

Janne Peltola

MÄNTYSELLUN JAUHATUKSEN SAKEUSSÄÄDÖN PARANTAMINEN

MÄNTYSELLUN JAUHATUKSEN SAKEUSSÄÄDÖN PARANTAMINEN

Janne Peltola
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikka, projektionnin suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Janne Peltola

Opinnäytetyön nimi: Mäntysellun jauhatuksen sakeussäädön parantaminen

Työn ohjaajat: Manne Tervaskanto (OAMK) Jaakko-Samuli Vänntilä (Efora Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 69 + 12 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Stora Enso Oulu Oy:n PK6-linjan mäntysellun jauhatuksen sakeussäätöä. Työ suoritettiin Oulun tehtaiden projektionista vastaavalle Efora Oy Engineeringille.

Paperimassan sakeudella on oleellinen vaikutus sen jauhatukseen ja sakeuden vaihtelut huonontavat paperin laatua. Säättöpiiri pyrkii pitämään mittauksen asetusarvossa ja uudella säättöpiirillä tavoiteltiin parannusta sakeuden säätöön. Säättöpiiri tulee virittää prosessille sopivaksi, jolloin säätimelle tehtävät askelvastekokeet olivat tarpeen sopivien viritysparametrien laskemiseksi.

Parannetulla säättöpiirillä pyrittiin parantamaan sakeuden säätöä ja reagoimaan paremmin muuttuviin tuotantomääriin ja prosessin erilaisiin häiriöihin. Prosessiin asennetun virtausmittauksen avulla pystyttiin rakentamaan kaskadikytkentä, jolloin laimennusveden virtausta onnistuttiin hallitsemaan tehokkaammin ja sakeuden säätöä pystyttiin parantamaan.

Asiasanat: automaatio, automaatiojärjestelmät, sakeus, säättöpiiri, säättöpiirin viritys, virtaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Automation engineering, project management

Author: Janne Peltola

Title of thesis: Improving the thickness adjustment of pine pulp refining

Supervisors: Manne Tervaskanto (OAMK) Jaakko-Samuli Vänntilä (Efora Oy)

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017 Pages: 69 + 12
appendices

Motivation of this thesis was to improve the thickness adjustment of pine pulp refining. Primary customer of the thesis work is the factory of Printing and Reading unit of Stora Enso Oyj located in Oulu. Thesis was executed in cooperation with Efora Oy Engineering responsible of the project work for this unit.

Thickness of the pulp is a key contributing factor to the quality of the paper produced and to the refining process. Any uncontrolled change to the thickness immediately impacts the quality of the paper. Therefore, it is important to have good adjustment in place controlling the thickness of pulp. In this thesis a new adjustment was designed that would better fit to the production process. This required running tests with step input signals to calculate appropriate parameters to the adjustment.

New improved adjustment proved to be better able to adjust the thickness and to better react to the varying production volume and to various process disturbances. The flow volume measurement allowed to build a cascading arrangement resulting in a better control of diluting water flow thus improving thickness control.

Keywords: automation, DCS, thickness of the pulp, control circuit, adjusting control circuit, flow

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Efora Oy Engineering. Oulun ammattikorkeakoulun ohjaavana opettajana toimi sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Manne Tervaskanto. Opinnäytetyön ohjaajana yhtiössä toimi projekti-insinööri Jaakko-Samuli Vänntilä. Erityiskiitokset kuuluu Jaakolle, joka auttoi todella paljon työn tekemisessä ja oli itsekin kiinnostunut työn tuloksista. Mannen avulla sai hyviä neuvoja ja erilaisia näkökulmia työhön, joten iso kiitos myös hänelle. Myös paperikone 6:n automaatiokunnossapitäjille haluan antaa kiitoksen, sillä heiltä sain myös apua ja neuvoja työssä.

Oulussa 13.5.2017

Janne Peltola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 MASSANKÄSITTELY	9
2.1 Sellun hajotus ja jauhatus	9
2.2 Sellun jauhatuksen teoria	11
2.3 Jauhintyytit	13
2.3.1 Levyjauhin	14
2.3.2 Kartiojauhin	15
3 VIRTAUSMITTAUS JA SAKEUSMITTAUS	17
3.1 Virtausmittaus	17
3.2 Sakeusmittaus	18
4 SÄÄTÖTEORIA	21
4.1 Säätiöpiiri	21
4.1.1 Prosessimalli	22
4.1.2 Toimilaite	23
4.1.3 Mittaus	23
4.1.4 Säätimet	23
4.1.5 Häiriöt	24
4.2 Kaskadikytkentä	24
4.3 Myötäkytkentä	25
4.4 PID-säädin	26
4.4.1 P-säätö	27
4.4.2 Integroiva säätö	28
4.4.3 Derivoiva säätö	30
4.5 Prosessimallit ja prosessikokeet	31
4.5.1 Askelvaste ja erilaisia prosessityyppejä	32

4.5.2 Askelvastekoe	33
4.6 PID-säädön viritys	35
5 SÄÄDÖN PARANTAMINEN	39
5.1 Kenttäsuunnittelu	39
5.2 Metso DNA -toimilohkoja	40
5.2.1 PID-toimilohko	41
5.2.2 Disa-toimilohko	45
5.2.3 Tfunc-toimilohko	45
5.2.4 Pls-toimilohko	46
5.3 Lähtötilanne	49
5.4 Säädön parantaminen	50
5.4.1 Sakeussäätö	50
5.4.2 Virtaussäätö	52
6 ASKELVASTEKOKEET JA VIRITYS	54
6.1 Virtaussäätimen viritys	54
6.2 Sakeussäätimen viritys	56
7 TULOSTEN TARKASTELU	60
8 POHDINTA	65
LÄHTEET	68
LIITTEET	69

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä parannetaan mäntyjauhimelle menevän mäntysellun sakeuden tasaisuutta. Työ tehtiin Stora Enson Nuottasaaren tehtaiden projektinnista vastaavalle Efora Oy Engineeringille. Mäntysellun laimennuslinjaan asennettiin virtausmittaus, jonka avulla sakeussäätöä parannetaan.

Sakeudessa tapahtuu paljon vaihteluja sekä huojuntaa, joten laimennusvesilinjaan asennetulla virtausmittauksella pystytään parantamaan laimennusveden annostelua. Virtausmittauksen avulla saavutetaan tehokkaampi ja nopeampi laimennusvesiventtiin ohjaus, sillä aiemmin venttiiliä on ohjattu maltillisesti. Venttiin hitaan liikkeen vuoksi massa laimenee tai sakenee helposti liikaa. Myös laimennusvesilinjassa tapahtuvat paineen vaihtelut tulevat otetuksi huomioon, sillä laimennusveden määrää ohjataan virtauksen mukaan, johon paineen vaihtelut vaikuttavat. Paperikone 6:lla valmistetaan useaa paperilajia, joten massan kulutus vaihtelee lajin neliömassan mukaan. Tämä tekijä otetaan myös huomioon, jolloin paperilajin vaihtelu ei aiheuta häiriöitä sakeuteen.

Tärkeässä osassa tässä työssä on säätimien viritys. Työssä tarkastellaan kahta säädintä ja molemmat viritetään askelvastekokeilla, joiden perusteella voidaan laskea säätimelle parametrit. Oleellista on myös tulosten tarkastelu, joka tapahtuu jo olemassa olevien sakeusmittausten perusteella.

