmuutosalueen, ympyrämäisestä soikiomaiseksi ja päinvastoin, tulisi olla tietyn pituinen. Minimi pituuden määrää käyttökohde sekä materiaalin ominaisuudet. Kuvassa 15 seuraavalla sivulla Metso Paper sekoitin. (8.)



Kuva 15. Metso Paper sekoitin (8.)

Kuva 15. Sekoittimen tulopuolen putken liitäntä on ympyrämäinen (nro2), jonka jälkeen poikkileikkaus muuttuu soikiomaiseksi. Sekoittimen keskellä on kemikaalin syöttöaukot, josta kemikaali lisätään massaan (nro.6). Tämän jälkeen sekoittimen muoto muuttuu soikiomaisesta pyöreäksi (nro 3). [8]

7 Kaukaan koivuvalkaisu

7.1 Koivuvalkaisun valkaisusekvenssit

Koivulla on 5 - vaiheinen D0-E1-D1-E2-D2- valkaisu. Ennen D0- vaihetta on A - vaihe, jossa poistetaan valkaisukemikaalijäännöksiä rikkihapolla (H_2S0_4). Massa tulee A - vaiheen jälkeen GF- suotimen kautta tasaussäiliöön, jonka jälkeen on 5 - vaiheinen jälkivalkaisu.

Massa pumpataan MC - pumpulla kemikaalisekoittimelle, joissa kemikaalit sekoitetaan. Kemikaalisekoittimet ovat D0- vaiheessa Ahlströmmin putkisekoitin, D1- vaiheessa Rauma Repolan tappisekoitin ja D2- vaiheessa on Andritzin staattinen kemikaalisekoitin, joka asennettiin syksyllä Rauma- Repola tappisekoittimen tilalle. Jälkivalkaisussa on ylösvirtaustorneja D- vaiheissa ja alasvirtaustorneja E- vaiheissa. Näissä reaktiotorneissa kemikaalit reagoivat keskenään. Jälkivalkaisussa on viisi GF- suodinta. Suotimien on tarkoitus pestä massa hyvin ennen seuraavaa vaihetta.

7.1.1 A- vaihe

Jälkivalkaisua ennen on A - vaihe, jota käytetään happivaiheen jälkeen. Hexenuroni - happo A - vaiheessa poistetaan matalassa pH:ssa ja korkeassa lämpötilassa.

Tarkoitus on kuluttaa myös jäännösligniiniä ja vahvoja hapettimia klooridioksidia ja otsonia. Vaaleuden pysyvyyteen vaikuttaa A - vaihe. Havupuumassalle käsittelyä ei tarvita.

7.1.2 D0- vaihe

Kemikaaleina D0- vaiheessa ovat klooridioksidi (ClO_2), ja rikkihappo (H_2S0_4). Tässä vaiheessa poistetaan eniten ligniiniä, ja sen takia klooridioksidia käytetään enemmän kuin muissa D- vaiheissa.

Massan pH:ta pudotetaan rikkihapolla, ja myös klooridioksidi laskee pH:ta. Kemikaalien oikea annostelu laskee tarkoituksen mukaisesti pH:ta.

7.1.3 E1- vaihe

Vaihe E1 on alkaliuuttoa, jossa käytetään kemikaaleina natriumhydroksidia (NaOH), happea (O_2) ja vetyperoksidia (H_2O_2). Alkaliuuton tarkoituksena on kloorijätteiden poisto D0- vaiheen jälkeen.

Kemikaalin kulutus säädetään pH:n ja kloorijätteen mukaan. Massan pH: säätö on noin 10- 12. Lämpötila tässä vaiheessa on 70- 78^oC. Liian suuri lämpötila ja pH vaikuttavat sellumassaan negatiivisesti, koska kloorijätteiden lisäksi tämä johtaa liian suureen saantohäviöön eli hemiselluloosa pilkkoutuu. (1.)

7.1.4 D1- vaihe

Kemikaaleina D1- vaiheessa käytetään klooridioksidia (ClO_2) ja natriumbisulfiittia ($NaHSO_3$). Tarkoitus on edelleen nostaa massan vaaleutta ja poistaa massasta ligniiniä.

Kemikaalien määrä D1- vaiheessa on suurempi kuin D2- vaiheessa. Kemikaalien annostus on riippuvaista siitä miten muut prosessit ennen valkaisua ovat onnistuneet. Puun laatu on tärkeä osatekijä.

7.1.5 E2- vaihe

Vaiheessa E2 ei käytetä happea. Alkaliuutto tapahtuu alkalisissa olosuhteissa.

Kemikaalina uuttoon käytetään natriumhydroksidia (NaOH). Lisäksi massaan syötetään vetyperoksidia (H_2O_2).

7.1.6 D2- vaihe

Kaukaan koivuvalkaisussa D2 – vaihe on viimeinen valkaisuprosessi. Massaan annostellaan klooridioksidin lisäksi rikkihappoa (H_2SO_4). Massa pumpataan MC-pumpulla kemikaalisekoittimelle, jossa massaan sekoitetaan klooridioksidia (ClO_2).

Tämän jälkeen massa kulkee reaktiotorniin ja sieltä suotimelle. Suotimen jälkeen massa syötetään pudotusputkeen, jossa massa laimennetaan tarvittaessa suodoksella. Tämän jälkeen massa on valmis pumpattavaksi kuivauskoneelle.

Jäännösklooria D2- vaiheessa pelkistetään natriumbisulfiitilla ($NaHSO_3$). Jäännöskloorin mittaus on tärkeä natriumbisulfaattiin käyttöön liittyen. Mitä enemmän jäännösklooria löytyy, sitä enemmän natriumbisulfiittia käytetään. Taulukossa 3 seuraavalla sivulla esitetään viitteellisiä koivuvalkaisun arvoja.

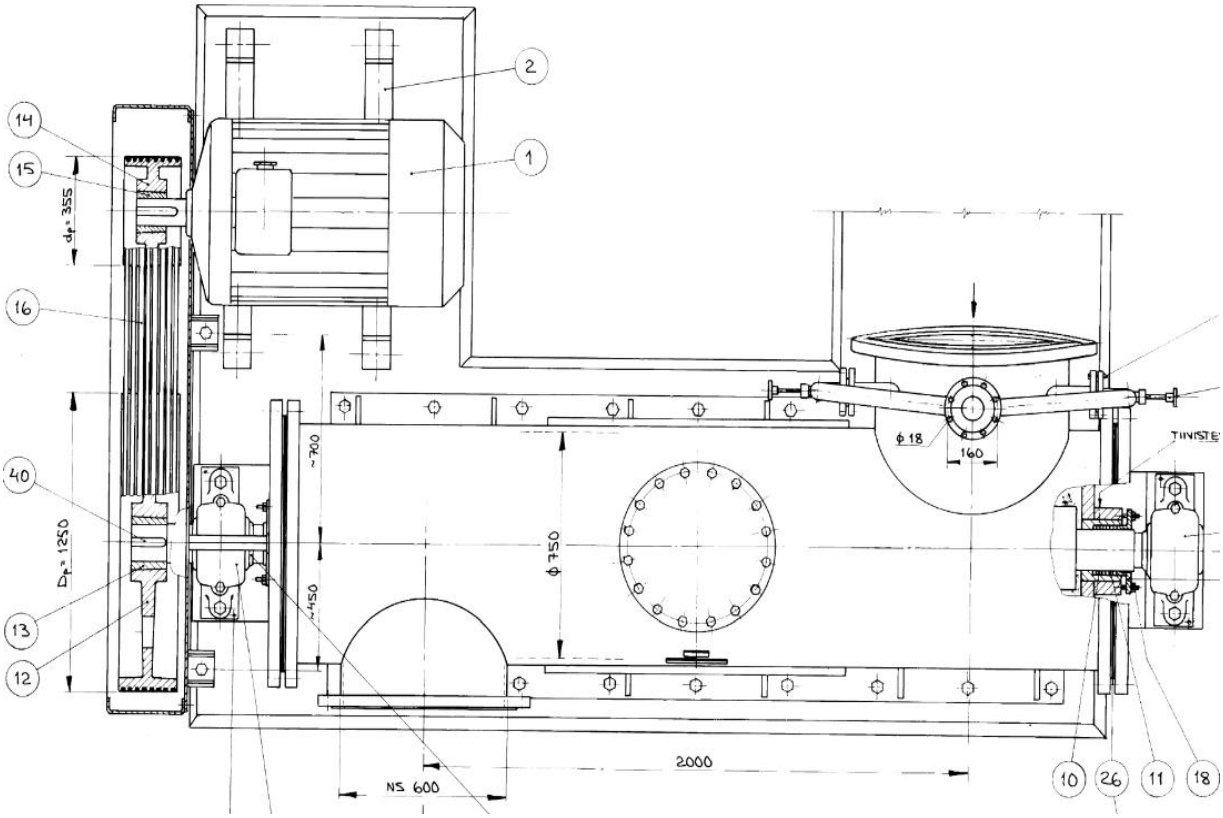
Vaiheet	**Lämpötila**	**Reaktioaika**	**Loppu-pH**	**Annos**
Klooraus, ClO_2	60 – 65 °C	15 - 30 min	2,5	15 - 20 kg/ADt
Alkalivaihe-1, E-1	70 - 80 °C	n. 60 min	10- 11	NaOH 5 - 15 kg/ADt
Klooridioksidi-1, ClO_2	70 - 75 °C	180 - 240 min	4,0- 4,5	10 - 15 kg/ADt
Alkalivaihe-2, E-2	70 - 80 °C	n. 60 min	10- 11	NaOH 2 - 6 kg/ADt
Klooridioksidi - 2, ClO_2	75 - 80 °C	180 - 240 min	6-10	3 - 6 kg/ADt

Taulukko 3. Olosuhteita Kaukaan jälkivalkaisun vaiheilta

Taulukossa 3 on koivuvalkaisun arvoja eri vaiheilta. Arvot ovat viittellisiä.

7.2 Rauma Repola - tappisekoitin

Ennen uutta staattista sekoitinta oli tilalla Rauma Repola - tappisekoitin. Rakenteeltaan sekoitin oli suuri ja vei paljon tilaa. Tappisekoitinta pyöritettiin 110 kW:n moottorilla. Kuvassa 16 on esimerkki Rauma Repola–tappisekoittimesta.



