



Tuomo Nokkanen

Rejektijauhimen tehonkäytön tasaa- minen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Tuomo Nokkanen
Otsikko: Rejektijauhimen tehonkäytön tasaaminen
Sivumäärä: 28 sivua
Aika: 30.11.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Lehtori Kai Virta
Käyttöpäällikkö Sami Leino

Tämä opinnäytetyö on tehty Stora Enson Anjalan paperitehtaan hiertämölle. Opinnäytetyössä tutkittiin hiertämön rejektijauhimen tehonkäyttöön vaikuttavia tekijöitä ja selvitettiin keino tehonkäytön tasaamiseksi.

Työn tarkoituksena oli tasata rejektijauhimen käyttämää tehoa niin, että se olisi lähempänä vastaavien primäärijauhimien tehonkäyttöä.

Työssä tutkitaan hierreprosessia ja käydään tarkemmin läpi oleellisimpia osaprosesseja ja tärkeimpiä säätöpiirejä.

Työssä saatiin selville rejektijauhimen tehonkäytön vaihteluun vaikuttavat tekijät ja saatiin kartoitettua jatkokehityskohteita, joiden kanssa työskentely jatkuu opinnäytetyöprosessin jälkeen.

Avainsanat: Hiertämö, rejektijauhin, säätöpiiri

Abstract

Author: Tuomo Nokkanen
Title: Equalizing the power consumption of the reject refiner
Number of Pages: 28 pages
Date: 30 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation technology
Professional Major: Automation technology
Supervisors: Sami Leino, Superintendent
Kai Virta, Senior Lecturer

This thesis work was carried out for Stora Enso, Anjalankoski paper mill's grinding department. This thesis studies the factors affecting the power consumption of the mill's reject refiner and investigates a method to equalize the power consumption.

The purpose of the work was to equalize the power usage of the reject refiners in a way, which would correspond with the power usage of the primary refiners.

The thesis examines the grinding process while going through the most essential sub-processes and the most important control circuits in more detail.

The work discovered the factors affecting the reject refiner's variation in the power usage. Furthermore, further development targets with which work will continue after the thesis process were mapped.

Keywords: Grinding mill, reject refiner, control circuit.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Stora Enso ja Anjalankosken tehtaat	1
3	Hierteen valmistus	2
3.1	Hakkeen käsittely	2
3.2	Jauhaminen	3
3.3	Latenssin poisto	5
3.4	Lajittelu	6
3.5	Rejektin käsittely	8
3.6	Saostus ja varastointi	9
4	Laatu ja mittaukset	9
4.1	Freeness	10
4.2	Kuitupituus	11
4.3	Tikkupitoisuus	12
4.4	Vetolujuus	12
4.5	Vaaleus	13
4.6	pH	13
5	Säätöpiirit hiertämöllä ja tehonkäytön tasaaminen	13
5.1	Säätöpiiri	13
5.2	Pinnan säätö	14
5.3	Suhdesäätö	15
5.4	Kaskadikytkentä	15
5.5	Vaihteluiden syiden selvittäminen	16
5.6	Muutokset	21
5.7	Koeajo ja sen tulokset	21
6	Jatkokehitys	23
6.1	Primäärijauhinten EOK-säätö	23
6.2	Ensimmäisen portaalan lajittelun säädöt	25
7	Yhteenveto	27

Lyhenteet

CSF: *Canadian standard freeness*. Massan jauhatusaste.

EOK: *Energian ominaiskulutus*. Käytetyn energian määrä ilma-kuivaa massatonna kohden.

MAP: *Modular Analyzer Platform*. Online-analysaattori.

DCS: *Distributed Control System*. Hajautettu ohjausjärjestelmä prosessille.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli tasata Anjalan paperitehtaan hiertämön rejektijauhimen tehonkäyttöä. Tehonkäytön tasaamista varten oli selvitettävä ne tekijät, jotka vaikuttavat rejektijauhimelle epätasaisesti virtaavan massan tulon.

Työ aloitettiin tutkimalla jauhimen tehonkäyttöön vaikuttavia tekijöitä ja Valmet DNA:n tarjoamaa dataa osaprosesseista. Valmet DNA on DCS-järjestelmä prosessin ohjausta varten. DNA:n avulla operaattorit ohjaavat prosessia tietokoneelta, esimerkiksi käynnistämällä moottorin, avaamalla venttiili tai muuttamalla virtauksia. Valmet DNA tarjoaa myös historiatietoja, jonka avulla pystyy tutkimaan prosessissa tapahtuneita liikkeitä joko reaaliaikana, tai menneisyydestä. Työssä käytettiin hyödyksi Valmet DNA:n tarjoamia toimintakuvauksia, joissa eri säätöpiirien toiminnat on selitetty. Saatua dataa verrattiin muiden jauhinten tehonkäyttöön.

Opinnäytetyö alkaa kirjallisella osiolla, johon kuuluu yritysesittely, hierreprosessin läpikäynti ja siihen vaikuttavat laatutekijät ja opinnäytetyön tekemistä varten tarvittavat tiedot erilaisista säätöpiireistä.

Kokeellisessa osiossa paneudutaan osaprosesseihin ja rejektijauhimen tehonkäyttöön vaikuttaviin tekijöihin ja suoritetaan koeajo, jossa tarkastellaan tehtyjen muutosten tuloksia. Opinnäytetyön aikana saatiin kartoitettua myös kattava lista jatkokehityskohteita hiertämölle.

2 Stora Enso ja Anjalankosken tehtaat

Stora Enso on suomalais-ruotsalainen metsäteollisuuskonserni, joka on syntynyt ruotsalaisen Stora AB:n ja suomalaisen Enso Oyj:n yhdistyessä vuonna 1998. Stora Enson päätuotteisiin kuuluu sanomalehti- ja kirjapaperi, aikakauslehti- ja hienopaperi, kuluttajapakkauskartonki, teollisuuspakkaukset,

biomateriaalit sekä puutuotteet [1]. Toimintaa yhtiöllä on yli 35 maassa [1], joista suurimpina Suomi (26 % työntekijöistä) ja Ruotsi (22 % työntekijöistä) [2].

Anjalankosken tehtaat sijaitsevat Kouvolan Inkeröissä. Anjalankosken tehtaat koostuvat kahdesta eri tehdaskokonaisuudesta, Anjalankosken paperitehtaasta sekä Inkeröisten kartonkitehtaasta.

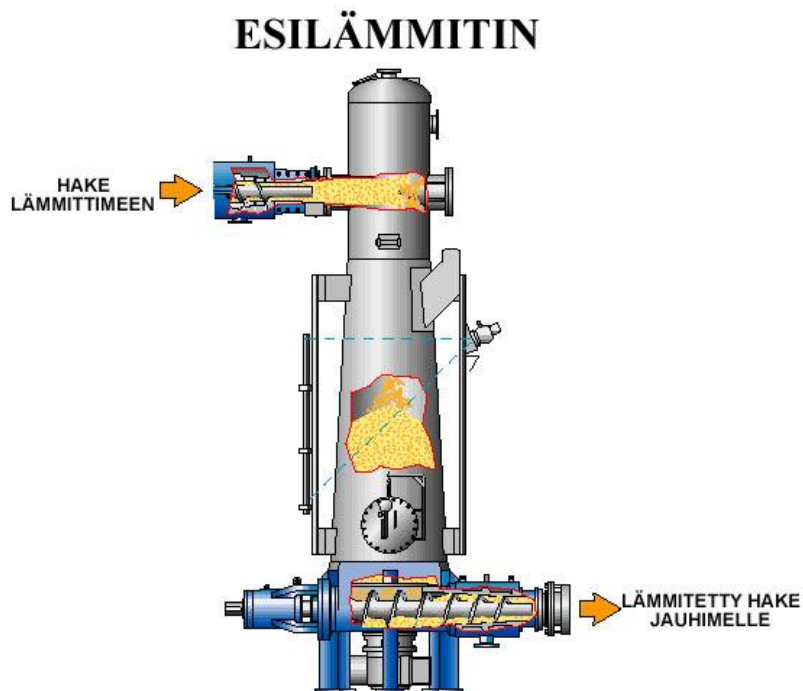
Anjalankosken paperitehtaaseen kuuluu kaksi paperikonetta (PK2 ja PK3), joiden tuotteina ovat kirjapaperi, aikakauslehtipaperi ja parannettu sanomalehtipaperi [3]. Anjalankosken tehtaalla sijaitsee mekaanisen massan valmistusta varten hiomo sekä hiertämö. Hiertämön valmistama hierre on vain PK3:n käytössä, kun taas hiomolta tuleva hioke on käytössä molemmilla paperikoneilla sekä Inkeröisten kartonkitehtaalla. Inkeröisten kartonkitehtaan tuote on taivekartonki, jota valmistaa yksi kartonkikone [4]. Tehtaiden vuotuinen kapasiteetti on 435 000 tonnia paperia ja 295 000 tonnia kartonkia [3;4].

3 Hierteen valmistus

3.1 Hakkeen käsittely

Hierreprosessi alkaa hakkeen saapumisesta kentälle, josta hake puhalletaan hakesiiloihin. Siiloista hake kulkeutuu hihnakuuljetin avulla pesuun, jonka tarkoituksena on puhdistaa hake hiekasta, kivistä, purusta ja mukana mahdollisesti kulkeutuvista metallin kappaleista [5]. Pesuvaihe tasaa myös hakkeen lämpötilaa ja kosteutta. Pesun jälkeen puhdas hake kulkeutuu vedenerotusruuvin kautta esilämmittimeen höyrystykseseen, jonka tarkoituksena on kostuttaa ja lämmittää haketta niin, että kuitujen välissä sijaitseva ligniini pehmenee. Esilämmittimessä hake viettää aikaa noin 1-3 minuuttia 100-200 kPa:n paineessa, joka vastaa noin 100-120 celsiusen lämpötilaa. Hakkeen höyryttäminen auttaa myös tasoittamaan eri hakopalojen välistä kosteuseroa [6.].

Kuvassa 1 on esitetty esilämmittimen rakenne.