2 MASSANKÄSITTELY

Paperikoneen pohjapiirustuksissa massankäsittelyprosessit sijoittuvat massaosastolle. Massaosasto on niin sanotusti paperikoneen alkupäässä, jonka tärkeänä tehtävänä on massojen käsittely siten, että perälaatikolle syötettävä massa olisi mahdollisimman tasalaatuista ja että siinä olisi mahdollisimman vähän ajettavuusongelmia aiheuttavia ominaisuuksia. Kiertovesijärjestelmä laskeetaan kuuluvaksi massankäsittelyyn, sillä kaikki paperikoneelle menevät aineet on laimennettava. Massankäsittelyyn kuuluu seuraavanlaisia osaprosesseja:

- kemiallisen massan eli sellun hajotus ja jauhatus,
- mekaanisen massan eli hiokkeen tai hierteen hajotus ja jauhatus,
- keräyspaperin hajotus, puhdistus ja jauhatus,
- hylkymassan käsittely,
- lisä- ja apuaineiden käsittely,
- massojen sekä lisä- ja apuaineiden annostelu ja
- lyhyt kierto, joka yleensä katsotaan jo paperikoneprosesseihin kuuluvaksi. (1, s. 112.)

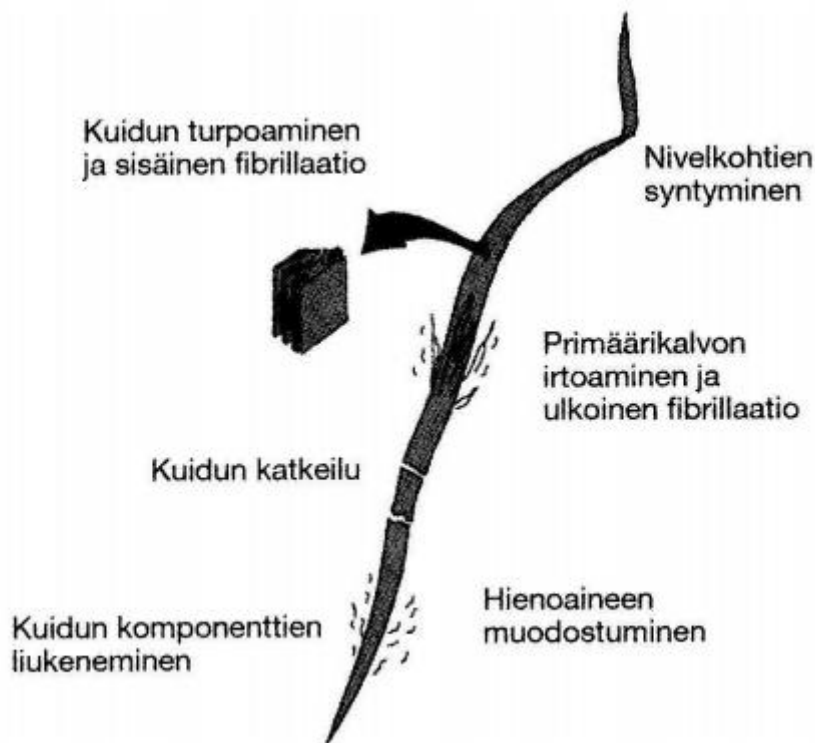
2.1 Sellun hajotus ja jauhatus

Sellutehtaan sijainnilla paperitehtaaseen nähden on oleellinen vaikutus sellun hajotuksessa ja jauhatuksessa. Jos kyseessä on integroitu tehdas, jolloin sellutehdas on rakennettu paperitehtaan yhteyteen, massa pumpataan paperitehtaalalle putkea pitkin. Integroimattomassa tehtaassa sellu toimitetaan kuivina sellupaaleina, sillä paperitehtaan yhteydessä ei ole sellutehdasta. Paperitehtaalla sellupaalit hajotetaan pulppereissa sulpuksi, jonka sakeustavoite on 4–6 %. Pulpperissa hajotetussa massassa voi joskus esiintyä kuituuntumattomia massaflokkeja eli kuitukimppuja. Tästä syystä on tarpeellista kuiduttaa massa ennen sen siirtymistä eteenpäin prosessissa. Kuitujen erottaminen toisistaan tapahtuu suurella leikkausnopeudella toimivien terien välissä. Massan suotautuvuus eli jauhatusaste ei juurikaan muutu, sillä kuidutin ei jauha massaa. (1, s. 112–113.)

Sellun jauhatuksen tehtävä on jauhinterien välissä muokata kuituja niin, että niiden sitoutumiskyky saadaan aktivoitua. Jos massaa ei ole jauhettu, paperiin ei synny riittävästi sidoksia, jolloin paperin lujuus on sekä märkänä että kuivana riittämätön. Jauhatuksessa on tärkeää löytää tasapaino, sillä osa kuitujen ominaisuuksista paranee ja osa taas huononee, kun massaa jauhetaan. Jauhatuksessa massan kuitujen ominaisuudet muuttuvat monella tapaa (Kuva 1) ja sen primäärivaikutukset ovat seuraavanlaisia:

- Ulkoisessa fibrillaatiossa (säikeistymisessä) kuidun ulkokerrosten osittainen irtoaminen ja haiventuminen. Tässä ilmiössä edistetään kuitujen välistä sitoutumista kuidusta irronneiden haiventumisen avulla, jotka lisäävät kuidun kosketuspinta-alaa.
- Sisäinen fibrillaatio edistää veden tunkeutumista kuituseinämien lamellien väliin, jolloin kuitu notkistuu ja turpoaa. Kuidun notkistuessa sen putkimainen rakenne lysähtää kasaan, jolloin sen nauhamainen rakenne antaa suuremman kosketuspinta-alan. Notkeilla kuiduilla on helpompi tehdä laajoja ja tiiviitä sidoksia, kuin jauhamattomilla suorilla ja jäykillä kuiduilla. Sisäisen fibrillaation havainnollistaminen onnistuu kun vertailee satunnaisen tulitikkukasan (jäykät kuidut) ja pitkien langanpätkien kasan (notkeat kuidut) tiiveyttä toisiinsa.
- Kuidun suoruuden muutokset jauhatusvoimien vaikutuksesta, Matalassa sakeudessa kuitu suoristuu ja suuressa sakeudessa kuitu kähertyy.
- Kuitujen katkeileminen ja keskikuitupituuden lyheneminen. Nämä ovat ilmiöitä joita pyritään välttämään, sillä kuidun keskipituus huonontaa paperin repäisylujuutta.
- Hienoaineen syntyminen eli kuitujen ja kuituseinämän osasten jauhautuminen pieniksi partikkeleiksi. Hienoaine toimii liima-aineena kuitujen risteyskohdissa, jolloin syntyy kuitusidoksia.
- Kuidun liukeneminen osittain muodostaa sitoutuvan kerroksen kuidun pintaan ja siksi se on osittain toivottua jauhatuksessa.

Kuidun kokonaan liukeneminen ei ole toivottua, sillä se häiritsee paperinvalmistusta ja kuormittaa jätevesiä. (1, s. 112–114.)



KUVA 1. Sellun jauhatuksen primäärivaikutukset. (1, s. 114.)

Yleensä matalasakeusjauhatuksessa sakeus on 3,0–5,0 %. Eri kuitulajeilla on erilaisia ominaisuuksia jauhatuksessa. Pitkien havupuukuitujen jauhaminen alle 3 prosentin sakeudessa lisää kuitujen katkeamistaipumusta. Lyhyet lehtipuu-kuidut käyttäytyvät päinvastaisella tavalla, koska alennettu jauhatussakeus lisää kuituflokkien hajoamista. (3).

2.2 Sellun jauhatuksen teoria

Jauhatuksen tunnetuin jauhatusteoria on ominaissärmäkuormateoria. Teoriassa on kaksi kaavaa, jotka ovat ominaisenergian kulutus ja ominaissärmäkuorma (yhtälöt 1–2). Jauhatuksen määrää kuvataan ominaisenergian kulutuksella ja jauhatustapaa ominaissärmäkuormalla. (1, s. 114.)

$$SEC = \frac{P_t - P_w}{m}$$

YHTÄLÖ 1

missä

SEC = ominaisenergian kulutus (specific energy consumption) kWh/t

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

m = jauhimen läpi virtaavan kuivan massan määrä, t/h

$$SEL = \frac{P_t - P_w}{L \cdot n}$$

YHTÄLÖ 2

missä

SEL = ominaissärmäkuorma (specific energy load), J/m tai Ws/m

P_t = jauhimen kokonaisteho, kW

P_w = jauhimen häviöteho, kW

L = jauhimen teräsärmien kokonaispituus, km

n = jauhimen kierrosluku, r/s

EOK eli SEC on lyhenne, joka tulee sanoista "energian ominaiskulutus". Tätä ominaisenergiankulutuksesta käytetään myös tässä opinnäytetyössä.