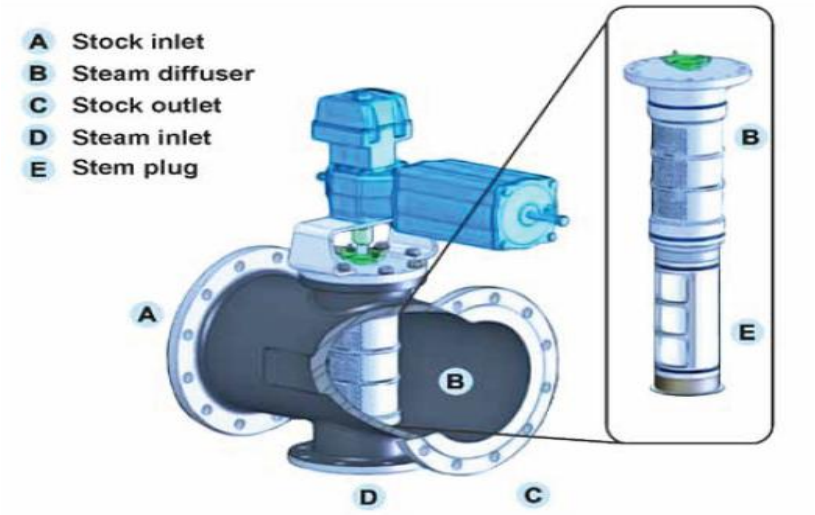
Kuva16. Rauma Repola – tappisekoitin

Sekoitin toimi hyvin ennen staattista sekoitinta. Energian kulutus oli sekoittimessa suuri, mutta sen toimivuus oli hyvä.

7.3 Staattisen sekoittimen optimointi

Vaiheeseen D2 asennettu sekoitin on Andritz Oy:n patentoima nestemäisten ja kaasumaisten kemikaalien sekoittamiseen kehitetty staattinen sekoitinlaite.

Rakenne on putkimainen, sekoittimen keskellä on diffusoriputki, josta kemikaali syötetään monista rei'istä ohivirtaavaan massaan. Diffusorin jälkeen on kuristuslaippa, joka saadaan käännettyä 90°. Kuvassa 17 on Andritz staattisen sekoittimen periaatekuva. Seuraavalla sivulla on kameralla otettu kuva 18 Kaukaan koivuvalkaisusta.



Kuva 17. Andritz - staattisen sekoittimen periaatekuva

Kuva 18. Andritz - staattisen sekoittimen kuva D2- vaiheesta Kaukaan koivuvalkaisusta

Kuvassa massavirtaus tulee oikealta vasemmalle. Kemikaalin ja massan sekoitus tapahtuu diffusorin kohdalla, johon pieniin reikiin tulee massavirran paine ja klooridioksidin paine. Kuvassa havaitaan sekoittimen pieni tilan tarve, koska se on putkimainen ja sähkömoottoria ei ole ollenkaan.

7.4 D2- vaiheen putkisto

Putkisto lähtee MC- pumpulta, jonka jälkeen massa on kemikaalisekoittimella. Valkaisuvaiheessa putkiston materiaali on titaania, koska sen täytyy kestää valkaisukemikaalina käytettävää klooridioksidia (ClO_2). Reaktiotornia ennen putkisto muuttuu lasikuiduksi. Putken halkaisija on 600 mm.

Ennen staattista sekoitinta D2- vaiheessa oli Rauma Repola - tappisekoitin. Se oli suurikokoinen, 2,5 m pitkä ja halkaisijaltaan 700 mm.

Staattisen sekoittimen sulkuventtiili on DN 250, ja laitteelle ei tarvita erillisiä perustuksia. Sekoitin on putkimainen, ja se vie vähän tilaa. Putkesta saatiin suorempi.

7.5 Dynaamisen ja staattisen sekoittimen eroja

Rauma Repola - tappisekoitin koostuu roottorista, sekoituskammiosta ja roottoria pyörittävästä sähkömoottorista. Tappisekoittimen tarkoitus oli sekoittaa klooridioksidi roottorilla massaan. Kunnossapitokustannuksia verrattaessa sekoittimessa oli enemmän kuluvia osia, jotka vaativat kunnossapitoa tai niitä jouduttiin tietyn ajanjaksoin vaihtamaan.

Staattinen sekoitin toimii ilman moottoria, ja energian kulutusta ei ole ollenkaan. Prosessipaine ja kloonioksidilinjan paine sekoittavat massan ja kemikaalin. Kemikaali syötetään sekoittimen diffusorin reikien kautta ohivirtaavaan massaan, jonka jälkeen tulee kuristuslaippa. Staattisessa sekoittimessa hyödyt ovat vähäinen energian ja pienen tilan tarve. Se on hinnaltaan käyttökustannuksellinen ja edullinen.

Rauma Repola - tappisekoittimen sähkömoottorin sähköteho oli 110 kW. Tappisekoittimen roottori, jossa oli tappimaisia sekoituselimiä. Pyörimisnopeus oli 700 rpm (kierrosta minuutissa). Tappisekoittimen sekoitus tapahtuu, kun roottorin tappimaiset lavat siirtävät massaa laitteen sisällä. Dynaamiseen sekoittimeen verrattuna staattisen sekoittimen energian tarve on erittäin pieni.

8 Tulokset

Tarkoituksena oli seurata eri ajanjaksoilta prosessista kerättyjä mittaustuloksia ja mitkä olivat suurimmat erot dynaamisen ja staattisen sekoittimien välillä. Tutkimuksissa verrattiin kahden viikon jaksoja eri kuukausilta ennen sekoittimien vaihtoa ja viisi viikkoa vaihdon jälkeen.

Vaaleudet, pH-arvot ja kemikaalikulutukset esitetään trendeinä. Kemikaalikulutukset löytyvät myös keskiarvoina liitteinä 1, 2, 3, 4, ja 5 eri kuukausilta.

8.1 Kappaluku

Kappaluku kuvaa massan ligniinipitoisuutta. Keitolle annetaan aina tietty kappatavoite. Keittoajan nopeus määräytyy höyryn tuotannosta ja hakkeen imeytysasteesta.

Ligniinin liukeneminen alkaa 140 ^{0}C:ssa. Lämpötilaa voi nostaa haluttuun lämpötilaan eri prosessit huomioon ottaen. (1.)

8.2 Vaaleus

Kaukaan koivupuolella massan vaaleus pyritään saamaan ISO 87 % -vaaleuteen. Vaaleus riippuu myös asiakkaiden toivomuksista.

Asiakkaat saattavat toivoa vaaleampaa sellua, johon kuluu enemmän kemikaaleja. Sellun myynnissä se näkyy hinnan korotuksena.

8.3 pH- arvot

Trendeissä tutkittiin D2- vaiheen tulo ja loppu pH:ta. Lopussa pH - luku on pienempi. Joissakin trendeissä ei ollut tulo - pH:ta, koska mittaus ei ole silloin toiminut.

Arvot kertoivat onko pH hapanta vai emäksisen puolella. Tarkoitus oli saada tulo- pH:sta emästä, koska prosessissa D- vaiheissa käytetään valkaisukemikaalina hapanta klooridioksidia. Loppu pH:ksi tavoite oli saada neutraali 7.

8.4 Kemikaalikulutukset

Kemikaalikulutuksessa vertailtiin D2-vaiheen klooridioksidin (ClO_2) ja natriumbisulfaatin ($NaHSO_3$) annostuksia. Klooridioksidia joudutaan annostelemaan prosessin mukaan vaaleuden tavoitteen saavuttamiseksi.

Natriumbisulfaatin annostelu on riippuvainen siitä, paljonko jäännösklooria syntyy prosessissa. Kemikaalit ovat kalliita aineita, ja niiden pienempi käyttö prosessissa tuo tulosta enemmän.

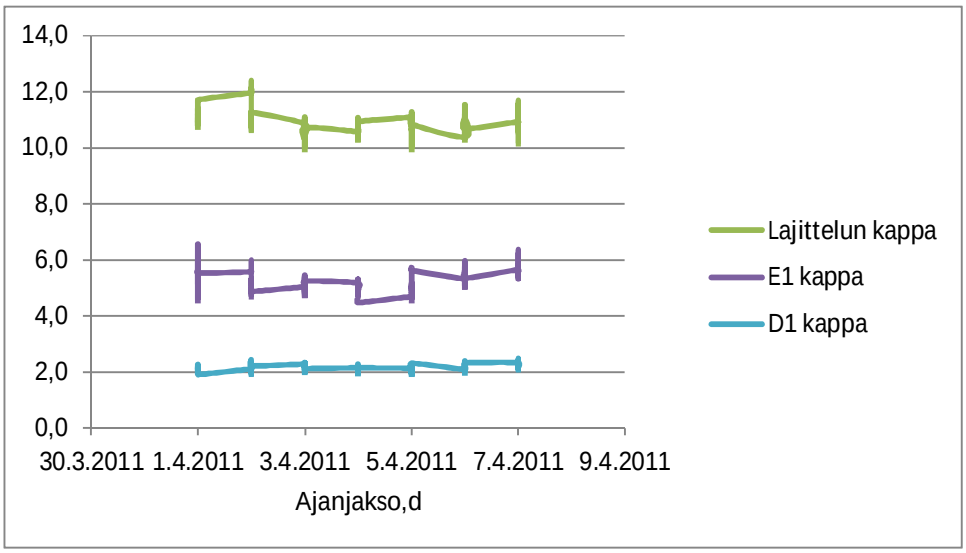
8.5 Trendit

Trendeistä tarkasteltiin muutoksia ja staattisen sekoittimen kehitystä. Tarkoitus oli verrata vanhan sekoittimen ja uuden sekoittimen eroja.

Tarkasteluajanjakso tehtiin eri kuukausilta, jotta huomattiin sekoittimien toimintoja pitkältä ajanjaksolta. Mittauksessa seurattiin prosessin tuloksia, ja valkaisussa havaittiin prosessimuutoksia.

8.5.1 Huhtikuu

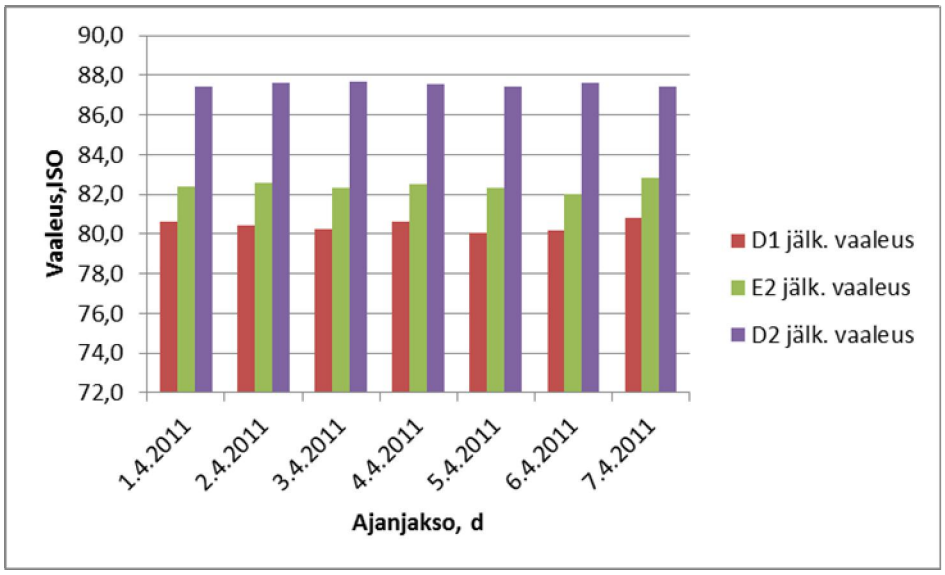
Huhtikuulta 2011 tarkasteluun otettiin yksi viikko, koska haluttiin tutkia D2-vaiheen ja dynaamisen sekoittimen toimintaa. Tuotannollisesti kuukausi oli hyvä, ja ajanjakso oli lämpötiloiltaan ja prosessiolosuhteiltaan erilainen. Seuraavassa kuviossa 1 kappatrendejä.



