

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaatio

2012

Joakim Lindell

VALKOLIPEÄSUOTIMEN HAPPOPESU PITKÄN PUHALLUKSEN YHTEYDESSÄ



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joakim Lindell

VALKOLIPEÄSUOTIMEN HAPPOESU PITKÄN PUHALLUKSEN YHTEYDESSÄ

Tämä insinöörityö on tehty UPM-Kymmene Oyj Pietarsaaren tehtaiden pyynnöstä. Opinnäytetyössä suunniteltiin ja ohjelmoitiin uusi happopesusekvenssi talteenottolinjan valkolipeäsuotimelle suodatustehon nostamiseksi. Samalla pohdittiin vaihtoehtoisten happojen käyttöä suotimen happopesussa, sekä mitä uusia tutkimuksia kemikaalikierron haitta-aineista kannattaisi tehdä.

Uuden pesuhapposekvenssin suunnittelun tavoite oli säästää aikaa ja mahdollistaa useampia ja lyhyempiä happopesuja talteenottolinjan valkolipeäsuotimelle. Uudella sekvensillä pystytään suorittamaan helposti happopesua valkolipeäsuotimelle vaikka kaustistamo on käynnissä ja säiliötilanne ei ole ihanteellinen pesua varten.

Opinnäytetyön alussa selvitettiin ensin valkolipeäsuotimen automaattiorakennetta, liittyvää laitteistoa sekä putkien reititys. Sekvenssin suunnittelussa käytettiin valmiina olevaa pitkää puhallus-sekvenssiä runkona, josta kehitettiin yhdistetty vesi- ja happopesu-sekvenssi. Ohjelmoinnista vastasi Metso Oyj, ja sekvenssin koeajoista UPM-Kymmene Oyj. Sekvenssin käyttöönotto kesti odotettua kauemmin. Tämä johtui siitä, että ohjaussekvenssin ohjelmointi on suuhtellisen haastavaa ja vaatii paljon simulointia ennen kuin se on valmis käyttöönottoa varten.

ASIASANAT:

(Valkolipeäsuodin, sekvenssi, kaustisointi, happopesu, kalkkimaito, CD-suodin, kemikaalikierto)

Joakim Lindell

COMBINED ACID WASH AND LONG BLOW IN WHITE LIQUOR FILTER

This bachelor's thesis was commissioned by UPM-Kymmene Plc, Pietarsaari Mills. The purpose of the thesis was to plan and program a combined acid wash and long blow sequence for the white liquor filter at the chemical recovery line in order to increase white liquor filtration sufficiency. The thesis also included discussion on the possible use of alternative organic acids during filter wash, and future research about minimizing contamination in the recovery cycle.

The purpose of the new sequence was to reduce washing time and increase the abilities to perform shorter acid washes in the filter more frequently. With the new sequence it is possible to perform acid wash while the rest of the causticizing process is running. The new sequence does not require optimum levels in various storage tanks connected to the process.

First matters to be examined were the automatic structure of the white liquor filter and the processes in connection to the filter and pipe routing. An existing long blow sequence was used as frame when planning the new washing sequence. Acid wash steps were added to the frame to form the new sequence. Metso Plc was responsible for programming the sequence, and UPM-Kymmene Plc carried out the testing of the sequence. The implementation of the sequence into the control system lasted longer than expected. This was caused by the fact that programming sequences is quite difficult, and demands a lot of simulation before they are ready to be installed for use.

KEYWORDS:

White liquor filter, sequence, causticization, acid wash, lime milk, CD-filter, chemical recovery

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

1 JOHDANTO	6
2 UPM-KYMMENE OYJ	7
2.1 Yrityskuvaus	7
2.2 UPM-Kymmene Pietarsaari	8
3 KEMIALLISEN MASSAN VALMISTUSPROSESSI	9
3.1 Puunkäsittely	9
3.2 Keitto	11
3.3 Valkaisu	11
3.4 Kuivatus	13
4 KEMIALLINEN TALTEENOTTOLINJA	14
4.1 Haihduttamo	14
4.2 Soodakattila	20
4.3 Kaustisointi ja meesauuni	24
5 PAINEISTETTU KIEKKOSUODIN	31
6 KOKEELLINEN OSUUS	35
6.1 CD-suodin	35
6.2 CD-suotimen pitkä puhallus	36
6.3 CD-suotimen happopesu	36
6.4 Yhdistetty pitkä puhallus ja happopesu	40
6.5 Haasteita	40
6.6 Happojen käyttö	42
7 SEKVENSSIN LAATIMINEN	44
7.1 Suunnittelu	44
7.2 Ohjelmointi	45
8 TULOKSET	47
8.1 Koeajo hapolla	47
8.2 Pesun tulokset	48
9 PARANNUSEHDOTUKSET	50
9.1 Haitta-aineiden tutkinta	50
9.2 Väkevyyden muuttaminen	50
9.3 Uuden pesusekvenssin käyttöönotto	51
10 LOPPUPÄÄTELMÄT	52

LIITTEET

Liite 1. PP+HAPPO PESUSEKVENSSI

KUVAT

Kuva 1. UPM Kymmene Pietarsaaren tehtaat (UPM-Kymmene 2011a).	9
Kuva 2. Massan valmistus (Knowpulp 2011).	14
Kuva 3. 6-vaiheinen haihduttamo (Knowpulp 2011).	15
Kuva 4. Lipeän vastavirtaus haihduttamolla (Tikka 2008, 45).	16
Kuva 5. Lipeän jaettu virtausjärjestelmä haihduttamolla (Tikka 2008, 45).	16
Kuva 6. Falling film -haihdutin (Knowpulp 2011).	18
Kuva 7. Ilmanjako soodakattilan tulipesässä (Knowpulp 2011).	22
Kuva 8. Soodakattilan osat (Knowpulp 2011).	24
Kuva 9. Viherlipeäsuodatin, X-filter (Knowpulp 2011).	25
Kuva 10. Kaksikammioinen sammuttaja (Knowpulp 2011).	27
Kuva 11. Meesauuni laitteistoinen (Knowpulp 2011).	29
Kuva 12. Kaustisointi (Knowpulp 2011).	31
Kuva 13. Paineistetun kiekkosuotimen toimintaperiaate (Tikka 2008, 151).	33
Kuva 14. Paineistetun kiekkosuotimen tyypillinen sisäinen rakenne (Metso DNA käyttöohjeet).	34
Kuva 15. Paineistetun kiekkosuotimen suodatuskiekko ja kaavarit.	34
Kuva 16. UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtaat, CD-suodin.	35
Kuva 17. CD-suotimen iA-trendi ennen happopesua (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	37
Kuva 18. CD-suotimen iA-trendi happopesun jälkeen (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	38
Kuva 19. CD-suotimen iA-trendi happopesun aikana (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	39
Kuva 20. Kaustistamon ajokuva (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	41
Kuva 21. Pesuhappojärjestelmän ajokuva (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	43
Kuva 22. CD-suotimen iA-trendi ennen ja jälkeen pesua (Metso DNA ohjausjärjestelmä).	49

TAULUKOT

Taulukko 1. Haihduttamon hyötysuhde (Tikka 2008, 43).	17
Taulukko 2. Happojen kustannuslaskenta.	43

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CD-suodin	Paineistettu kiekkosuodin.
Meesa	Kalsiumkarbonaatti (CaCO_3). Luonollinen suola joka esiintyy esimerkiksi kalkkikivenä, marmorina ja liituna.
Kalkkimaito	Natriumhydroksidin (NaOH) ja kalsiumkarbonatin (CaCO_3) sekoitus.
Keittämö	Prosessivaihe missä puuhaketta keitetään paperimassaksi.
Pitkä puhallus	Valkolipeäsuotimen vesipesusekvenssi.
Valkolipeä	Natriumhydroksidin (NaOH) natriumsulfidin (Na_2S) sekoitus . Vahva emäs joka käytetään keittokemikaalina ligniinin liuotukseen keittoprosessissa.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoite oli parantaa kaustistamon valkolipeäsuotimen happopesumenetelmiä. Työ tehtiin UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtailla, missä käytetään paineistettua kiekkosuodinta, tyyppinimeltään CD-suodin, valkolipeän suodatukseen. Syynä hankkeeseen oli, että alkuperäinen happopesusekvenssi vei tietyissä tilanteissa liian paljon aikaa. Pitkän pesuajan takia ei aina ollut mahdollista pestä CD-suodinta hapolla, koska säiliötilanne esti sen.

Likaiset suodatuskankaat valkolipeäsuotimessa ovat monesti jarruttaneet koko kemiallisen talteenottolinjan vauhtia, mikä on myös aiheuttanut jarrutusta keittämöllä, kun valkolipeän kulutus on ollut suurempi kuin sen talteenotto.

Alkuperäinen happopesusekvenssi kestää 100–120 minuuttia, riippuen sekvenssin asetuksista, ja tämän ajan aikana koko kaustistamo, paitsi meesauuni ja viherlipeäsuotimet, on pysäyhyksissä. Tämän pituisen katkon jälkeen kestää melkein vuorokauden, ennen kuin kaustistamon säiliöt ovat tasaantuneet normaalitilanteeseen.

Suunnittelemalla uusi pesusekvenssi CD-suotimelle pyrittiin vähentämään suotimen pesuaika ja luomaan enemmän sopivia tilanteita happopesulle. Sekvenssin tavoite oli yksinkertaisuus ja nopeus. Suotimen vesihuuhteluun käytettiin pitkäpuhallus-sekvenssin periaatteita, pesuhapon syöttöä ja putkilinjojen huuhtelua yksinkertaistettuna.

Uuden pesusekvenssin tarkoitus ei ollut korvata alkuperäistä happopesusekvenssiä, vaan täydentää sitä. Kahdella eripituisella happopesusekvenssillä on mahdollista saada CD-suodinta pesty tuotannonvauhdista riippumatta.

2 UPM-KYMMENE OYJ

2.1 Yrityskuvaus

UPM-Kymmene syntyi syksyllä 1995, kun Kymmene Oy ja Repola Oy sekä sen tytäryhtiö Yhtyneet Paperitehtaat yhdistyivät. Toukokuussa 1996 uusi yhtiö, UPM-Kymmene, aloitti toimintansa. (Tuuri 1999.)

UPM-Kymmene kuuluu tärkeimpiin metsäteollisuusyhtiöihin niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti. Yhtiön juuret ovat Suomessa, mutta kansainvälisenä yhtiönä UPM-Kymmenellä on tuotantolaitoksia 15 maassa sekä jakeluverkostoja yli 70 maassa. Vuonna 2010 yhtiön liikevaihto oli 8 924 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli maailmanlaajuisesti 21 869 henkilöä. Konsernin osakkeet ovat listattuna Helsingin ja New Yorkin pörssissä. (UPM vuosikertomus 2010.)

UPM-Kymmene pyrkii yhdistämään bio- ja metsäteollisuutta ja rakentamaan uutta kestäväää ja innovaatioveitoista tulevaisuutta. Joustavuus ja jatkuva kehitys auttaa yhtiötä toimimaan asiakkaiden toivomusten mukaan, ja löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja. (UPM vuosikertomus 2010.)

UPM-Kymmene uudistaa liiketoimintojaan siirtämällä painopistettään markkinoihin ja liiketoimintoihin, jotka tuovat kestäväää lisäarvoa ja kasvua. Muutosvalmius, kustannustehokkuus ja innovaatiot luovat kilpailukykyä ja uusia markkinoita. Konsernin ydinliiketoimintaa ovat kuituun perustuvat tuotteet, kuten sellu ja paperi. Myös energia, biopolttoaine ja teknisten materiaalien liiketoiminnot laajentavat toimintakenttää ja tarjoavat lisää kasvumahdollisuuksia. (UPM vuosikertomus 2010.)

2.2 UPM-Kymmene Pietarsaari

UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtaiden tarina alkoi vuonna 1883 kun Wilhelm Schauman perusti Pietarsaaren vuokrahuoneeseen pienen sikurimyllyn. Paahdettua sikuria käytettiin silloin laajasti ympäri Eurooppaa kahvin vahvikkeena. Muutaman vuoden jälkeen Wilhelm Schaumanin rakensi Alholmantien varrelle oman sikuritehtaan, ja pian tämän jälkeen Schaumanin yhtiö oli Suomen suurin sikurin valmistaja. (Tuuri 1999.)

Sikurin myyntivoitolla Wilhelm Schauman pystyi laajentamaan toimintaansa, ja perusti 1892 Victor Nymanin kanssa puutavarakaupan nimeltään Schauman & Nyman. Vuonna 1895 Schauman & Nyman alkoi viedä maasta sahatavaraa. Viennin voitolla Schauman & Nyman ostivat höyrysahan ja yhtiö laajensi toimintaansa entistä enemmän saha-alalle. Myöhemmin Nyman möi osuutensa sahasta Schaumanille, ja yhtiö sai myöhemmin nimen Oy Willh. Schauman Ab. (Tuuri 1999.)

Kesäkuussa 1935 Pietarsaaren ensimmäinen sulfiittiselluloosatehdas otettiin käyttöön, ja sen tuotantokapasiteetti oli parhaimmillaan 40 000 tonnia sellua vuodessa. (Tuuri 1999.)

Toukokuussa 1962 Oy Willh. Schauman Ab. käynnisti Pietarsaassa ensimmäisen sulfaattiselluloosatehtaan. Sellutehdas saavutti pian 100 000 tonnin vuosituotannon, ja vuosikymmenen lopussa tehtiin jo 210 000 tonnia sellua vuodessa. Tehtaalla oli yksi paperikone, ja 1970-luvun alussa tehtiin 125 000 tonnia voimapaperia vuodessa. (Tuuri, 1999)

Vuonna 2004 otettiin käyttöön uusi talteenottolinja, ja tänä päivänä UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtaiden kapasiteetti on 790 000 tonnia sellua vuodessa. Tehtaaseen kuuluu puunkäsittely, keittämö, kemiallinen talteenottolinja, vesilaitos, kaksi kuivatuskonetta sellua varten, yksi paperikone sekä saha ja jätevesilaitos. Tehdasalueen suurimmat ulkopuoliset yhtiöt UPM-

Kymmenen lisäksi on Oy Alholmens kraft Ab ja Walki Oy. (UPM-Kymmene Oyj Intranet 2011.)



Kuva 1. UPM Kymmene Pietarsaaren tehtaat (UPM-Kymmene 2011a).

3 KEMIALLISEN MASSAN VALMISTUSPROSESSI

3.1 Puunkäsittely

Kemiallisen massan prosessi alkaa puunkäsittelystä, missä puu ensin kuoritaan kuorintarummussa. Kuoren osuus havukuitupuussa on 12–15 % ja koivukuitupuussa noin 15 %. Kuorinta irrottaa kuoren puusta, erottaa hiekkaa ja kivet puuvirrasta ja nostaa puhtausastetta. Rumpukuorinta on yleisin menetelmä kuoria puuta ja tavoite on saada puun mahdollisimman tasainen virtaus kuorintarummussa. Kuorinta perustuu hankaukseen, ja kulkeutuessaan rummun läpi puut hankautuvat toisiinsa, rummun seinämää ja nostorautojen vasten. Hankaus murtaa kuoren ja puun välisen jälsikerroksen, joka sekin irtoaa puusta. Kuorinta rummussa voidaan suorittaa märkäkuorintana tai

kuivakuorintana. Yhdistelmäkuorinnassa lisätään vettä rummun alkupäässä ja loppupäässä toimii kuivana. On olemassa kaksi eri kuorintamenetelmää; ristikkäiskuorinta ja yhdensuuntaiskuorinta. (Seppälä 1999; UPM/Intranet/Knowpulp/Puunkäsittely tiiviste.)

Puut jakaantuvat kahteen kerrokseen rummussa ja alemmassa kerroksessa puiden keskeinen liukuma on pieni ja kuorinta vähäistä. Ylemmässä kerroksessa puut liikkuvat toisiinsa nähden paljon joutuessaan vierimään rinnettä alas. Hankautumiseen vaikuttavat rummun täyttöaste, läpimitta ja kierrosluku. (Seppälä 1999.)

Kuorinnan jälkeen puut purkautuvat portin kautta hakun syöttölinjalle. Hakun syöttölinjan tehtävä on erottaa puunvirrasta ylisuuret puut, pätäkät, metallit ja tasoittaa puun virtausta ennen hakkaa. (UPM Intranet/Knowpulp/Puunkäsittely tiiviste.)

Seuraavaksi puu menee haketukseen, jonka tehtävä on tuottaa hyvänlaatuista ja homogeenista haketta. Haketta pyritään tuottamaan riittävällä kapasiteetillä käytettävissä olevasta ja usein vaihtelevanlaatuisesta puuraaka-aineesta. Hakkeen laatu on erittäin tärkeä tekijä lopputuotteen laadusta prosessissa, joten hakkeen seulonta ja varastointi on tehtävä huolellisesti. (Seppälä 1999.)

Hake pitää olla tasapaksuista ja oikean pituista, niin että keittoliuos imeytyy tasaisesti hakkeeseen. Keittoliuos imeytyy osittain diffuusion avulla, osittain tunkeutumalla. Sulfaattikeittoliuos tunkeutuu hakepalaan kuitujen suunnassa nopeammin kuin poikkisuunnassa. Selluhakkeen paksuus on oltava 4-5 mm ja pituudeltaan 15-30 mm. (Seppälä 1999; UPM/Intranet/Knowpulp/Puunkäsittely tiiviste.)

Kiekkohakkuu on yleisin hakkuutyyppeillä jolla valmistetaan sellutehtaiden hake tehtaalla. Puuta voidaan syöttää joko vaaka- tai pystysuunnassa. Vaakasyötössä hakun teräskiekko on pystyssä, ja puut syötetään vaakasuorassa tietyssä kulmassa teräkiekkoa vastaan joko akselin ylä tai alapuoliseen syöttökitaan. Vaakasyöttö sopii hyvin järeän ja pitkän puun haketukseen, koska se ei vaadi korkealla olevia kuljettimia.

Pystysyötössä hakun teräskiekko on pystysuorassa ja puut syötetään ylhäältä syöttökitaan, joka on tiettyssä kulmassa teräskiekkoa vastaan. (Seppälä 1999.)

Haketta siirretään varastointiin puhallustyhjennyksen avulla. Hakevirta johdetaan sykloniin, joka poistaa kantoilman ja samalla tasoittaa haketta ennen kuljetinta. Syklonista haketta puretaan pohjassa olevalla ruuvilla hihnakuljettimelle varastointia varten. (Seppälä 1999; UPM/Intranet/Knowpulp/Puunkäsittely tiiviste.)

3.2 Keitto

Haketta syötetään varastoinnista keittoon, jonka tehtävä on kemikaalien ja lämmön avulla liuottaa kuituja sitovaa ligniiniä, niin että hake kuituuntuu helposti. Selluloosapitoiset kuidut pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkinä, vahvoina ja ehjinä. Keittokemikaaleina käytetään natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na_2S) sekoitusta, ns. valkolipeä. Lopullinen ligniinipitoisuus massassa saavutetaan säätämällä alkalimäärä, keittoaika ja lämpötila. Nämä kolme tekijää vaikuttaa ligniinin liuotukseen keitossa. Jos alkalia on liian vähän, ligniini ei liukene kunnolla. Normaali alkalimäärä keitossa on n. 150 kg valkolipeää per tonni puuta. Jos keittoaika on liian pitkä tai lämpötila liian korkea, alkalia häviää liian paljon ja pH laskee keittoerässä. Kun pH laskee liian matalaksi, ligniini kiteytyy uudestaan kiinni selluloosakuituihin. (Seppälä 1999.)

Keittoa voi tapahtua joko eräkeittona tai jatkuvatoimisena vuokeittona. Keittimen lämmitykseen käytetään höyryä, joko suorasti tai epäsuorasti. Epäsuora lämmitys voi olla esimerkiksi lämmönvaihtimen avulla. Suora lämmitys voi tulla esimerkiksi sooda- tai kuorikattilan tuottamasta höyrystä. Suomessa sellun keitossa käytetään eniten havu- ja koivupuuta. (Seppälä 1999; UPM Intranet/Knowpulp/Keitto.)