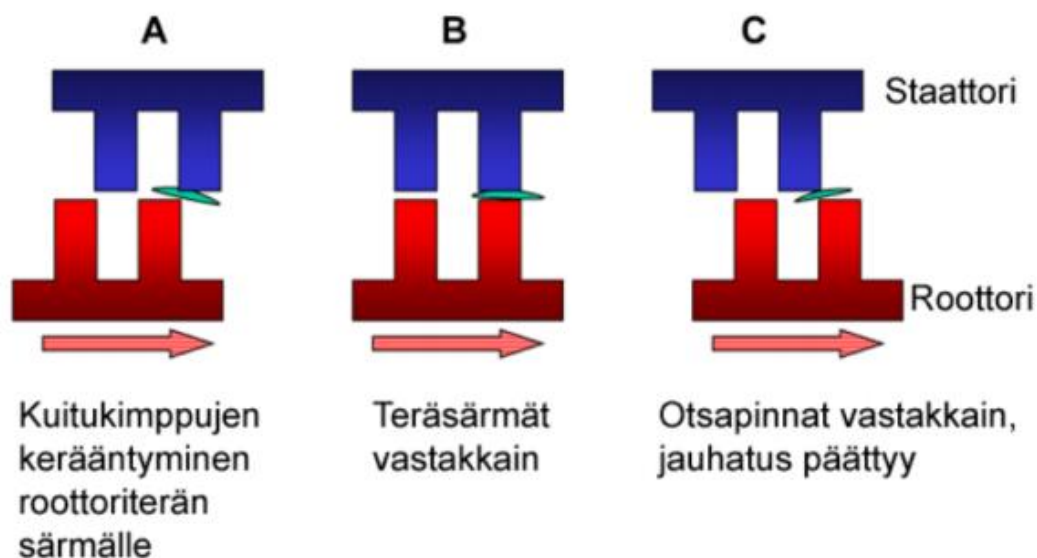
Kaavojen yhteys toisiinsa selviää, jos automaatiojärjestelmällä ohjataan jauhatusprosessin läpi pumpattavaa massavirtausta ja jauhatuksen määrää halutaan nostaa paperikoneella. Tällaisessa tilanteessa kasvattamalla jauhimen tai sarjaan kytkettyjen jauhimien kokonaistehoa nostetaan jauhatuksen määrää eli energian ominaiskulutusta. Tämä johtuu siitä, että tyypillisesti L ja n ovat vakioita. Kokonaistehoa kasvatetaan jauhimen tai jauhimien roottorin ja staattorin terävää pienentämällä. Kasvattamatta ominaissärmäkuormaa jauhatuksen määrän suurentaminen tapahtuu kytkemällä useampi jauhimen sarjaan ja jakamalla

haluttu EOK näiden jauhimien kesken. Näin pidennetään aikaa, jonka jauhimen läpi kulkeva massa on jauhinterien välissä. Kun massa on pidemmän aikaa jauhinterien välissä, lisää se massaan käytettyä energian kulutusta, kasvattamatta kuitenkaan ominaissärmäkuormaa. Kirjallisuudessa on esitetty ohjearvoja EOK:lle ja ominaissärmäkuormalle, joista esimerkkinä valkaistu pitkäkuitusulfaatti, joka vaatii EOK:ksi 100–300 kWh/t ja jonka ominaissärmäkuorma voi olla 1–3 J/m sekä lyhytkuitusulfaatti, jonka EOK voi olla 50–150 kWh/t ja ominaissärmäkuorma vain 0,2–1 J/m. (1, s. 114–115.)

2.3 Jauhintyyppit

Kuvan 2 mukaisesti tapahtuu kuitujen jauhautuminen jauhintyyppistä riippumatta. Ensimmäisessä vaiheessa (A) kuitukimput kerätään jauhinterien välissä olevista urista ja johdetaan teräsärmien väliin. Seuraavassa vaiheessa (B) tapahtuu kuitujen ominaisuuksien muokkaaminen jauhinterien aiheuttaman paineen ja leikkausvaikutuksen alaisuudessa, kun kuitukimput ovat vastakkaisten teräsärmien välissä. Viimeisessä vaiheessa (C) vapautuvat kuitukimput teräsärmien välistä ja jauhatus päättyy. (3.)

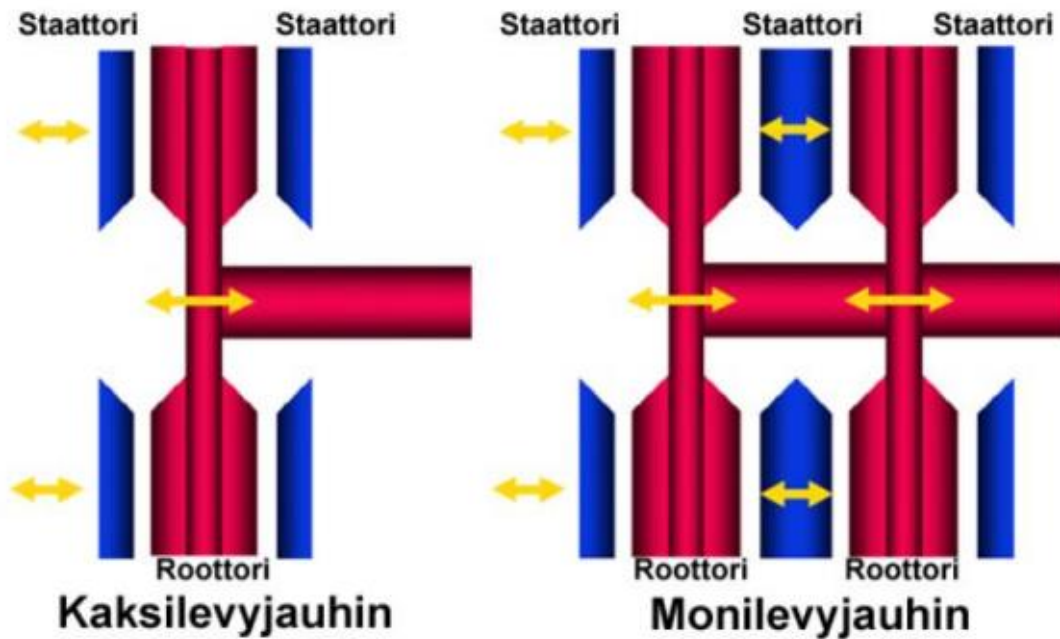
Jauhimia voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan. Kytkettynä sarjaan jauhimen massaan kohdistettava kokonaisjauhatusteho on jauhimen tehojen summa. Samaan massalinjaan voidaan asettaa kaksi tai useampia jauhimia. Sarjaan kytketyissä jauhimissa saadaan tasaisempi jauhatus, kun verrataan rinnankytkentään. Massan kulkiessa useamman jauhimen läpi kuidulla on pienempi mahdollisuus läpäistä jauhimet kulkeutumatta jauhatusvyöhykkeen läpi. Myös jauhatusmäärän lisääminen ominaissärmäkuorman pysyessä samana voidaan laskea sarjakytkennän hyväksi puoleksi. Matalasakeusjauhimissa massaa kierrätetään takaisin syöttöön, jolloin saadaan vaikutettua EOK:hon. (1, s. 115.)



KUVA 2. Jauhatuksen vaiheet jauhinterien välissä (2.).