Kuvio 1. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

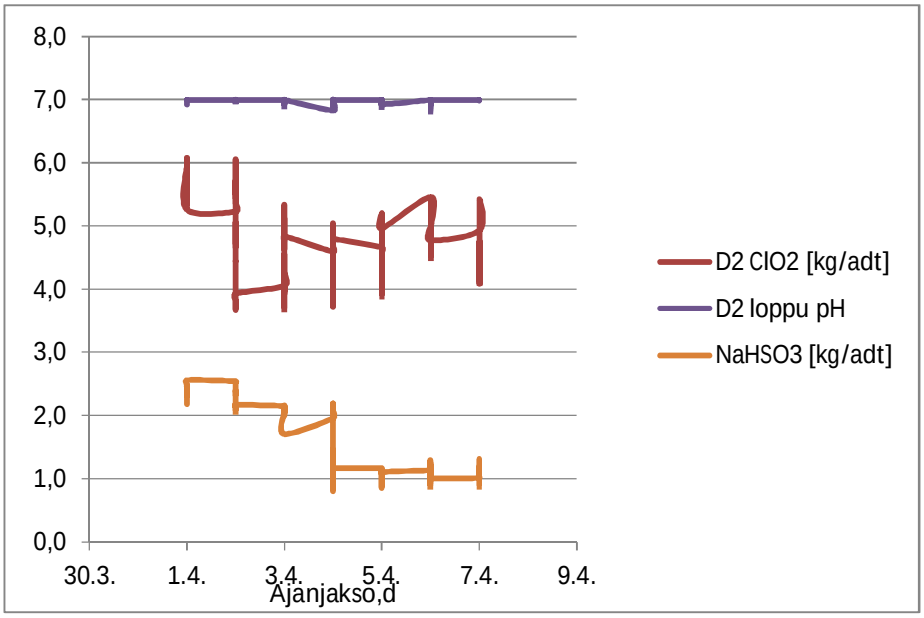
Ajanjakson D0- tuotanto oli noin 38 Adt/d ja sakeus oli 4,5 %. Viikko oli ajanjaksolta, jolloin oli Rauma Repolan tappisekoitin.

Kuviossa 1 on esitetty lajittelun, E1:n, ja D1:n kappa. Lajittelussa kappa oli suurin 10- 12, E1- vaiheessa kappa oli 4,5- 6,0 ja kappaluku näytti D1- vaiheessa 2,0.



Kuvio 2. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Vaaleus näytti tältä ajanjaksolta tasaiselta. Vaaleustavoite tarkastelujaksolla oli ISO 87- prosenttia, ja D0- tuotanto oli noin 38 Adt/d. Vaiheen D1 jälkeen oli vaaleus tasainen 80- prosenttia. Vaiheessa E2 päästiin 82- prosenttiin, ja loppuvaaleus oli vähintään 87- prosenttia. Seuraavassa kuvio 3:ssa havaitsemme kemikaalikulutukset ja loppu pH:n.



Kuvio 3. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen loppu pH

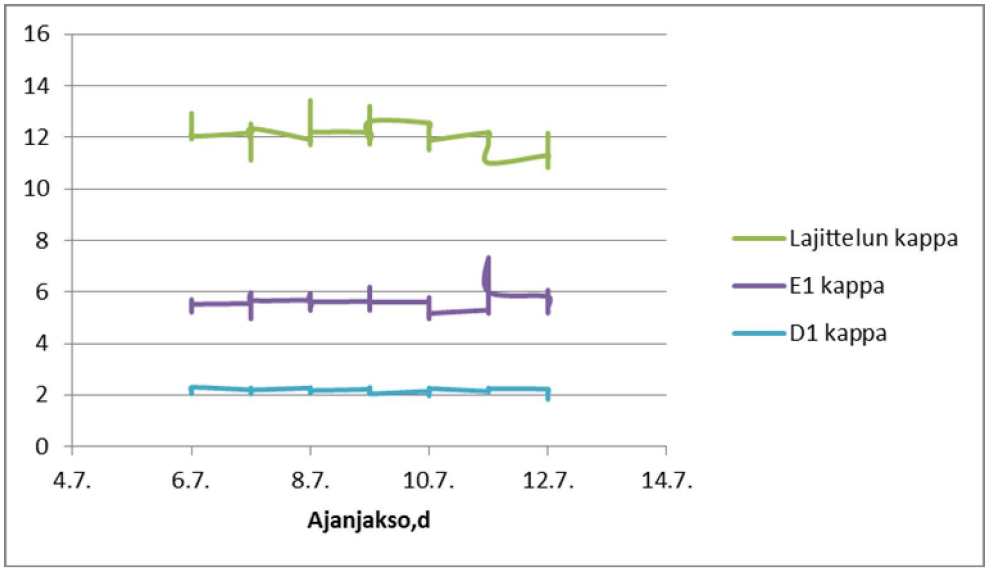
Trendeissä havaitaan kemikaalikulutuksia D2 - vaiheesta ja D2-vaiheen loppu pH. Alku pH:ta ei trendissä ole, koska pH- mittari oli silloin epäkunnossa. Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 67 ^{0}C:sta

Klooridioksidin (ClO_2) annos riippuu D2 - vaiheessa loppuvaaleus tavoitteesta. Annos on riippuvainen myös koko valkaisuprosessista. Ajanjaksolla oli annosteltu klooridioksidia n. 3,8 - 6,0 kg/adt.

Loppu- pH näytti tasaisesti noin 7,0. Natriumbisulfiittia ($NaHSO_3$) käytettiin pelkistämään aktiivista jäännösklooria. Ajanjaksolla se oli noin 1 - 2,5 kg/adt.

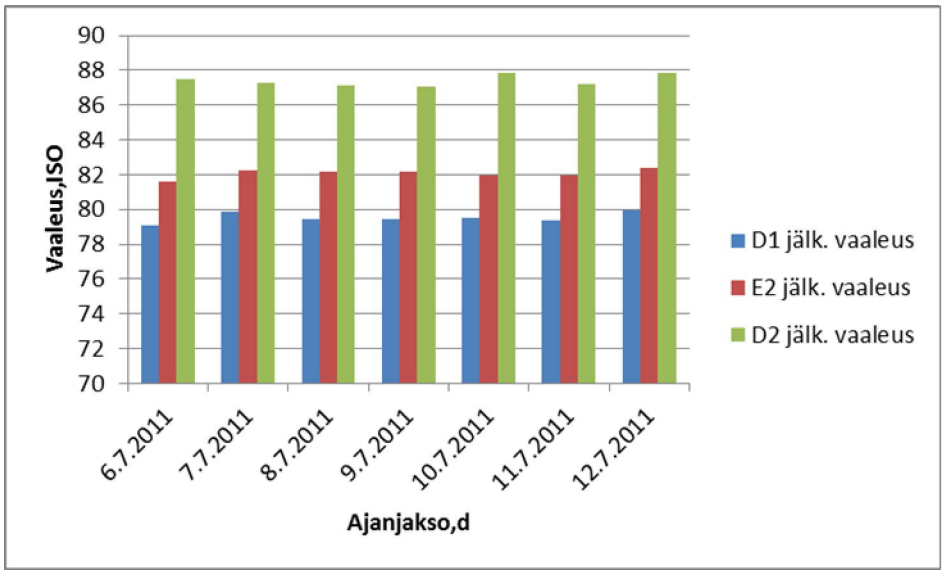
8.5.2 Heinäkuu

Heinäkuulta otettiin toinen viikko seurantaan ennen kuin sekoittimet vaihdettiin. Tuotannollisesti heinäkuu oli kokonaisuudessaan kesän paras kuukausi. Ajanjakson D0- tuotanto oli noin 38 Adt/d. Kuviossa 4 on trendit kappatuloksista.



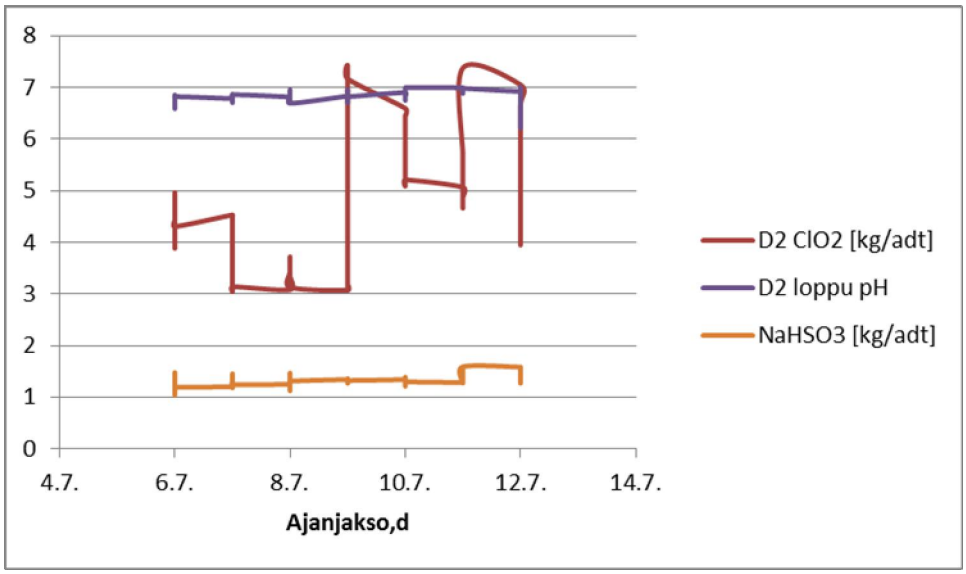
Kuvio 4. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

Lajittelun oli 11- 13, E1- kappa oli 5-7 ja D1- kappa näyttää tasaisesti noin 2. Mitään suuria muutoksia kapassa ei tapahtunut verrattuna huhtikuun trendeihin. Ajanjakson D0- tuotanto oli 38 Adt/d ja sakeus oli 4,5 %. Seuraavassa kuviossa 5 havaitsemme vaaleudet eri prosessipaikoista.



Kuvio 5. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Vaaleus näytti tällä tarkastelu jaksolla tasaiselta joka vaiheessa ja laatutavoitteeseen oli päästy. Ajanjakson D0- tuotanto oli 38 Adt/d, D1-vaiheessa vaaleus oli 79- 80- prosenttia, E2- vaiheessa noin 82- prosenttia ja loppuvaaleus oli 87 – 88 - prosenttia. Seuraavalla sivulla kuvio 6:ssa havaitsemme kemikaalikulutukset ja loppu pH:n.