3.3 Valkaisu

Keiton jälkeen massa pestään. Pesun tarkoitus on erottaa kuituvirrasta keiton aikana liuennut puuaines sekä keittokemikaalit, eli ns. mustalipeä. Mustalipeä pyritään poistamaan massasta mahdollisimman vähäisellä laimennuksella, ja

johdetaan haihduttamolle jatkokäsittelyä varten. Massan pesuun käytetään joko syrjäytyspesu tai laimennus-sakeutuspesu. (Seppälä 1999.)

Syrjäytyspesussa puhtaampi vesi johdetaan standardisakeuksisen massansulpun läpi, jolloin puhtaampi vesi työntää likaisemman nesteen pois massasta. Syrjäytyspesussa käytetään pesudiffusöörejä. (Seppälä 1999.)

Laimennus-sakeutuspesussa massasulppu laimennetaan puhtaammalla pesuliemellä, minkä jälkeen massa saostetaan. Laimennus-sakeutuspesussa käytetään pesupuristimia ja painesuotimia kuten esimerkiksi DD-pesuri. Tehokkuus- ja ympäristösyistä pesuvaiheessa käytettävä vesi voi olla toisiolauhde esimerkiksi haihduttamolta. (Seppälä 1999.)

Pesun jälkeen massa johdetaan happivaiheeseen, missä massan jäännösligniinipitoisuus alennetaan. Happikaasu ja NaOH-liuos johdetaan reaktiosäiliön pohjalle ja säiliö lämmitetään höyryllä. Säiliössä syntyy alkalinen ympäristö, jossa happikaasu hapettaa ligniiniä, niin että tämä liukenee veteen. Happivaiheessa pystytään vähentämään massan jäännösligniinipitoisuus 40–50 %:lla ilman, että massan lujuusominaisuudet heikkenevät merkittävästi. (Seppälä 1999.)

Happivaiheen jälkeen massa syötetään valkaisuun puhtauden ja vaaleuden parantamiseksi. Tämä tapahtuu joko vaalentamalla tai poistamalla massan värilliset aineet. Merkitsevin väriä aiheuttava aine massassa on jäännösligniini, joten se tulee poistaa tai vaalentaa. Ligniinin vaalentamista sovelletaan pääsääntöisesti vain mekaanisten massojen valmistuksessa. Kemialliset massat valkaistaan poistamalla ligniiniä massasta. Keittoprosessi on lopetettava määrättyyn ligniinitasoon, muuten hiilihydraattisuus massassa alkaisi pilkkoutua. Valkaisu on jatke ligniinin poistoa massasta hieman eri kemikaaleilla ja prosesseilla. (Seppälä 1999.)

Valkaisukemikaalien tärkeimmät tehtävät on jäännösligniinimolekyylin aromaattisen renkaan hapettuminen ja karboksyylihapojohdannaisten muodostaminen. Ne edesauttavat ligniinin liukenemistä valkaisu prosessin aikana. (Seppälä 1999.)

Valkaisun kemikaalit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

Ryhmä 1: Kloori (Cl_2), Otsoni (O_3) ja peroksihapot (Paa ja Caa). Reagoivat kaikkien aromaattisten ligniiniyksiköiden kanssa

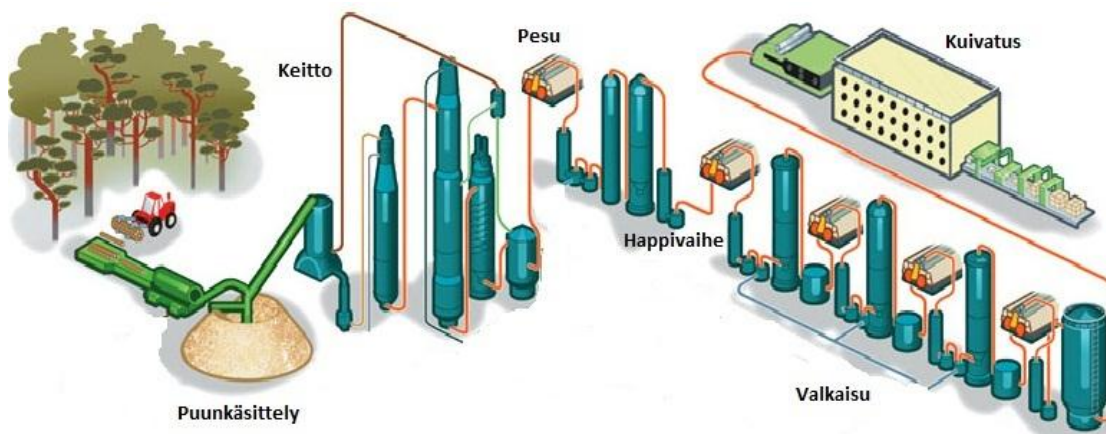
Ryhmä 2: Klooridioksidi (ClO_2) ja happi (O_2). Reagoivat pääasiassa sellaisten ligniinirakenteiden kanssa, joissa on vapaita fenolisia hydroksyyli ryhmiä.

Ryhmä 3: Hypokloriitti (NaOCl) ja vetyperoksidi (H_2O_2). Reagoivat vaan tiettyjen funktionaalisten ryhmien kanssa.

Nykyään käytetään kahta valkaisu menetelmää, ECF- Elementary chlorine free, ja TCF- Totally chlorine free (UPM/Intranet/Knowpulp/Valkaisu.).

3.4 Kuivatus

Valkaistu massa syötetään massasäilytystornien kautta joko kuivatus- tai paperikoneelle, riippuen tarpeesta ja massatyypistä. Kuivatuskoneen märkäässä käytetään kolme eri menetelmää, jotka ovat imusylinteri, tasoviirakone tai kaksoisviirakone. Perälaatikosta laimennettu massasulppu johdetaan viiraosalle. Viiraosassa massa rainataan niin, että se muodostaa kuituverkoston, ja samalla suurin osa vedestä poistetaan. Tätä vettä kutsutaan 0-vedeksi. Viiraosan jälkeen massarata menee puristuksen läpi, jossa vettä poistetaan edelleen rainasta puristamalla. Viiran- ja puristinosan jälkeen massa kuivatetaan ulkopuolelta syötetyllä lämpöenergialla kuivatuskaapissa n. 45 %:n kuiva-ainepitoisuudesta 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Haihdutettu vesi sidotaan kuivatusilmaan ja johdetaan pois prosessista. Kuivattu massa leikataan sopivan kokosiin levyihin ja pinotaan n. 1000 kg paaleiksi, jotka menevät joko vientiin tai omiin tarpeisiin konsernin sisällä jatkojalostukselle. (Seppälä 1999; UPM Intranet/Knowpulp/ Kuivatus.)



Kuva 2. Massan valmistus (Knowpulp 2011).

4 KEMIALLINEN TALTEENOTTOLINJA

4.1 Haihduuttamo

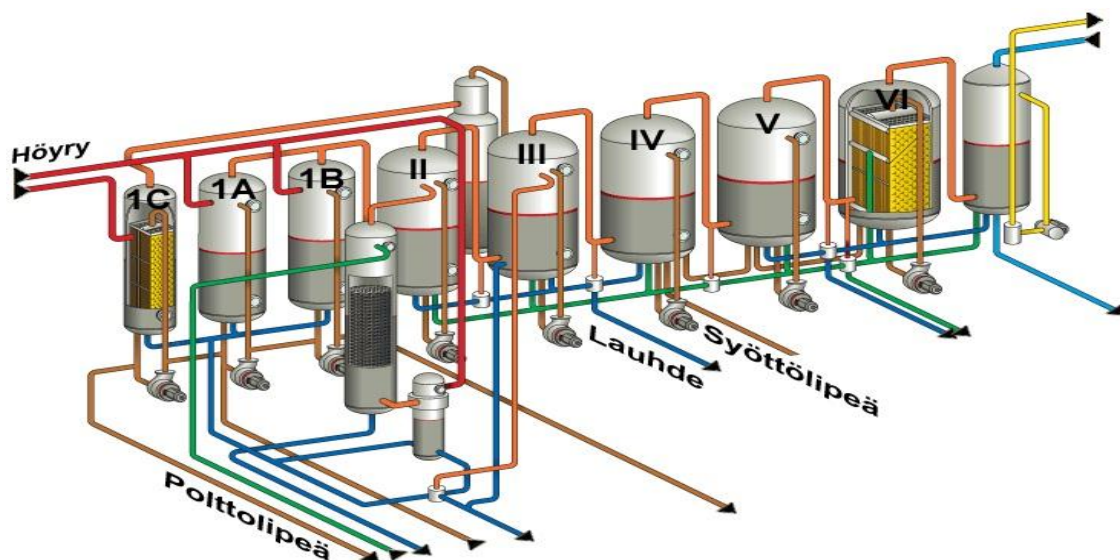
Sulfaattisellun keitossa käytettävät natriumyhdisteet ovat niin kalliita, että selluvalmistusmenetelmän alkuvaiheessa ruvettiin jo ottamaan kemikaaleja talteen. Edut ovat kustannustehokkuus ja ympäristöystävällisyys. (UPM Intranet/Knowpulp/Kemikaalikierto.)

Keiton aikana valkolipeä reagoi puun ligniinin, ja jossain määrin muiden ainesosien kanssa. Reaktiosta syntyy mustalipeää, joka sisältää natrium- ja rikkipohjaisia yhdisteitä. Keiton jälkeen pesulipeä erotetaan massasta ja johdetaan haihduuttamolle ylimääräisen veden poistamiseksi. Haihduuttamon tehtävänä on saattaa pesemöltä talteenotettu pesulipeä polttokelpoiseen muotoon. (Seppälä 1999; UPM Intranet/Knowpulp/Kemikaalikierto.)

Pesuosastolta haihduuttamolle menevää lipeää vahvistetaan vahvalipeällä niin että lipeän kuiva-ainepitoisuus nousee 18–20 %:iin. Tätä vahvistettua lipeää kutsutaan syöttölipeäksi, ja vahvistuksella ehkäistään lipeän kuohaaminen haihdutusprosessin alkuvaiheessa. (Seppälä 1999.)

Kun lipeän kuiva-ainepitoisuus haihduttamalla on 30–35 % lipeä johdetaan välilipeäsäiliöön. Välilipeäsäiliössä lipeästä erotetaan raakasuopa, ja lipeä pumpataan takaisin haihduttamolle loppuvahvistusta varten minkä jälkeen sitä kutsutaan vahvalipeäksi. (Seppälä 1999.)

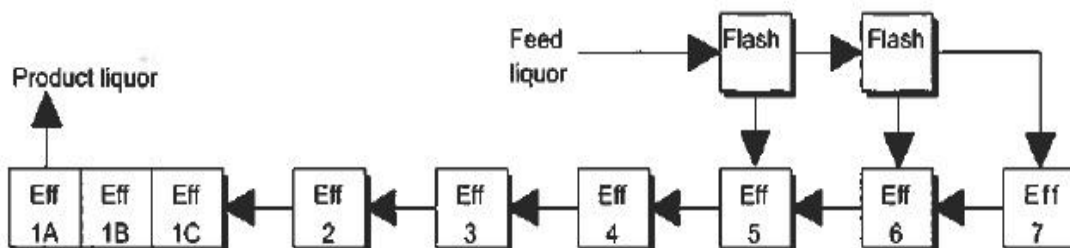
Nykyiset haihduttamot saavuttavat korkeita kuiva-ainepitoisuuksia. Monivaihehaihduttamossa vahvalipeän kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 70–75 % maksimilämpötilassa 115 °C. Jos lipeä varastoidaan paineistetussa säiliössä, niin lopullinen kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 75–85 %. Vielä korkeampia kuiva-ainepitoisuuksia on mahdollista saada, jos lämpötila nostetaan 125–150 °C:seen, mutta silloin vaaditaan välipainehöyryn käyttöä haihduttamolla. (Tikka 2008.)



Kuva 3. 6-vaiheinen haihduttamo (Knowpulp 2011).

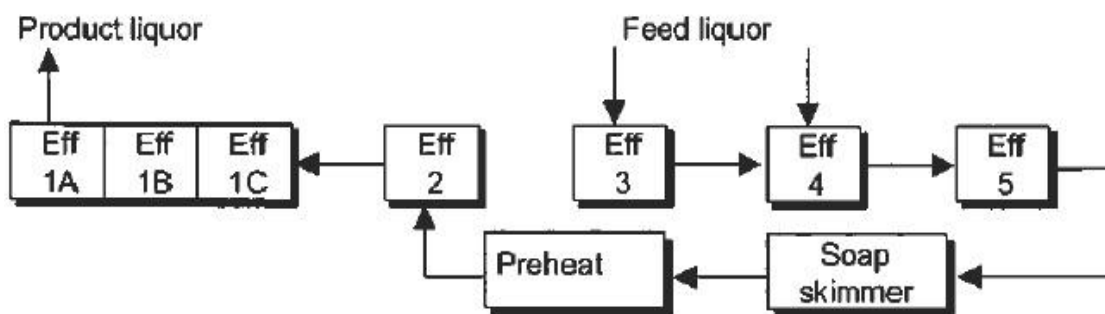
Haihduttamo voi olla yksi- tai monivaiheinen. 5-vaiheinen haihduttamo on yleisin käytössä oleva. Jotta monivaihehaihduttamo saadaan toimimaan ja kussakin vaiheessa haihtunut höyry voidaan käyttää seuraavassa vaiheessa, on yksiköissä vallitsevan paineen ja samalla lämpötilan laskettava vaiheesta seuraavan mentäessä. Tämä toteutetaan viimeisen yksikön perällä olevalla tyhjöpumpulla tai höyryrejektorilla. Haihduttamon ensimmäisessä vaiheessa on tulevan primäärihöyryn paine, ja sarjan loppupäässä huomattava alipaine. (Seppälä 1999.)

Lipeän virtausjärjestys haihduttamon yksiköissä on erilaista riippuen haihduttamon rakenteesta, tehtaan käyttämistä puulajeista ja mahdollisista sivulaitteistoista. Kovien puulajien jäteliemen haihdutukseen, ilman suovan kuorintaa, käytetään eniten vastavirtaus järjestelmää lipeän syötössä. (Tikka 2008.)



Kuva 4. Lipeän vastavirtaus haihduttamolla (Tikka 2008, 45).

Pehmeimmille puulajeille, kuten esimerkiksi havupuulle missä suopapitoisuudet lipeässä ovat korkeimmat, käytetään lipeän jaettua virtausjärjestelmää haihduttamolla. (Tikka 2008.)



Kuva 5. Lipeän jaettu virtausjärjestelmä haihduttamolla (Tikka 2008, 45).

Mitä enemmän vaiheita haihduttamolla on, sitä parempi on hyötysuhde. 1-vaiheisessa haihduttamossa 1 tonni syötettyä tuorehöyryä haihduttaa 1 tonnin vettä, 3-vaiheisessa 3 tonnia vettä ja niin edespäin. Todellisuudessa hyötysuhde on jonkin verran pienempi johtuen ΔT häviöstä ja lipeän syöttö- ja ulostulolämpötilaerojen takia monivaihehaihduttamossa. (Tikka 2008.)

Number of stages	Steam economy ton H ₂ O/t steam	Specific heat consumption MJ/t H ₂ O
4	3.7-3.6	630-650
5	4.3-4.1	550-570
6	5.1-4.9	460-480
7	6.2-5.9	390-400

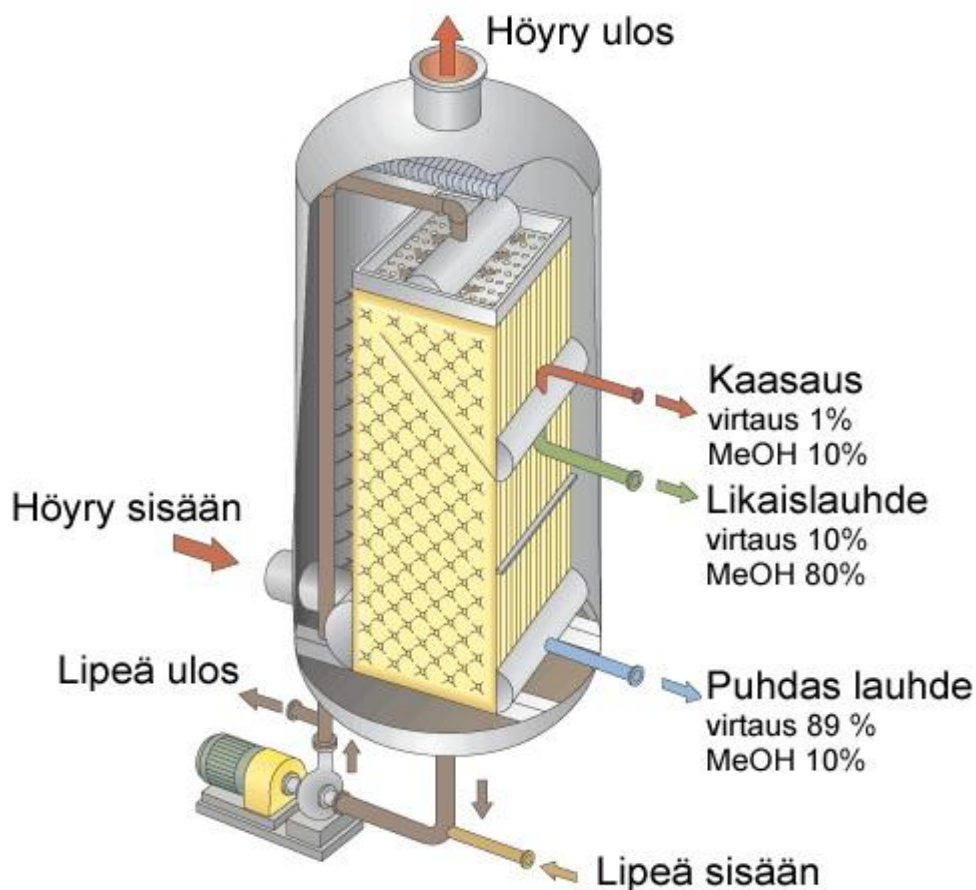
Taulukko 1. Haihduttamon hyötysuhde (Tikka 2008, 43).

Kaksi tavallisinta haihdutinrakennetta ovat rising film ja falling film. Rising film - haihduttimet ovat vanhinta yleisesti käytössä olevaa tekniikkaa. Lipeä syötetään haihduttimen pohjasta sisään, jolloin kiehuessa vapautuva höyry vetää mustalipeän kiihtyvällä vauhdilla putkea pitkin ylös, ja muodostaa lipeäkalvon putken seinälle. Höyry lauhtuu putken ulkopinnalla ja valuu haihduttimen pohjalle. (UPM/Intranet/Knowpulp/Haihdutus.)

Rising film -haihdutin vaatii suuren lämpötilaeron lauhtuvan höyryn ja lipeän välille. Tämän takia kuiva-ainepitoisuus jää matalaksi ja kuorman säätö on rajoitettu. Rising film -haihduttimien etu on yksinkertaisuus ja alhainen sähkönkulutus, koska ne eivät vaadi kiertopumppua. (UPM Intranet/Knowpulp/Haihdutus.)

Falling film -haihduttimissa kiertopumppu nostaa lipeän haihduttimen yläosaan missä jakojärjestelmä jakaa lipeän tasaisesti kaikkien lamellipakettien väliin. Levylämpöpintarakenteessa haihduttava höyry lauhtuu lamellien sisällä, ja mustalipeä valuu ohuena filminä alaspäin pitkin lamellipaketteja ja kiehuu niiden ulkopinnalla. Falling film -haihduttimien etu on tehokas tuotanto pienillä lämpötilaeroilla, korkea kuiva-ainepitoisuus ja lauhteiden tehokas puhdistus. (UPM Intranet/Knowpulp/Haihdutus.)