2.3.1 Levyjauhin

Levyjauhimen pääosat muodostavat ympyrän muotoinen, keskeltä akseloitu roottori ja tämän molemmilla puolilla olevat staattorina toimivat jauhimen vastaterät. Jauhimen uritetut terät ovat kuvassa 3 punaisella roottorilevyn ulkopinnalla ja sinisellä staattorin sisäpinnalla. Terien välissä massa kulkeutuu jauhimen ulkokehälle jauhimen käynnin aikana. Levyn keskellä olevasta syöttöyhteestä massa johdetaan jauhimeen ja se poistuu levyn ulkokehällä olevasta poistoyhteestä. Hydraulisen paineen ja keskipakovoiman yhteisvaikutuksesta massa liikkuu jauhimen läpi. Kuitujen jauhautuminen tapahtuu niiden joutuessa jauhatusvyöhykkeelle, joka on terien välissä oleva alue. On olemassa myös monilevyjauhimia, joissa samalle akselille on asennettu kaksi roottorilevyä. Levyjauhimilla jauhatus on jatkuvatoimista, jolloin massa virtaa jauhimen terien läpi vakionopeudella. Tästä syystä massan jauhatus ei ole tasakoosteinen, sillä osa kuiduista ei koskaan joudu teräsärmien väliin, vaan voivat kulkea jauhinterien uria pitkin jauhatusvyöhykkeen läpi. (2.)



KUVA 3. Levyjauhimen periaatekuva (2.).

2.3.2 Kartiojauhin

Kartiojauhin koostuu kartion muotoisesta roottorista ja tämän ympärillä olevasta kartion muotoisesta staattorista kuvan 4 mukaisesti. Kartion kapeasta päästä syötetään massaa jauhimeen ja se poistuu kartion leveästä päästä. Syöttö- ja poistoyhteen välinen paine-ero sekä roottorin liikkeen aiheuttama pumppausvaikutus saavat liikutettua massaa. Jauhinteriin tehdyt viistottaiset urat saavat aikaan fyysisten ominaisuuksien vaihteluja jauhimen koon ja halutun käyttöta-
van mukaan. Myös kartiojauhin on levyjauhimen tapaan jatkuvatoiminen, eikä jauhettu massa ole tasakoosteista kuitujen takaisinvirtauksen ja ohivirtauksen vuoksi. (2.)



*KUVA 4. Kartiojauhimen terät irrallaan ja jauhimen sivuprofiili yläosasta halkais-
tuna (2.).*

3 VIRTAUSMITTAUS JA SAKEUSMITTAUS

3.1 Virtausmittaus

Virtausta on kahden tyyppistä, laminaarista ja turbulenttista. Virtaus on laminaarista, kun putkessa virtaavan aineen nopeutta kuvaavat nopeusvektorit ovat yhdensuuntaisia. Turbulenttisessa virtauksessa esiintyy myös toiseen suuntaan vaikuttavia nopeuksia. Virtaavan aineen nopeuden kasvaessa virtaus muuttuu turbulenttiseksi. Useimmiten teollisuudessa esiintyy turbulenttista virtausta. (2.)

Virtausantureiden kannalta oleellinen tieto on virtauksen profiili. Mitattaessa tilavuusvirtaa perustuu mittaus virtausnopeuteen. Tilavuusvirtaus saadaan, kun kerrotaan nopeus putken poikkipinta-alalla. Nopeutta voidaan mitata pistemäisesti yhdestä kohtaa putken poikkipinnalta tai keskiarvoista nopeutta putken halkaisijaa pitkin. Virtauksen nopeusprofiilin ollessa symmetrinen saadaan näillä mittauksilla mitattua putken keskimääräinen virtausnopeus oikein. Useimmiten virtauksen nopeusprofiili on epäsymmetrinen ja keskimääräiseen nopeuteen perustuva virtausmittaus ei näytä oikein. Esimerkiksi putken mutkat, venttiilit ja pumpit aiheuttavat nopeusprofiilin epäsymmetrisyyttä. Virtausprofiilia saadaan paremmaksi riittävän pitkällä suorilla osuuksilla, jolloin turbulentsuus vähenee huomattavasti. (2.)

Induktiivinen mittaus

Toiselta nimeltään magneettinen määrän mittaus, joka perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Johtimen liikkuessa magneettikentässä, siihen indusoituu jännite. Jännitteen suuruus on suoraan verrannollinen sähkökentän voimakkuuteen, johtimen pituuteen ja liikkeen nopeuteen. Tämä perustuu Faradayn induktiolakiin (yhtälö 3). Liikkuvana johtimena toimii johtava neste ja johtimen pituus on putken halkaisija. (2.)

$$U = K * B * V * D$$

YHTÄLÖ 3

missä

U = indusoitunut jännite

K = dimensoitu laitevakio

B = magneettivuon tiheys

V = keskimääräinen virtausnopeus

D = putken halkaisija

Todellisuudessa mittausanturi on eristeestä tehty putki ja sen ulkopuolelle on sijoitettu magnetointikäämit. Neste virtaa 90 asteen kulmassa käämeihin nähden ja nesteestä mitataan johtimeen indusoitunut jännite elektrodeilla. Syntynyt jännite on suoraan verrannollinen virtaukseen ja vahvistimella muodostetaan jännitteestä virtausnopeutta vastaava signaali. Näin ollen mitattavan nesteen on johdettava sähköä. Esimerkiksi vesi on riittävän johtava, mutta öljyt eivät. Nesteellä täytyy olla riittävän suuri johtokyky, sekä magneettiputkessa pitää olla tarpeeksi virtausta ja painetta. Virtausprofiililla ja virtauksen pyörteisyydellä ei ole juurikaan vaikutusta mittaukseen. (2.)

3.2 Sakeusmittaus

Massan sakeudella tarkoitetaan massasulpun kuiva-aineen määrää. Se kertoo, kuinka monta painoprosenttia kuiva-ainetta on massasulpussa. Kuiva-aine muodostuu pääosin puukuidusta, mutta myös täyteaineesta ja epäorgaanisista aineista, jota kutsutaan tuhkaksi. (2.)

Sakeuslähettimet toimintaperiaatteita on useita. Mitattavan aineen ominaisuuksien ja virtausnopeiden perusteella voidaan valita käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva laite. Mittausperiaatteen perusteella sakeusmittarit voidaan jakaa seuraavasti:

- leikkausvoimamittarit, perustuen staattiseen tai pyörivään anturiin

- optiset sakeusmittarit, perustuen valon heijastukseen, absorptioon ja polarisoitumiseen
- mikroaaltoanturit.

Leikkausvoimamittarit ovat luotettavia, tarkkoja, edullisia ja helppokäyttöisiä, jonka vuoksi ne ovat suosituimpia sakeusmittareita. Vaikka leikkausvoimaan perustuvat mittarit toimivat vanhalla mittausperiaatteella ovat ne silti erittäin moderneja ja tarkkoja mittareita. (2.)

Optisilla mittareilla on huomattavasti kapeampi mittausalue, leikkausvoimamittareihin verrattuna. Myös niiden soveltuvuus on rajoitetumpaa. Alhaisissa sakeuksissa (alle 1,15 %), missä leikkausvoimamittarit (mittausalue 1,5–16 %) eivät toimi, ovat optiset mittarit hyvä ja toimiva ratkaisu. (2.)

Mikroaaltomittarit edustavat uusinta sakeudenmittausteknologiaa. Ne mittaavat massan kokonaissakeuden, eli kuidut ja täyteaineet, kun leikkausvoimamittarit pystyvät mittaamaan ainoastaan massan kuitusakeuden. Jos vaaditaan erityistä mittaustarkkuutta, on tämä merkittävä ero. Mikroaaltomittarit ovat markkinoiden tarkimpia sakeusmittauksia. (2.)