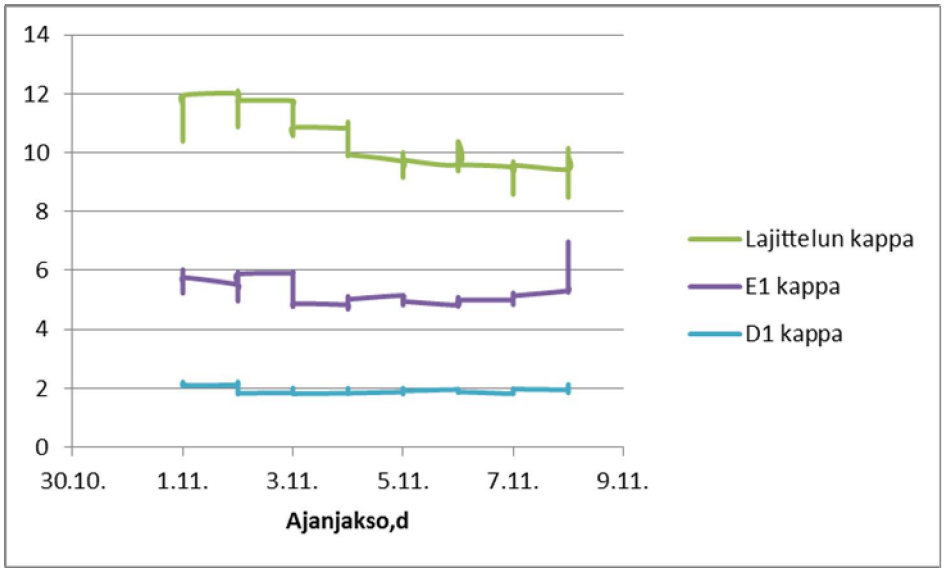
Kuvio 6. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen loppu pH

Klooridioksidin käyttö oli tarkastelujaksolla 3,8 - 7,5 kg/adt. Ajanjakson D0-tuotanto oli 38 Adt/d ja D2- vaiheen tulolämpötila oli 70 ^{0}C:tta.

Vaaleudet näyttivät hyvältä, ja jäännöskloori ei ollut kasvanut, koska natriumbisulfiittia oli käytetty hyvin vähän. Natriumbisulfiittia käytettiin D2-vaiheessa 1,2 - 1,5 kg/adt. Loppu- pH oli tasaisesti noin 7,0. Alku - pH mittari ei toiminut tälläkään tarkastelujaksolla.

8.5.3 Marraskuun ensimmäinen viikko

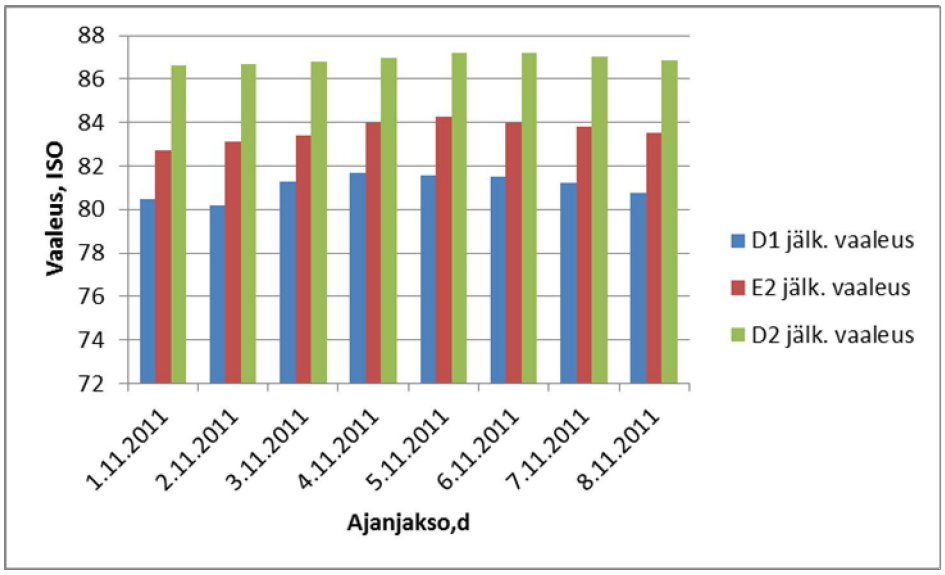
Marraskuun tarkastelujaksolla D2- vaiheeseen oli vaihdettu staattinen sekoitin. Alkuun oli ongelmia paineiden kanssa, koska sekoittimeen täytyi saada klooridioksidipaine (ClO_2) 3 bar yli prosessipaineen. Sitä tutkittiin alkuperäiseen paineeseen verrattuna ja saatiin nostettua lähelle kemikaalilinjan maksimipainetta. Sekoittimen sisällä massavirtauksessa oli turbulenttista kemikaalia syöttökohdassa diffusorin kohdalla, johon sekoittava kemikaali syötetään riittävän suurella paineella. Seuraavassa kuviossa 7 kappatrendejä.



Kuvio 7. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

Trendeissä havaitaan kappojen olevan tuloksellisesti lähellä samaa kuin aikaisemmissakin trendeissä. Tarkastelujaksolla D0 - vaiheen tuotanto oli noin 38 Adt/d ja sakeus oli 4,5 %.

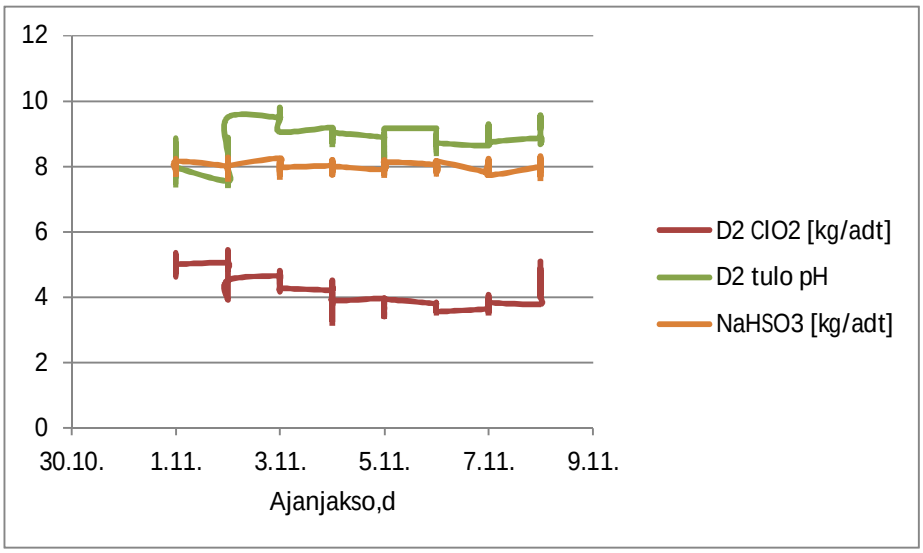
Lajittelun kappa oli noin 9,0- 12,0, E1- kappa noin 5,0- 6,0 ja D1- kappa näytti tasaisesti noin 2,0. Seuraavalla sivulla kuvio 8:ssa vaaleusmittauksia.



Kuvio 8. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Tarkastelujaksolla D0- vaiheen tuotanto oli noin 38 Adt/d.

Tarkastelujaksolla havaittiin, että D1- vaiheen vaaleus oli noin 80 - 82 prosenttia ja E2- vaaleus oli 83 – 84 prosenttia. Loppuvaaleus oli alkuun alle 87 prosenttia. Tarkastelujakson lopulla päästiin tavoiteltuun ISO 87 prosenttiin. Seuraavalla sivulla kuvio 9:ssä on kemikaalikulutukset ja tulo pH.



Kuvio 9. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen tulo pH

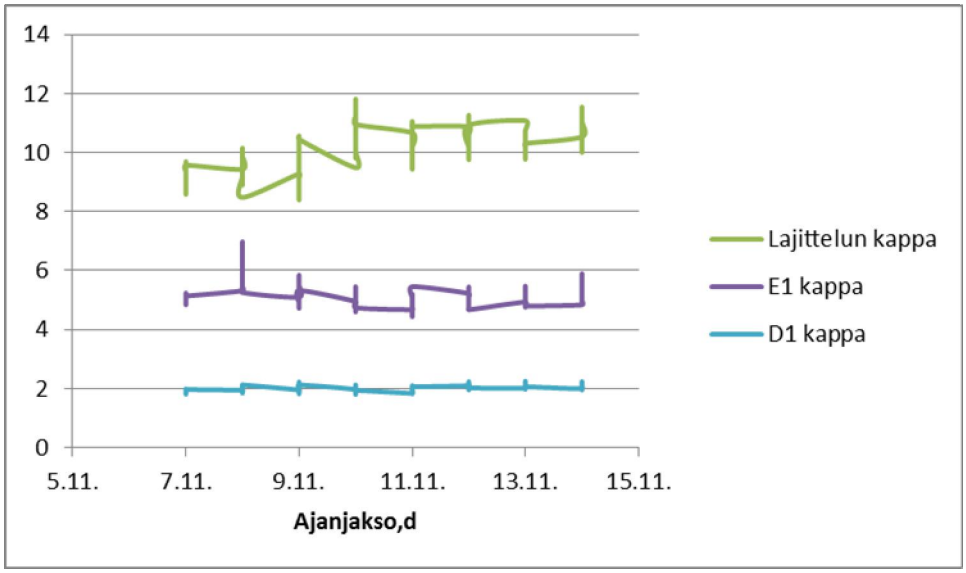
Tarkastelujaksolla D0- vaiheen tuotanto oli noin 38 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 76 ^{0}C:ta. Loppu pH näytti noin 6,0 - 6,5. Loppu pH:ta ei enää laitettu trendeihin, koska se oli tasainen ja kuviosta saa selvää paremmin.

Klooridioksidin käyttö tarkastelujaksolla oli noin 3,0- 5,0 kg/adt. Trendeissä havaitaan D2- vaiheen tulo - pH, joka oli noin 8,0- 10,0. Mittari oli saatu tarkastelujaksolla toimimaan.

Natriumbisulfiitin ($NaHSO_3$) käyttö oli tarkastelujaksolla suuri. Tarkastelujaksolla huomattiin jäännöskloorin nousseen suureksi. Trendeissä havaittiin käytön olevan noin 8,0 kg/adt. Natriumbisulfiitin tarkoitus oli pelkistää aktiivista kloorijätettä. Johtopäätös oli, että staattinen sekoitin ei sekoittanut valkaisukemikaalia kunnolla.