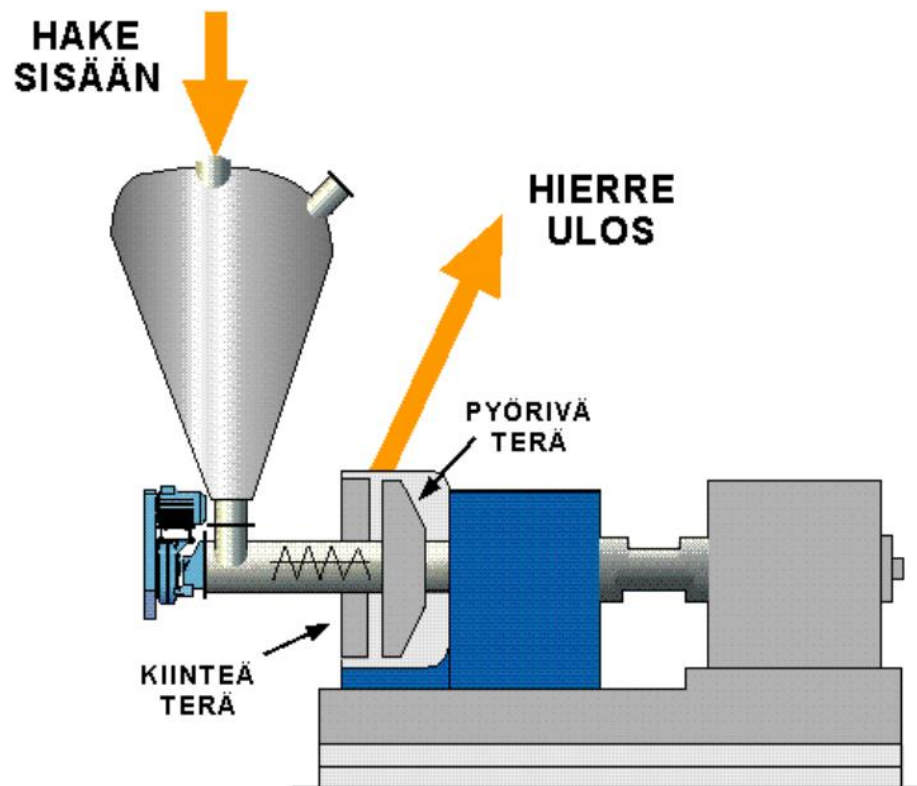


Kuva 1. Esilämmitin [6].

3.2 Jauhaminen

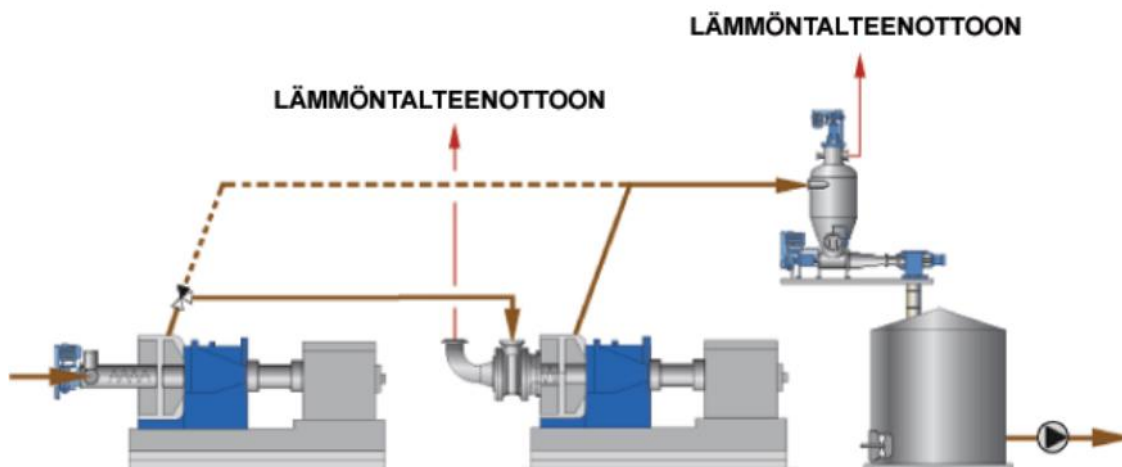
Esilämmittimeltä höyrytetyt hakepalaset kulkeutuvat seuraavaksi jauhatukseen. Kuva 2 esittää jauhimen rakennetta ja sen toimintaa. Hake syötetään syöttöruuvilla jauhinterien väliin, jossa paikallaan olevan staattorin ja pyörivän roottorin väliin kulkeutuvat hakepalaset jauhautuvat [7]. Mekaaninen jauhaminen luovuttaa paljon lämpöenergiaa, joka muuttuu höyryksi puun kosteuden ja laimennusveden takia. Suljetusta jauhimesta jauhettu hakemassa puhalletaan

ulos höyryn avulla teräkiekkojen välistä, jonka jälkeen höyry johdetaan lämmön talteenottoon [6].



Kuva 2. Jauhimen rakenne ja toiminta [6].

Hakkeen jauhatus tapahtuu porrastetusti kuvan 3 mukaan. Esilämmittimeltä tuleva hake kulkeutuu kahdelle ensimmäisen portaan jauhimelle (1A ja 1B), jonka jälkeen hakemassa jauhetaan uudestaan toisen portaan jauhimella (2B). Näitä vaihteita kutsutaan primäärijauhatusksi ja sekundäärijauhatusksi [5]. Ensimmäisen ja toisen portaan jauhinten päämoottorit ovat teholtaan 8 MW. Neljäntenä jauhimena toimii 2A, jonka tehtävänä on jauhaa rejektimassa, eli vielä kahden jauhatusportaan jälkeen liian karkeaksi jäänyt massa. Rejektijauhimen päämoottori on kooltaan 5 MW.



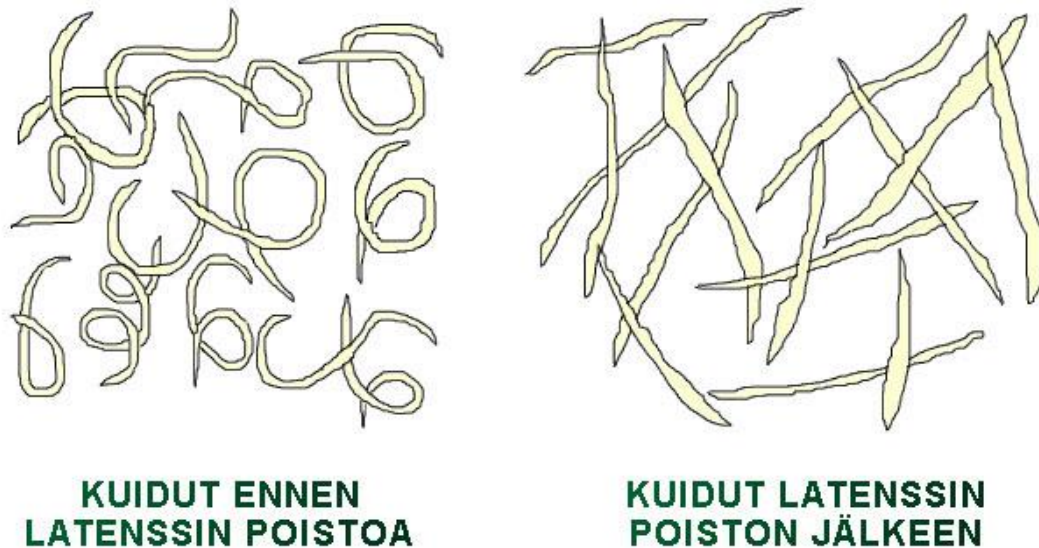
Kuva 3. Kaksivaiheinen jauhatus [6].

3.3 Latenssin poisto

Jauhatuksen jälkeen massa pumpataan latenssipulpperiin latenssin poistoa varten. Latenssin poiston tarkoituksena on poistaa massaan jauhatuksessa syntyneitä kuitujen kihartuneisuutta. Latenssin poisto kuidusta parantaa sen lujuusominaisuuksia ja alentaa sen freenesstasoa [6.].

Kuva 4 osoittaa kuituja ennen ja jälkeen latenssin poistoa. Latenssi poistetaan sekoittamalla hierremassaa noin 2-4 %:n sakeudessa ja 70-80°C lämpötilassa muutaman minuutin ajan, jonka jälkeen sitä sekoitetaan ns. latenssikyypissä usean kymmenen minuutin ajan [6].

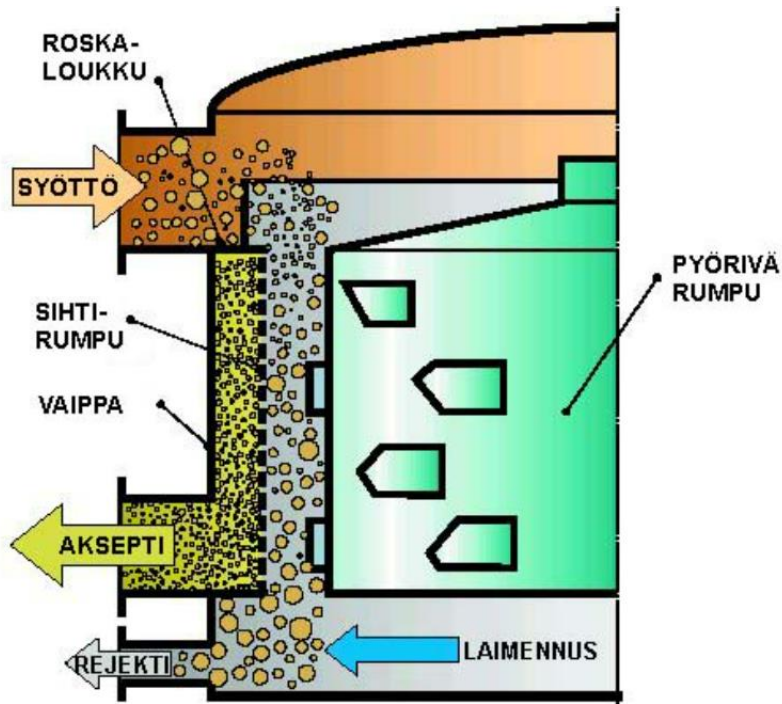
Latenssin poiston yhteydessä syötetään pulpperiin ditioniittia, jotta paperilajin vaaleustavoitteet saavutettaisiin. Ditioniitin ansiosta massan vaaleutta saadaan nostettua noin 10 prosenttiyksikköä [6].