Mikroaaltomittareilla mittausperiaate perustuu mikroaaltojen etenemisnopeuden mittaamiseen. Mikroaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, jonka etenemisnopeus riippuu väliaineen dielektrisyysvakioista. Etenemisnopeus yhtälöllä 4. (4.)

$$v = c/\sqrt{\epsilon_r}$$

YHTÄLÖ 4

missä

c = valon nopeus tyhjiössä

ϵ_r = väliaineen dielektrisyysvakio

Mikroaallot etenevät vedessä huomattavasti hitaammin kuin puukuidussa. Tästä johtuen sakeus voidaan laskea mitattavan massan läpi menneen mikroaallon kulkuajan perusteella. Mikroaaltojen kulkuajan ja massan sakeuden välinen

suhde on lineaarinen, jonka takia kalibrointi on helppoa. Massan ominaisuuksien vaihtelut, kuten kuitupituus, freeness, vaaleus, väri, puulaji tai valmistusmenetelmä, eivät vaikuta mittaukseen. Myöskään massan virtausnopeus ei vaikuta mikroaaltojen kulkuaikaan. Tämä mittausperiaate mahdollistaa entistä tarkemman sakeussäädön kohteisiin, joissa tarvitaan tarkkaa kokonaissakeusmittausta tai missä raaka-ainekomponentit vaihtuvat usein. (4.)

Mikroaaltoon perustuva lähetin antaa enemmän tietoa prosessista, kuten prosessilämpötilan virtaviestinä, massan kemikaalipitoisuuden verrannollinen signaali virtalähtönä, kiertovesien laadun tarkkailun ja kemikaaliylikuormitustilanteiden havainnoinnin sellutehtailla. Esimerkiksi paperitehtaalla voidaan mikroaaltolähtimellä korvata kalliita massakomponentteja vaarantamatta prosessin ajettavuutta ja massojen, kemikaalien ja täyteaineiden annostelu voidaan toteuttaa tarkemmin. Mikroaaltolähtimellä saadaan poistettua neliöpainosäädössä esiintyviä liian nopeita vaihteluita. Näin lajinvaihdot nopeutuvat, tuotanto tehostuu, laatu paranee ja syntyy taloudellisia säästöjä. (2.)

Rajoituksina mikroaaltomittareille ovat ilmakuplat suurina pitoisuuksina. Tämän takia valmistajat suosittelevat prosessin minimipaineeksi 1,5 bar. Massan johtokyky rajoittaa anturin soveltamista sellutehtailla, missä keitto- ja valkaisukemikaalit suurina annoksina aiheuttavat häiriöitä mittaukseen. Nämä rajoitukset on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa. (2.)

4 SÄÄTÖTEORIA

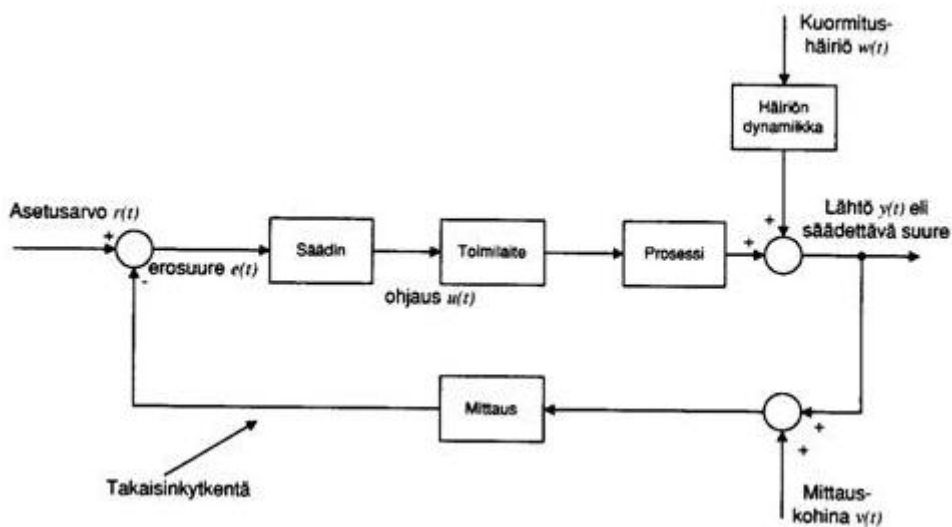
Prosessilla tarkoitetaan monimutkaista järjestelmää, jossa esiintyy sekä mekaanisia että sähköisiä ilmiöitä. Prosessi voi sisältää esimerkiksi nesteiden, kiinteiden aineiden kuten kaasujen virtausta, lämmön siirtymistä, kemiallisia reaktioita ja niin edelleen. Tyypillisiä prosesseja ovat esimerkiksi paperikone, tislauskolonni tai voimalaitos. Prosessit voidaan jakaa pienempiin osiin, osaprosesseihin, jotka ovat itsekin prosesseja, esimerkiksi paperikoneen perälaatikko. (6, s. 9.)

4.1 Säätopiiri

Säätopiiri koostuu säädettävästä prosessista toimilaitteineen, mittausanturista ja -lähettimestä sekä säätimestä. Säädin antaa ohjauksen toimilaitteelle joko analogisena tai digitaalisena viestinä. Yleensä käytetään analogista virtaviestiä (4–20 mA), mutta nykyisin käytetään paljon digitaalista viestiä kenttäväylien yhteydessä. Toimilaitetta ohjattaessa suora vaikutus pyritään aina tekemään ohjattavaan prosessisuureeseen, mutta usein vaikutetaan samanaikaisesti moneen eri suureen. Ohjattavia prosessisuureita voivat olla esimerkiksi lämpötila, pinnankorkeus, pyörimisnopeus, sakeus, paine tai muu vastaava. Toimilaitte voi olla esimerkiksi venttiili, moottori tai sylinteri. Säädettävää suuretta mitataan ja mittausviesti tuodaan takaisin säätimelle, jossa sitä verrataan käyttäjän tai jonkin muun säätimen antamaan asetusarvoon. Mittauksen ja asetusarvon erosuureen perusteella säädin laskee ohjauksen toimilaitteelle. (6, s. 13.)

Säätopiiri voi toimia joko suljetusti tai avoimesti. Suljetussa säätopiirissä säädin käyttää hyväksi takaisinkytkentää. Tämä tarkoittaa, että säädin on automaattilla. Avoin säätopiiri taas ei käytä takaisinkytkentää ohjauksen laskemiseksi, vaan ohjaus tehdään käyttäjän asettamien arvojen mukaan, eli puhutaan käsiohjauksesta. Käsiohjausta käytetään yleensä tehtäessä jonkinlaisia kokeita prosessissa. Esimerkiksi jos prosessissa on häiriö, jonka vuoksi automaattiohjausta ei ole

mahdollista käyttää tai esimerkiksi pumpun pyörytys automaattilla alkaisi ohjata sellaisia toimilaitteita, joita kyseisessä tilanteessa ei haluta ajaa. kuvassa 5 on esitetty säätöpiirin peruskomponentit. Paperitehtaalla tällaisia tilanteita tulee useasti seisokeissa, jolloin on esimerkiksi käyty vaihtamassa venttiili ja halutaan varmistaa sen toiminta järjestelmästä. Normaalitylanteessa käytetään automaattiohjausta, mutta jos prosessiin vaikuttaa merkittäviä häiriöitä, voi ohjaus alkaa vahvistamaan säätöpiirissä koko ajan kasvavaa värähtelyä, kunnes säädettävä suure karkaa kokonaan käsistä. (6, s. 13.)



KUVA 5. Säätöpiirin peruskomponentit (6, s. 13.).

4.1.1 Prosessimalli

Prosessin käyttäytyminen on tunnettava, jotta säädettävä suure saadaan käyttäytymään halutulla tavalla erilaisissa asetusarvon ja kuormitushäiriöiden muutostilanteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että meillä on jonkinlainen kuvaus prosessista, johon usein toimilaite ja mittausanturi sisällytetään. Jotta toimilaite ja mittausanturi voidaan ajatella kuuluvan prosessiin, tulee niiden olla huomattavasti nopeampia kuin itse prosessi. (6, s. 14.)