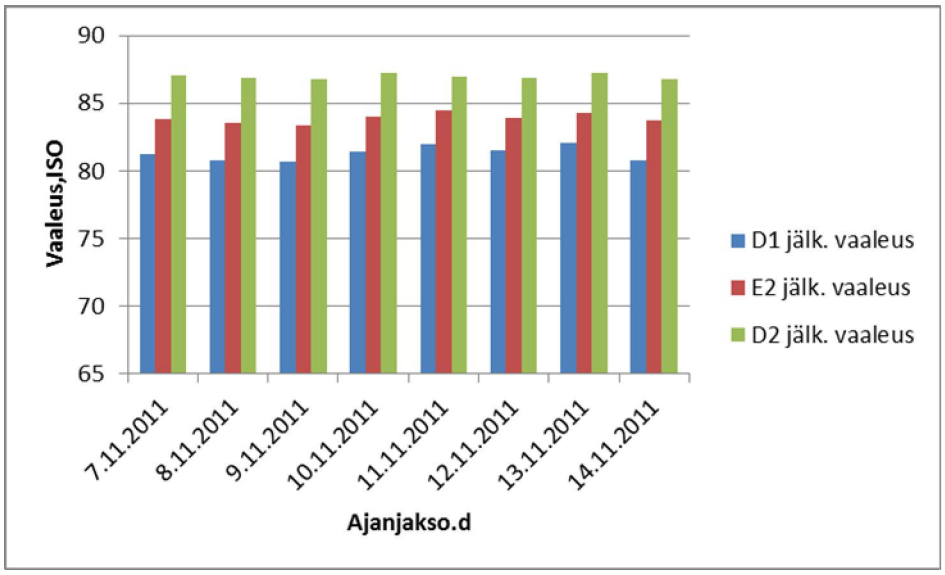
8.5.4 Marraskuun toinen viikko

Tällä tarkastelujaksolla säädettiin staattisen sekoittimen kuristuslaippaa. Kuristuslaipan asentoa muutettiin ja tarkoituksena oli muuttaa kemikaalin sekoittamista paremmaksi. Seuraavassa kuviossa 10 on kappatrendejä.



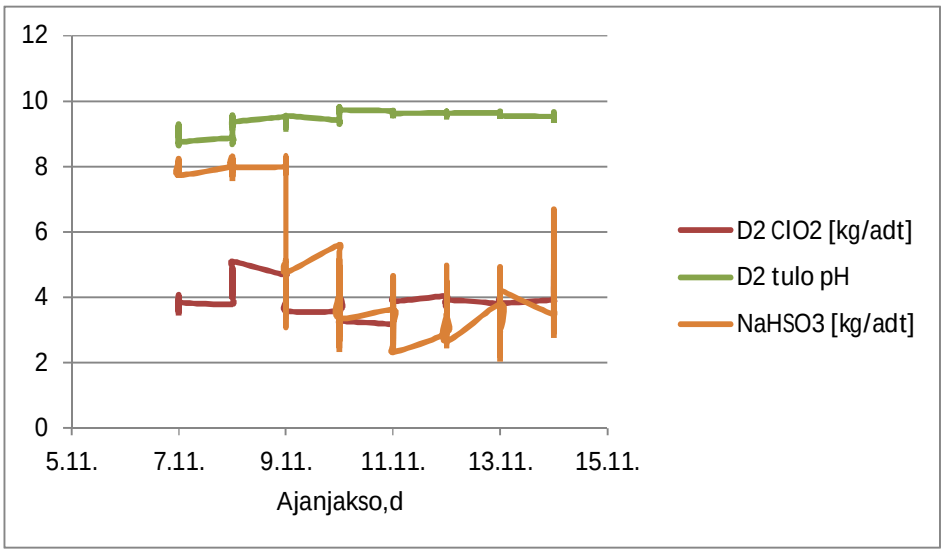
Kuvio 10. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

Vaiheen D0 tuotanto oli noin 38 Adt/d. Sakeus oli 4,5 %. Tarkastelujaksolla lajittelun kappa oli 8-12, E1- kappa näytti 5-7 ja, D1- kappa oli tasaisesti 2. Seuraavalla sivulla kuvio 11 on vaaleustulokset marraskuun toiselta viikolta.



Kuvio 11. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Tarkastelujaksolla havaittiin D1 - vaiheessa vaaleuden olevan 80 - 83 prosenttia. Vaiheen E2 - jälkeinen vaaleus näytti noin 84 – prosenttia, ja D2 - vaiheessa päästiin tavoiteltuun ISO 87-prosenttiin. Seuraavalla sivulla on kuvio 12 kemikaalikulutuksineen ja tulo pH.



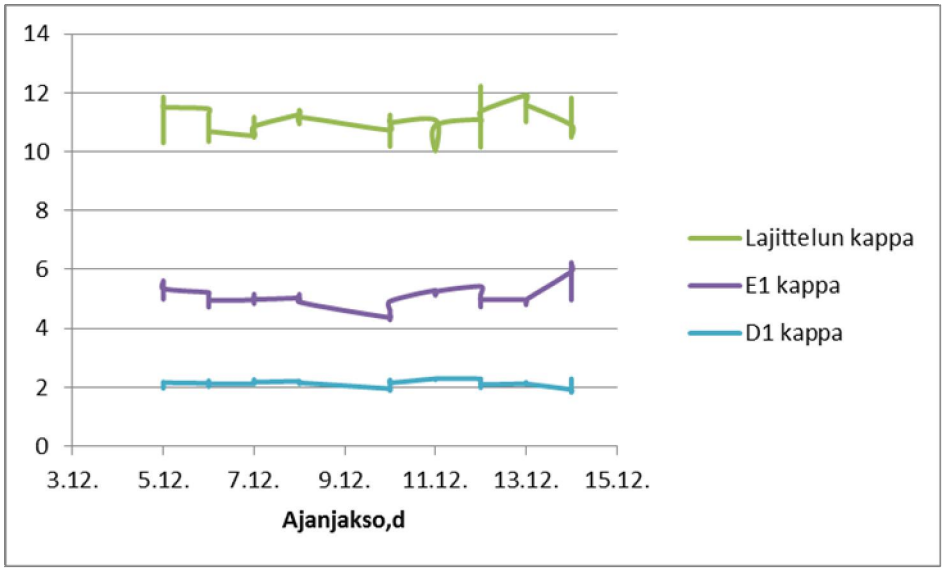
Kuvio 12. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen tulo pH

Trendeistä havaittiin D2- vaiheen klooridioksidin käytön olevan 2 - 5 kg/adt välissä. Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 77^{o}C:ta. Loppu pH oli 7. Vaiheessa D2 havaittiin tulo pH:ksi 9 - 10.

Natriumbisulfiittia käytettiin tässä vaiheessa 2 - 8 kg/adt. Tulos näytti paremmalta verrattuna aikaisempaan tarkastelujaksoon. Tämän tarkastelujakson kolme ensimmäistä päivää olivat huonompia, mutta tulokset parantuivat loppua kohden. Tarkastelujaksolla alkuun jäännöskloori oli korkea, mutta se saatiin lopussa paremmaksi.

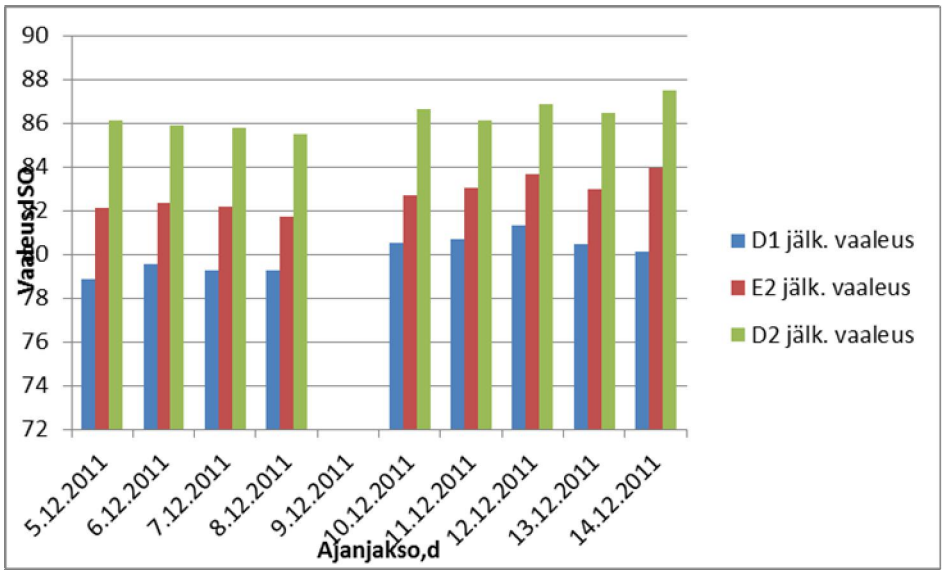
8.5.5 Joulukuun ensimmäinen tarkastelujakso

Seuraavat tarkastelujaksot olivat joulukuussa, jolloin sekoittimeen vaihdettiin uusi diffusori. Vaihto tapahtui 14.12.2012. Ensimmäisellä joulukuun jaksolla tutkittiin sekoittimen toimintaa ennen vaihtoa. Seuraavassa kuviossa 13 nähdään kappatrendejä.



Kuvio 13. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

Trendeistä havaittiin, että kapat näyttivät samanlaisilta kuin aikaisemmissa kappatrendeissä. Tuotanto D0- vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Sakeus oli noin 4,5 %. Lajittelun kappa oli 10- 12, E1- kappa oli 4-6, ja D1- kappa oli 2. Seuraavassa kuviossa 14 esitetään vaaleuksia.

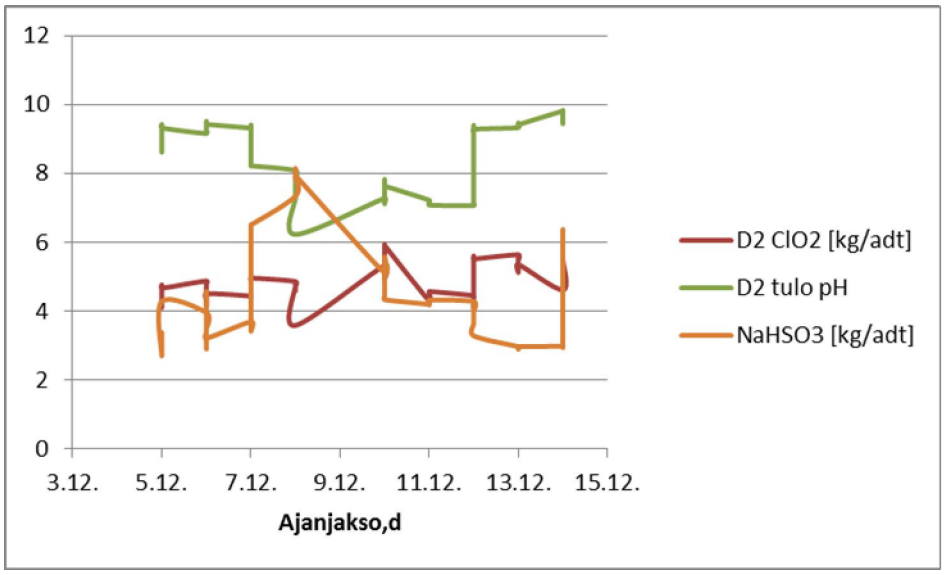


Kuvio 14. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Pylvästaulukosta havaittiin D1-vaaleuden olevan alempana kuin sen pitäisi olla ajanjaksolla 5.12.2011 - 8.12.2011. Se jäi noin 79 prosenttiin. Tarkastelujakson loppupuolella D1-vaaleus näytti yli 80 prosentin.