Sekä falling että rising film -haihdutinyksiköissä käytetään pisaranerottajia. Pisaranerottaja poistaa paisuneen höyryn mukaan tempautuneita pieniä lipeäpisaroita. Useimmat pisaranerottajat perustuvat keskipakovoimaan, jolla pisara pakotetaan keräilypinnalle. Pisaranerotimet sijoitetaan tavallisesti haihduttimen erotusosan yläosaan. (Seppälä 1999.)



Kuva 6. Falling film -haihdutin (Knowpulp 2011).

Likaiset lämpöpinnat haihdutinyksiköissä ovat haihduttamon tavallisin tehoa laskeva tekijä. Voimakkainta likaantumisen on yleensä haihduttamon ensimmäisissä yksiköissä, missä kuiva-ainepitoisuudet ja lämpötilat ovat korkeat. Likaantuminen huomataan parhaiten seuraamalla haihdutinyksiköiden sisäisiä lämpötilaeroja. Mustalipeä sisältää erilaisia orgaanisia ja epäorgaanisia aineita, joiden kemiallisia rakenteita ei tarkasti tunneta, ja siksi ei ole olemassa tarkkoja todisteita, vaan ainoastaan tiettyjä perusteluita, mikä aiheuttaa yksiköiden likaantumista. Moderneilla haihduttamoilla on automatisoitu pesusekvenssi loppuvahvistusyksiköissä likaantumisen ehkäisyyn, ja niitä pestään tietyin aikaväleihin. (Seppälä 1999; Haukirauma, henkilökohtainen tiedonanto 15.09.2011.)

Yleisin tekijä haihduttamon likaantumiseen on lipeän suopapitoisuus. Tämän takia syöttö- ja välilipeäsäiliöt on oltava riittävän tilavia ja riittävän täynnä, jotta suopa, joka on lipeää kevyempi, ehtii nousta pintaan jotta se pystytään kuorimaan pois mahdollisimman tarkasti. Myös lipeän kuitupitoisuus vaikuttaa haihdutinyksiköiden likaantumiseen. Suuret kuitupitoisuudet aiheuttavat tuubeihin kiinnipalamisen vuoksi likaantumista. (Seppälä 1999.)

Likaantuminen voi myös johtua soodakattilan huonosta reduktioasteesta, jolloin mustalipeän natriumsulfaattipitoisuus on liian suuri. Toinen mahdollinen tekijä on mustalipeän liian suuri natriumkarbonaattipitoisuus, joka johtuu huonosta kaustisointiasteesta, tai jossakin prosessivaiheessa on mustalipeään päässyt liian paljon kalsiumia tai silikaattia. (Seppälä 1999.)

Haihduttamon lauhteista erotetaan metanolia, haisevia rikkiyhdisteitä, etanolia, asetonia ym. stripperin avulla. Näin puhdistetut lauhteet voidaan käyttää uudestaan tehtaan muissa prosesseissa, ja samalla alentaa tehtaan puhtaan veden käyttöä. Stripperi muodostuu kolonnista sekä lämmönvaihtimista ja lauhduttimista. Lauhde pumpataan kolonnin yläosaan, josta se virtaa alaspäin välipohjalta toiselle aina kolonnin pohjalle asti, josta se pumpataan pois. Kolonnin pohjalle syötetään höyryä joka kulkeutuu välipohjien läpi kolonnin yläosaan ja poistuu. Kolonnin välipohjat ovat suunniteltu niin että höyryn ja lauhteiden sekoittuminen kolonnissa on paras mahdollinen. Stripperikolonnista erotettu metanoli ja hajukaasu pystytään polttamaan soodakattilassa, meesauunissa tai erillisessä hajukaasukattilassa. (Seppälä 1999; UPM Intranet/Knowpulp/Haihdutus.)

Raakasuopa voidaan ottaa talteen ja jatkojalostaa mäntyöljyksi. Suopa kuoritaan väli- ja syöttölipeäsäiliöiden pinnasta ja kerätään suoparännin kautta talteen. Suopapartikkelin nousunopeus pesulipeässä on hyvä, mutta alhainen kuiva-ainepitoisuus aiheuttaa myös suovan liukenemista lipeään. Tällä tavalla erotettu suopa on myös lipeäpitoista, joten se johdetaan suovan keräilysäiliön kautta suovan tasaussäiliöille. Tasaussäiliöiden pohjalle valunutta lipeää pumpataan jatkuvasti sekvenssillä vuotolipeäsäiliöön. Suopa pumpataan tasaussäiliöistä neutralointi- ja kaasunerotusreaktorin kautta suopaöljysäiliöön

missä lisätään rikkihappoa. Rikkihappo erottaa rasva- ja hartsisaippuat jotka ovat sidottuja natriumiin raakasuovassa. Raakasuopa on tässä vaiheessa muuttunut suopaöljyksi, jota pumpataan hiilidioksidilaitoksen kautta palstoitukseen ja separaattoriin. Separaattorista erotetaan mäntyöljyä ja natriumsulfaattia. Reaktiossa käytetty happo otetaan talteen ja käytetään uudelleen make-up-kemikaalina. Mäntyöljy voidaan polttaa meesauunissa tai myydä eteenpäin. (Seppälä 1999.)

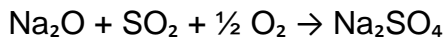
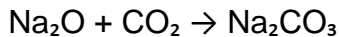
4.2 Soodakattila

Soodakattilan tehtävä on keittokemikaalien talteenotto ja regenerointi, orgaanisten aineiden ympäristöystävällinen poltto ja lämmön talteenotto. Soodakattilan eri osajärjestelmiin luokitellaan polttolipeäjärjestelmä, viherlipeäjärjestelmä, polttoilmajärjestelmä, vesi- ja höyryjärjestelmä, apupolttoainejärjestelmä sekä nuohousjärjestelmä. (UPM/Intranet/Knowpulp Soodakattila.)

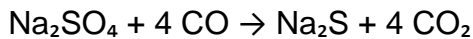
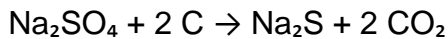
Polttolipeään sitoutunutta natriumia muutetaan soodakattilan avulla regeneroitavaan muotoon eli natriumkarbonaatiksi (Na_2CO_3) sekä tulipesäreaktiossa syntyneen natriumsulfaatin (Na_2SO_4) pelkistäminen natriumsulfidiksi (Na_2S), joka toimii sellun keiton vaikuttavana kemikaalina. Soodakattilan muita tehtäviä ovat mustalipeän sisältämä orgaanisten aineiden poltto siten, että syntyvä lämpö käytetään hyödyksi reaktioihin, tuhkan sulatukseen, tulipesään ruiskutetun polttolipeän kuivatukseen sekä veden höyryntämiseen ja höyryn tulistamiseen. (Seppälä 1999; UPM/Intranet/ Knowpulp/Soodakattila.)

Polttolipeä ruiskutetaan soodakattilan tulipesään kaikilta sivuilta lipeäsuuttimilla. Lipeäpisarat kuivuvat matkalla tulipesän pohjalla olevaan kekoon. Kuivuessaan lipeän sitoutunut natrium erottuu natriumoksidiksi, joka reagoi kuivaamisvyöhykkeen kaasujen kanssa. (UPM/Intranet/Knowpulp/Soodakattila.)

Reaktio on pääasiassa seuraavanlainen:



Sulakeossa orgaaniset palavat aineet kaasuuntuvat, palavat osittain ja poistuvat keosta. Natriumsulfaatti pelkistyy natriumsulfidiksi ja reduktio tapahtuu kemikaalien ja hiilen kosketuksen kautta ilmavajaassa olotilassa pääasiassa seuraavasti:



Reduktion hyvyyden mittana käytetään suuretta ”reduktioaste sulassa”, joka määritellään seuraavasti:

$$\text{Reduktioaste (mooli- \%)} = \frac{Na_2S}{Na_2S + Na_2SO_4} * 100 \%. \text{ (Seppälä 1999.)}$$

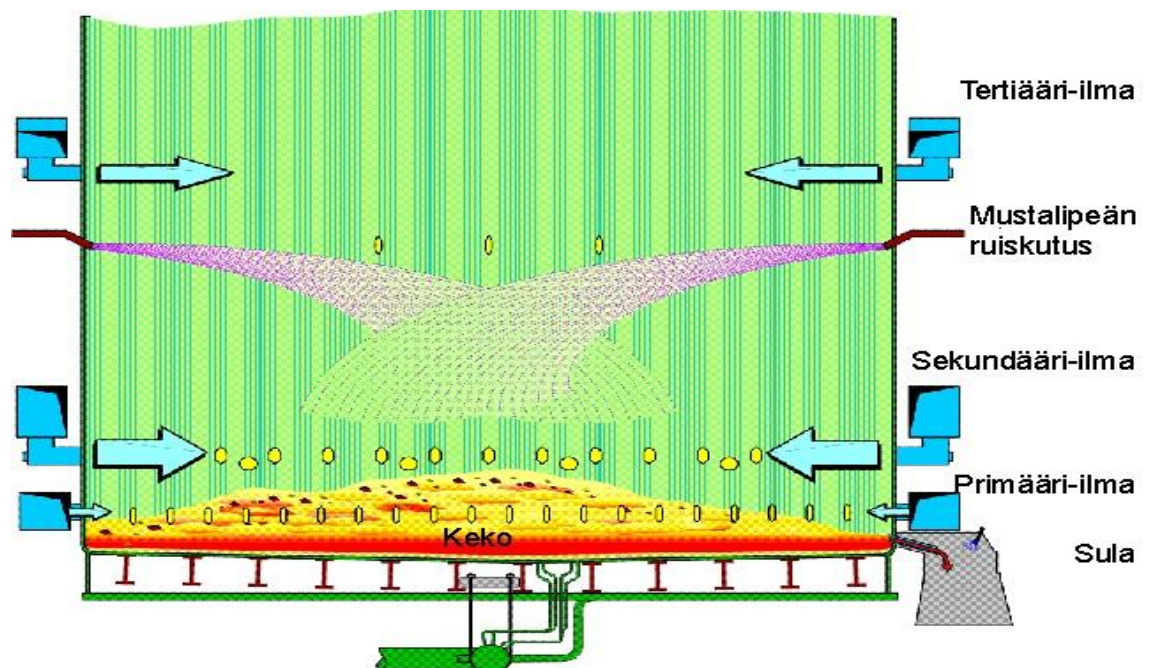
Samalla myös talteen otettavat suolat sulavat keossa ja valuvat huokoisen keon läpi tulipesän pohjalle, josta sula johdetaan ylijooksuna vesijäähdytettyjen sulakourujen kautta soodakattilan liuottimeen. Liuottimessa sulaan liuotetaan kaustistamolta tulevaa laihavalkolipeä, ja näin syntyy raakaviherlipeä. Raakaviherlipeä pumpataan kaustistamollee edelleen käsiteltäväksi. Soodasula koostu pääasiassa natriumkarbonaatista (Na_2CO_3) ja natriumsulfidista (Na_2S), mutta pienin määrin myös natriumkloridi (NaCl), natriumhydroksidi (NaOH), natriumsulfaatista (Na_2SO_4) ja natriumtiosulfaattia ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). (UPM/Intranet/Knowpulp/Soodakattila.)

Polttoilma kattilalle tuodaan tulipesään yleensä kolmesta tai neljästä ilmarekisteritasosta. Primääri-ilma syötetään kaikkien seinien läpi tulipesään n. 1,5 metrin korkeudella tulipesän pohjasta. Primääri-ilman tehtävä on ylläpitää keon riittävä korkea lämpötila ja tasainen palo hyvän reduktioasteen saavuttamiseksi. (UPM/Intranet/Knowpulp/Soodakattila.)

Sekundääri-ilma jaetaan yleensä tulipesän kahdessa eri tasossa, jotka ovat alasekundääri- ja yläsekundääri-ilma. Alasekundääri-ilmasuuttimet sijaitsevat n.

3,5 metrin korkeudella tulipesän pohjasta etu- ja takaseinillä, ja niiden tehtävä on polttaa keon alueelta nousevat kaasut. Alasekundääri-ilma edesauttaa keon yläosan tasaista palamista tulipesän keskiosassa. Yläsekundääri-ilma sijaitsee alasekundääri-ilmasta metrin korkeammalla ja sen tehtävä on leikata ja aktivoida keon huipun tehokas palaminen. Sekundääri-ilmasuuttimien sijoitus etu- ja takaseinille estää ilmavirtojen törmäämisen ja turvaa tasaista virtausjakaumaa. (UPM/Intranet/Knowpulp/Soodakattila.)

Tertiääri-ilmasuuttimet sijaitsevat lipeäsuuttimien yläpuolella etu- ja takaseinillä n. 12 metrin korkeudella tulipesän pohjasta. Tertiääri-ilman suuttimet ovat isokokoisia, jolloin saadaan tasainen lämpötilaprofiili tulipesän yläosaan. Tertiääri-ilman avulla pystytään polttamaan loput palamiskelpoisista kaasuista keossa, ja samalla säätämään yli-ilmamäärä. Laimeat hajukaasut poltetaan tavallisesti tertiääri-ilmasuuttimien sisään sijoitetuissa hajukaasusuuttimissa, ja väkevät hajukaasut erillisessä hajukaasupolttimessa. (Seppälä 1999.)



Kuva 7. Ilmanjako soodakattilan tulipesässä (Knowpulp 2011).

Lämmönsiirtimiltä tulleet puhtaat lauhteet sekä puhdistettu lisävesi johdetaan syöttövesisäiliölle. Vesi säilytetään syöttövesisäiliössä kiehumispisteessä, joka

riippuen säiliön paineesta, on 110–140 °C. Ylipaineen vuoksi vesi ei kuitenkaan kiehu säiliössä. (UPM/Intranet/Knowpulp/Syöttövesijärjestelmä.)

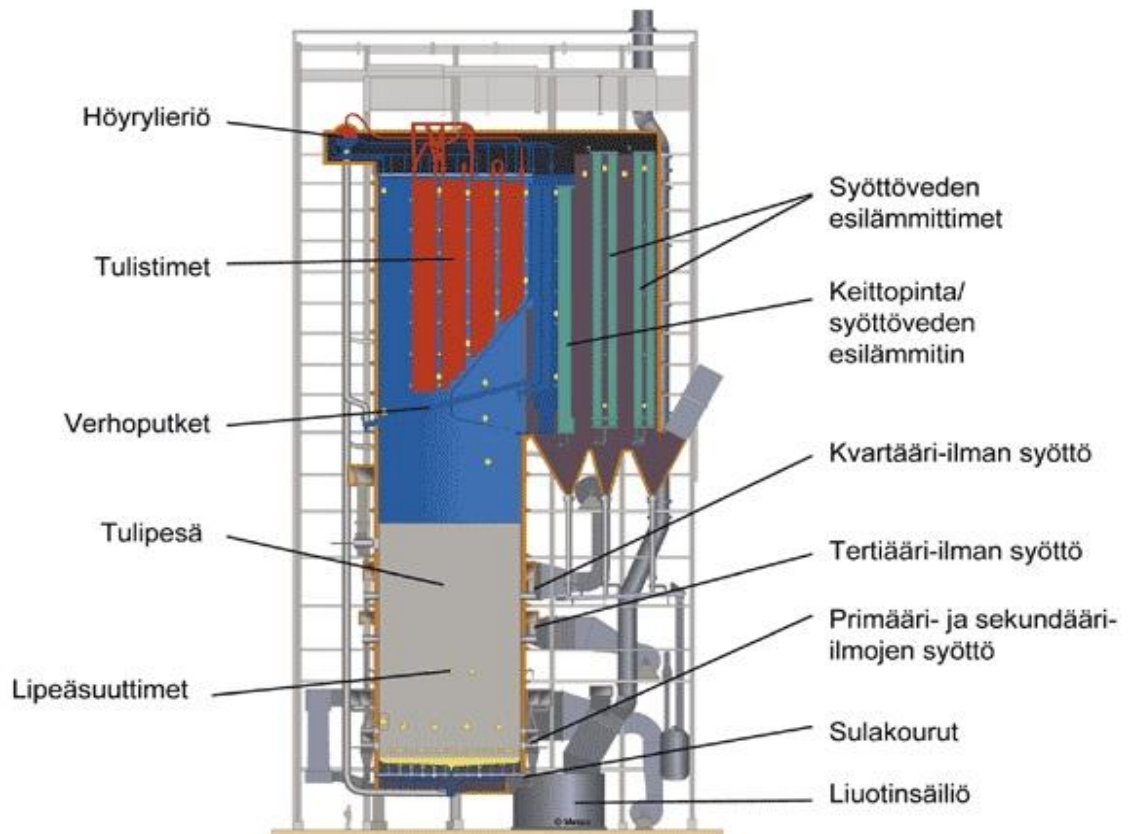
Syöttövesisäiliöstä vesi pumpataan esilämmittimelle jossa vesi lämpenee lähelle kiehumispistettä soodakattilasta poistuvien savukaasujen avulla. Savukaasun lämpötila on laskenut sopivaksi esilämmityksellä kun kaasu on luovuttanut suurimman osan lämpöenergiastaan tulistimilla ja keittopinnalla, ennen saapumistaan syöttöveden esilämmitykseen. Esilämmityksestä syöttövesi viedään pintajäähdyttimelle jossa syöttövesi lauhduttaa höyrylieriöstä tulevan höyryn vedeksi. Lauhtunut vesi on mahdollisimman puhdasta joten sitä syötetään tulistimien välissä oleviin höyryn jäähdyttimiin. Pintajäähdyttimellä syöttöveden lämpötila nousee, ja sieltä vesi johdetaan höyrylieriölle. (UPM/Intranet/Höyryn ja veden kierto.)

Höyrylieriöstä se osuus vedestä, joka ei ole höyrystynyt, johdetaan kattilan kyljessä kulkeviin laskuputkiin. Sieltä vesi johdetaan kattilan pohjassa sijaitsevaan putkivyöhykkeeseen. Veden ja höyryn seos jatkaa kattilan putkiseinien sisällä ylöspäin. Suurin osa veden höyrystymisestä tapahtuu tulipesän lämmön avulla. Höyryn ja veden seos jatkaa nousuaan keittopinoille joissa höyrystyminen jatkuu savukaasujen avulla. (UPM/Intranet/Höyryn ja veden kierto.)

Höyrylieriöstä nousevaa höyryä johdetaan tulistimille. Tulistimien tehtävänä on nostaa höyryn lämpötila reilusti yli kyllästyspisteen. Tulistimien höyryjäähdyttimien ja ylimitoitettujen lämpöpintojen ansiosta höyryn virtaus ja lämpötila pystytään pitämään vakiona laajalla kuormitusalueella. Tulistimilta virtaava korkeapainehöyry johdetaan päähöyrylinjaa pitkin turbiinille ja osa korkeapainehöyrystä käytetään kattilan nuohouksessa. Turbiinissa höyry paisuu mutta paisunta keskeytetään yleensä 2–6 barin ylipaineessa. Vastapainehöyry ja turbiinin välilotosta saatu välipainehöyry käytetään primäärienergiana tehtaan muissa prosesseissa. (UPM/Intranet/Höyryn ja veden kierto.)