Kuva 4. Kuidut ennen ja jälkeen latenssin poiston [6].

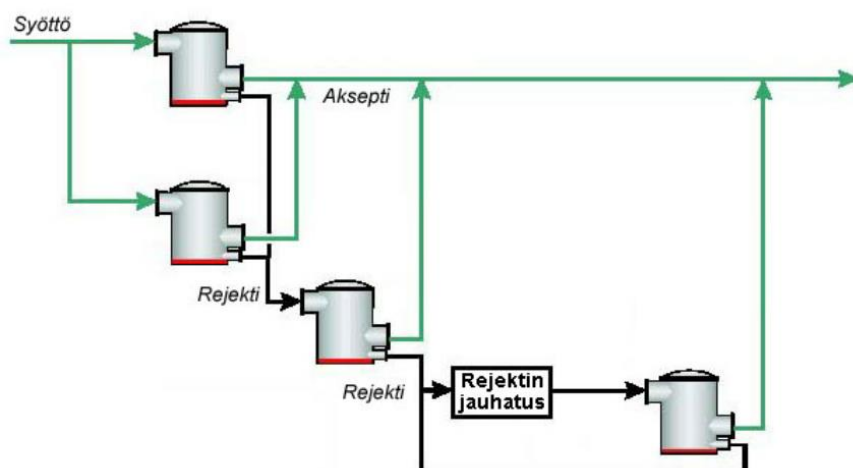
3.4 Lajittelu

Jauhatuksen ja latenssin poiston jälkeen hierteeseen jää tikkuja ja karkeita kuitulajeja, jotka on eroteltava päämassajakeesta. Hierremassa lajitellaan, akseptiin, eli hyväksytyyn jakeeseen ja rejektiin, eli hylättyyn jakeeseen painelajittimien avulla, jonka toimintaa on kuvattu kuvassa 5. Lajiteltava massa pumpataan painelajittelussa rei'in tai raoin varustetun sihtirummun läpi paine-eron avulla. Sihtirummun läpäisevä massa, eli aksepti on kooltaan paperilajin vaatimusten mukaista ja täten voi jatkaa matkaa prosessissa eteenpäin. Kuitujae, joka ei läpäise sihtirumpua, eli rejekti, kuidutetaan uudestaan rejektijauhinessa [6.].



Kuva 5. Painelajittimen toiminta [6].

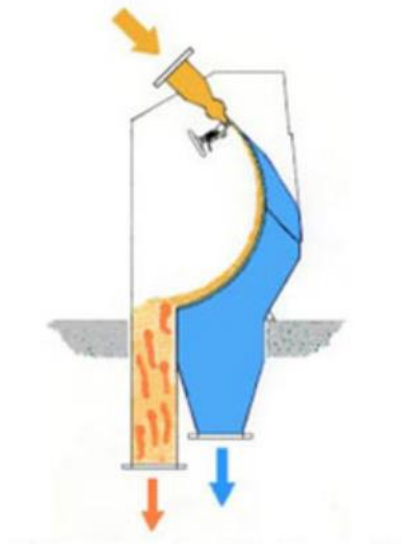
Lajittelu tapahtuu porrastetusti kuvan 6 mukaan. Latenssin poistosta tuleva massa pumpataan kahdelle ensimmäisen portaan painelajittimelle, josta aksepti jatkaa saostukseen ja rejekti toisen portaan lajittimelle. Toisen portaan lajittimesta aksepti jatkaa niin ikään saostukseen ja rejekti puolestaan rejektijauhatuskseen.



Kuva 6. Painelajittimien kytkentä [6].

3.5 Rejektin käsittely

Lajittelusta hylkäykseen mennyt rejektimassa kuidutetaan uudestaan, jotta paperilajin vaatimustavoitteet saavutettaisiin. Kuiduttamista varten rejektimassan sakeutta on saatava korkeammaksi, joka tapahtuu kaksivaiheisesti. Esisaostamista varten käytetään kaarisihtiä, joka on kuvan 7 mukainen.



Kuva 7. Kaarisihti [6].

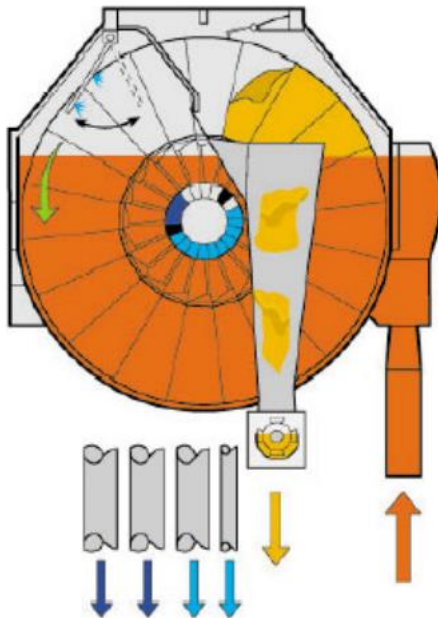
Kaarisihdissä rejektimassa suihkutetaan sihtilevyn pinnalle, jota kautta vesi pääsee irtoamaan kuitujakeesta. Samalla massasta irtoaa hienojakeita, joka nostaa rejektin freenestä ja täten helpottaa varsinaisten saostimien toimintaa. Esisaostuksen avulla rejektimassa saadaan 3-4 % sakeuteen [6.].

Varsinaisessa saostuksessa käytetään ruuvisaostimia. Rejektimassa ajetaan kahdelle erilliselle ruuvisaostimelle, jossa pyörivän ruuvin avulla massasta erotetaan vettä niin, että loppusakeus ennen rejektijauhatusta on noin 30 % [6.].

Saostuksen jälkeen rejektimassa ajetaan siirtoruuvien avulla rejektijauhimmelle uudelleenkuidutukseen.

3.6 Saostus ja varastointi

Lajittelusta hyväksyty akseptimassa on varastointia varten saostettava. Saostuksen tarkoituksena on kasvattaa tietyssä tilavuudessa olevan massan määrää [6.]. Massan saostus tapahtuu käyttäen kiekkosaostinta, jota kuva 8 esittää.



Kuva 8. Kiekkosaostin [6].

Kiekkosaostimessa segmenteistä koostuvat kiekot pyörivät massa-ammeessa. Massa saostetaan kiekkojen pinnalla käyttäen imua, joka synnytetään putkesta tehdyillä ns. imujaloilla. Massa saostetaan noin 3-4 %:n sakeuteen [6].

Saostuksen jälkeen valmis massa varastoidaan hierretorniin, josta se on valmis paperikoneen käytettäväksi.

4 Laatu ja mittaukset

Jotta lopputuotteen laatu olisi vaatimusten mukainen, on hierteen valmistuksen eri vaiheissa suoritettava mittauksia ja säätöjä niiden perusteella. Hyvän laadun edellytyksenä on puuraaka-aineen ja hakkeen laatu. Kriittisimpiä laatusuhteita ovat

- hallittu puulajisuhde
- sahanhake-/kokopuuhakesuhde
- tasainen kosteus hakkeessa
- ylisuurten jakeiden, sekä tikku- ja purujakeiden minimointi
- epäpuhtauksien minimointi
- vakio lämpötila
- puun tiheysvaihteluiden tasaaminen
- syötetyn hakkeen ikä [6.].

4.1 Freeness

Hierteen suotautuvuuden mittauksissa käytetään freeness-mittausta. Freeness kuvaa, kuinka paljon massaa on jauhettu, eli jauhatusastetta. Mitä pidemmälle massaa on jauhettu, sitä suurempi on kuitujen ominaispinta ja freeness-arvo alhaisempi [6.].

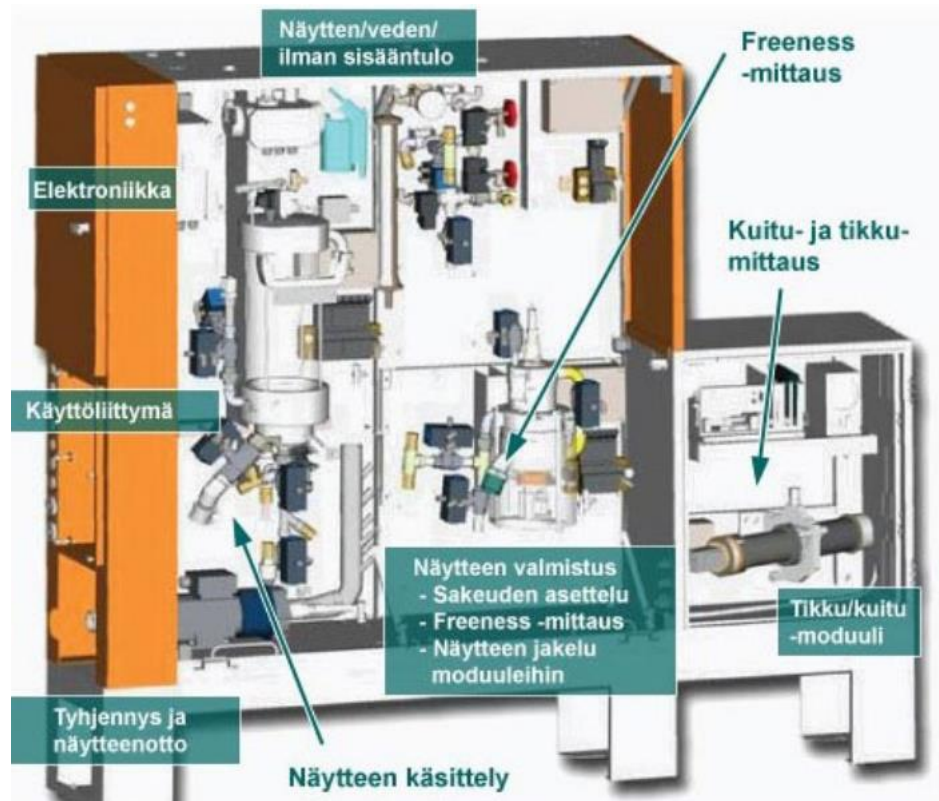
Freeneksen mittaus tapahtuu Valmetin MAP-mittalaitteella, jota kuva 9 esittää. Mittausperiaate on:

1. Pinnankorkeusanturin lukemat tallennetaan (25 kertaa sekunnissa, josta jokainen on 10 mittauksen keskiarvo) mittauksen aikana. Saadut pinta-arvot muunnetaan vedenpoiston tilavuuksiksi (pinnankorkeus kertaa oikkipinta-ala). Matemaattinen vedenpoiston tilavuuskäyrä $V(t)$ sovitetaan mittausarvoihin.
2. Tilavuuskäyrä $V(t)$ muutetaan virtauskäyräksi $V'(t)$.