Vaiheen E2 vaaleudesta havaittiin alussa vaaleuden olevan noin 82 prosenttia. Loppupuolella se nousi 83 – 84 prosenttiin.

Loppuvaaleudesta havaittiin vaaleuden olevan alkuun liian pieni noin 86-prosenttia. Tarkastelujakson lopussa vaaleus saatiin noin 87 prosenttiin ja 11.12.2011 vaaleus näytti alle sen, eli 86 prosenttia. Seuraavassa kuviossa 15 esitetään kemikaalikulutuksia ja tulo pH.



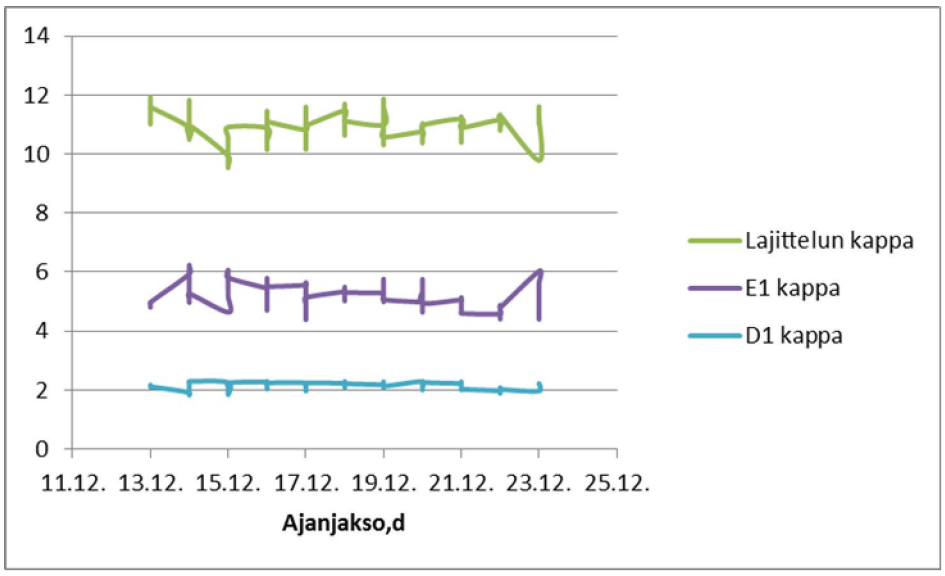
Kuvio 15. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen tulo pH

Tuotanto D0 – vaiheessa oli 38 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 77^{o}C:ta. Loppu pH oli 7. Klooridioksidia (ClO_2) käytettiin tarkastelujaksolla 4 - 6 kg/adt. Vaiheen D2 tulo pH oli tarkastelujakson aikana noin 6- 10. Natriumbisulfiittia ($NaHSO_3$) käytettiin 3- 8 kg/adt.

Trendeistä havaittiin kloorijätteen olevan välillä korkealla ja myös tulo - pH vaihtelee paljon. Klooridioksidin annos oli tasainen. Seuraavalla sivulla kuviossa 16 nähdään kappatrendejä joulukuun toiselta tarkastelujaksolta.

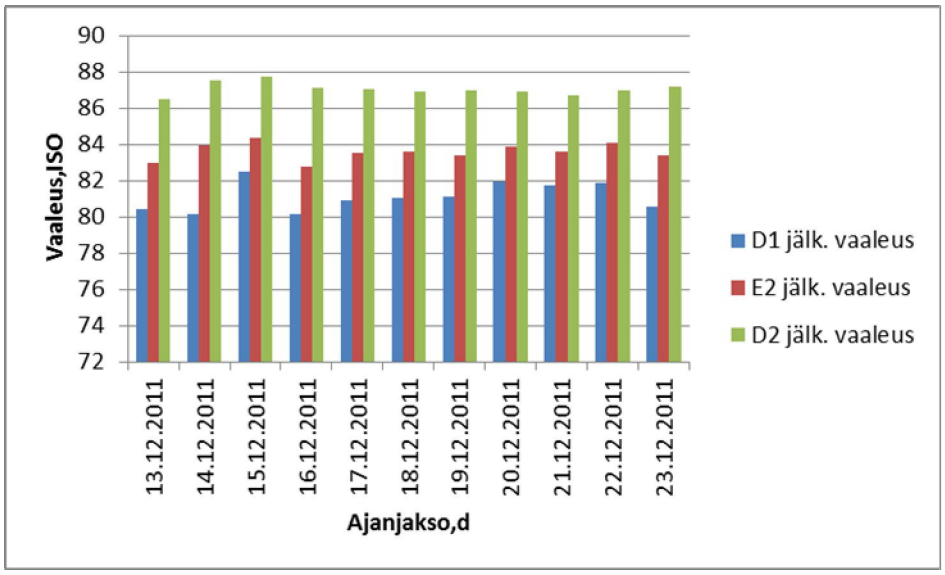
8.5.6 Joulukuun toinen tarkastelujakso

Tällä ajanjaksolla tarkasteltiin uuden diffusorin vaikutuksia sekoittimen toimintaan. Diffusorin vaihdon yhteydessä koivuvalkaisu jouduttiin pysäyttämään. Uudessa diffusorissa oli halkaisijaltaan isommat reiät, kuin vanhassa diffusorissa. Reikien suurentaminen auttoi siihen, että massa ei tukkeutunut ja sekoitusvirtaus diffusorin kohdalla oli parempi. Sekoitin toimi tällä ajanjaksolla selvästi paremmin kuin aikaisemmilla tarkastelujaksoilla. Kemikaalit sekoittuivat paremmin massaan, ja massalaatu pysyi tasaisempana.



Kuvio 16. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

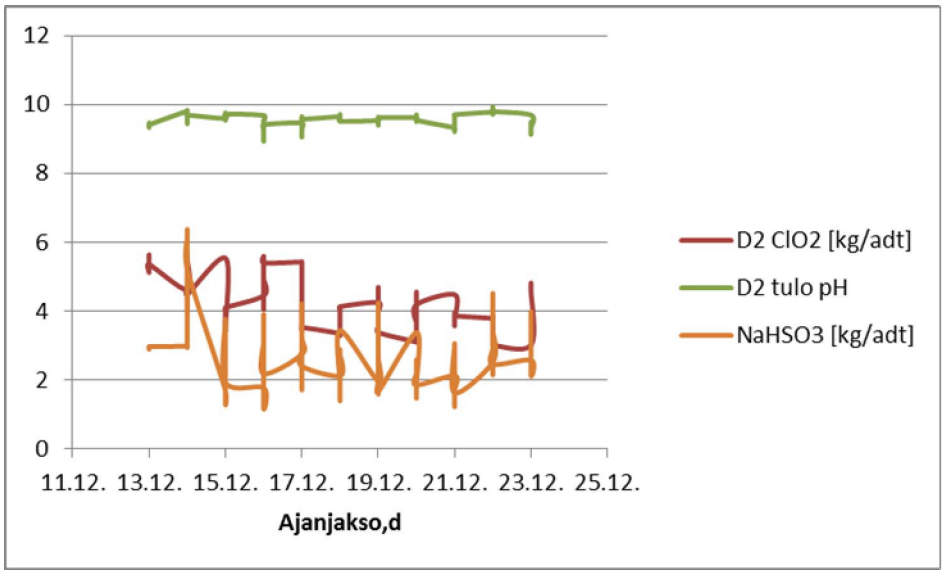
Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Sakeus oli 4,5 %. Trendeissä havaittiin lajittelun kapan olevan 10 - 12, E1- kappa oli 4,5 - 6,0, ja D1 - kappa oli tasaisesti 2. Muutoksia aikaisempiin tarkastelujaksoihin ei ollut. Seuraavalla sivulla kuviossa 17 havaitsemme tarkastelujakson vaaleudet.



Kuvio 17. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Kuviosta 17 havaittiin D1- vaaleuden olevan 80 - 82 prosenttia ja E2- vaaleus oli 83 – 84 prosenttia.

Loppuvaaleudesta saatiin tavoiteltu 87 prosenttia. Vaaleudet näyttävät uuden diffusorin vaihdon jälkeen tasaisilta. Seuraavalla sivulla kuviossa 18 nähdään kemikaalikulutuksia ja D2 – vaiheen tulo – pH.



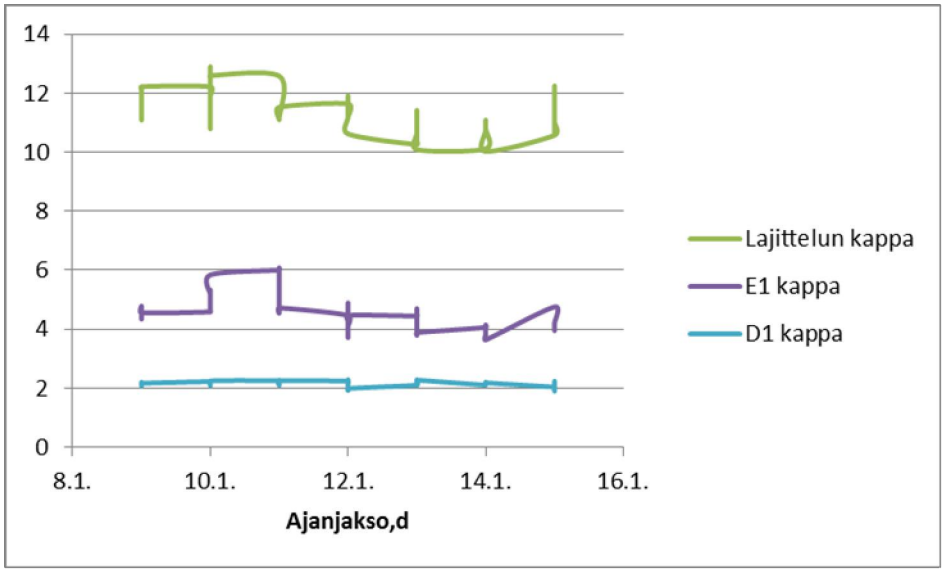
Kuvio 18. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen tulo pH

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 38 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 78^{o}C:ta. D2 - loppu pH oli 7. Vaiheen D2 klooridioksidin (ClO_2) käyttö oli noin 3- 5 kg/adt.

Trendeissä havaittiin D2 - tulo pH:n olevan 9- 10. Natriumbisulfiitin ($NaHSO_3$) käyttö oli noin 1,5- 6 kg/adt.