Soodakattilan ohjauksessa tavoitteena on muodostaa tulipesän pohjalle keko jossa reduktioaste on mahdollisimman korkea, minimoimaan rikkivety- ja

rikkidioksidipäästöt, polttamaan mustalipeä hyvällä hyötysuhteella ja säätämään höyrykehitystä siten, että höyrykehityksessä tarvittavat laitteet toimivat turvallisesti. (UPM/Intranet/Höyryn ja veden kierto)

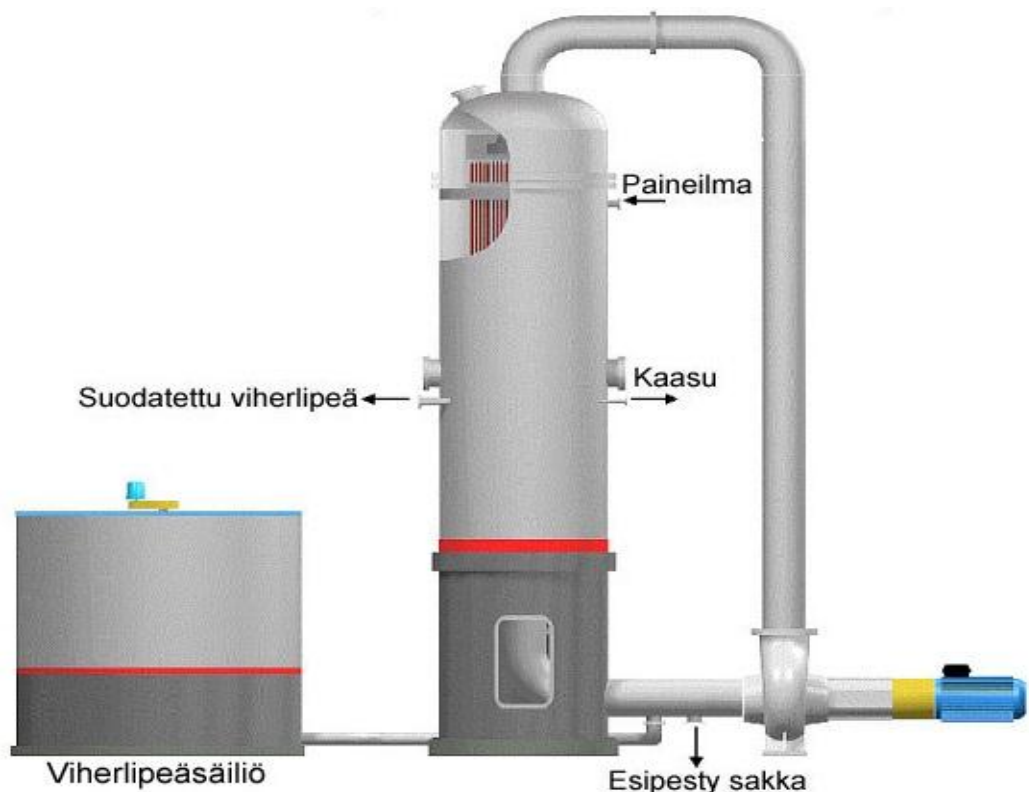


Kuva 8. Soodakattilan osat (Knowpulp 2011).

4.3 Kaustisointi ja meesauuni

Soodakattilasta tuleva raakaviherlipeä johdetaan kaustistamolle edelleen käsiteltäväksi. Raakaviherlipeä sisältää sekä kiinteitä epäpuhtaisuuksia, kuten esimerkiksi hiiltä ja kalsiumkarbonaattia, että liuotettuja epäpuhtaisuuksia kuten esimerkiksi magnesiumoksidi ja erilaiset suolat. Kiinteät epäpuhtaisuudet pystytään poistamaan suodattamalla raakaviherlipeä, kun taas liuotetut epäpuhtaudet jäävät kemikaalikiertoon. Kiinteiden epäpuhtauksien määrä johtuu useimmiten soodakattilan reduktioasteesta ja laihavalkoliipeän sisältämän kalsiumkarbonaatin määrästä. (Tikka 2008.)

Raakaviherlipeä puhdistetaan joko selkeyttämällä tai suodattamalla. Selkeytys perustuu sedimentoidukseen. Raakaviherlipeä syötetään lieriömäisen säiliön keskelle. Säiliö on varustettu pyörivällä kolalla ja säiliöön johdetaan jatkuvasti paineilmaa. Kun kola pyörii, kiinteät aineet pakotetaan säiliön pohjalle ja puhdistettu viherlipeä nousee säiliön pintaan. Puhdas viherlipeä poistuu ylikaatona säiliöstä ja sakka pumpataan pois säiliön pohjasta. Selkeytysmenetelmän haittapuolena on epätasainen puhtausaste isolla kuormituksella ja pitkä puhdistusaika. (Tikka 2008.)



Kuva 9. Viherlipeäsuodatin, X-filter (Knowpulp 2011).

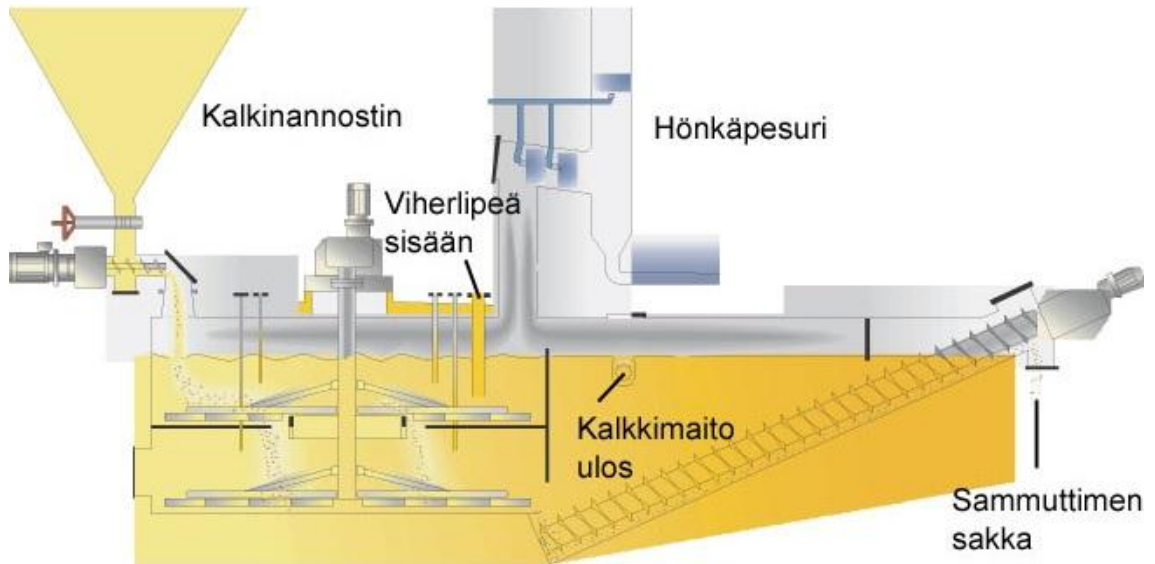
Uudempi menetelmä puhdistaa raakaviherlipeää on suodattaa se. Vaihtoehtoisia suodatusmenetelmiä on useita kuten esimerkiksi paineistettu precoat kiekkosuodin ja kakkusuodatus. Uusin tekniikka on kuitenkin risti-virtaus suodin, ns. x-filter. Ristivirtaussuotimessa voimakas tangentiaalinen virtaus suodatinpinnalla ehkäisee sakan kakun muodostamisen pinnalle. Suodatuselementtejä on suodatinkankaalla päällystettyjä sektoreita

pystysuunnassa, yleensä n. 16–20 kappaletta paineastian sisällä. Raakaviherlipeä putoaa suodatuspinnoille ja osa lipeästä läpäisee suodatinkankaan, kun taas suurin osa lipeästä kiintoaineineen putoaa pohjalle, josta sitä kierrätetään uudestaan suotimen yläosaan. Suodatus jatkuu kunnes sakka saavuttaa halutun tiheyden. Suodatusvastus nousee tällöin samanaikaisesti, mutta suodatustaso pysyy samana kun myös paine suotimessa nousee. Keräilty sakka poistetaan suotimesta paineen avulla ja suodatettu viherlipeä pumpataan pois suotimen keskeltä olevasta keräilyputkesta. Höngät suotimesta otetaan talteen laimeana hajukaasuna ja johdetaan soodakattilalle poltettavaksi. Risti-virtaus suotimesta tulevan sakan kuiva-ainepitoisuus on korkea, mutta vaatii jälkeinpäin kuitenkin erillisen suodatuksen ja kuivatuksen sakkasuotimella. Ristivirtaussuotimen etuja ovat korkea ja tasainen tuotanto sekä epäherkkyys raakaviherlipeän laadun vaihteluun. (Tikka 2008.)

Sakan osuus raakaviherlipeässä vaihtelee huomattavasti tehtaiden välillä ja sen sisältö johtuu monesta tekijästä joista suurin tekijä on soodakattilan reduktioaste, ja kuinka suljettu tehtaan kemikaalikierto on. Sakka kostuu pääsääntöisesti eniten kalsiumoksidista (CaO), natriumoksidista (Na₂O) ja magnesiumoksidista (MgO). Sakasta voidaan vielä kuitenkin erottaa viimeiset natriumjäännökset. Tätä tehdään osittain ympäristösyistä mutta jotta saavutettaisiin myös suljetumpi kemikaalikierto. (Tikka 2008.)

Tavallisin menetelmä suodattaa sakkaa on käyttämällä tyhjörumpusuodinta. Koska sakka sinänsä on vaikea suodattaa, rumpusuotimessa käytetään meesaa precoatina. Tyhjörumpusuodin ei vaadi paljon huoltoa ja prosessi voi olla täysin automatisoitu. Precoatien avulla sakan kuiva-ainepitoisuus nousee 30–50 %:iin, riippuen sakan laadusta. Alkalinen häviö on tavallisesti 4–5 % natriumoksidia. Kuorittu sakka viedään lähinnä kaatopaikalle tai käytetään täyttömassana sopivissa paikoissa. Koska jätekustannukset ja ympäristövaatimukset nousevat, on ruvettu kehittämään vaihtoehtoisia suodatusjärjestelmiä sakalle. Näitä ovat esimerkiksi kasetti- ja linkosuodatus.

Kumpikaan niistä ei vaadi precoatia jolloin kuivatus jätemäärän tilavuudet laskevat, ja linkosuodatuksessa alkalihäviöt ovat pienempiä. (Tikka, 2008)



Kuva 10. Kaksikammioinen sammuttaja (Knowpulp 2011).

Suodatettu viherlipeä johdetaan jäähdyttäjän kautta sammuttimelle. Viherlipeä jäähdytetään ensin joten se ei pääse kiehumaan sammuttajassa. Sammuttajassa viherlipeään lisätään meesauunista tulevaa poltettu kalkki (CaO). Poltettu kalkki sammu viherlipeän seossa olevaan veteen muodostaen sammutettua kalkkia (Ca(OH)_2). Kaustisointireaktio käynnistyy heti sammuttajassa mutta vaati aikaa tasapainon saavuttamiseksi. Poltetun kalkin annostus pyritään pitämään tasaisena, jotta eksotermisen reaktion tapahtuisi ilman että rakeet hajoavat. Kaksiosainen pyörivä kola jakaa kalkin tasaisesti viherlipeään sammuttajan keskelle. Näin vältetään paikallisia ylikuumentumiskohtia ja saadaan tasainen reaktio koko sammuttajassa. Osittain valmis kalkkimaito valuu sammuttajan pohjalle missä kolan alempi osa sekoittaa kalkkimaidon ja painaa sitä eteenpäin lajittimelle. Lajitinosassa hiekkaa ja ylipoltettua kalkkia valuu pohjalle, ja lajitinruuvi poistaa kiinteät epäpuhtaudet sammuttajalta. Kalkkimaito poistuu sammuttajalta ylikaatoputken kautta ja valuu eteenpäin kaustisointisäiliöihin. Kaksikammioisessa sammuttajassa

kalkkimaidon reaktio on lähes 70 % valmis poistuessaan sammuttajalta. Reaktiosta syntyneet höngät johdetaan hönkäpesurille pestäväksi. (Tikka 2008.)

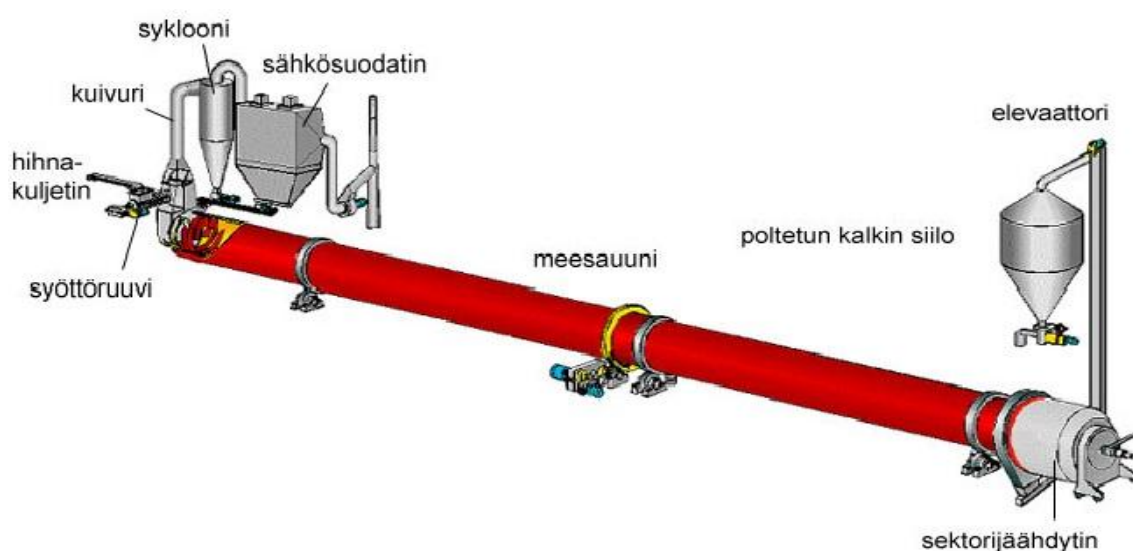
Kalkkimaito johdetaan sammuttajalta kaustisointisäiliöille. Kaustisointisäiliöissä kalkkimaidon reaktio viimeistellään. Viherlipeän sisältämä natriumkarbonaatti (Na_2CO_3) reagoi sammutetun kalkin kanssa ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ja muodostaa natriumhydroksidia (NaOH) ja kalsiumkarbonaattia (CaCO_3). Vaikka reaktio on 70 % valmis tullessaan sammuttajalta, nykyiset kaustisointimenetelmät edellyttävät pitkän kaustisointiajan, sillä vapaata kalsiumhydroksidia pitää olla mahdollisimman vähän suodatinkankaiden tukkeutumisen ehkäisyyn suodatusvaiheessa. Normaali reaktio aika kaustisointisäiliöissä on nykyään 2,5–3 tuntia. (Tikka 2008; UPM/Intranet/Knowpulp/Kaustisointi.)

Nykypäivän kaustisointisäiliöt on jaettu kolmeen kammioon jotka on sijoitettu päällekkäin säiliössä. Säiliön keskellä on sekoitin joka voi olla joko turbiini- tai potkurityyppinen. Potkurisekoittimella on siivekkeet jokaisessa kammiossa. Kaustisointisäiliöitä on tavallisesti kolme kytkettynä peräkkäin ja kalkkimaito syötetään säiliöön ylhäältä. Sekoittimen avulla kalkkimaito painuu ylhäältä kammioden läpi pohjalle, mistä se säiliön sisällä olevan nousuputken kautta nousee seuraavalle kaustisointisäiliölle. (Tikka 2008.)

Viimeisestä kaustisointisäiliöstä kalkkimaito syötetään valkolipeäsuotimelle. Valkolipeäsuotimen tehtävänä on erottaa kalkkimaidossa oleva natriumhydroksidi kalsiumkarbonaatista. Valkolipeän erotukseen voidaan käyttää esimerkiksi paineistettu kiekkosuodatin, viirasuodatin, painesuodatin tai sukka-suodatin. (UPM/Intranet/Knowpulp/Valkolipeän erotus.)

Suodettu valkolipeä pumpataan valkolipeäsäiliöön, ja erotettu kalsiumkarbonaatti, ns. meesa, liuotetaan veteen ja johdetaan meesasäiliöön. Meesasäiliöstä meesa pumpataan meesasuoitimelle. Meesasuoitimen tehtävänä on erottaa viimeiset alkalijäännökset kalsiumkarbonaatista ja nostaa sen kuiva-ainepitoisuus jotta lämpöhäviöt pysyisivät alhaalla myöhemmin meesauunissa. Meesasuoitatin on yleensä joko tyhjökiekkosuodatin tai tyhjärumpusuoitatin. Nykyään käytetään enemmän tyhjökiekkosuodatinta koska suodatuspinta-ala

on huomattavasti suurempi verrattuna koko laitteiston kokoon kuin vastaavasti rumpusuotimella. Sen lisäksi huolto on helpompaa ja nopeampaa. Suodatuksen jälkeen meesan kuiva-ainepitoisuus on 80–90 % ja natriumhydroksidijäännökset alle 0,15 %. Meesasta erotetut alkalit ovat pääsääntöisesti natriumhydroksidia mikä johdetaan laihavalkolipeäsäiliölle soodakattilan lisäaineena. Koska likainen laihavalkolipeä soodasulassa aiheuttaa ongelmia kaustistamalla, on tärkeää jatkuvasti seurata meesasuoitimen suodatuskankaiden kuntoa. Soodakattilan huonon reduktioasteen rinnalla vaurioituneet suodatuskankaat meesasuoitimella ovat suurin haittatekijä kemikaalikierrossa. (Tikka 2008; Haukirmaa, henkilökohtainen tiedonanto 29.11.2011.)



Kuva 11. Meesauuni laitteistoinen (Knowpulp 2011).

Kuivattu meesa syötetään meesauunille. Meesauunin tehtävänä on regeneroida kalsiumkarbonaattia kalsiumoksidiksi, ns. poltettu kalkki. Meesauuni on sylinterimuotoinen tiilellä vuorattu teräsrakenne ja horisontaaliasennossa hieman kalteva. Meesauunin koko vaihtelee tehtaiden välillä ja voi olla läpimitaltaan 2–4,5 metriä ja pituudeltaan 20–150 metriä. Uuni lepää, riippuen koosta, kolmella tai neljällä betonipilarilla. Uunin käyttömekanismi pyörittää uunia 1,0–1,7 kierrosta minuutissa uunin horisontaaliakselin ympäri. Meesauuni lämmitetään tavallisesti polttoöljyllä, kaasulla tai sulfaattiprosessin sivutuotteilla kuten esimerkiksi mänty- tai pikiöljyllä. (Seppälä 1999.)

Meesauuni jaetaan neljään eri vyöhykkeeseen meesan syöttöpäästä laskettua:

- Kuivausvyöhyke, jossa meesan mukana tuleva vesi haihtuu.
- Lämmitysvyöhyke, jossa meesa lämpenee reaktiolämpötilaansa.
- Reaktiovyöhyke, jossa kalsiumkarbonaatti hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi.
- Loppukäsittelyvyöhyke missä poltettu kalkki jäähdytetään ja lajitellaan.

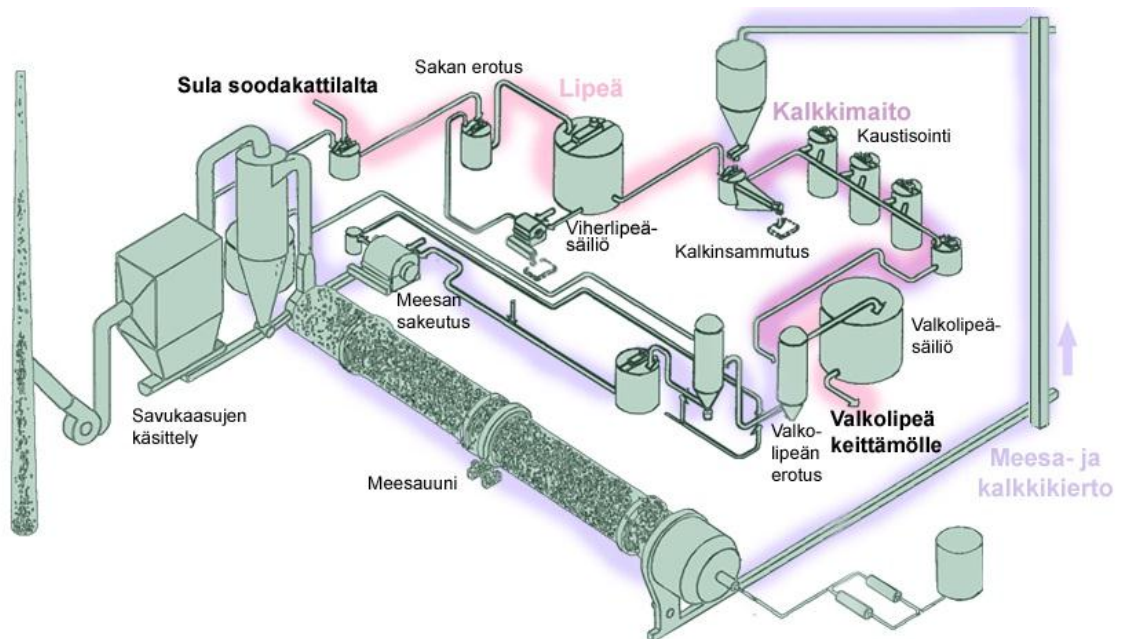
Vanhemmissa uuneissa, joista puuttuu meesan kuivaus syklonissa ennen syöttöä uuniin, kuivausvyöhyke on riiputeltu teräsketjuilla. Ketjut kuivausvyöhykkeessä nopeuttavat lämmönsiirtoa, mutta aiheuttaa myös kunnossapitohaittoja ja nopeuttaa meesarenkaiden muodostumista uunin sisällä. (Seppälä 1999.)