3. Aika t_{KSF} määritetään matemaattisesti: $V'(t_{KSF}) = 8,83 \text{ ml/s}$, missä 8,83 ml/s vastaa laboratorioinstrumentin purkausaukon virtausvakiota.
4. Freeness lasketaan vedenpoistokäyrästä:

$$Freeness = V(t_{KSF}) - 8,83 * t_{KSF} - 24\text{ml}$$

Kaavassa esitetty 24 ml tulee laboratorioinstrumentin suppilon alaosan tilavuudesta [6].



Kuva 9. Valmet MAP [6].

4.2 Kuitupituus

Kuitupituus määrittää massan lujuusominaisuuksia ja sen ajettavuutta. Kuitupituus selvitetään kameramenetelmällä. Valmet MAP -kuitu-tikkumoduuli mittaa kameran kennoon saapuvan valon määrää soveltamalla alipikselilaskentaa.

Matalassa sakeudessa oleva mittaussnäyte virtaa mittauskennon läpi, jossa kamera ottaa näytteestä noin 50 valokuvaa sekunnissa [6.].

4.3 Tikkupitoisuus

Tikkuja ovat kuitukimput, jotka ovat paksuudeltaan tai leveydeltään yli 0,08 mm. Tikkupitoisuus mitataan käyttämällä samaa kameramenetelmää, jolla kuitupituus selvitetään. Tikkupitoisuutta, niin kuin kuitupituuttakin, mitataan selvittääkseen massan lujusominaisuudet. Korkea tikkupitoisuus viittaa yleensä heikontuvaan lujuteen [6.].

4.4 Vetolujuus

Vetolujuus kertoo olennaisesti massasta tehdyn paperin lujudesta. Vetolujuudella tarkoitetaan suurinta kuormaa, jonka paperista tai kartongista tehty massa-arkki kykenee kestämään murtumatta pinnan suuntaisessa vedossa [6.]. Vetolujuutta mitataan Valmetin pulp expert-laitteella (kuva 10).



Kuva 10. Pulp expert -mittalaitteisto [8].

4.5 Vaaleus

Massan vaaleutta seurataan, jotta lopullinen paperilaji saavuttaisi sille asetetut vaaleustavoitteet. Vaaleutta mitataan massa-arkin kykynä heijastaa siihen kohdistuvaa valoa. Tulokseen vaikuttaa sekä massan valonabsorptio että valonsironta [9.].

4.6 pH

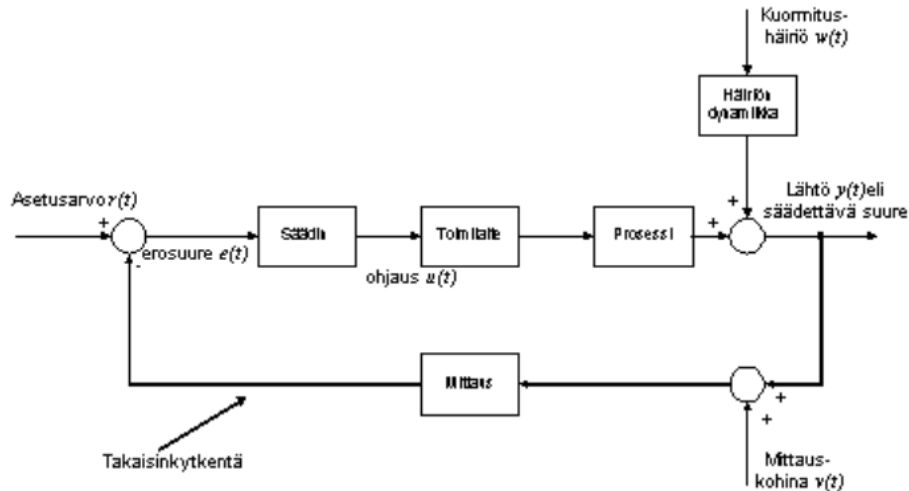
pH:ta mittaamalla saadaan selville valmistetun massan happamuusaste. Sähköinen pH-mittaus perustuu potentiaalieroon. Kahden eri materiaalia olevan elektrodin välille syntyy potentiaaliero, kun elektrodit upotetaan nesteeseen, jota mitataan [6.].

5 Säättöpiirit hiertämöllä ja tehonkäytön tasaaminen

Osion tarkoituksena on käydä läpi niitä säättöpiirejä, jotka ovat opinnäytetyön tekemistä varten merkittäviä, ja sen jälkeen tutkia ja selvittää syyt, mitkä johtavat rejektijauhimen tehon vaihteluun.

5.1 Säättöpiiri

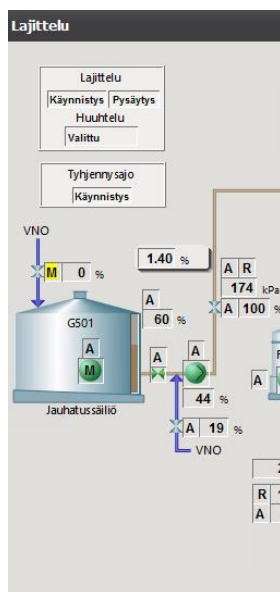
Säättöpiiri koostuu säädettävästä prosessista toimilaitteineen, mittausanturista sekä lähettimestä ja säätimestä (kuva 11). Säädin antaa toimilaitteelle ohjauksen virtaviestintä. Toimilaite (mekaaninen, hydraulinen, pneumaattinen jne.) vaikuttaa prosessin suureisiin (pinnan korkeus, lämpötila, jännite jne.), usein samanaikaisesti useampaan eri suureeseen. Säädettävä suure mitataan ja siitä saatu mittausviesti kytketään takaisin säätimelle, missä tapahtuu vertailu asetusarvolle, jonka antaa joko prosessin käyttäjä tai jokin muu. Säädin laskee erosuureen avulla ohjauksen toimilaitteelle [10.].



Kuva 11. Säättöpiirin peruskomponentit [10].

5.2 Pinnan säätö

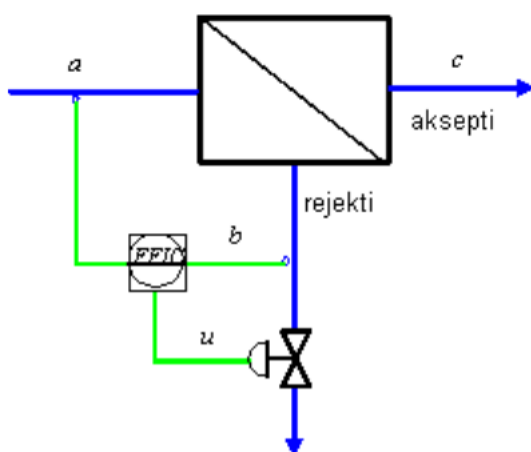
Massan varastointia varten säiliöiden pintaa ohjataan venttiilien avulla. Esimerkkinä on kuvassa 12 esitetty jauhatussäiliö. Säiliöllä on pinnanmittaus, jonka mittausalue on 0-100%. Operaattori asettaa halutun pinnan asetusarvon. Säättöpiirin tehtävänä on pitää jauhatussäiliön pinta vakiona operaattorin asettaman asetusarvon perusteella.



Kuva 12. Jauhatussäiliö.

5.3 Suhdesäätö

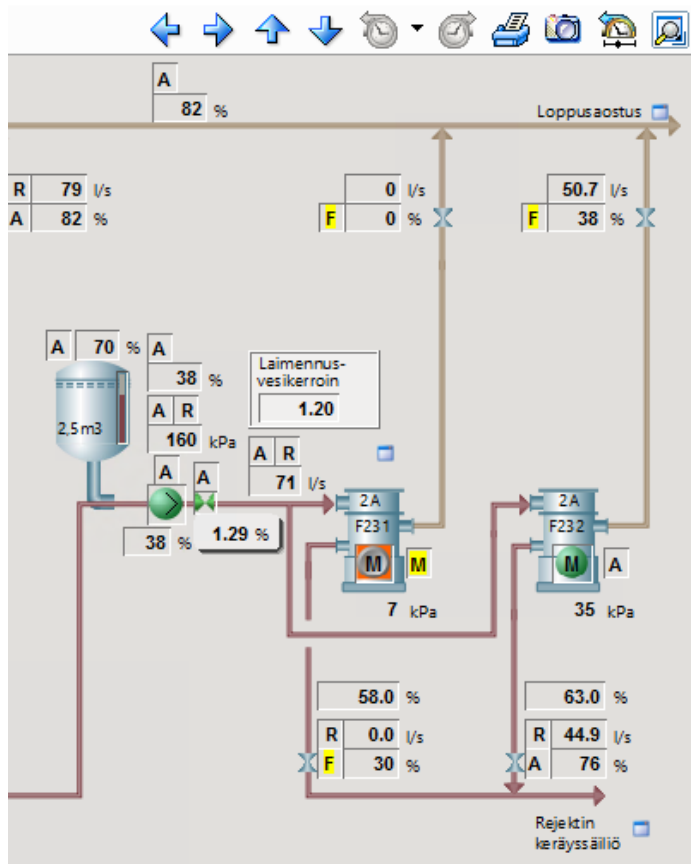
Suhdesäädössä yritetään pitää kahden tai useamman eri prosessimuuttujan välillä tietty suhde. Esimerkkinä toimii lajitin, jossa päävirtauksesta erotetaan kaksi eri jaetta, aksepti ja rejekti. Rejektivirtaus seuraa päävirtausta tietyllä suhteella, joka toimii tässä tapauksessa asetusarvona [10.]. Kuva 13 esittää PI-kaaviota lajittimen suhdesäädöstä.