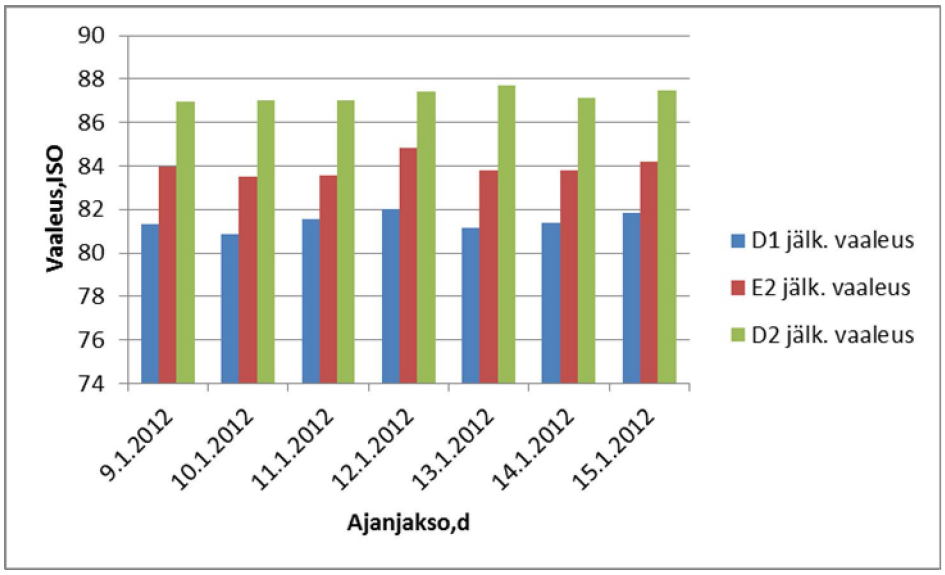
8.5.7 Referenssiviikko

Tarkastelujakso otettiin tammikuulta. Ajanjaksolla oli tarkoitus havaita uuden staattisen sekoittimen toimivuutta pidemmällä aikavälillä. Kuvio 19 on kappatrendejä referenssiviikolta.



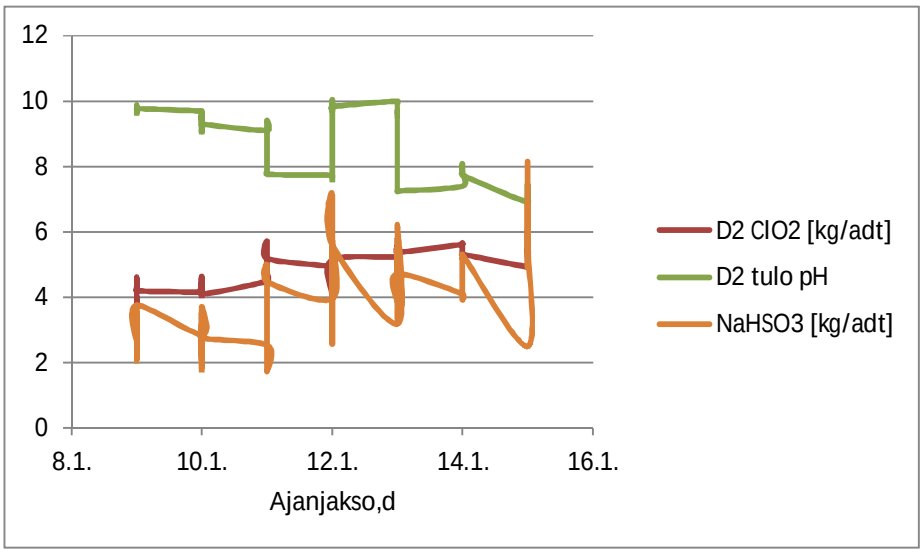
Kuvio 19. Lajittelun kappatrendi, E1- kappatrendi, D1 - kappatrendi

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 37 Adt/d. Sakeus oli noin 4.5. Trendeistä havaittiin lajittelun kapan olevan 10- 13, E1- kappa oli 4- 6 ja D1- kappa oli 2. Seuraavalla sivulla kuvio 20 kertoo vaaleuksista.



Kuvio 20. Vaaleudet D1 – vaiheessa, E2 – vaiheessa, D2 - vaiheessa

Tuotanto D0 - vaiheessa oli noin 37 Adt/d. Pylväskaaviosta havaittiin D1-vaaleuden olevan 81 - 82 prosenttia. Vaaleus E2 - vaiheessa oli 83 - 85 prosenttia. Loppuvaaleudeksi saatiin 87 - 88 prosenttia. Vaaleudet näyttivät edelleen tasaisilta verrattuna edelliseen vaaleustrendiin ja tavoitteeseen. Seuraavalla sivulla kuviossa 21 on kemikaalikulutukset ja D2 – vaiheen tulo – pH.



Kuvio 21. Kemikaalikulutukset, D2 – vaiheen tulo pH

Tuotanto D0 – vaiheessa oli noin 37 Adt/d. Vaiheen D2 tulolämpötila oli 76^{o}C:ta. Loppu pH oli 5. Trendeissä havaittiin klooridioksidin (ClO_2) käytön olevan 4 - 5,8 kg/adt. Tulo - pH D2 - vaiheessa oli 7- 10. Natriumbisulfiittia ($NaHSO_3$) käytettiin 2 - 8 kg/adt.

9 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tutkia D2- vaiheen uuden staattisen kemikaalisekoittimen toimivuutta Kaukaan koivuvalkaisussa. Tutkimukset tehtiin pitkällä aikajaksolla, jolloin pystyttiin vertailemaan Rauma Repolan tappisekoittimen toimintaa uuteen staattiseen sekoittimeen. Prosessista tehtyjen havaintojen perusteella staattinen sekoitin tarvitsee D2- vaiheeseen oikean prosessipaineen, klooridioksidille tasaisen syöttöpaineen ja sopivan vastapaineen valkaisureaktiotornista.

Tutkimuksissa tutkittiin staattista sekoitinta muuttamalla alkuun klooridioksidin paine. Paine jäi 1 bar tavoiteltua alhaisemmaksi. Tulosten perusteella sen täytyisi olla 3 bar yli prosessipaineen. Tämän jälkeen säädettiin kuristuslaipan asentoa. Tarkoitus oli saada valkaisun D2- vaiheen kemikaalisekoitusta paremmaksi. Sekoitus oli parempaa edelliseen kuristuslaipan asentoon verrattuna.

Joulukuun ensimmäisen tarkastelujakson jälkeen vaihdettiin staattiseen sekoittimeen uusi kemikaalin syöttöpää eli diffusori. Vaihdon tarkoitus oli saada kemikaali kulkemaan paremmin diffusorin läpi isompien reikien avulla. Tämä oli erittäin ratkaiseva tekijä sekoittimen toimivuuteen.

Referenssiviikko oli tammikuussa, jolloin tutkittiin sekoittimen toimivuutta pitkältä aikaväliltä vaihdon jälkeen. Kemikaali sekoittui tammikuun tarkastelujaksolla paremmin, kun vertaillaan sekoittimen toimintaa heti asennuksen jälkeiseen tilanteeseen syyskuussa.

Suurin vaikutus staattisella sekoittimella on energian säästö. Rauma Repola tappisekoittimessa oli 110 kW:n sähkömoottori, kun staattisessa sekoittimessa ei ole ollenkaan sähkömoottoria.

Staattisen sekoittimen jatkokehityksen kannalta olisi tärkeää saada klooridioksidilinjan painetta paremmaksi, diffusorissa kemikaalin syöttöreiät pitää mitoittaa oikein, jotta kemikaali sekoittuu massaan kunnolla.

Kuvat

Kuva 1 Esimerkki keittämöstä, s. 9

Kuva 2 Esimerkki valkaisujärjestelmästä, s. 15

Kuva 3 Esimerkki valkaisimosta, s. 19

Kuva 4 Näyttökopio Kaukaan koivuvalkaisusta, s. 20.

Kuva 5 Esimerkki valkaisun laitteisto, s. 22.

Kuva 6 MC- pumppu, s. 24.

Kuva 7 Esimerkki kuitulinjan virtauskaaviosta, s. 26.

Kuva 8 Andritz Amiz kemikaalisekoitin, s. 30.

Kuva 9 Kamyr MC- sekoitin (GL&V), s. 31.

Kuva10 Komax, US 3,9923,288, sisältäpäin kuvattuna, s. 32.

Kuva 11 Komax, US 3,9923,288, syöttöpää, s. 33.

Kuva 12 Komax, US 3,9923,288, materiaalivirtauskuva, s. 34

Kuva 13 Kvaerner Pulping AB, US 6,437,883 B1, ulkoapäin kuvattuna, s. 35.

Kuva 14 Kvaerner Pulping AB, US 6,437,883 B1, sisältäpäin kuvattuna, s. 36.

Kuva 15 Metsä Paper, US 2005/083780 A1, s. 38.

Kuva 16 Rauma Repola - tappisekoitin, s. 43.

Kuva 17 Andritz staattinen sekoitin periaatekuva, s. 44.

Kuva 18 Andritz staattinen sekoitin kuvattuna Kaukaan koivuvalkaisulinjalta, s. 45.

Kuviot

Kuvio 1 Huhtikuun kappa - trendejä, s. 49.

Kuvio 2 Huhtikuun vaaleus - trendejä, s. 50.

Kuvio 3 Huhtikuun kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 51.

Kuvio 4 Heinäkuun kappa - trendejä, s.52.

Kuvio 5 Heinäkuun vaaleus - trendejä, s. 53.

Kuvio 6 Heinäkuun kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 54.

Kuvio 7 Marraskuun 1 - viikko kappa - trendejä, s. 55.

Kuvio 8 Marraskuun 1 - viikko vaaleus - trendejä, s. 56.

Kuvio 9 Marraskuun 1 - viikko kemikaalikulutukset - ja pH- trendejä, s. 57.

Kuvio 10 Marraskuun 2 - viikko kappa - trendejä, s. 58.

Kuvio 11 Marraskuun 2 - viikko vaaleus - trendejä, s. 59.

Kuvio 12 Marraskuun 2 - viikko kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 60.

Kuvio 13 Joulukuun 1 - tarkastelujakson kappa - trendejä, s. 61.

Kuvio 14Joulukuun 1 - tarkastelujakson vaaleus - trendejä, s. 62.

Kuvio 15 Joulukuun 1 - tarkastelujakson kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 63.

Kuvio 16 Joulukuun 2 - tarkastelujakson kappa - trendejä, s. 64.

Kuvio 17 Joulukuun 2 - tarkastelujakson vaaleus - trendejä, s. 65.

Kuvio 18 Joulukuun 2 - tarkastelujakson kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 66.

Kuvio 19 Referenssiviikon tarkastelujakson kappa - trendejä, s. 67.

Kuvio 20 Referenssiviikon tarkastelujakson vaaleus - trendejä, s. 68.

Kuvio 21 Referenssiviikon tarkastelujakson kemikaalikulutukset - ja pH - trendejä, s. 69.