Prosessimalli on matemaattinen malli, jolla pyritään havainnoimaan käyttäjälle prosessin ominaisuuksista ja ennakoimaan prosessin käyttäytymistä. Prosessimalli muodostetaan vertailemalla ohjaus- ja mittaussignaalia ja seuraamalla ohjaussignaalin muutoksen vaikutusta mittaussignaaliin. On myös oleellista, missä ajassa ohjaussignaalin muutos havaitaan mittaussignaaliin. (6, s. 14.)

4.1.2 Toimilaite

Toimilaite tekee säätimen antaman ohjausmuutoksen ja näin toimielimen kautta saadaan muutos ohjattavaan suureeseen (6, s. 15). Esimerkiksi virtauksen säädössä säätöventtiiliä avataan tai suljetaan säätimen ohjeen mukaan, jolloin saadaan virtausta muutettua. Toimilaitteen ohjaus tulee mitoittaa oikein. Liian nopeasti toimiva toimilaite lyhentää sen käyttöikä ja liian tehokkaalla toimilaitteella ei saada järkevää hyötysuhdetta prosessin ohjauksessa. Liian hidas toimilaite ei vastaa prosessin muutoksiin, jolloin prosessin ohjauksesta jäädään jälkeen.

4.1.3 Mittaus

Jotta hallittavaa suuretta onnistutaan ohjaamaan, pitää sitä pystyä mittaamaan. Mittausdata on harvoin suoraan käyttökelpoista, vaan sitä pitää suodattaa kohinan poistamiseksi. Mittaus ja suodatus saattavat nopeissa säätöpiireissä olla rajoittavia tekijöitä, sillä ne aiheuttavat hitautta ja viivettä. Esimerkiksi jos mittalaite mittaa kymmenyksen tarkkuudella, ei säädin voi säätää sadasosan tarkkuudella. (6, s, 15.)

4.1.4 Säätimet

Hallittavia prosesseja on erilaisia ja niin on myös säätömenetelmiä. Prosessista riippuen voidaan säätömenetelmänä käyttää yksi-, kaksi-, ja kolmipistesäätöä, P-, PI-, PD-, PID- tai jotain kehittyneitä säätömenetelmiä kuten sumeaa säätöä.

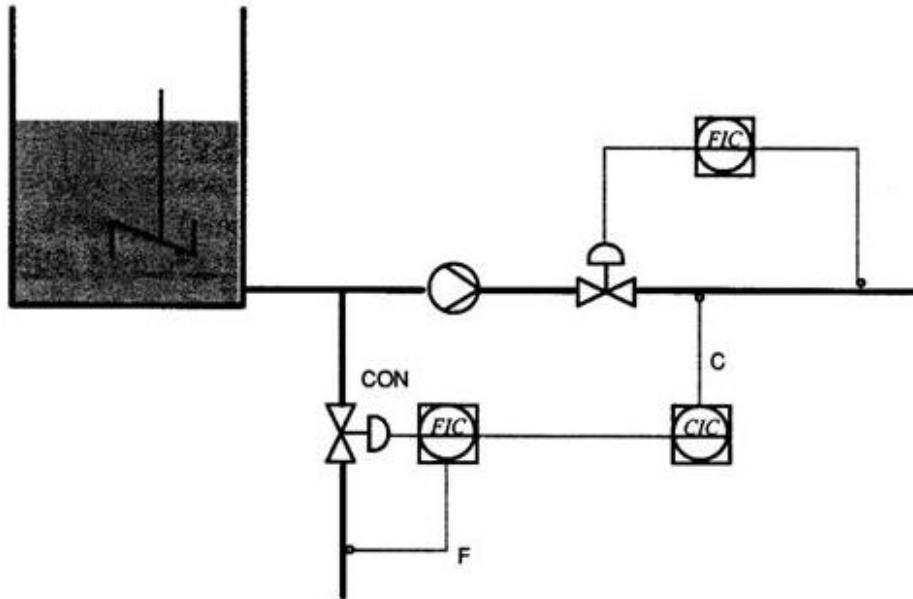
Tämän työn teoriaosuudessa käydään läpi PID-säädintä eli Proportional-Integral-Derivate -säätöä ja sen toimintaa kerrotaan erillisessä kappaleessa.

4.1.5 Häiriöt

Säätöpiirille häiriöitä voivat olla mittauskohina ja kuormitushäiriöt. Mittauskohina on satunnaista ja kuormitushäiriöt ovat usein askelmaisia tai jaksollisia. Esi-merkkihäiriöitä voivat olla satunnainen nopea paineenvaihtelu, nesteen aaltoilu pinnankorkeudessa tai sähköiset häiriöt mittausantureissa. Tarkasteltaessa yhtä säätöpiiriä muiden säätöpiirien vaikutukset ovat häiriöitä, joita kutsutaan ristikkäisvaikutuksiksi. Mitä nopeammaksi piirit on viritetty eli mitä suurempaa vahvistusta käytetään, sitä merkityksellisemmäksi tulevat ristikkäisvaikutukset. (6, s. 15.)

4.2 Kaskadikytkentä

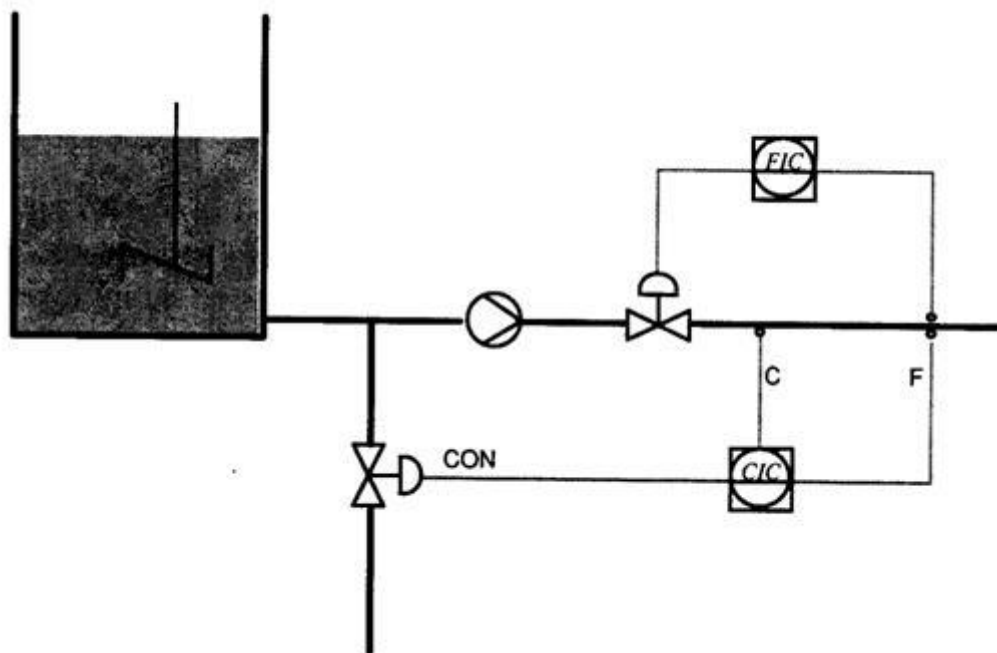
Kaskadikytkennässä on useita ohjaussuureita ja yksi säädettävä suure, siis varsinaisen suureen ohjaus säädetään toisen suureen kautta. Tämän etuna on, että säätöä voidaan nopeuttaa, kun lisäksi käytetään apusäätäjää varsinaisen säätäjän kanssa. Apusäätäjä reagoi nopeammin ohjausmuutoksiin. Kaskadipiirissä on sisäkkäisiä säätösilmukoita, joista ulommaista säädintä kutsutaan yläsäätimeksi ja sisimmäistä alasäätimeksi. Apusäädin saa asetusarvon pääsäätimeltä, jolloin apusäätimen toiminta on *remote*-tilassa. Tavoitteena kaskadikytkennässä on poistaa häiriöt, jotka vaikuttavat sisempään piiriin jo ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa pääsäätöpiirin mittaukseen. Osa säätöpiirin viiveestä jää sisäisen piirin ”ulkopuolelle”, ja näin ollen mahdollistaa merkittävän säädön nopeuttamisen (6, s. 23–24). Kuvassa 6 on esitetty kaskadikytkennän periaate, jossa sakeussäätö toimii yläsäätimenä ja virtaussäätö alasäätimenä.