Kuva 13. PI-kaavio lajittimen suhdesäädöstä [10].

5.4 Kaskadikytkentä

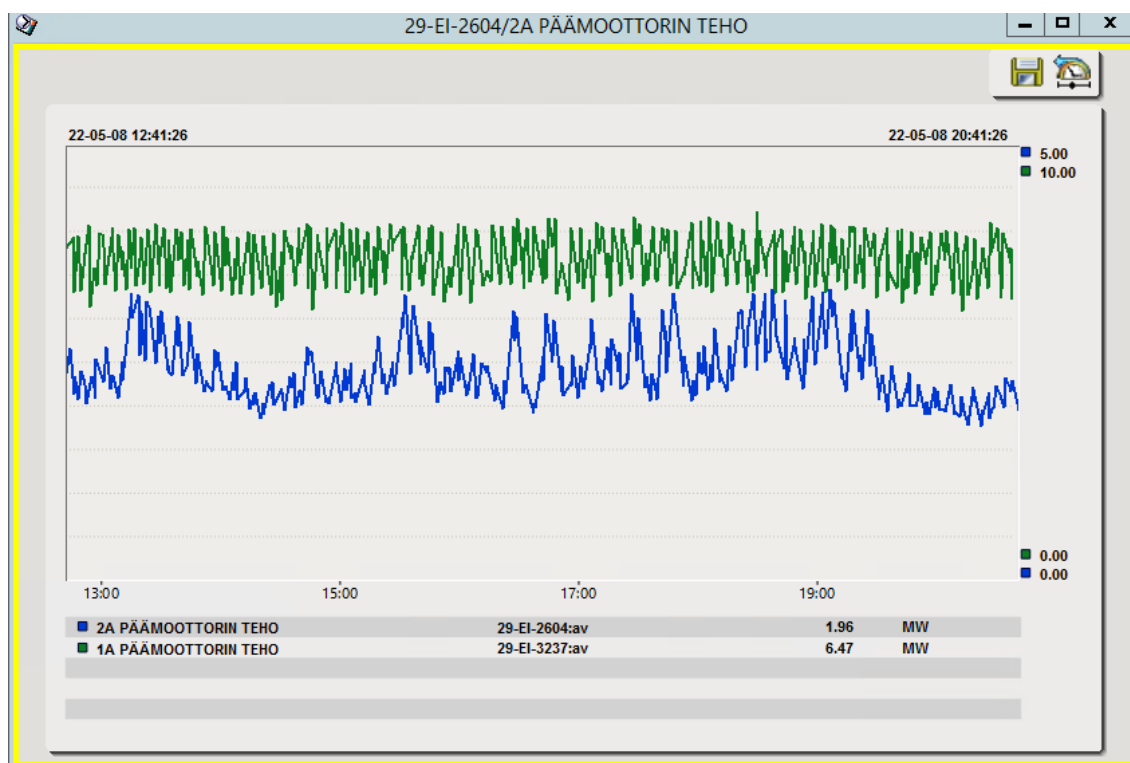
Kaskadikytkennässä on useita eri ohjaussuureita ja yksi suure, jota säädetään. Varsinaisen suuren ohjaus säädetään toisen suureen kautta. Kaskadipiirissä on apusäätäjä, joka nopeuttaa varsinaista säätöä nopeamman reagointiajan takia. Kaskadipiiri koostuu siis sisäkkäisistä säätösilmukoista [10.]. Esimerkkinä on toisen portaan lajittelu, jossa akseptivirtausta ohjataan kaskadisäädön avulla (kuva 14). Apusäätäjänä toimii laimennusveden virtauspiiri.



Kuva 14. Toisen portaan lajittelu

5.5 Vaihteluiden syiden selvittäminen

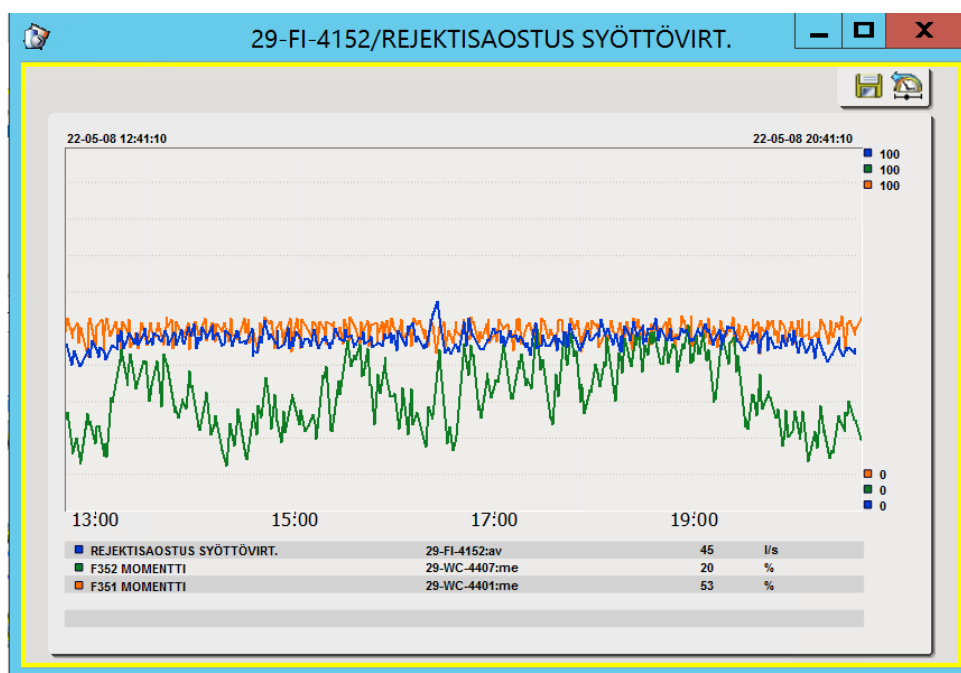
Kun rejektijauhimen käyttämästä tehosta otetaan trendi, huomataan, kuinka paljon teho vaihtelee. Kuvassa 15 on esitetty rejektijauhimen 2A käyttämä teho ja vertailukohteena primäärijauhimen 1A käyttämä teho. Trendi osoittaa molempien jauhimien tehonkäytön olevan vaihtelevaa, mutta primäärijauhimen tehonkäyttö noudattaa tiettyä muotoa. Rejektijauhimen tehonkäytöstä huomataan suuri aaltomainen liike, joka halutaan poistaa.



Kuva 15. Rejektijauhimen tehonkäyttö verrattuna primäärijauhimeen 1A.

Jauhimen käyttämä teho riippuu siitä, kuinka paljon ja kuinka tasaisella virtauksella rejektimassa jauhimelle ajautuu. Massan tulo jauhimelle on siis vaihtelevaa. Kun prosessissa mennään taaksepäin rejektinkäsittelyyn, voidaan yrittää paikantaa lähdettä, mistä epätasainen massan virtaus alkaa.

Kuvasta 16 huomataan, kuinka kahden thuneruuvien momentit ovat hyvin vaihtelevia ja rejektisaostuksen syöttövirtaus vielä epätasaista. Rejektisäiliön pinnansäädön tarkoituksena on pitää pintaa 60 prosentissa, jonka seurauksena sinne tuleva vaihteleva massavirtaus ohjautuu edelleen vaihtelevana eteenpäin prosessissa.



Kuva 16. Rejektisaostuksen syöttövirtaus ja thuneruuvien momentit.

Täten voidaan olettaa, että massan vaihtelu alkaa ennen rejektin käsittelyä.

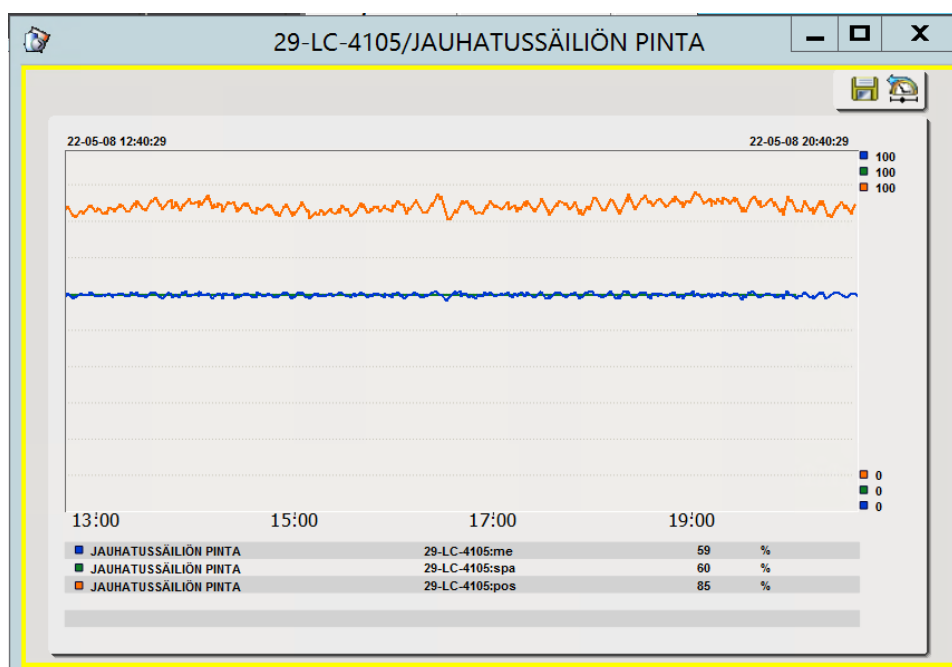
Seuraavana tutkitaan lajittelua. Kuvasta 17 huomataan, kuinka jauhatussäiliön pinnassa on edelleen vaihtelua.