Jos meesa kuivatetaan meesasuotimen jälkeen syklonissa, ennen syöttöä uuniin, ei tarvita ketjuja meesauunin kuivaamisvyöhykkeellä. Meesa johdetaan meesasuotimesta ruuvin avulla meesauunista tulevaan savukaasuvirtaukseen. Savukaasu kuivaa meesan ja vetää sen mukanaan sykloniin, missä kuivattu meesa erottuu ja tippuu laskuputkea pitkin meesauunin syöttöruuville. Savukaasu jatkaa matkaansa sähkösuotimelle jossa meesapöly erotetaan ja syötetään uuniin, ja savukaasu jatkaa matkansa piippuun. (Tikka 2008.)

Uunin keskellä lämmitysvyöhykkeessä savukaasu luovuttaa lämpöä ja meesan lämpötila nousee n. 800 °C:een. Tässä lämpötilassa meesan spontaaninen reaktio alkaa. Mutta varsinainen kalsinointireaktio tapahtuu vasta polttovyöhykkeessä kun lämpötila nousee noin 1100 °C:een. (Tikka 2008.)

Polttovyöhykkeen jälkeen poltettu kalkki poistuu uunin polttopäästä jäähdyttäjän kautta lajitteluun. Lajittelussa isompia paloja ja rakeita joko hylätään tai ne johdetaan kalkkimurskaimen läpi, ja sopivan kokoiset rakeet valuvat suoraan kolakuljettimelle vietäväksi kalkkisiiloon. Rakeiden koko johtuu monesta tekijästä kuten esimerkiksi meesan kuiva-ainepitoisuudesta, meesauunin pyörimisnopeudesta, vedosta ja polttoainemäärästä. Poltetun kalkin rakeet tulisivat olla halkaisijaltaan n. 10–15 mm. palloja ja jäännöskarbonaattipitoisuus n. 1–3 % jotta reaktio sammuttajassa olisi paras mahdollinen. Kalkkikierossa

voidaan myös käyttää tuoretta kalkkikiveä make-up kemikaalina. Tuoreen kalkkikiven syöttö meesauuniin edesauttaa kalsiumoksidiarvon pysymistä korkeana ja se syrjäyttää kalkkikierron epäpuhtaudet. Kalkkikiveä syötetään uuniin meesan rinnalla ja se on oltava oikeankokoista niin että sen ominaisuudet poltossa vastaavat meesan ominaisuuksia. Kalkkikiven tulisi olla enintään 10 mm kokoisia rakeita. Suuremmat rakeet vaativat enemmän lämpöä kalsinoinnissa, joka taas aiheuttaa liian alhaisen jäännöskarbonaatin ja voi vaurioittaa uunia. (Tikka 2008.)



Kuva 12. Kaustisointi (Knowpulp 2011).

5 PAINEISTETTU KIEKKOSUODIN

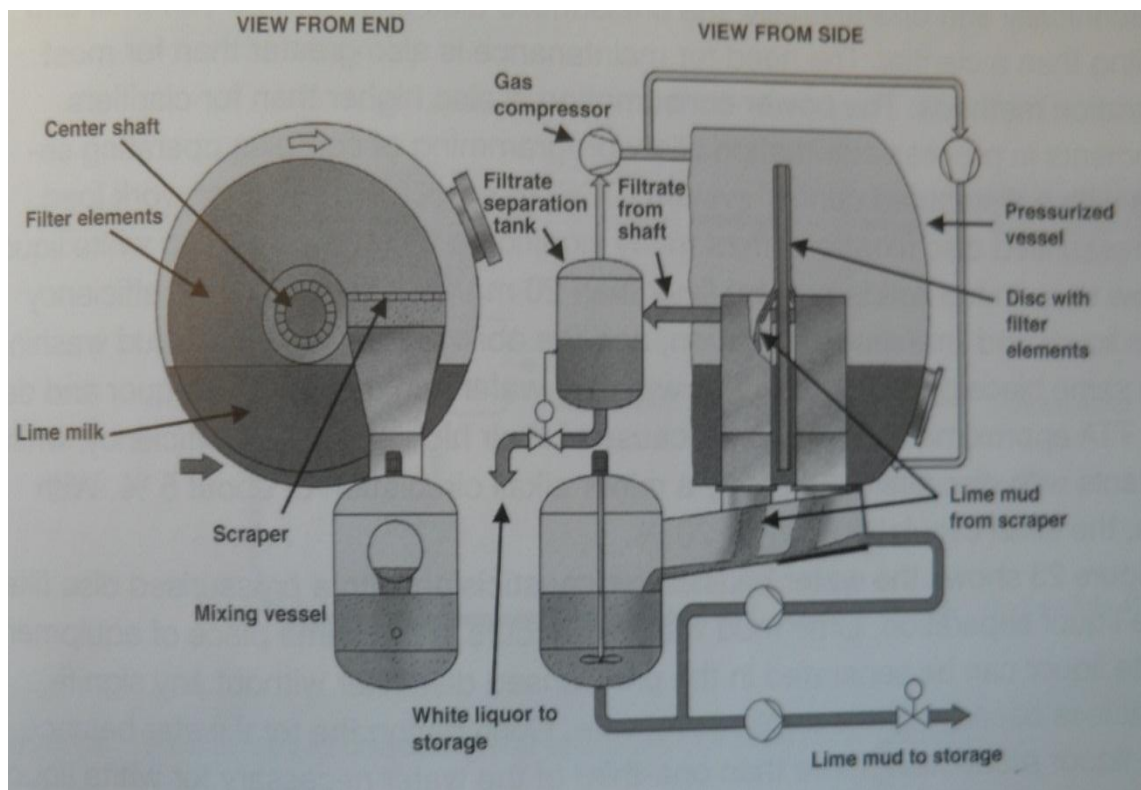
Kemikaalikierron tehokkuusvaatimukset nousevat jatkuvasti, ja tämä koskee erityisesti kemikaalikierron vesikiertoa. Kemikaalikierron tehokkuuden ja lämmön talteenoton täytyy tehostua, ja samalla prosessin käyttämä vesimäärä pitäisi alentua. Siirtymällä paineistettujen kiekkosuotimien käyttöön valkolipeän erotuksessa ja meesan pesussa on ollut askel kohti uusia vaatimuksia. (Tikka 2008.)

Paineistetun kiekkosuotimen tehtävänä valkolipeän erotuksessa on erottaa valkolipeä ja meesa kalkkimaidosta. Paineistettu kiekkosuodin koostuu kiekkomuotoisista, suodatinkankaalla päällystetyistä suodatinelementeistä kiinnitettyinä akseliin joka on horisontaaliasennossa, ja pyörii oman akselinsa ympäri paineistetun astian sisällä. Pyöriessä osa kiekosta menee pohjassa olevan kalkkimaitoallaksen läpi. Kun suodatinkangas nousee kalkkimaitopinnan yläpuolelle kalkkimaito muodostaa kakun suodatuspinnoilla suotimen sisäisen ylipaineen takia. Suotimen paine- ero toteutetaan kompressorin avulla. Kompressorin imee suodossektoreiden ja akselin sisäpuolelta ilmaa, ja palauttaa sitä sektorien ulkopuolelle. Kiinteänä aineena meesa jää kiinni kankaisiin, ja valkolipeä läpäisee kankaan ja valuu suodatinelementin sisälle. Valkolipeä valuu sektorien kanavien kautta akselin kanaviin ja sieltä eteenpäin paineistetulle suodossäiliölle. Suodossäiliöstä nousseet kaasut johdetaan takaisin suotimelle kompressorin kautta ja valkolipeä pumpataan varastosäiliöön. Meesakakku poistetaan suodatuskiekosta kaavareiden avulla ennen kuin sektori uudestaan läpäisee osittain kalkkimaitoaltaan. Osa mesakakusta jää kuitenkin sektorin pinnalle kaavareiden jälkeen, ja toimii seuraavan syklin precoatina. Kaavareiden irrottama meesa putoaa kuilujen kautta sekoitussäiliöön jossa se liuotetaan veteen ja pumpataan meesasäiliöön. Paineistetun kiekkosuotimen altaan pohjassa on ilmasekoittimia joiden kautta jatkuvasti puhalletaan ilmaa. Ilma sekoittaa kalkkimaidon joten kiintoaineet eivät pääse laskeutumaan altaan pohjalle tukkimaan suodinta. (Tikka 2008.)

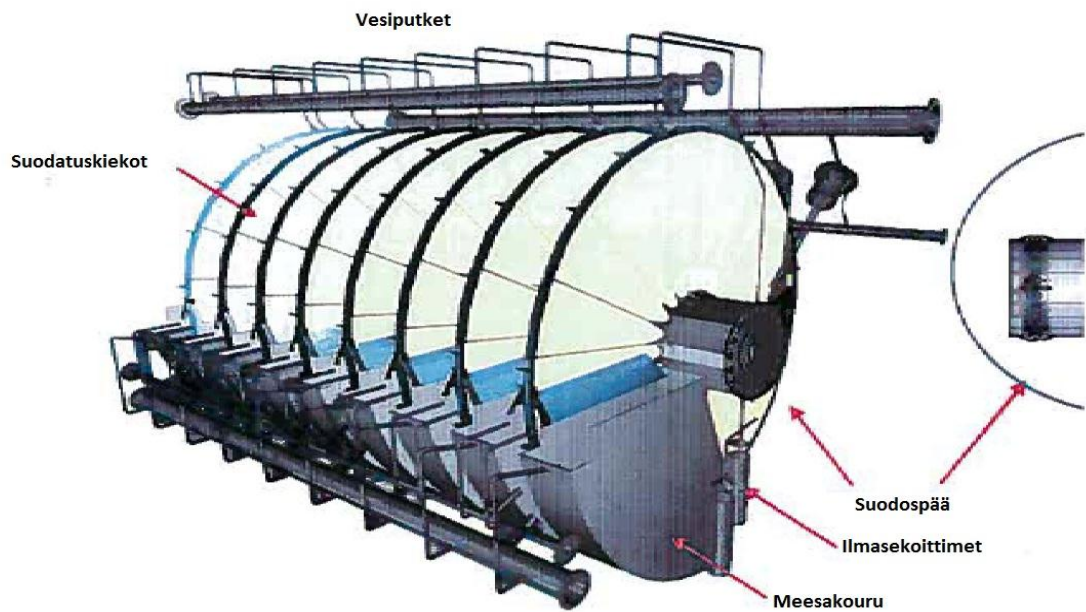
Suodatuspintojen precoat heikentyy vähitellen, joten siirtämällä kaavarit askeleen lähemmäksi suodatuskiekon pintaa noin kierroksen ajaksi poistaa precoat, ja suodin pääsee tekemään uuden precoat. Useimmissa suotimissa tämä toiminto on täysin automatisoitu niin että kaavarit siirtyvät sekvenssillä sisäänpäin tietyin aikaväleihin. Aina välillä precoat pitää vaihtaa kokonaan ja se tehdään pesun yhteydessä joka voi olla joko lyhyt tai pitkä puhallus. Kankaat pestään laimennetulla hapolla 1–3 kuukauden välein. Kaikki nämä toiminnot ovat automatisoituja. Kaikki kankaat vaihdetaan noin kerran vuodessa, mutta joskus tietyn sektorin kankaan vaihto on tarpeellista mikäli kangas on vaurioitunut. Reiällisen kankaan läpi meesa pääsee valkolipeän

joukkoon joka voi aiheuttaa tukkeutumista putkissa, lämmönvaihtimissa sekä muissa laitteistoissa. (Tikka 2008.)

Teknisesti ja käytännöllisesti paineistettu kiekkosuodatin on monimutkaisempi kuin esimerkiksi rumpusuodatin tai selkeytin. Sen lisäksi paineistetun kiekkosuotimen teho- ja huoltotarpeet ovat suurempia verrattuna muihin suodatusmenetelmiin. Edut paineistetulla kiekkosuotimella ovat suuri suodatuspinta-ala laitteiston kokonaisuuteen suhteen, meesän tehokas erottelu kalkkimaidosta ja alhainen jäännösalkali. (Tikka 2008.)



Kuva 13. Paineistetun kiekkosuotimen toimintaperiaate (Tikka 2008, 151).



Kuva 14. Paineistetun kiekkosuotimen tyypillinen sisäinen rakenne (Metso DNA käyttöohjeet).



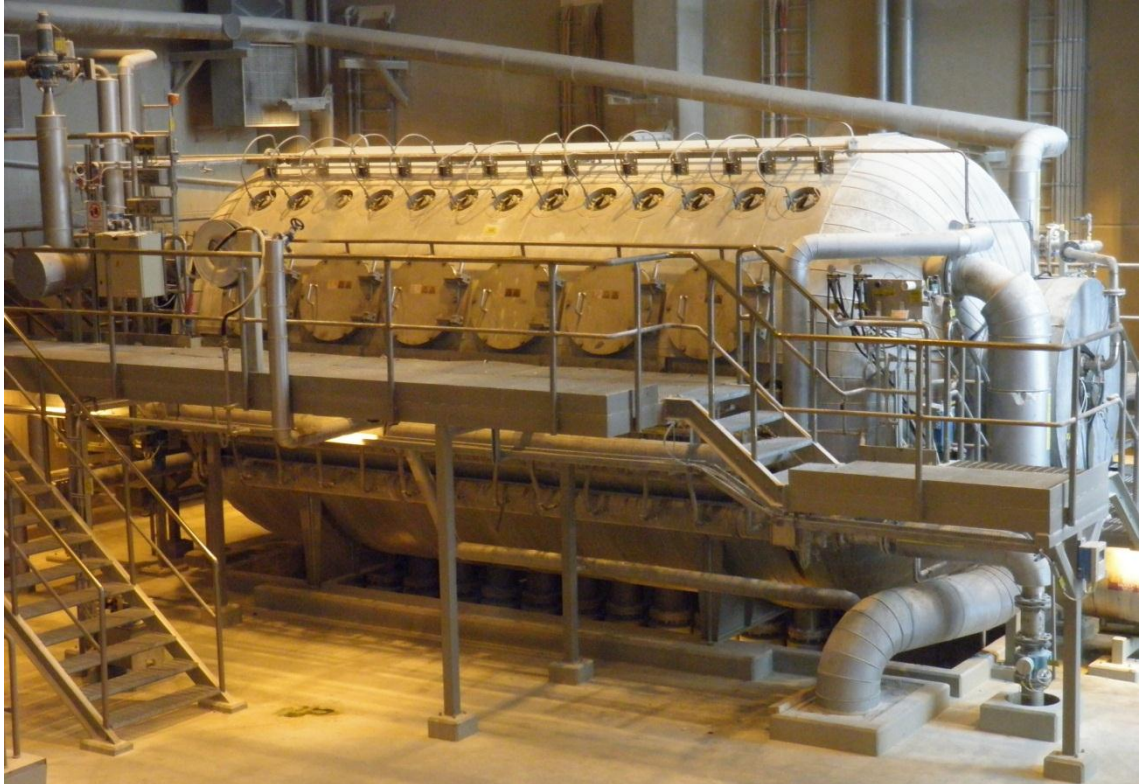
Kuva 15. Paineistetun kiekkosuotimen suodatuskiekko ja kaavarit.

6 KOKEELLINEN OSUUS

Opinnäytetyön tavoiteena oli suunnitella uusi yhdistetty pitkäpuhallus- ja happopesusekvenssi UPM Kymmene Pietarsaaren tehtaiden valkolipeäsuotimelle. Työssä pyrittiin selvittämään jos suodatetun valkolipeän keskiarvo litramäärissä ja suotimen tuotantoaika nousisi uudella pesusekvenssillä. Työhön kuului myös selvittää, teoreettisella pohjalla, vaihtoehtoisten happojen käyttö pesussa sekä kustannus- että käyttönäkökulmasta.

6.1 CD-suodin

UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtailla valkolipeän suodatukseen kemikaalikierrossa käytetään vuonna 2004 käyttöönotettu Andritz Oy:n valmistama CD-suodin. CD, joka tarkoittaa Clari Disc™ on rakenteeltaan paineistettu kiekkosuodin. Suotimen kapasiteetti on 120 litraa suodatettua valkolipeä sekunnissa. Suotimen normaalivauhti on yleensä 100–108 l/s.



Kuva 16. UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtaat, CD-suodin.

Suodin on täysin automatisoitu ja sekvenssit ohjaavat normaalisuodatuksen aikana sekä kaavarien kaavausta, ns precoatoin poistoa, sekä lyhyitä puhalluksia. Erikseen käynnistettäviä sekvenssejä ovat pitkä puhallus, lopetuspuhallus, happopesu sekä alustan pesu.

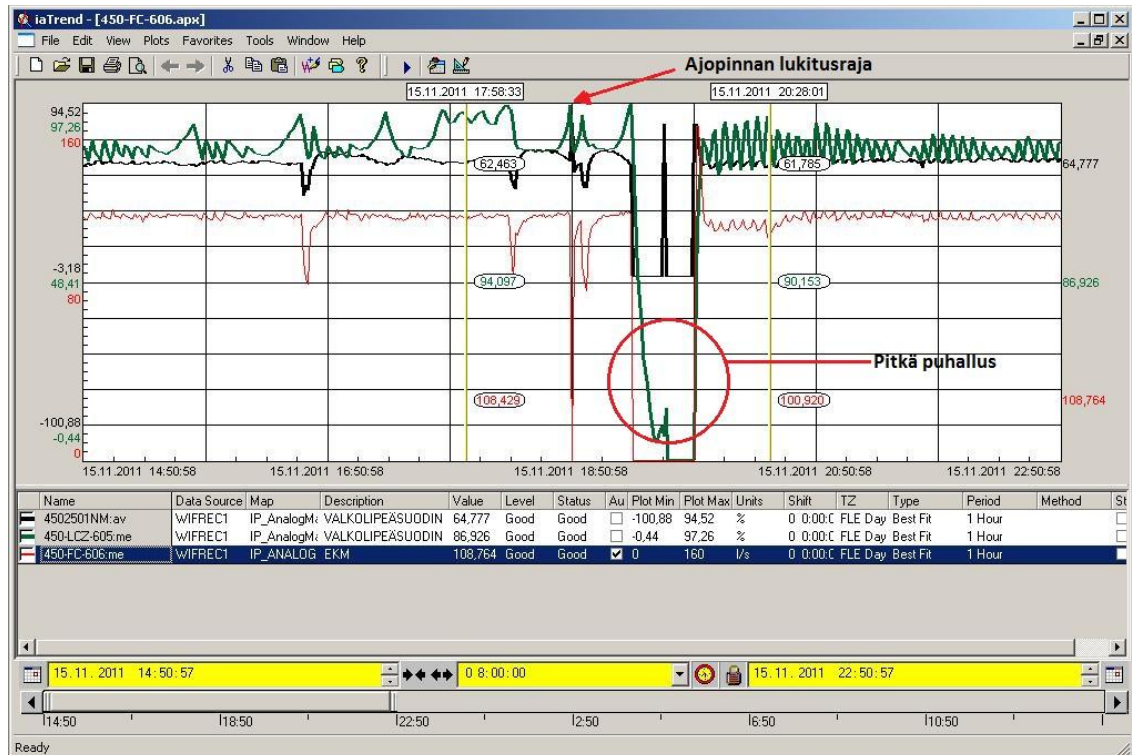
6.2 CD-suotimen pitkä puhallus

Pitkä puhallus on yksi CD-suotimen pesusekvensseistä. Pitkäpuhallussekvenssin alussa kalkkimaidon syöttö suotimelle lopetetaan, suotimen sisäinen paine pudotetaan ja suotimen kalkkimaitoallas tyhjennetään. Kun pinta ja paine ovat pudonneet tietyn asetetun rajan alle, linja valkolipeäsäiliölle menee kiinni. Ilma puhalletaan suuntaventtiilin avulla takaperin suotimessa akselin kanavien kautta sektoreiden sisäpuolelle lomittain, juuri ennen kaavareita. Suodatinkankaat paisuvat hetkellisesti ja meesakakku irtoaa suodatuspinnasta ja tippuu pudotuskuiluihin. Kun kaikki meesa on puhallettu pois suodatuskiekoista, kankaiden päälle ruiskutetaan lämmintä vettä pesusuuttimien kautta. Samalla sekvenssi myös pesee suotimen kaavarit, pudotuskuilut, ilmasekoittimet, kalkkimaitoaltaan sekä akselin. Pesun jälkeen pesuvedet johdetaan suodossäiliön kautta laihavalkolipeäsäiliöön. Kun pesuvedet on poistettu suotimesta, pesu on valmis ja sekvenssi palauttaa suotimen normaalisuodatukseseen. CD-suotimen pitkä puhallus suoritetaan normaalitilanteissa kolme kertaa viikossa. (Ranta- Aho, henkilökohtainen tiedonanto 15.09.2011.)