Taulukot

Taulukko 1. Valkolipeän määrittely, s. 12.

Taulukko 2. Eri valmistajien dynaamisten sekoittimien toiminnallisia ominaisuuksia, s. 27.

Taulukko 3. Olosuhteita Kaukaan jälkivalkaisun vaiheilta, s. 42.

Lähteet

1. M. J Seppälä, U. Klementti, V - M. Kortelainen, J. Lyytikäinen, H. Siitonen, R. Sironen 2004. Paperi massan valmistus, Kemiallinen metsäteollisuus 1, Saarijärvi, Gummerrus kirjapaino Oy.

2. Jarmo Leminen. Andritz Fiber Line division, Kotka.

3. Puusta paperiin M-401, Sellun keitto 1999, Saarijärvi Gummerus Kirjapaino Oy.

4. Knowpulp. Luettu 10.11.2011

5. Gullisen J and Fogerholm C. J 2000. Chemical pulping, Paper making science and technology, Gummerus.

6. Metso. Luettu 12.11.2011

7. T Karhu 2010, Kemikaalien energian kulutuksen kartoitus sellutehtaan havuvalkaisulinjalla, Saimaan ammattikorkeakoulu, Paperitekniikka, Opinnäytetyö

8. United States Patent. Luettu 11.11.2011

Liite 1

Kemikaalikulutukset heinäkuu

UPM

01 Kemikaalikulutukset Koivulinja

Alkuaika: 01.07. 06:00
Loppuaika: 01.08. 06:00

HAPPIVAIHE	Happi 1	Happi 2						Yht. kg/Adt
Happi	7,93	5,29						13,20
Hapetettu valkolipeä/NaOH	8,07	5,11						13,16
VALKAISU								
	HeX	D0	E1	D1	E2	D2	Loppu pH:n säätö	Yht. kg/Adt
Kloridioksidi		18,15		13,47		4,81		36,37
Vetyperoksidi			2,15		1,17			3,31
Happi			3,43					3,43
Hapetettu valkolipeä/NaOH			6,80		4,96			11,74
Rikkihappo	7,95	0,00					0,97	8,91
Natriumbisulfiitti				3,06		1,31		4,36

Liite 2

Kemikaalikulutukset marraskuu

UPM

01 Kemikaalikulutukset Koivulinja

Alkuaika: 01.11. 06:00
Loppuaika: 01.12. 06:00

HAPPIVAIHE	Happi 1	Happi 2						Yht. kg/Adt
Happi	5,85	3,98						9,83
Hapetettu valkolipeä/NaOH	9,38	3,44						12,81
VALKAISU	**HeX**	**D0**	**E1**	**D1**	**E2**	**D2**	**Loppu pH:n säätö**	**Yht. kg/Adt**
Klooridioksidi		14,83		11,01		4,00		29,84
Vetyperoksidi			2,21		1,08			3,29
Happi			3,58					3,58
Hapetettu valkolipeä/NaOH			7,14		3,80			10,94
Rikkihappo	10,11	0,02					0,38	10,51
Natriumbisulfiitti				490,39		5,38		495,75

Liite 3

Kemikaalikulutukset joulukuun ensimmäinen jakso

UPM

01 Kemikaalikulutukset Koivulinja

Alkuaika: 01.12. 06:00
Loppuaika: 15.12. 06:00

HAPPIVAIHE	Happi 1	Happi 2						Yht. kg/Adt
Happi	5,92	3,95						9,87
Hapetettu valkolipeä/NaOH	5,53	3,60						9,13
VALKAISU	**HeX**	**D0**	**E1**	**D1**	**E2**	**D2**	**Loppu pH:n säätö**	**Yht. kg/Adt**
Klooridioksidi		16,52		12,49		4,46		33,47
Vetyperoksidi			2,23		1,12			3,35
Happi			3,47					3,47
Hapetettu valkolipeä/NaOH			6,78		3,57			10,35
Rikkihappo	17,71	0,03					0,30	18,04
Natriumbisulfiitti				6,22		4,16		10,38

Liite 4

Kemikaalikulutukset joulukuun toinen jakso

UPM

01 Kemikaalikulutukset Koivulinja

Alkuaika: 16.12. 06:00
Loppuaika: 30.12. 06:00

HAPPIVAIHE	Happi 1	Happi 2						Yht. kg/Adt
Happi	6,64	4,57						11,21
Hapetettu valkolipeä/NaOH	11,35	4,42						15,77
VALKAISU	**HeX**	**D0**	**E1**	**D1**	**E2**	**D2**	**Loppu pH:n säätö**	**Yht. kg/Adt**
Klooridioksidi		16,48		11,75		3,86		32,09
Vetyperoksidi			2,40		1,23			3,63
Happi			3,70					3,70
Hapetettu valkolipeä/NaOH			7,59		3,61			11,20
Rikkihappo	7,39	0,02					0,52	7,93
Natriumbisulfiitti				1,54		2,64		4,17

.

Kemikaalikulutukset referenssiviikko

UPM

01 Kemikaalikulutukset Koivulinja

Alkuaika: 01.01. 06:00
Loppuaika: 08.01. 06:00

HAPPIVAIHE	Happi 1	Happi 2						Yht. kg/Adt
Happi	6,43	4,39						10,81
Hapetettu valkolipeä/NaOH	14,39	4,27						18,66
VALKAISU	**HeX**	**D0**	**E1**	**D1**	**E2**	**D2**	**Loppu pH:n säätö**	**Yht. kg/Adt**
Klooridioksidi		15,13		11,07		3,67		29,87
Vetyperoksidi			2,30		1,23			3,53
Happi			3,70					3,70
Hapetettu valkolipeä/NaOH			7,37		3,47			10,84
Rikkihappo	7,58	0,02					0,47	8,07
Natriumbisulfiitti				1,61		2,76		4,37

Laboratorion uuteaine- %

Syöttö	Aika	Arvo
6.7.2011	7:00	0,16
8.7.2011	7:00	0,19
11.7.2011	7:00	0,24
13.7.2011	7:00	0,01
15.7.2011	7:00	0,19
20.7.2011	7:00	0,16
22.7.2011	7:00	0,15
25.7.2011	7:00	0,08
27.7.2011	7:00	0,09
29.7.2011	7:00	0,13
Keskiarvo		**0,14**
Keskihajonta		**0,065828**

Laboratorion uuteaine- %

Syöttö	Aika	Arvo
30.9.2011	7:00	0,14
3.10.2011	7:00	0,14
5.10.2011	7:00	0,15
7.10.2011	7:00	0,22
12.10.2011	7:00	0,16
14.10.2011	7:00	0,13
17.10.2011	7:00	0,17
19.10.2011	7:00	0,12
21.10.2011	7:00	0,16
24.10.2011	7:00	0,19
28.10.2011	7:00	0,1
31.10.2011	7:00	0,22
Keskiarvo		**0,158333**
Keskihajonta		**0,037**

Laboratorion uuteaine- %

Syöttö	Aika	Arvo
2.11.2011	7:00	0,15
4.11.2011	7:00	0,12
7.11.2011	7:00	0,15
9.11.2011	7:00	0,21
10.11.2011	7:00	0,15
11.11.2011	7:00	0,15
14.11.2011	7:00	0,19
16.11.2011	7:00	0,21
18.11.2011	7:00	0,18
21.11.2011	7:00	0,12
23.11.2011	7:00	0,17
25.11.2011	7:00	0,18
28.11.2011	7:00	0,16
30.11.2011	7:00	0,15
Keskiarvo		**0,163571**
Keskihajonta		**0,028177**

Laboratorion valkaisutulokset

Syöttö	Aika	Arvo
6.7.2011	7:00	88,6
8.7.2011	7:00	87,9
11.7.2011	7:00	88,2
13.7.2011	7:00	88
15.7.2011	7:00	88,8
20.7.2011	7:00	88,7
22.7.2011	7:00	87,6
25.7.2011	7:00	88,7
27.7.2011	7:00	87,8
29.7.2011	7:00	88,6
Keskiarvo		**88,29**
Keskihajonta		**0,440833**

Laboratorion valkaisutulokset

Syöttö	Aika	Arvo
30.9.2011	7:00	86,5
3.10.2011	7:00	86,2
5.10.2011	7:00	87,1
7.10.2011	7:00	86,6
12.10.2011	7:00	87,5
14.10.2011	7:00	87
17.10.2011	7:00	86,9
19.10.2011	7:00	87,6
21.10.2011	7:00	86,8
24.10.2011	7:00	86,4
28.10.2011	7:00	87,2
31.10.2011	7:00	86,2
Keskiarvo		**86,83333**
Keskihajonta		**0,469687**

Laboratorion valkaisutulokset

Syöttö	Aika	Arvo
2.11.2011	7:00	86,6
4.11.2011	7:00	86,6
7.11.2011	7:00	87,7
9.11.2011	7:00	86,5
9.11.2011	10:00	86,8
10.11.2011	7:00	86,8
11.11.2011	7:00	86,9
14.11.2011	7:00	87,2
16.11.2011	7:00	87
18.11.2011	7:00	86,4
21.11.2011	7:00	88,2
23.11.2011	7:00	87,4
25.11.2011	7:00	86,6
28.11.2011	7:00	86,4
30.11.2011	7:00	86,8
Keskiarvo		**86,92667**
Keskihajonta		**0,509154**

Laboratorion viskositeettitulokset

Syöttö	Aika	Arvo
6.7.2011	7:00	986
8.7.2011	7:00	908
11.7.2011	7:00	898
13.7.2011	7:00	991
15.7.2011	7:00	926
20.7.2011	7:00	906
20.7.2011	7:00	867
22.7.2011	7:00	860
25.7.2011	7:00	905
27.7.2011	7:00	891
29.7.2011	7:00	907
Keskiarvo		**913,1818**
Keskihajonta		**41,70088**

Laboratorion viskositeettitulokset

Syöttö	Aika	Arvo
30.9.2011	7:00	877
3.10.2011	7:00	888
5.10.2011	7:00	884
7.10.2011	7:00	904
12.10.2011	7:00	933
14.10.2011	7:00	927
17.10.2011	7:00	941
19.10.2011	7:00	922
21.10.2011	7:00	926
24.10.2011	7:00	921
28.10.2011	7:00	937
31.10.2011	7:00	941
Keskiarvo		**916,75**
Keskihajonta		**22,81995**

Laboratorion viskositeettitulokset

Syöttö	Aika	Arvo
2.11.2011	7:00	918
4.11.2011	7:00	916
7.11.2011	7:00	859
9.11.2011	7:00	968
11.11.2011	7:00	907
14.11.2011	7:00	879
16.11.2011	7:00	898
18.11.2011	7:00	884
21.11.2011	7:00	843
23.11.2011	7:00	850
25.11.2011	7:00	833
28.11.2011	7:00	900
30.11.2011	7:00	891
Keskiarvo		**888,1538**
Keskihajonta		**36,66253**