Kuvassa 17 olevat mittaukset ovat

me: mittauksen antama arvo

spa: aktiivinen asetusarvo

pos: toimilaitteen tämänhetkinen asento.



Kuva 17. Jauhatussäiliön pinta.

Seuraavaksi lajittelussa tutkitaan akseptiventtiileille tehtyä akseptin rajoitusta ja sen tarpeellisuutta. Akseptiventtiilien asentoa säädellään lajittelun syöttöpumpun kierroksilla ja täten paineella. Rajoitus akseptiin on kuitenkin tehty energi-ansäästämielessä. Kun tuotanto muuttuu täydeltä tuotannolta puolikkaalle tuotannolle, eli vain kahdelle jauhimelle, niin ei pumppu tee turhaa painetta vähentyneen massamäärän vuoksi.

Seuraavaksi tutkitaan painelajittimia. Lajittimien virtauksissa hyödynnetään suhdessäätötapaa. Toimintakuvauksesta (kuva 18) voidaan nähdä, mihin suhdessäädön laskenta perustuu. Lajittimen laskennallinen syöttövirtaus lasketaan akseptin ja rejektin asetusarvosta. Rejektivirtauksen asetusarvo on toimintakuvauksen perusteella laskettu rejektisuhteesta ja lajittimelle tulevasta syöttövirtauksesta, joka oli laskettu akseptin ja rejektin asetusarvosta. Tällöin rejektin asetusarvon laskennassa käytetään jo kerran häntä itseään.

29-FFC-4161 F233 REJEKTI

Toiminta ja tarkoitus

- Piirin tarkoitus
 - 1A lajittimen 29F233 rejektin mittaus ja säätö
- Piirin toiminta
 - Piirillä on virtausmittaus ja säätöventtiili
 - Mittausalue 0 – 80 l/s
 - Piirin ohjaa A/R-tilaan sekvenssi [29-SQ-6082 LAJITTELU KÄYNNISTYS](#)
 - A/R-tilassa piiri saa asetusarvon seuraavasti;
 - RSP (l/s) = (FF / 100) * FI missä,
 - FF (%) = Operaattorin asettelema rejektisuhde 5 - 60 %
 - FI (l/s) = [29-FI-4179 F233 SYÖTTÖVIRTAUS](#)
 - asetusarvo on rajoitettu välille 5 - 80 l/s
 - asetusarvon muutosnopeus 1 l/s / s
 - A-tilassa piiri on pakko-ohjattu 60 % (tukkeutumisen esto), kun: [29-PD-4164 F233 PAINO-ERO](#) tukkeutumisen esto on päällä
 - A/R-tilassa pumpun 29P410 LAJITTELU SYÖTTÖPUMPPU käynnistyksestä piiri on pakko-ohjattu 55 % ja vapautuu säädölle, kun mittaus on yli 8 l/s. Jos virtausta ei saavuteta 60 sek aikana, tulee hälytys.
 - A/L-tilassa mittaus ohjaa säätöventtiiliä 0-100 % virtausasetelun mukaan. Mittauksen noustessa yli asetusarvon säätimen lähtöviesti pienenee.
 - A-tilassa mittaus nolataan, kun:
 - [29F233 F233 1A LAJITIN](#) on seis
 - [29P410 LAJITTELU SYÖTTÖPUMPPU](#) on seis
 - M-tilassa vapaasti ohjattavissa

Kuva 18. Lajittimen rejektin asetusarvon laskenta toimintakuvauksessa.

Jos kuvitellaan rejektisuhteeksi 50 % ja muutetaan akseptivirtauksen asetusarvoa 50 l/s → 60 l/s, niin virtauksien asetusarvot per säätökierros olisivat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Asetusarvojen laskenta [11].

	Aksepti	Syöttövirtaus	Rejekti
Alkutilanne	50	100	50
Muutos akseptiin ja syöttöön	60	110	50
Muutos rejektiin	60	110	55
Muutos syöttöön	60	115	55
Muutos rejektiin	60	115	57,5
Muutos syöttöön	60	117,5	57,5
Muutos rejektiin	60	117,5	58,75
Muutos syöttöön	60	118,75	58,75
...
Lopputulokset	60	120	60

Taulukosta huomataan, kuinka rejektin määrä kasvaa hiljalleen koko ajan, mikä voi johtaa pinnanmittauksen painumisen alle asetusarvon, jonka johdosta tulee uusi säätötarve pienentää akseptivirtausta, joka taas johtaa virtausten jatkuvaan vaihteluun.

5.6 Muutokset

Jotta virtausten vaihtelu saataisiin loppumaan, on rejektin asetusarvon laskentaa muutettava. Aiempi laskentatapa on muotoa:

$$RSP (ls) = \left(\frac{FF}{100} \right) * FI$$

RSP = rejektin asetusarvo

FF (%) = operaattorin asettelema rejektisuhde

FI (l/s) = kyseisen lajittimen syöttövirtaus.

Laskentatapa muutetaan muotoon:

$$RSP (ls) = \left(\frac{FF}{100} \right) * FCC / \left(1 - \left(\frac{FF}{100} \right) \right)$$

RSP = rejektin asetusarvo

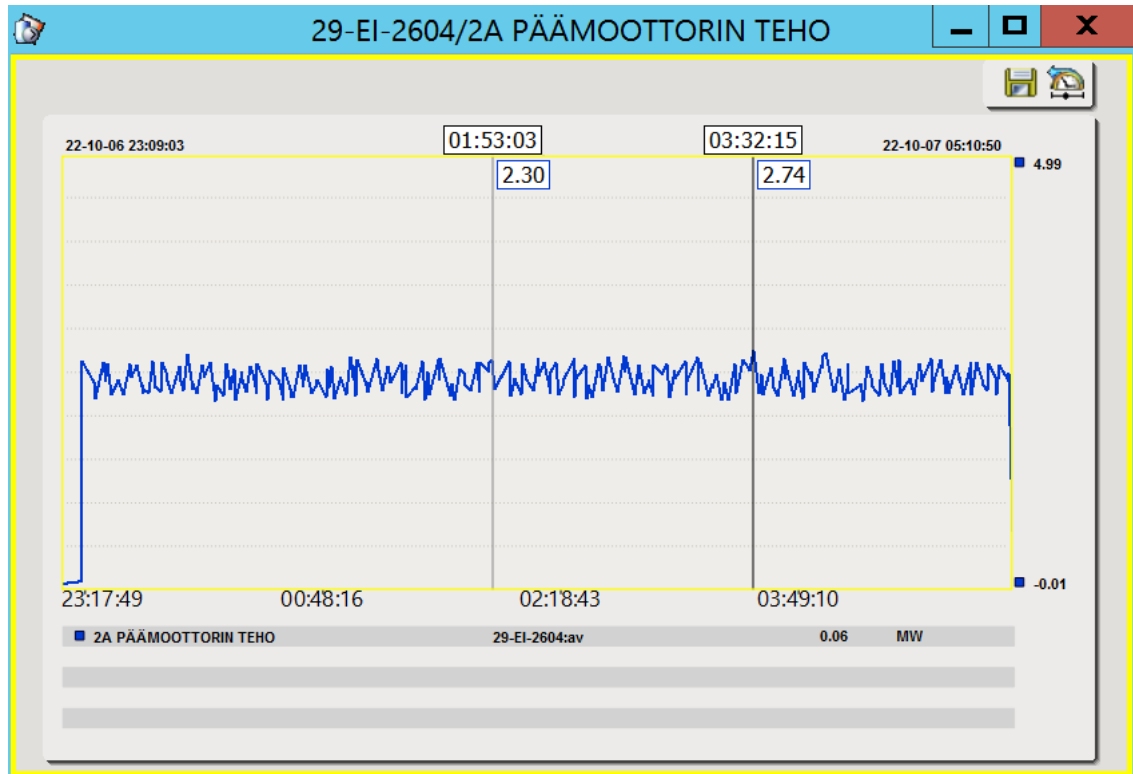
FF (%) = operaattorin asettelema rejektisuhde

FCC (l/s) = akseptin asetusarvo.