6.3 CD-suotimen happopesu

Pesemällä CD-suotimen kankaat hapolla, ehkäistään kankaiden tukkeutumista ja valkolipeätuotannon häiriötä. Myös suotimen venttiilit ja pumpit säästyvät happopesun avulla kun kalkkimaidon ja lisävesien virtaukset suotimessa ovat tasaisempia. CD-suotimen kankaat pestään hapolla noin kerran kuukaudessa, mutta pesujen määrä vaihtelee tilanteen ja kankaiden kuntojen mukaan. Happopesuun käytetään tällä hetkellä sulfamiinihappoa, joka on orgaaninen

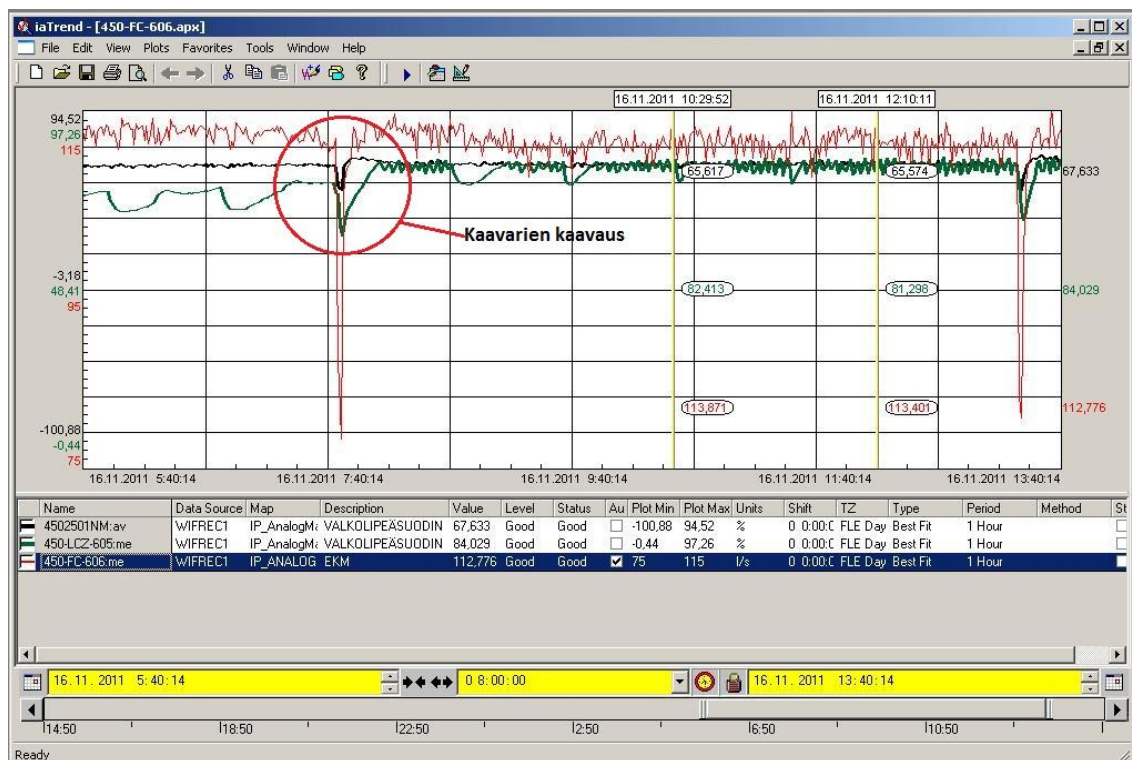
happo ja rikkoo kiteytettyä kalkkia hyvin. Valkolipeäsuotimen suodatuskankaiden eri lianjäännöksistä ei tarkasti tiedetä, koska tutkimuksia siitä ei löydy, mutta suurin osa liasta näyttää olevan eri kiteytettyjä kalkkiyhdistelmiä.



Kuva 17. CD-suotimen iA-trendi ennen happopesua (Metso DNA ohjausjärjestelmä).

Vihreä viiva edustaa suotimen kalkkimaitoallaksen ajopintaa, punainen viiva kalkkimaidon virtausta suotimelle ja musta viiva on kalkkimaitopumpun syötön ohjaus. Trendistä näkyy selvästi, että suotimen ajopinta heiluu melko rajusti, niin kuin myös pumpun syöttöohjaus. Suodinkankaat ovat likaisia ja natriumhydroksidin läpäisy heikkoa syöttövirran suhteen joten ajopinta on noussut lukitusrajalle. Tämän jälkeen prosessiohjaaja on päättänyt suorittaa CD-suotimelle pitkän puhalluksen. Pitkän puhalluksen jälkeen syöttöpumpun ohjauksen arvot ovat pysyneet tasaisina, samoin myös kalkkimaidon virtaus suotimelle, mutta ajopinta on jatkanut heilumista. Tämän takia on päätetty suorittaa suotimelle happopesu.

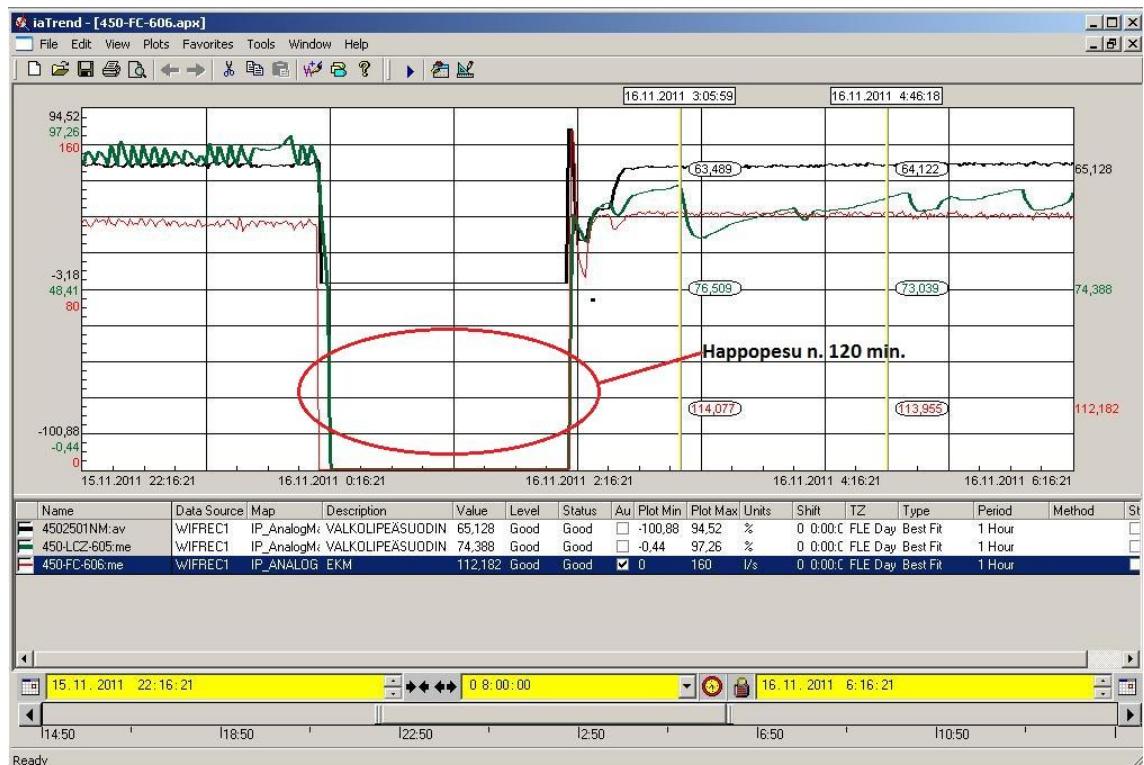
Happosatsi sekoitetaan erillisessä säiliössä joka on kytketty CD-suotimen pesukiertoon. Pesu on suljettu kierto suotimessa, ja pesuun käytetään 500 kg sulfamiinihappoa joka sekoitetaan kuumalla vedellä noin 10 % liuotukseen. Happosatsiin lisätään myös 1–2 litraa inhibitoria korroosion ehkäisyyn suotimessa ja putkistossa. Happopesu on automaattinen sekvenssi joka ensin puhalttaa pois meesakakun kankaista ja pesee niitä vedellä, samalla tavalla kuin pitkässä puhalluksessa. Sen jälkeen sulfamiinihappo ruiskutetaan pesusuuttimien kautta kankaille. Sulfamiinihappoliuos kiertää suodinta 60 minuuttia, jonka jälkeen sekvenssi lopuksi neutraloi happoa natriumhydroksiidillä ja huuhtelee vielä kankaat kuumalla vedellä niin että suodin neutraloituu. Neutraloitu pesuhappo johdetaan laihavalkolipeäsäiliölle pesun jälkeen, joten ympäristövaikutus happopesulla on pieni. (Henkilökohtainen tiedonanto, Ranta- Aho, 15.09.2011.)



Kuva 18. CD-suotimen iA-trendi happopesun jälkeen (Metso DNA ohjausjärjestelmä).

Happopesun jälkeen näkyy selvästi että kalkkimaidon virtaus on noussut keskimäärin 4 l/s, syöttöpumpun ohjausteho on tasaisempi ja suotimen ajopinta pysyy 82 % alueella, mikä on asetettu ajopinta.

Nykyisen happopesumenetelmän haitta on että pesu vie paljon aikaa. Suotimen tyhjennys, happopesu ja lopetus yhteen laskettu kesto on n. 120–130 minuuttia. Tämän ajanjakson aikana kaustisointisäiliöiden pinta ehtii nousta lukitusrajalle, jonka seurauksena on kaustisoinnin automaattinen pysähtyminen. Samalla meesasäiliön pinta laskee ja viherlipeäsäiliöiden pinta lähtee nousuun, ja tämän takia on joskus vaikea löytää hyvä ajankohta milloin on mahdollista pestä CD-suodin perinteisellä happopesumenetelmällä ilman tuotantohäiriötä. (Rönqvist, henkilökohtainen tiedonanto 21.09.2011.)



Kuva 19. CD-suotimen iA-trendi happopesun aikana (Metso DNA ohjausjärjestelmä).

6.4 Yhdistetty pitkä puhallus ja happopesu

Liittämällä lyhyempi happopesu pitkäpuhallus-sekvenssin loppuun on mahdollista saada CD-suodinta nopeammin pestyä vaikeimmissa tilanteissa verrattuna perinteiseen happopesumenetelmään. Näin suotimen tuotantoaika nousisi ja valkolipeätuotannon keskiarvo olisi korkeampi. Menetelmä on jo käytössä UPM-Kymmenen tehtaalla Uruguayn Fray Bentos kaupungissa.

Sekvenssi on ohjelmoitava niin että sen kokonaiskesto minuuteissa ei nouse paljon verrattuna tavalliseen pitkäpuhallus-sekvenssiin. Samalla hapon pesuaika suotimessa pitää olla riittävän pitkä, jotta happo ehtii purra kalkkijäännöksiin ja poistaa niitä kankaista. Suotimen tyhjennys ja esihuuhtelu on oltava tehokasta, muuten jäännösalkalit suotimessa neutraloivat sulfamiinihapon. (Ranta-Aho, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2011.)

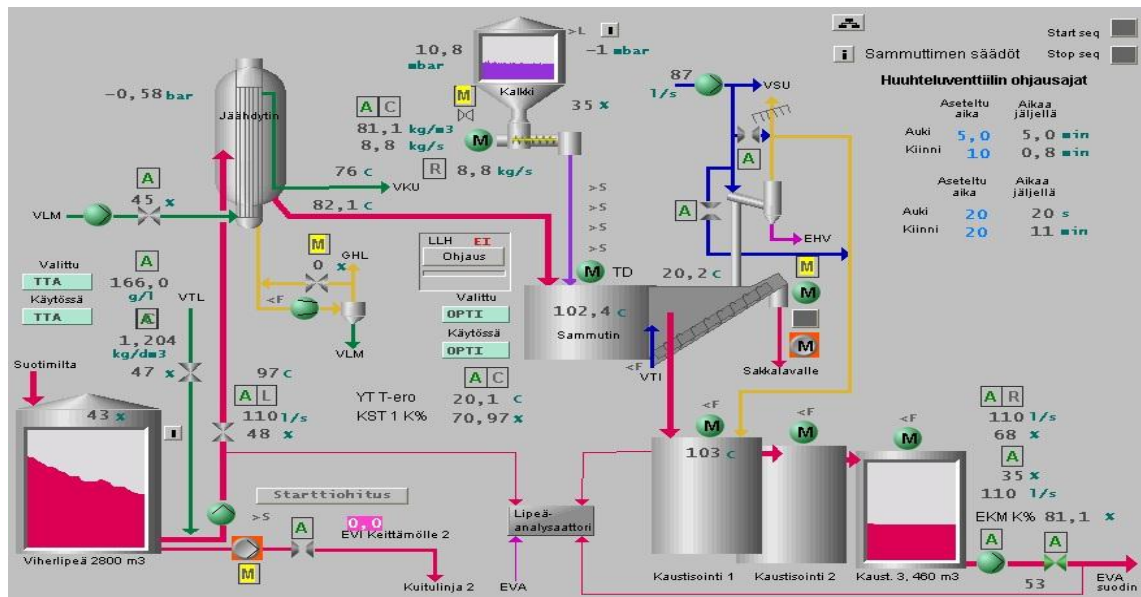
6.5 Haasteita

Koska kemikaalikierto talteenottolinjassa on jatkuva, ja säiliötila rajoitettu, sekvenssin kesto minuuteissa on suurin ongelmantekijä. Kun CD-suotimelle tehdään tavallinen happopesu, koko kaustistamo on pysäytettävä koska pinta kaustisointisäiliöissä lähtee nousuun kun kalkkimaidon syöttö lopetetaan CD-suotimelle. Jos näin ei tehdä, se pysähtyy itsestään, kun kolmas kaustisointisäiliö nousee lukitusrajalle, joka on 80 % säiliön kokonaistilavuudesta. Prosessiohjaajat kuitenkin pysäyttävät aina kaustistamon mieluummin manuaalisesti. Pysäyttämällä hallitusti säästetään laitteistoa. (Ranta-Aho, henkilökohtainen tiedonanto 15.09.2011.)

Pitkä puhallus, jonka sekvenssi kestää n. 25 minuuttia, on mahdollista tehdä kaustisoinnin olleessa käynnissä. Normaaliajossa viherlipeä syötetään sammuttajalle n. 110 l/s ja sammutettua kalkkia n. 7–8 kg/s. Asetettu ajopinta kolmannessa kaustisointisäiliössä on normaalisti 32 %. Kun ylempi lukitusraja on 80 %, ja säiliön kokonaistilavuus on 460 m³, niin tilavuus saatavilla CD-suotimella pois päältä on 48 % kokonaistilavuudesta pesua varten, mikä on n.

221 m³. 110 l/s ajolla pinta nousee 6.6 m³ minuutissa, mikä tarkoittaa että aikaa on n. 33 minuuttia ennen kuin kaustisointisäiliö nousee lukitusrajalle.

Näin voidaan todeta että yhdistetty pitkäpuhallus- ja happopesusekvenssi ei saisi ylittää 33 minuuttia, jos kaustistamo on pidettävä ajossa pesun aikana. Jos sekvenssin kesto ylittää 33 minuuttia se menettää etunsa.



Kuva 20. Kaustistamon ajokuva (Metso DNA ohjausjärjestelmä).

On myös mahdollista alentaa vihreälipeän syöttöä sammuttajalle esimerkiksi 70 l/s ja sillä tavalla hillitään pinnan nousua kaustisointisäiliössä. Toisaalta vihreälipeäsyötön äkillinen muutos voi aiheuttaa kaustisointiarvojen heilahduksia, ja siksi tällainen toimenpide pitäisi välttää. Parempi vaihtoehto on pitää vihreälipeän virtaus sammuttajalle normaalivauhdissa muiden laitteiston kanssa, tai pysäyttää kaustisointi kokonaan. (Kankaanpää, henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2011.)

Jos kaustisointi säiliötilavuuden takia on pidettävä ajossa puhalluksen aikana, on myös mahdollista alentaa kaustisointisäiliön pintaa ennen kuin pesu ja puhallus suoritetaan. Alempaa lukitusrajaa ei ole olemassa kaustisointisäiliössä, joten ajopinta on mahdollista laskea esim. 10 %:iksi ennen kalkkimaitosyötön lopetusta. (Kankaanpää, henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2011.)

6.6 Happojen käyttö

Työssä tutkittiin myös vaihtoehtoisten happojen käyttöä. Tähän asti on Pietarsaaren tehtailla normaalisti käytetty kiinteätä sulfamiinijauhoa, joka on sekoitettu pesuhapposäilöön veden sekaan CD-suotimen pesua varten.

Sulfamiinihappo (H_3NSO_3) on epäorgaaninen happo ja rikkihapon johdannainen, jota käytetään pesuaineena ja orgaanisessa synteesissä. Sulfamiinihappo on suhteellisen halpa ja sen käyttö soveltuu hyvin kalkin poistamiseksi. Happona se on lievä eikä aiheuta sen enempää työturvallisuustai ympäristöhaittoja. Pestävästä pinnasta pitää kuitenkin ensin poistaa alkalit niin ettei happo neutraloidu ja täten menetä pesuvoimaansa. Myös inhibiittoria on lisättävä happosatsin seokseen korroosion estämiseksi putkissa ja muissa metallisissa pinnoissa. Sulfamiinihappo vaatii myös suhteellisen paljon aikaa poistaakseen lian jäännökset pestävästä pinnasta. CD-suotimen perinteisen happopesun aikana sulfamiinihappo kiertää suodinta 60 minuuttia. Sulfamiinihapon virtaus suotimelle pesun aikana nostetaan askeleittain niin että lian jäännökset ensin pehmenevät, eikä happoa pääsee valumaan hukkaan neutralointiin liian nopeasti. Lyhyemmällä pesuajalla voimakkaampi happo kuin sulfamiinihappo edesauttaisi pesun tulosta. Toistaiseksi ei ole kuitenkaan kokeiltu toista happoa, jonka ominaisuudet olisivat sulfamiinihapolle verrattavissa kalkinpoistossa. (Heikkinen, henkilökohtainen tiedonanto 7.10.2011.)