KUVA 6. Kaskadiytkentä, jossa CON on venttiilin ohjaus, F on virtausmittaus ja C on sakeusmittaus (6, s. 24).

4.3 Myötäkytkentä

Myötäkytkentää voidaan hyödyntää, jos kuormitushäiriö voidaan mitata ja käytössä on soveltuva ohjaussuure. Myötäkytkentä voidaan summata toimilaitteen ohjaukseen, mutta se vaatii tarkkaa kompensointia. Kompensointi edellyttää, että viive ohjauksen ja säädettävän suureen välillä on pienempi tai yhtä suuri häiriö kuin häiriön ja säädettävän suureen välinen viive. Myötäkytkennällä vaikutetaan ohjaussuureeseen, ennen kuin häiriön vaikutus näkyy säädettävässä suureessa. Käytettäessä myötäkytkentää takaisinkytketyn säätimen viritys ei muutu, eikä se aiheuta epästabiilisuutta. Hyvin tehdyllä myötäkytkennällä voidaan vähentää mitattavien häiriöiden vaikutusta (6, s. 25). Kuvassa 7 sakeus-säätimen ohjaukseen summataan termi, joka riippuu massavirtauksesta.



KUVA 7. Myötäkytkentä, jossa CON on venttiilin ohjaus, F on virtausmittaus ja C on sakeusmittaus (6, s. 26).

Yleensä myötäkytkentä toteutetaan pelkällä vahvistuksella. Monimutkaisemmissa tapauksissa käytetään kompensattoria, joka on automaatiojärjestelmässä oleva toimilohko. Häiriösuureen mittauksen perusteella kompensattori laskee lisätermin varsinaisen säätimen ohjauksen summaksi. (6, s. 26.)

4.4 PID-säädin

Teollisuudessa yleisimmin käytetty säädin on rakenteeltaan PID- säädin (Proportional-Integral-Derivative). Yksinkertaisesta rakenteesta huolimatta se toimii hyvin piireissä jossa vaikuttaa useita häiriö- ja epävarmuustekijöitä. PID-säätimen virittämisen perusteet ovat tunnettuja ja säätimestä on mahdollista käyttää eri yhdistelmiä (P-, PI-, PD-, PID-säädin). Säätimen yhdistelmä valitaan hallittavan prosessin mukaan, riippuen reagoidaanko muutoksiin kuinka nopeasti. Yleisimmin käytetty säädin yhdistelmä on PI-säädin. (6, s. 44.)

Kun säätimen tulona on erosuure (= asetusarvo-mittaus) lasketaan PID-säätimen ohjaus kolmen eri osan summasta. Säätimen kolme osaa ovat

- P-osa, suhdetermi
- I-osa, integroiva termi
- D-osa, derivoiva termi.

Aina ei ole yksiselitteistä, mistä säätimelle annetaan asetusarvo. Esimerkiksi toinen säädin voi ohjata säädintä tai käyttäjä voi asettaa halutun asetusarvon. Näin ollen PID-säätimen asetusarvo voidaan valita seuraavasti:

- L = Local, paikallisen asetusarvon valinta
- R = Remote, kaskadisäätimen valinta
- C = Computer, ylemmän tason säätimen valinta.

Paikallinen asetusarvo (Local) on käyttäjän antaman paikallinen vakioasetusarvo, kun taas *Remote*- ja *Computer* -asennot ovat muuttuvia asetusarvoja. Asetusarvot tulevat ylemmän tason säätimien ohjauksesta. Tällä tarkoitetaan säätimen kaskadikytkentää. Remote on järjestelmän sisäinen muuttuva asetusarvo ja Computer on järjestelmän ulkopuolisen tietokoneen tms. laskema asetusarvo. (6, s. 45.)

4.4.1 P-säätö

P-säädössä jatkuva-aikainen ohjaussignaalin arvo riippuu suoraan erosuureen arvosta yhtälön 5 mukaisesti.

$$u(t) = K_p e(t) + u_0$$

YHTÄLÖ 5

missä

$u(t)$ = ohjaussignaalin

$e(t)$ = erosuure

K_p = säätimen vahvistus

u_0 = ohjaussignaalin vakiotaso kun $e(t) = 0$

Asettelemalla oikein ohjaussignaalin vakiotaso halutussa toimintapisteessä ei esiinny säätövirhettä. Matemaattisesti kyseessä on vain kerto- ja yhteenlasku. Säättöpoikkeaman (= erosuure) ollessa nolla on säätimen lähtö sama kuin vakiotaso u_0 (usein nolla). Tyypillisesti P-säädin jättää systeemiin asentovirhettä ja nopeusvirhettä eli asetusarvo – mittaus $\neq 0$. Tyypillisellä vakioasennuspisteen u_0 valinnalla jää asentovirhe melko pieneksi. Ongelmana on, että kun erosuure lähestyy nollaa vahvistuksen kasvaessa kohti ääretöntä, kuitenkin nollaa koskaan saavuttamatta. (6, s. 45.)

Esimerkkinä tarkasteltaessa tilannetta, jossa erosuureeseen tulee muutoksia ja säädettävä suure ei reagoi ohjaukseen. Tällainen tilanne on, kun säädin on manuaalilla ja takaisinkytkentä ei ole käytössä. Jos säätimen ohjaus on askel, jonka koko on erosuure kerrottuna vahvistuksella K_p , pysyy ohjaussuure vakiona, jos erosuure ei muutu. Näin syntyy pysyvä virhe, vaikka P-osa tekee sen minkä pystyy. Säätimissä voidaan käyttää myös vahvistuksen sijasta *vertoaluetta* (Proportional Band), jonka suuruus on kääntäen verrannollinen säätimen vahvistukseen. (6, s. 45.)

Viritysparametrina vahvistuskerroin K_p on suhdekerroin säätimen ohjauksen ja erosuureen välillä. Vahvistuksella pystytään vaikuttamaan järjestelmän nopeuteen. Vahvistus näkyy erosuureen askelmuutoksessa säätimen ohjauksen perustason arvona. (6, s. 50.)

4.4.2 Integroiva säätö

Usein P-säädön yhteydessä käytetään integroivaa säätöä. I-osalla saadaan eliminoidua asentovirhe, joka pelkällä P-säätimellä jää. PI-säätimen ohjaussignaali on

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right]$$

YHTÄLÖ 6

missä

T_i = integrointiaika sekunneissa

Jos verrataan pelkkään P-säätöön, on signaalin vakiotaso u_0 korvattu ajan funktiona muuttuvalla erosuureen integraalilausekkeella. Niin kauan kuin säätöpoikkeamaa ei ole nolla, säätimen lähtö muuttuu. Säätöpoikkeaman suuruus ja säätöpoikkeaman vaikutusaika vaikuttavat säätimen lähtöön. Matemaattisesti ajateltuna integrointi tarkoittaa pinta-alan laskemista, eli ohjaustaso on riippuvainen pinta-alasta. PI- säädin on yleisimmin käytetty säädintyyppi, johtuen sen monista hyvistä ominaisuuksista. (6, s. 47.)

Kun erosuureeseen tulee ensimmäinen askelmainen muutos, säätimen lähtö kasvaa aluksi melkein suoraviivaisesti ja kulmakerroin riippuu integrointitermin vahvistuksesta K_p/T_i . Erosuureen ollessa nolla jää säätimen ohjaus vakioksi. Erosuureen ollessa negatiivinen voi säätimen lähtö pienentyä ja erosuure vaihtaa merkkiään vain, kun säädettävä suure leikkaa asetusravon. Lopuksi kun erosuure jää nolnaan, jää säätimen ohjaukseen perustaso ja näin integrointitermi automaattisesti hakee ohjaukseen perustason. Perustasolla ei jää pysyvää virhettä erosuureeseen. Perustaso vastaa P-säädön vakiotasoa u_0 . Kun prosessissa esiintyy erosuuretta, I-osa kasvattaa tai pienentää ohjausta, jotta säätöpoikkeamasta päästään eroon. (6, s. 47–48.)