5.7 Koeajo ja sen tulokset

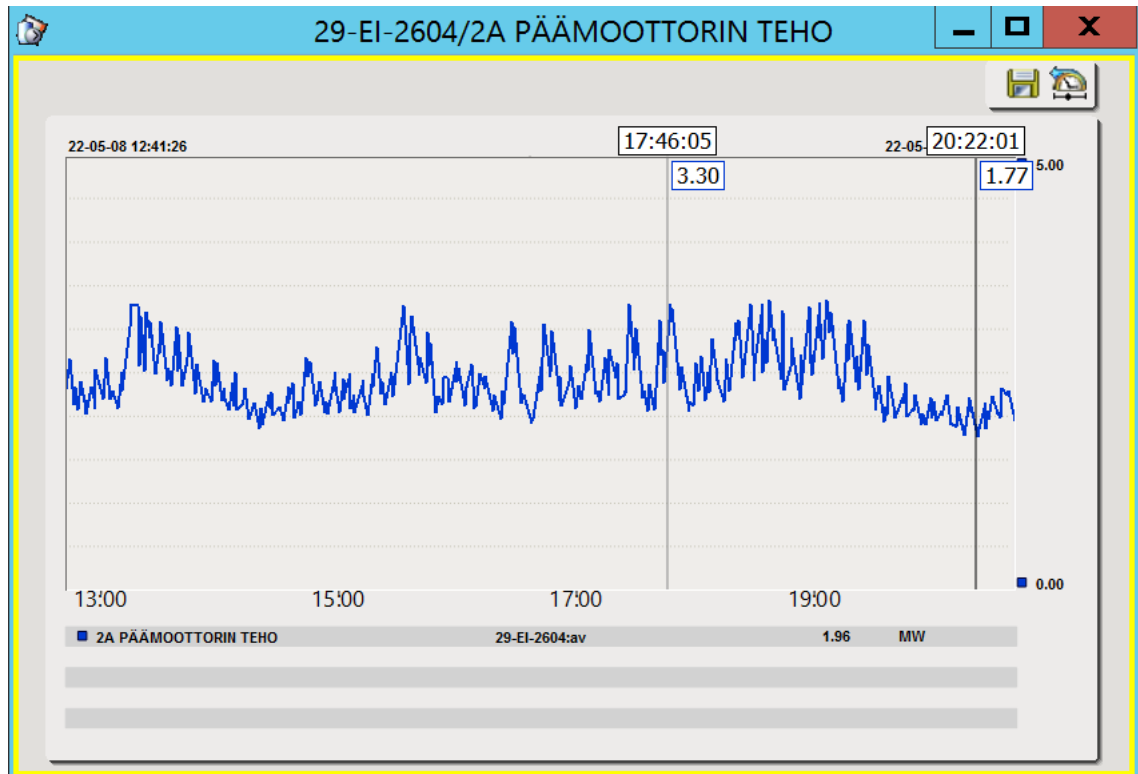
Koeajo suoritettiin niin, että uusi rejektin laskentatapa ladattiin kolmelle ensimmäisen portaalan lajittimelle ohjelmaan seisokin jälkeen 30.9.2022. Kun startin jälkeen päästiin tasaiselle tuotannolle, oli aika tutkia uuden laskennan tuomia tuloksia prosessissa. Riskinä uuden ohjelman lataamisessa on sen vaikutukset muihin säätöpiireihin ja niiden laskentaan.

Kuvassa 19 on esitetty rejektijauhimen tehonkäyttöä uuden ohjelman lataamisen jälkeen. Kuvan trendi on otettu viikko startin jälkeen, mikä johtuu muista prosessia kohdanneista ongelmista.



Kuva 19. Rejektijauhimen tehonkäyttö muutosten jälkeen.

Kuvan trendistä huomataan muutosten jälkeinen tasaisempi tehonkäyttö aiempaan verrattuna. Kuvaa 19 verratessa kuvaan 20 huomataan, kuinka aiemmin jauhimesta olleet tehopiikit ovat kadonneet. Kun aiemmin rejektijauhimen teho vaihteli parhaimmillaan välillä 1,7-3,3MW, on tehopiikkien väli tarkastelujaksolla nyt noin 2,3 ja 2,8 MW välillä.



Kuva 20. Rejektijauhimen tehonkäyttö ennen muutoksia.

6 Jatkokehitys

Opinnäytetyön aikana havaittiin myös muita prosessissa jatkokehitystä kaipaavia kohteita.

6.1 Primäärijauhinten EOK-säätö

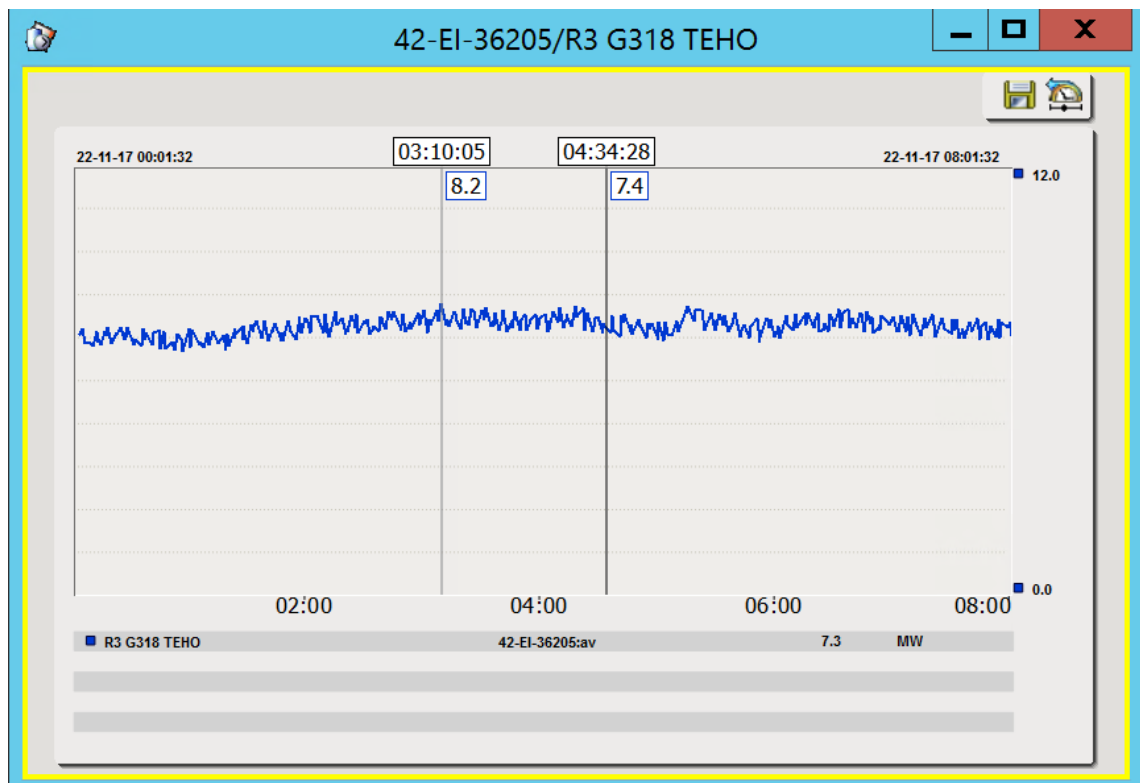
Primäärijauhinten tehonkäyttöä voitaisiin parantaa lisäämällä EOK-säätö. Jauhimen EOK:ta säädetään jauhimen tehoa säätämällä, mikä tapahtuu terävälisäädön asetusarvoa ohjaamalla.

EOK lasketaan jauhimen tehosta ja tuotannosta kaavalla:

$$EOK \left[\frac{kWh}{t} \right] = \frac{\text{Jauhimen teho [MW]} * 1000}{\text{Jauhimelle tuleva tuotanto} \left[\frac{t}{h} \right]}$$

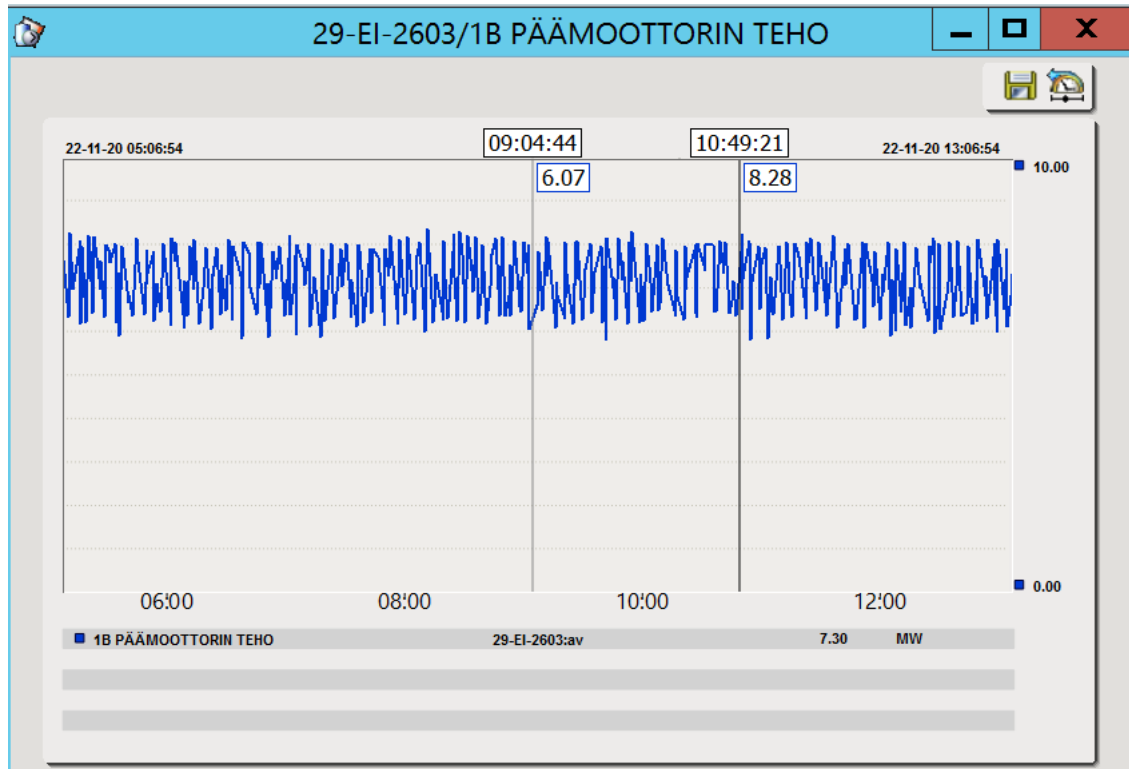
- Jauhimen tehosiignaali suodatetaan.
- Tuotantosiinaalina käytetään viivästettyä tuotantosiinaalia.
- EOK säädössä on kuollut alue ja EOK:n ollessa kuolleen alueen sisällä säädin ei tee mitään. EOK:n oltua 10 s kuolleen alueen ulkopuolella, säätö muuttaa terävälisäädön asetusarvoa 0,02mm, 45s välein, kunnes EOK tulee kuolleen alueen sisään.
- EOK:n ollessa pienempi kuin asetusarvo, terävälisäädön asetusarvoa pienennetään ja päinvastoin.

Anjalan paperitehtaan hiomolla on rejektin käsittelyssä käytetyssä jauhimessa toteutettu EOK-säätö. Kuvassa 21 on esitetty hiomon rejektijauhimen G318 tehonkäyttö.



Kuva 21. Hiomon rejektijauhimen tehonkäyttö.