Toinen happo joka toimisi samalla tavalla kuin sulfamiinihappo olisi muurahaishappo. Muurahaishappo (HCOOH) on yksinkertaisin orgaaninen happo. Sen ominaisuudet ja hinta on verrattavissa sulfamiinihappoon, paitsi että muurahaishappo liukenee paremmin veteen ja on voimakkaampi hapetin kuin sulfamiinihappo. Muurahaishappo aiheuttaa toisaalta enemmän ongelmia työturvallisuuden kannalta. Muurahaishapolla on voimakas pistävä haju, ja yli 10 % liuoksissa se on luokiteltu syövyttäväksi. Sen takia muurahaishapon käsittely vaatii paremmat suojavarusteet ja enemmän huolellisuutta. Muurahaishapon käyttö CD-suotimen pesussa voisi aiheuttaa, hapon

7 SEKVENSIN LAATIMINEN

7.1 Suunnittelu

Sekvenssin suunnittelussa käytettiin pitkäpuhallus-sekvenssiä runkona, joka käsittää 24 askelta. Todettiin että hapon syöttö voidaan aloittaa kun CD-suodin on tyhjennetty ja huuhdeltu vedellä. Nämä toiminnot ovat valmiita askeleessa 19. Hapon syöttö lisättiin askeleessa 20.

Hapon syötön suunnittelu alkoi tutkimalla kaustistamon PI-kaaviota. Tarkoituksena oli etsiä nopein reitti pesuhapposäiliöstä CD-suotimen läpi laihavalkolipeäsäiliöön. Sinänsä reitti oli jo alusta alkaen suhteellisen selvä, koska vaihtoehtoja ei löytynyt kuin ainoastaan yksi. Uudesta pesusekvenssistä hapon kierrätys ja neutralointi suotimessa jätettiin pois kokonaan. Sekvenssi piti olla niin nopea ja tehokas kuin mahdollista, joten päätettiin syöttää sulfamiinihappo suoraan kankaiden päälle, jonka jälkeen happo pumpataan suoraan suodossäiliöstä laihavalkolipeäsäiliöön. Kun pesureitti oli selvä, ruvettiin tutkimaan happolinjan ja happosäiliön huuhtelun vaihtoehtoja. Vaihtoehtoja oli muutamia, mutta nopeimman tavan todettiin olevan hapon syöttölinjan ja CD-suotimen huuhtelu toisiolauhteella pesuhappopumpun avulla. Huuhteluedet virtaavat suodossäiliön kautta laihavalkolipeäsäiliöön. Kun syöttölinja ja CD-suodin on huuhdeltu, suodin palaa normaali suodatukseen, ja pesuhapposäiliön huuhtelu voidaan suorittaa sekvenssin lopussa. Tämä ratkaisu säästää aikaa noin 5 minuuttia. Pesuhapposäiliöön ajetaan kuumaa vettä säiliön puoliväliin, jonka jälkeen vedet pumpataan pois pesuhappopumpulla laihavalkolipeäsäiliöön happolinjan tyhjennysventtiilin kautta.

Pitkäpuhallus-sekvenssi kopioitiin excel-taulukkona, jonka jälkeen ruvettiin lisäämään uusia askeleita. Taulukko laadittiin niin että se sisälsi askeleen nimen, toiminnot, positiotunnukset sekä siirtymäehdot. Pitkäpuhallus-sekvenssin askeleita ei muokattu ollenkaan, mutta hapon syötön askeleissa pystyttiin lainaamaan tietyt toiminnot ja ajastimet vanhasta

happopesusekvenssistä, kun taas jotkut askeleet piti suunnitella ihan alusta asti. Tämän ohella PI-kaaviosta piti tutkia että myöhemmin on mahdollista ohjelmoida sekvenssi halutulla tavalla. Yleisin ongelma sekvenssin ensimmäisissä versioissa oli tietämättömyys eri venttiilien lukituksista. Kun viides versio sekvenssistä oli tutkittu, totesimme että sekvenssi oli valmis ohjelmointia varten.

7.2 Ohjelmointi

Sekvenssin ohjelmoinnista vastasi Metso, koska sekvenssiohjelmointi Metso DNA ohjausjärjestelmässä on suhteellisen vaikea tehtävä. Yhteistyö Metson kanssa oli tiivistä koko ohjelmoinnin aikana, koska Metson henkilöstöllä ei ollut laitteistotarkkaa tietoa samalla tavalla kuin UPM:n henkilöstöllä. Ensimmäinen ongelma, joka ilmestyi heti ohjelmoinnin alussa, oli happovalmius. Kaikki venttiilit ja pumpput, joiden kautta juoksee pesuhappoa, vaativat ohjausjärjestelmän happovalmiuden toimiakseen. Tämä happovalmius on oltava päällä kun pestään CD-suodinta tai viherlipeäsuotimia hapolla. Happovalmiuden käyntiehdot vaativat ettei minkäänlainen puhallustoiminto, eikä myöskään muita toimintoja CD-suotimella, saa olla käynnissä kun happovalmius kytkeytyy päälle. Kaikki nämä ehdot olivat ristiriitaisia uudella sekvenssillä, ja näin ollen jouduttiin lisäämään uusi muokattu happovalmiuspiiri ”or” ehtona vanhan rinnalla. Kun happovalmiuspiiri oli ratkaistu, siirryttiin sekvenssin simulointiin. Simulointi jäi kuitenkin lyhyeksi, koska simulaattori vikaantui melkein välittömästi simuloinnin käynnistyessä. Tämän jälkeen päätettiin ladata sekvenssi suoraan ajojärjestelmään, ja tehdä koeajo todellisessa ympäristössä. Todettiin, että vaikka pesusekvenssi ei toimisi kunnolla ja CD-suotimelle tulisi häiriötä, niin tuotanto sietäisi hetkellisiä häiriöitä.

Pesusekvenssi koeajettiin ja melkein heti ilmeni ongelmia. Tietyt venttiilit eivät saavuttaneet kiinni- tai aukirajaa niin kuin oli suunniteltu, kun taas toiset venttiilit jäivät jumiin. Sen lisäksi myös toiminnot, joiden ei pitäisi olla kytkettyinä sekvenssin aikana, olivat toiminnassa ja häiritsivät pesusekvenssiä. Yksi näistä oli kaavarin kaavaus-toiminto. Keskellä pesusekvenssiä CD-suodin siirsi

kaavarit sisäänpäin ja ajoi lisävettä suotimeen. Tämä toiminto aiheutti häiriötä pesusekvenssissä kun kaavarit olivat väärällä rajalla, ja suotimeen virtasi liikaa lisävettä. Tämä ristiriitaisuus pesusekvenssin ehtojen kanssa aiheutti sen että meesan liettosäiliö saavutti ylälukitusrajan, jonka jälkeen CD-suotimen syöttöpumppua ei saatu enää käyntiin. Pesusekvenssi aiheutti myös häiriötä CD-suotimen kompressoriventtiilille, joka meni kiinni ja lukkoon. Kaikki askeleet, jotka liittyivät hapon syöttöön, eivät toimineet ollenkaan ensimmäisessä koeajossa.

Vianetsintä aloitettiin, ja ohjelmoinnista löytyi runsaasti invertterivikoja ja ristiriitaisuuksia lukitus- ja käyntiehdossa. Vikojen korjaamiseen meni suhteellisen paljon aikaa, ja ajoittain oli todella vaikeaa löytää oikea ratkaisu tietyille vialle. Hapovalmiuspiiri tutkittiin uudelleen, ja kaavarin kaavaus-toiminto buggeroitiin hetkellisesti pois päältä seuraavan koeajon ajaksi.

Seuraava koeajo suoritettiin viikkoa myöhemmin, ja tällä kertaa sekvenssi toimi paremmin. Pesuhapposäiliö oli, turvallisuussyistä ja pesusekvenssin toimivuuden epävarmuudesta johtuen, täytetty ainoastaan kuumalla vedellä. CD-suotimen tyhjennys, puhallus ja vesipesu meni läpi ilman häiriötä. Ensimmäinen pieni ongelma esiintyi hapon syötössä. Sekvenssi on laadittu niin että happoventtiili suotimeen pitäisi avautua 25 % ja venttiilijastin käy 300 sekuntia, jonka jälkeen venttiili avautuu 100 %. Koeajossa venttiili avautui heti 80 % ja pesuhapposäiliö meni tyhjäksi ennen kun ajastin oli käynyt 300 sekuntia. Tämä aiheutti häiriötä sekvenssissä koska pesuhapposäiliö oli tyhjä ennen kuin ajastin oli kulunut loppuun. Pystyttiin kuitenkin askeltamaan sekvenssi siten että pääsimme eteenpäin. Toinen suurempi ongelma esiintyi sekvenssin viimeisessä askeleessa. Pesuhappopumppu ei pysähtynyt, minkä seuraksena happolinjan tyhjennysventtiili laihavalkolipeäsäiliöön ja pesuhapposäiliön juuriventtiili eivät savuttaneet kiinnirajaa. Ongelman syy oli invertterivika kahdessa eri ehdollisissa kopiointitoimintalohkoissa. Ohjausjärjestelmä kirjoitti jatkuvasti tulosignaalina ykkönen venttiileille ja moottorille, joka aiheutti että venttiilit saivat "auki" komennon ja moottori "käy" komennon.

Kolmas testi suoritettiin hapolla, mutta testi jäi lyhyeksi. CD-suotimen tyhjäpumpujen vedenerottimien pinta nousi nopeasti lukitusrajalle, jonka seurauksena tyhjäpumput pysähtyivät, ja CD-suodin meni paineettomaksi. Äkillinen pinnannousu vedenerottimissa johtui CD-suotimen vuotavasta paineensäätöventtiilistä. Ruvettiin tutkimaan miksi paineensäätöventtiili ei säätänyt painetta suotimessa niin kuin sekvenssissä oli ohjelmoitu. Paineensäätöventtiilin piiristä löytyi useita invertterivikoja, joten oli tarpeellista ohjelmoida useita paineensäätöventtiilin liittyviä piirejä uudestaan jotta saimme ongelman ratkaistua. Kun muutokset oli syötetty ohjausjärjestelmään ne aiheuttivat taas häiriötä suotimen normaalikäynnissä. Kun CD-suodin oli "auto"-tilassa, eli normaali tuotantotilassa, paineensäätöventtiili avautui 100 % auki ja suodin meni paineettomaksi. Suoritettiin vianetsintä ja piiristä löytyi vahingossa unohtunut invertterivika. Samalla poistettiin tyhjäpumpujen vedenerottimien pinnanlukitusrajat sekvenssistä, jotta ne eivät pääsisi enää häiritsemään pesusekvenssiä.

8 TULOKSET

8.1 Koeajo hapolla

Koska oli ollut suhteellisen paljon ongelmia saada sekvenssi toimimaan häiriöttä, talteenoton ylimestari päätti, että prosessiohjaajat ajaisivat sekvenssin vedellä säännöllisesti kahden viikon ajan, tavallisen pitkän puhalluksen sijaan. Tällä tavalla olisi helpompi analysoida ja korjata pienet virheet, kun ne esiintyivät sekvenssissä, eikä sulfamiinihapposatseja menisi hukkaan.

Sekvenssi ajettiin vedellä viisi kertaa kahden viikon aikana, eikä ongelmia esiintynyt kuin vähän. Muutamia valvonta- ja odotusaikoja lyhennettiin tai pidennettiin sekä muutamien venttiilien aloitusrajat muutettiin, mutta muuten testaukset viittasivat selvästi, että sekvenssi oli valmis koeajoa ja käyttöönottoa varten.

Tavallinen happopesu oli tehty vain viisi päivää ennen uuden pesusekvenssin testausta, joten CD-suodin oli testaushetkellä melko puhdas. Viherlipeän virtaus sammuttajalle oli koko testin aikana 108 l/s ja meesauunin tuotanto 590 t/d. Tämän suuruiset syötöt ja tuotannot lasketaan normaalivauhdiksi talteenottolinjan kaustistamalla. Ainoa tekijä, jota oli jonkin verran muunneltu testiä varten, oli kolmas kaustisointisäiliön pinta, joka oli laskettu 32 %:sta 28 %:iin.

CD-suodin ajetaan normaalitilanteessa pinnan mukaan, eli ohjausjärjestelmä pyrkii jatkuvasti pitämään asetetun pinnan kalkkimaitoaltaassa. Jos pinta nousee yli asetetun rajan, kalkkimaidon syöttö ja suotimen pyörimisnopeus vähentyy automaattisesti, ja vastaavasti suodin nostaa syöttöä ja pyörimisnopeutta, jos pinta laskee alle asetetun arvon.

8.2 Pesun tulokset

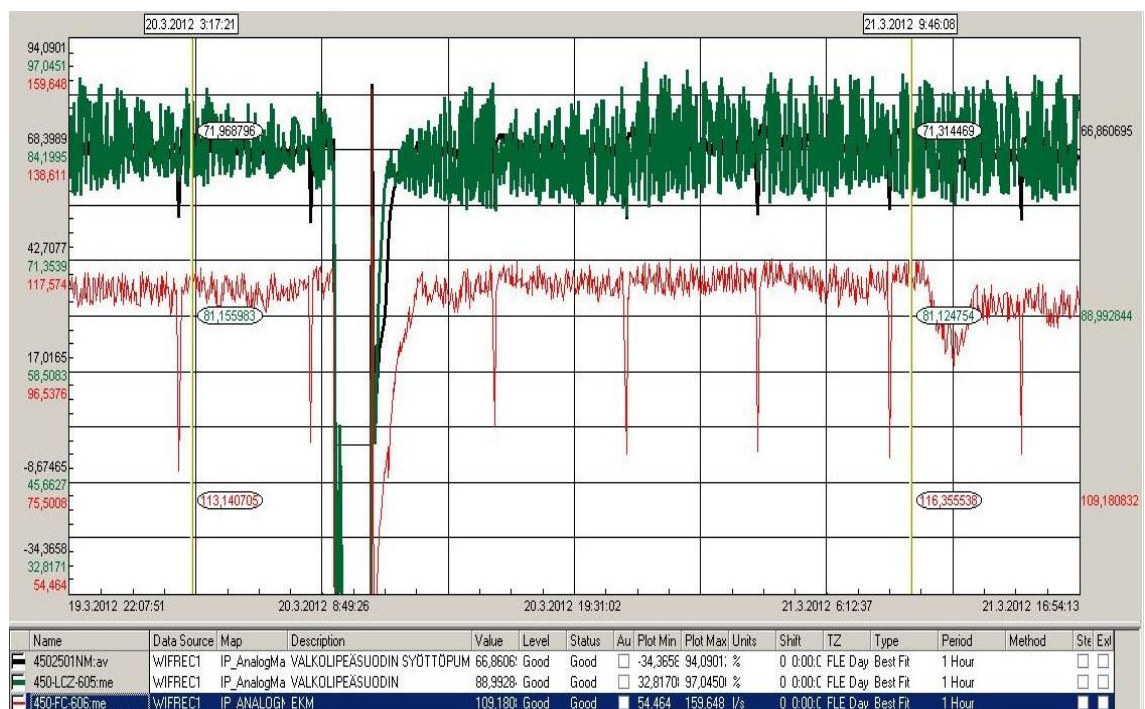
Ennen testauksen aloittamista CD-suotimen syöttöpumpun virta oli 52 %, kalkkimaidon virtaus 106 l/s ja CD-suotimen pinta 82 % joka oli asetettu raja.

Pesusekvenssi käynnistettiin, ja sen kokonaiskesto oli 54 minuuttia, joista 28 minuuttia kului CD-suotimen varsinaiseen pesuun. Loput 26 minuuttia olivat happolinjojen ja pesuhapposäiliön jälkihuuhdeltu. Ne ovat toimintoja, jotka eivät vaikuta CD-suotimen tai kaustistamon tuotantoon. Ongelmia ei esiintynyt sekvenssin testauksen aikana ollenkaan, ja koko happosatsi saatiin syötettyä suotimelle ilman häviöitä. Kaustistamo nousi lukitusrajalle ja pysähtyi automaattisesti puoli minuuttia ennen kun CD-suodin palasi takaisin normaalisuodatukselle. Jos 3 kaustisointisäiliön pinta olisi ollut 5 % alempi testin alussa, niin kaustistamo olisi pysynyt ajossa koko pesun aikana.

Pesun jälkeen CD-suotimen syöttöpumpun virta oli 52 %, kalkkimaidon virtaus suotimelle oli 109 l/s ja CD-suotimen pinta 77 %. Koska CD-suodin ajetaan pinnan mukaan, niin suodin pyrkii nostamaan kalkkimaidon syöttöä ja suotimen kierroslukua. 15 minuuttia pesusekvenssin lopetuksesta suodin saavutti 82 % ja

kalkkimaidon virtaus oli tällöin 110 l/s. CD-suotimen pinta pysyi myös tasaisempana pesun jälkeen. Näin ohjausjärjestelmän ei tarvitse säätää syöttöpumpun virtaa ja venttiiliä yhtä paljon, että pinta pysyy 82 %:ssa.

Näillä tuloksilla totesimme, että uusi pesusekvenssi toimi odotettua paremmin. Samalla syöttötehoalla kalkkimaidon virtaus suotimelle oli noussut 3-4 l/s pesun jälkeen. Tämä nousu kalkkimaidon virtauksessa tarkoittaa, että CD-suotimen tuotanto nousee 302 m³ vuorokaudessa, tai 3,2 % CD-suotimen maksimituotannosta, ilman syöttötehon nostamista. Tämä tulos on melkein samanlainen kuin vanhan happopesusekvenssin pesuteho. Uuden pesusekvenssin suurin etu on, että CD-suodin on pois ajosta ainoastaan 27 minuuttia verrattuna vanhaan pesusekvenssin, jolloin CD-suodin on pois päältä 120 minuuttia.



Kuva 22. CD-suotimen iA-trendi ennen ja jälkeen pesua (Metso DNA ohjausjärjestelmä).

9 PARANNUSEHDOTUKSET

9.1 Haitta-aineiden tutkinta

Jotta CD-suotimen ja viherlipeäsuotimien happopesu olisi mahdollisimman tehokasta, olisi syytä analysoida talteenottolinjassa kiertävät haitta-aineet tarkemmin. Tämä koskee erityisesti CD-suotimen suodatuskankaita. Tällä hetkellä ei löydy luotettavaa tutkimusta, joka selvittäisi, minkälaisia aineita täsmällisesti kiteytyy kiinni suodatuskankaisiin tai kemiallisesti heikentää niiden rakennetta, vaan kaikki epäviralliset raportit ovat ainoastaan suuntaa antavia.

Kankaiden vaihdon yhteydessä käytetyt kankaat olisi syytä tutkia laboratoriossa. Näin olisi mahdollista muutaman vuoden aikana kerätä tietoa siitä minkälaiset aineet, kalkkijäännöksiä lukuun ottamatta, kiteytyvät kiinni kankaisiin, kuten esimerkiksi raskaat metallit, hiiltä ym.

Vaurioituneet suodatuskankaat meesasuoitimella ovat yksi talteenottolinjan isoimmista haittatekijöistä. Seuraamalla niiden kuntoa tarkasti ja vaihtamalla rikkinäisiä suodatuskankaita heti, kun niissä esiintyy vaurioita, minimoidaan haitta-aineiden pääsy kemikaalikiertoon.

9.2 Väkevyyden muuttaminen

Olisi hyvä muuttaa happosatsin väkevyyttä pesusta toiseen muutaman kuukauden välein ja analysoida muutosten vaikutus pesun tuloksiin. Tällä tavalla olisi mahdollista saada selville, jos pesun vaikutus CD-suotimella muuttuu rajusti sulfamiinihappomäärän mukaan. Esimerkiksi jos pesun vaikutus on yhtä tehokasta 300 kg:n sulfamiinihapolla kuin 500 kg:lla, kustannukset ja ympäristövaikutukset vähenevät merkittävästi. Jos taas pesutulos paranee merkittävästi 700 kg:lla ja laitteisto kestää väkevämpää liuosta, se johtaa tuotannollisiin voittoihin.

Hyvä menetelmä toteuttaa näitä muutoksia käytännössä, olisi pestä ensin 300 kg:lla ja sen jälkeen lisätä 100 kg seuraavalla pesulla, aina 700 kg asti.

Kuten aiemmin jo käsiteltiin, vaihtoehtoisten happojen kokeilu pesussa olisi suositeltavaa. Tämän työn aikana ei selvitetty muuta vaihtoehtoa paitsi muurahaishappoa, ja sekin ainoastaan teoreettisellä pohjalla, mutta sen kokeilu käytännössä olisi yksi askel oikeaan suuntaan. Muurahaishapon kokeilu CD-suotimen happopesussa antaisi vertausta sulfamiinihapolle, ja samalla saataisiin selville käytännön etuja tai haittoja. Muurahaishapon lisäksi kannattaisi tutkia, jos löytyy muita sopivia happoja kokeilua varten.

9.3 Uuden pesusekvenssin käyttöönotto

Yhdistettyä pitkäpuhallus- ja happopesusekvenssiä kannattaisi käyttää säännöllisesti. Ensinnäkin sekvenssin ohjelmoinnissa mahdollisesti esiintyvät pienet virheet saadaan selville käyttämällä sekvenssiä säännöllisesti. Samalla säännöllinen käyttö paljastaa, jos mekaaniset laitteet sietävät sekvenssiä. Koska sekvenssi on suunniteltu käyttötarpeen mukaan, eikä sen enempää huomiota ole kiinnitetty suotimen mekaaniseen rakenteeseen, mahdolliset rasitukset putkistoissa, venttiileissä, pumpuissa, laakereissa ja moottoreissa saattavat esiintyä. Mekaanisten vaurioiden todennäköisyys on pieni, koska sekvenssi on sinänsä yksinkertainen. Seuraamalla laitteiston kuntoa säännöllisesti saadaan selville sekvenssin mahdollisesti aiheuttama epänormaali rasitus laitteistolle.

Pesusekvenssi tulisi käyttää aina silloin kun CD-suodin vaatii happopesua, mutta valkolipeän tai meesan määrä varastosäiliöissä on niin vähäistä, että se estää pitemmän happopesun. Kaikkien pesujen tulokset uudella pesusekvenssillä tulisi kerätä talteen arviointia varten. Tätä menetelmää olisi hyvä kokeilla noin kolmen kuukauden ajan, jonka jälkeen tehtäisiin arviointi pesujen tuloksista. Samalla voidaan arvioida, jos huuhteluajat, tyhjennysajat ja muut valvonta-ajat sekvenssissä ovat sopivia, tai jos ne vaativat muutoksia, jotta sekvenssi saadaan säädettyä mahdollisimman tehokkaaksi.

10 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämä työ on ollut mielenkiintoinen ja välillä haastavaakin. Vaikka paperiteollisuus on yksi Suomen suurimmista teollisuushaaroista, kirjallisuutta ja tutkimuksia, jotka käsittelevät valkolipeän suodatusta paineistetulla kiekkosuotimella, on vaikea löytää. Sen takia on monesti ollut pakko tutkia tiettyjä ongelmia ihan alusta asti toimeksiantajan yhteistyön avulla.

Suurin etu tässä työssä oli, että minulla oli aiempaa kokemusta kemiallisesta talteenottolinjasta ja henkilökohtaista mielenkiintoa koko prosessia kohti. Näiden asioiden avulla päästin heti työn alussa tehtävän ytimeen. Jälkeenpäin olisin tehnyt muutamia asioita hieman eri tavalla. Esimerkiksi selvitin liian tarkasti kaustistamon pysähtymisen mahdolliset haitat pesun yhteydessä, mikä ei sittenkään osoittautunut olevan niin tärkeä tekijä pesun kannalta. Tehtaan henkilökunnan osaamisen ja kokemuksen ansiosta työ on edistynyt suunniteltua paremmin. Heidän avullaan vaikeat ongelmat on ratkaistu tehokkaasti yhteistyöllä ja kokemuksen avulla. Työskentelemällä määrätietoisesti ja keskustelemalla eri mahdollisuuksista asiantuntijoiden kanssa sain mielestäni tyydyttävää tulosta.

LÄHTEET

Knowpulp 2011. Sulfaattisellun valmistus oppimisympäristö. Www-dokumentti. Saatavissa www.knowpulp.com . Luettu 13.09.2011, 23.11.2011, 28.11.2011, 29.11.2011.

Seppälä, Markku J.; Klemetti, Ursula; Kortelainen, Veli-Antti; Lyytikäinen, Jorma; Siitonen, Heikki; Sironen, Raimo. 1999. Kemiallinen metsäteollisuus 1- Paperimassan valmistus. Helsinki: Hakapaino Oy. 18-26, 75-95, 98-109, 122-127, 145-167.

Tikka, Panu. 2008. Chemical Pulping Part 2, Recovery of Chemicals and Energy. Jyväskylä: Gummerus Oy. 38-45, 86-103, 124-154, 161-171

Tuuri, Antti. 1999. Metsän Jättiläisen synty. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

UPM Kymmene. 2011a. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.upm-kymmene.com/fi/upm>. Luettu 12.09.2011.

UPM-Kymmene vuosikertomus 2010.

Haastattelut:

Laitosmiehet Taisto Haukirauma & Tuomo Ranta- Aho, haastattelu 15.9.2011, 20.10.2011 ja 29.11.2011.

Laitosmies Teuvo Kankaanpää, haastattelu 10.10.2011.

Laitosmies Teppo Parkkinen, haastattelu 28.11.2011.

Laboratoriopäällikkö Tomi Heikkinen, haastattelu 7.10.2011.

Prosessi insinööri Andreas Rönnqvist, haastattelu 21.09.2011.

11 PP+HAPPO PESUSEKVENSSI

VL-SUODIN
PP/HAPPOPESU

	FI FO WD	WS SP FL		CD AC TI	
1 HYDR. KÄYNTIIN			CD SYÖTTÖ-PPU SEIS 4502501 FB07 CD HYDRAULIIKKA KÄYNTIIN 4502504 FB1135		CD SYÖTTÖPUMPPU SEIS CD HYDRAULIIKKA KÄYNTY 10 s.
2 KAAVARI SISÄÄN			KAAVARI SISÄÄN VTL3A CD-SUOTIMELLE LISÄVESI 70 % 450-FCZ-607		KAVAUSRAJA KÄYTTÖPÄÄ 450-GS-643 KAVAUSRAJA VENTTIILIPÄÄ 450-GS-653
3 PINNAN PUDOTUS			CD HYDRAULIIKKA SEIS 4502504 FB 1135 CD NOPEUTEEN 5 rpm. 450-HI-624 CD-S OD. TYHJENN. NOLLAUS 450-K-2641 CD-S OD. TYHJENN. KÄYNTIIN 450-K-2641		CD HYDRAULIIKKA SEIS JA CD PINTA < 40 % TAI 450-LCZ-605 CD-S OD. TYHJENN. KULUNUT 450-K-2633
4 TYHJENNYS			CD TAK. SÄÄDÖLLE 450-HI-624 VTL3A CD-SUOTIMELLE SÄÄDÖLLE 450-FCZ-607 CD-PAINEEN AS. ARVOKSI 0.5 bar 450-FCZ-601 CD TYHJENNYS AUKI 450-HS-612 CD TYHJENNYS AUKI 450-HS-613 CD- PINNAN AS. ARVOKSI 20% 450-LC-701 CD TYHJENNYS NOLLAUS 450-K-2632 CD TYHJENNYS KÄYNTIIN 450-K-2632		CD TYHJENNYS KULUNUT 450-K-2632 CD TYHJENNYS AUKI 450-HS-612 CD TYHJENNYS AUKI 450-HS-613
5 HYDR KÄYNTIIN					CD HYDRAULIIKKA KÄYNTY 10 s. 4502504 FB1135
6 KAAVARI ULOS			KAAVARI ULOS VL-SUODIN PUH. NOPEUTEEN 450-HI-624		PUHALLUSRAJA KÄYTTÖPÄÄ 450-GS-641 PUHALLUSRAJA VENTTIILIPÄÄ 450-GS-641
7 PUH. PUTK PUH A			CD HYDRAULIIKKA SEIS 4502504 FB1135 CD PUH PUTKI SISÄÄN 450-GS-632 CD-PUH. PUTKI SIIRTO KÄYNTIIN 450-K-2641 CD-PUH. PUTKI SIIRTO NOLLAUS 450-K-2641		CD-PUH. PUTKI SIIRTO KULUNUT 450-K-2641 CD-PUH. PUTKI EI RAJALLA 450-GS-632 4502504 FB1135 CD HYDRAULIIKKA SEIS
8 PUHALLUS ODOTUS			CD OD. PUH. ALKU NOLLAUS 450-K-2629 CD OD. PUH. ALKU KÄYNTIIN 450-K-2629 GHL CD-SUOTIMELLE PUH. ASENT. 450-HI-608		CD OD. PUH. ALKU KULUNUT 450-K-2629
9 PUHALLUS			CD KAKUNPUH. AUKI 450-HS-615 VTL3A CD-SUOTIMELLE LISÄVESI 70 % 450-FCZ-607 CD PUH. KESTO NOLLAUS 450-K-2630 CD PUH. KESTO KÄYNTIIN 450-K-2630		CD PUH. KESTO KULUNUT 450-K-2630 CD KAKUNPUH. AUKI 450-HS-615
10 KANKAAN PESU			CD SUODOSSÄILIÖ VENT1 KIINNI 450-LC-701 VTL3A KANKAANPESUUN AUKI 450-HZ-611		CD SUODOSSÄILIÖ VENT1 KIIN VTL3A KANKAANPESUUN AUKI

	CD KAKUNPESUVESI KIINNI	450-FFCZ-602	CD KAKUNPESUVESI KIINNI
11 PESUV. LVL-SÄIL	CD SUODOSSÄILIÖ VENT. 2 SÄÄTÄÄ	450-LC-701	CD KP-VESIPUMPPU KÄY CD-SUOD LOPPUHUUHT. KULUNUT
	CD-SUOD. LOPPUHUUHT. NOLLAUS	450-K-2627	
	CD-SUOD. LOPPUHUUHT. KÄYNTIIN	450-K-2627	
	CD-SUOD KAN. PESU NOLLAUS	450-K-2634	
	CD-SUOD KAN. PESU KÄYNTIIN	450-K-2634	
	CD-SUOD PESU/PUH NOLLAUS	450-K-2635	
	CD-SUOD PESU/PUH KÄYNTIIN	450-K-2635	
	CD KP-VESIPUMPPU KÄYNTIIN	4502530 FB53	
12 LAIM. VESI KIIN.	VTL3A CD-SUOTIMELLE KIINNI	450-FCZ-607	CD-SUOD PESU/PUH KULUNUT 450-K-2635 VTL3A CD-SUOTIMELLE KIINNI 450-K-2627
13 PUHALL. LOPET	CD KAKUNPUH. KIINNI	450-HS-615	CD KAKUNPUH. KIINNI
	GHL CD:LLE AJOASENTOON	450-HI-608	
14 PUH. PUTKI ULOS	CD PUH. PUTKI ULOS	450-GS-632	CD-SUOD KAN. PESU KULUNUT 450-K-2634
15 KAAV. ALUS. PESU	GHL CD-SUOTIMELLE KIINNI	450-HI-608	GHL CD-SUOTIMELLE KIINNI
	CD KUILUN PESUVENTT. AUKI	450-HZ-625	CD KUILUN PESUVENTT. AUKI
16 ILMA. KAAV. PESU	VTL3A ILMASEKOITTIMELLE AUKI	450-HZ-610	VTL3A ILMASEKOITTIMELLE AUKI VTL3A KANKAANPESUUN KIINNI
	VTL3A KANKAANPESUUN KIINNI	450-HZ-611	
	CD ALTAAN PESUVENTT. AUKI	450-HZ-622	CD ALTAAN PESUVENTT AUKI
	CD ALTAAN PESUVENTT. AUKI	450-HZ-623	CD ALTAAN PESUVENTT AUKI CD SUODOSSÄILIÖ VENT2 KIINNI
	CD SUODOSSÄILIÖ VENT.2 KIINNI	450-LC-701	
	CD SEK. KOMPRESSORI VENT. 100 %	450-PDC-711	CD SEK. KOMPRESSORI VENTT. 100 %
	CD-ILMASEK. PESU NOLLAUS	450-K-2636	
	CD-ILMASEK. PESU KÄYNTIIN	450-K-2636	
	CD-KOURUN PESU NOLLAUS	450-K-2637	
	CD-KOURUN PESU KÄYNTIIN	450-K-2637	
17 SUODOS VL-SÄIL	CD- PINNAN SP ED. ARVOON LV1 SÄÄT	450-LC-701	CD-KOURUN PESU KULUNUT 450-K-2637
18 KAAV ALUSTAN PESU LOP.	CD KUILUN PESUVENTT. KIINNI	450-HZ-625	CD- ILMASEK. PESU KULUNUT 450-K-2636 CD KUILUN PESUVENTT. KIINNI 450-HZ-625
	CD SUODOSSÄILIÖ VENT.1 KIINNI	450-LV-701.1	
	CD SUODOSSÄILIÖ VENT.2 AUKI	450-LV-701.2	CD S. SÄILIÖ VENT.1 KIINNI CD S. SÄILIÖ VENT.2 AUKI
19 KP PUMPUN PYSÄYTYS	CD- KP-VESIPUMPPU SEIS	4502530 FB35	CD- KP-VESIPUMPPU SEIS
20 HAPON ALOITUS	PESUHAPPOSÄILIÖN JUURI VENTT. AUKI	450-HS-723	PESUHAPPOSÄIL. J. VENTT. AUKI
	PESUHAPPPOPUMPPU KÄYNTIIN	4504503 FB1144	PESUHAPPPOPUMPPU KÄY
21 HAPPOVENTT AUKI	ASA CD:LLE AUKI	450-HS-725	ASA CD:LLE AUKI 450-HS-725 EVAS-HAPPOPESU AL-TILA KULUNUT 450-K-2643
	EVAS-HAPPOPESU AL-TILA NOLL	450-K-2643	
	EVAS-HAPPOPESU AL-TILA KÄYNT	450-K-2643	
	ASA CD-SUOT. KÄYNN. ARVOON	450-HI-629	
22 HAPPO SUOTIMELLE	ASA CD-SUOT 100 % AUKI	450-HI-629	PESUHAPPOSÄILIÖ < LL 2
23 SÄIL. LISÄTYHJENNYS	HAPPOS. TYHJENNYS NOLLAUS	450-K-2653	HAPPOS. TYHJENNYS 450-K-2653

	HAPPOS. TYHJENNYS KÄYNTIIN	450-K-2653	KULUNUT
24 ASA LINJAN HUUHTELU	ASA LINJAN HUUHT. VENTT. AUKI PESUHAPPOSÄILIÖN JUURI VENTT. KIINNI	450-HS-709 450-HS-723	ASA LINJAN HUUHT. VENTT. AUKI 450-HS-709 PESUHAPPOSÄIL. JUUR. VENTT. KIINNI 450-HS-723 HAPPOLINJ. L-HUUHT KULUNUT 450-K-2646
	HAPPOLINJ. L HUUHT. NOLLAUS HAPPOLINJ. L HUUHT. KÄYNTIIN	450-K-2646 450-K-2646	
25 HAPON LOPETUS	ASA LINJAN HUUHT. VENTT. KIINNI PESUHAPPOPUMPPU SEIS ASA CD SUOTIMELLE KIINNI ASA CD:LLE KIINNI SUODOS. SÄIL. VENTT. 2. KIINNI SUODOS. SÄIL. VENTT. 1 AUKI	450-HS-709 4504503 FB1144 450-HI-629 450-HS-725 450-LV-701.2 450-LV-701.1	ASA LINJAN HUUHT. VENTT. KIINNI 450-HS-709 4504503 PESUHAPPOPUMPPU SEIS FB1144 ASA CD SUOTIMELLE KIINNI 450-HI-629 ASA CD:LLE KIINNI 450-HS-725 SUODOS.SÄIL. VENTT. 2. KIINNI 450-LV-701.2 SUODOS. SÄIL. VENTT. 1 AUKI 450-LV-701.1
26 CD SUODIN SÄÄDÖLLE	CD HYDRAULIIKKA KÄYNTIIN VTL3A ILMASEKOITTIMELLE KIINNI CD TYHJENNYS KIINNI CD TYHJENNYS KIINNI CD ALTAAN PESUVENTT. KIINNI CD ALTAAN PESUVENTT. KIINNI CD-PAINE 1.2-1.5 SÄÄDÖLLE CD KAKUNPESUVESI SÄÄDÖLLE VTL3A CD:LLE SÄÄDÖLLE GHL CD-SUOTIMELLE AJOASENTOON CD NOPEUSOHJAUKSELLE CD SEK. KOMPR. SÄÄDÖLLE	4502504 FB 1135 450-HZ-610 450-HS-612 450-HS-613 450-HZ-622 450-HZ-623 450-PCZ-601 450-FFCZ-602 450-FCZ-607 450-HI-608 450-HI-624 450-PDC-711	CD HYDRAULIIKKA KÄYNYT 10 s VTL3A ILMASEKOITTIMELLE KIINNI CD TYHJENNYS KIINNI CD TYHJENNYS KIINNI CD ALTAAN PESUVENTT. KIINNI CD ALTAAN PESUVENTT. KIINNI CD PUH. PUTKI ULKONA 450-GS-632 VTL3A CD SUOTIMELLE YLI LL1
27 KAAVARI AJORAJ	KAAVARI SISÄÄN		AJORAJA KÄYTTÖPÄÄ 450-GS-642 AJORAJA VENTTIILIPÄÄ 450-GS-652
28 PALUU NORM SUO	CD HYDRAULIIKKA SEIS CD SYÖTTÖPUMPPU KÄYNTIIN CD KAAVAUKSET NOLLAUS CD LYH. PUHALL. NOLLAUS CD KAKUN IKÄ NOLLAUS CD KAKUN IKÄ KÄYNTIIN	4502504 FB1135 4502501 FB07 450-NQ-2613 450-NQ-2614 450-K-2631 450-K-2631	CD HYDRAULIIKKA SEIS CD SYÖTTÖPUMPPU KÄY
29 P. HAPPOSÄIL. HUUHT.	VKU VENTT. P. HAPPOSÄIL. AUKI	450-LV-721	HAPPOSÄILIÖN PINTA > HH4 450-LI-721
30 P. HAPPOSÄIL. TYHJ.	VKU VENTT. P. HAPPOSÄIL. KIINNI PESUHAPPOSÄILIÖN JUURI VENTT AUKI	450-LV-721 450-HS-723	VKU VENTT. P.HAPPOSÄIL. KIINNI PESUHAPPOSÄILIÖN JUURI VENTT AU. 450-HS-723

	PESUHAPPOPUMPPU KÄYNTIIN 4504503 FB 1144 ASA LINJAN VENTT. LVL. SÄIL. AUKI 450-HS-726	PESUHAPPOPUMPPU KÄY ASA LINJAN VENTT. LVL. SÄIL. AUKI PESUHAPPOSÄILIÖ < LL2
31 P. HAPPOSÄIL. LISÄTYHJ.	HAPPOS. TYHJENNYS NOLLAUS 450-K-2653 HAPPOS. TYHJENNYS KÄYNTIIN 450-K-2653	HAPPOS. TYHJENNYS KULUNUT 450-K-2653
32 P. HAPPO PPU. PYSÄY	ASA LINJAN VENTT. LVL. SÄIL. KIINNI 450-HS-726 PESUHAPPOPUMPPU SEIS 4504503 FB1144 P. HAPPOSÄIL. JUURI VENTT. KIINNI 450-HS-723	ASA LINJAN VENTT. LVL. SÄIL. KIINNI PESUHAPPOPUMPPU SEIS P. HAPPOSÄIL. JUURI VENTT. KIINNI
33 LOPETUS	PP/HP SEIS	
34 LOPPU		