Kun verrataan hiomon rejektijauhimen tehonkäyttöä hiertämön primäärijauhimen tehonkäyttöön (kuva 22), on huomattavissa suuri ero tehopiikkien välillä. Kun hiomon rejektijauhimen teho vaihtelee noin 7,4 ja 8,2 MW:n välillä, hiertämön primäärijauhimen tehossa on yli 2 MW väli pienimmän ja suurimman mitatun tehon välillä.

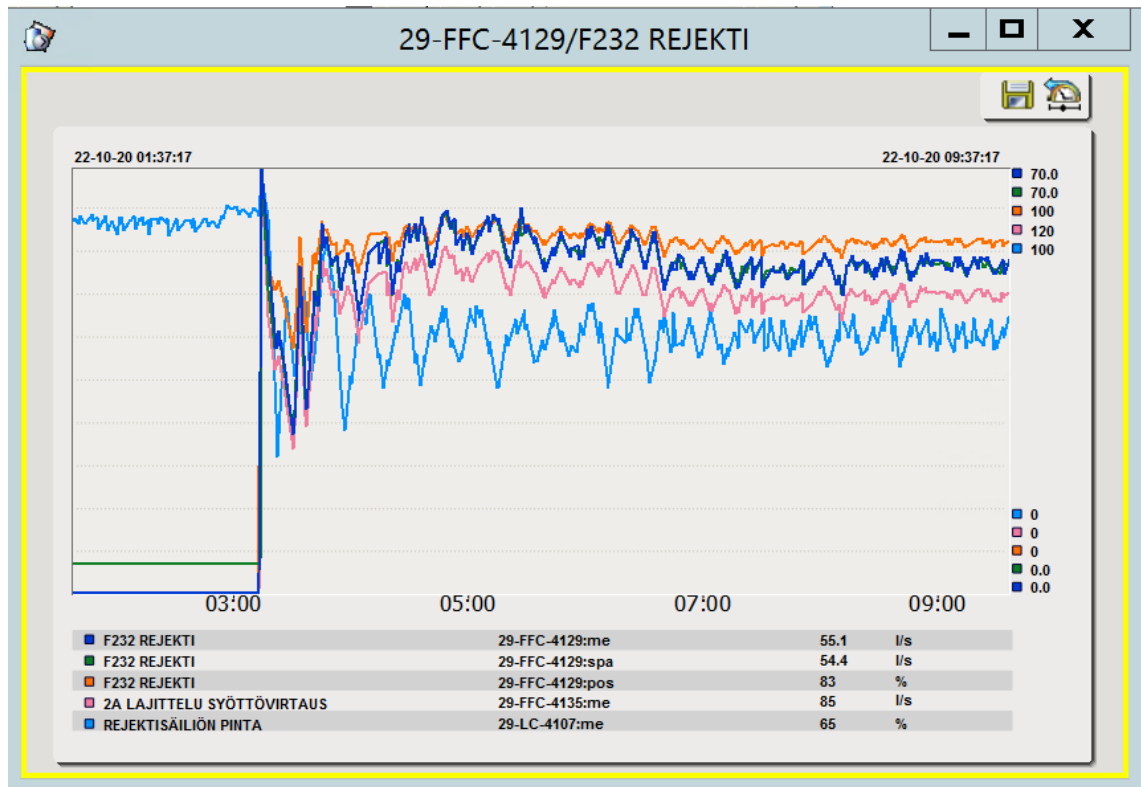


Kuva 22. Hiertämön primäärijauhimen 1B tehonkäyttö.

Tällä hetkellä hiertämölle EOK-säädön toteuttaminen jauhimille on mahdotonta, mikä johtuu puuttuvasta tuotantomittauksesta ennen primäärijauhimia. Hiertämön rejektijauhimelle EOK-säätöä ei voida toteuttaa, mikä johtuu manuaalisesta terävälisäädöstä.

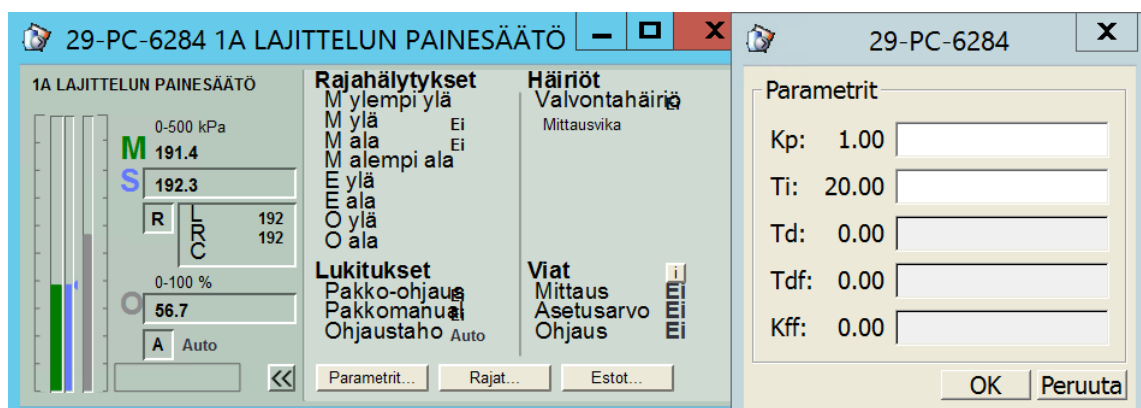
6.2 Ensimmäisen portaan lajittelun säädöt

Toisena jatkokehityskohteena on lajittelun ensimmäisen portaan säädöt. Startti-tilanteissa on tullut esille toiselle lajitinportaalle tulevan massan suuri virtausten heittäminen (kuva 23).



Kuva 23. Virtausten vaihtelu.

Kuvassa 23 on esitetty starttitilanteen jälkeinen vaihtelu virtauksissa. Trendiviivoja on piirretty toisen portaan lajittelusta rejektinkäsittelyyn lähtevästä massavirtauksesta, toiseen portaaseen tulevan massan virtauksista ja rejektisäiliön pinnanmittauksesta. Syynä suurelle virtausten vaihtelulle starttitilanteissa voivat olla ensimmäisen portaatin lajittelun painesäädöt (kuva 24).



Kuva 24. Ensimmäisen portaatin lajittelun parametrit.

Kuvassa 24 parametrit tarkoittavat:

- K_p = vahvistuskerroin
- T_i = integrointi-aika
- T_d = derivointi-aika
- T_{df} = derivoinnin suodatusaikavakio
- K_{ff} = myötäkytkentäkanavan vahvistuskerroin.

Jos painesäädöt ensimmäiselle portaalle ovat liian hitaat, ei lajittelu ehdi reagoida prosessissa tapahtuvaan muutokseen starttitilanteessa. Ensimmäisen portaan hitaus näkyy tämän johdosta toisella lajitinportaalla ja myöhemmin rejektin käsittelyssä sekä saostuksessa.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella hiertämön rejektijauhimen tehonkäyttöä ja keksiä keino, jolla tehonkäyttöä saataisiin tasattua. Syytä epätasaiselle tehonkäytölle oli projektin alussa vaikea keksiä. Lisäongelmia aiheutti rejektijauhimelle tullut laakerivaurio, joka globaalien toimitusvaikeuksien takia venyi usean kuukauden pituiseksi. Tämän jakson aikana ei reaaliaikaisesti ollut mahdollista saada, vaan oli turvauduttava Valmet DNA:n historiatietoihin. Suurimmat edistysaskeleet projektissa tapahtuivat syksyn 2022 puolella, kun apua kokeneemmilta automaatioinsinööreiltä saatiin.

Lopulta ratkaisu ongelmaan löytyi ja rejektijauhimen tehonkäyttö saatiin tasaisemmaksi entiseen verrattuna. Projektissa kartoitettiin myös tulevia kehityskohteita hiertämöllä, joiden parissa työskentely jatkuu opinnäytetyöprojektin päätyttyä.

Lähteet

- 1 Alma Media Oyj. 2022. Stora Enso R (STERV) - Osakkeen kurssi tänään. Verkkoaineisto. Arvopaperi <<https://www.arvopaperi.fi/porssi/porssikurs-sit/osake/STERV>>. Luettu 20.04.2022.
- 2 Stora Enso annual report 2021. 2021. Serving global markets. s.9. Verkkoaineisto. <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/annual-reports/2021/storaenso_annual_report_2021.pdf>. Luettu 20.04.2022.
- 3 Anjalan paperitehdas. Tärkeimmät tiedot. Verkkoaineisto. Stora Enso. <<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/anjala-mill>>. Luettu 15.05.2022.
- 4 Inkeröisten tehdas. Tärkeimmät tiedot. Verkkoaineisto. Stora Enso. <<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/ingerois-mill>>. Luettu 15.05.2022.
- 5 Laukkanen, Timo. 2020. Lecture 4: Mechanical pulping, chemimechanical pulping, paper making. Verkkoaineisto. Aalto yliopisto. <https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/1182909/mod_resource/content/1/Lecture%204_2020.pdf>. Luettu 01.11.2022.
- 6 Prowledge Oy. 2021. VTT (Teknologian tutkimuskeskus). Knowpap versio 23.0. Paperiteknikan, paperiteollisuuden automaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö. Verkkoaineisto. <<https://www.knowpap.com/>>. Luettu 04.06.2022.
- 7 Lindstedt, Matti. 2009. Hierrejauhimen virtaukset ja optimaalinen suunnittelu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 8 All-in-one pulp quality analysis. 2022. Valmet pulp expert. Verkkoaineisto. Valmet – forward. <<https://www.valmet.com/automation/analyzers-measurements/analyzers/pulp-expert/>>. Luettu 03.09.2022
- 9 Laboratorioanalyysit. Materiaalin testaaminen / sellu. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/teollisuusnayteanalyysit_materiaalin_testaaminen.html>. Luettu 28.09.2022.
- 10 Harju, Timo & Marttinen, Arto. 2000. Pid_kirja_1-1. E-kirja. Suomen automatioseura ry.
- 11 Leppinen, Juhani. 2022. Tuotespecialisti, Valmet Oyj. Sähköpostikeskustelu 9.8.2022.