Integrointiosan päätarkoitus on poistaa jatkuvuustilan virhettä, sillä pienikin erosuureen arvo kasvattaa integrointiosan ansiosta säätimen lähtöä. Integrointiaika T_i on aika, jossa I-osa saa aikaan samansuuruisen muutoksen ohjaussuureeseen kuin P-osa askelmaisessa erosuureen muutoksessa. Integrointiajan kasvaessa sen merkitys vähenee, sillä se on kaavassa muotoa $1/T_i$. Pienellä integrointiajalla saadaan suuri ohjauksen kasvunopeus. (6, s. 50.)

4.4.3 Derivoiva säätö

Derivoivassa säädössä derivaatta (d/dt) kuvaa suureen muutosnopeutta. Derivoivaa säätöä käytetään P-säädön (PD-säädin) tai integroivan säädön (PID-säädin) kanssa. Ideaalin PID-säätimen ohjaussignaali on

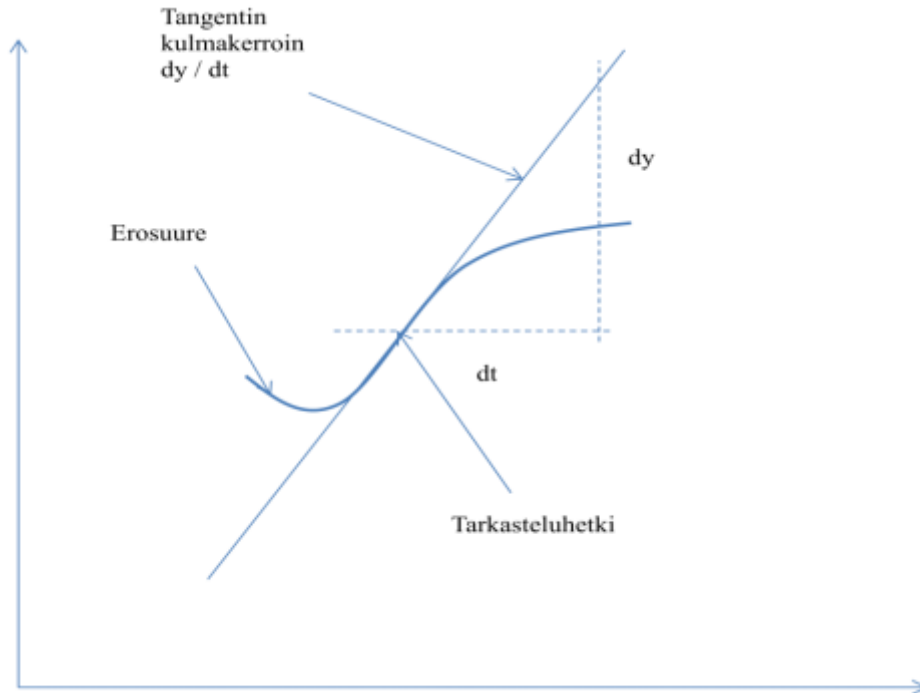
$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad \text{YHTÄLÖ 7}$$

missä

T_d = derivointiaika sekunneissa

Muutoksia ei tapahdu, kun $de(t)/dt$ on nolla. Useasti käytetään mittaussuureen muuttumisnopeutta – $dy(t)/dt$ erosuureen muuttumisnopeuden (=derivaatan) $de(t)/dt$ sijasta. Tällöin säädin ei reagoi D-osan kautta suoraan asetusarvon muutoksiin, jolloin säädin on suunniteltu kuormitushäiriöiden kompensointiin. (6, s. 48.)

D-osa reagoi erosuureen muutosnopeuteen. Muutosnopeuden ollessa nolla, on D-osan lähtökin nolla. Ideaalisen D-osan ohjauksen tulisi olla askeleen muutoshetkellä ääretön piikki. Tämän takia ohjaussignaalit ovat aina rajoitettuja. D-säädöstä puhutaan ennakoivana säätönä koska säätimen lähtö muuttuu enemmän kuin pelkkä säätöpoikkeaman suuruus vaatisi. Matemaattisesti derivaatalla tarkoitetaan sitä, että käyrään sovitetaan suora (=tangenti), joka sivuaa käyrää tarkastelupisteessä. Derivaatan avulla "kuvitellaan", että järjestelmä jatkaa käyttäytymistään tulevaisuudessakin samaan suuntaan. Tarkasteltaessa erittäin lyhyitä ajanjaksoja (Kuva 8) tuntuu ajatus toimivan, mutta käytännön toteutus eroaa kuitenkin tästä periaatteesta. (6, s. 49.)



KUVA 8. Derivaatan laskeminen signaalista (6, s. 49).

Ohjauksen muutokset havaitaan järjestelmän lähdössä vasta pienen ajan kuluttua, johtuen prosessin dynamiikasta eli viiveestä. Suljetun piirin suorituskyvyn ja vaimennuskyvyn parantamiseksi edellä mainittuja voidaan kompensoida käyttämällä ennustamista. Derivointiajan kasvaessa on D-osan vaikutus voimakkaampi ja prosessin ollessa viiveellinen on derivaattaan suhtauduttava varovaisesti. (6, s. 50.)

D-osan haittapuolena on sen korostavuus korkeisiin taajuuksiin, kuten mittauskohinaan. Tästä syystä on hyvä käyttää joko signaalin suodatusta tai derivaatan laskemista hieman erillä tavalla. Prosessiteollisuudessa harvemmin käytetään derivoivaa säätöä, sillä mittaussignaaleissa on aina kohinaa. (6, s. 50.)

4.5 Prosessimallit ja prosessikokeet

Prosessimalleilla on tarkoitus kuvata ohjaus- ja häiriösuureiden vaikutusta prosessin säädettävään suureeseen. Mallin tavoitteena on löytää sopiva ja tarkoituksenmukainen riippuvuus suureiden välille, jolloin oikeastaan tarkastellaan

vain erilaisia signaaleja ja niiden kulkureittejä (informaatiotekninen malli). Mallin kuvatessa prosessin todellisia ilmiöitä mahdollisimman yksityiskohtaisesti puhutaan prosessiteknisistä malleista. Tällöin mallin tulisi kuvata prosessin käyttäytymistä niin kuin se on todellisuudessaakin. Näin saavutetaan prosessin turvallisempi, parempi ja tehokkaampi suunnittelu. Tämä vaatii paljon eri tietoja osaprosesseista ja komponenteista joka joskus johtaa monimutkaiseen matemaattisiin yhtälöihin. Sääntötekniikassa riittää, että mallit ovat huomattavasti yksinkertaisempia, lähinnä kuvaten vain signaalien riippuvuuksia eikä sisäisiä fysikaalisia reaktioita. Mallintamisessa tulee ottaa huomioon, että sitä ei koskaan saa tarkastella erillisenä osana säätösuunnittelua, vaan se on kiinteästi riippuvainen säädön tavoitteista. (6, s. 71.)

Tulo- ja lähtösignaalien välillä on riippuvuussuhde, joka voi olla joko dynaamista tai staattista. Staattisessa systeemissä jokainen ulostulon arvo on kokonaan määritetty viimeisimmän tulosignaalin arvon mukaan. Dynaamisessa järjestelmässä lähtöön vaikuttaa aikaisemmat tulosignaalit. Dynaamiset systeemit voidaan jakaa hitaisiin tai nopeisiin, värähteleviin, stabiileihin tai epästabiileihin. (6, s. 72.)

4.5.1 Askelvaste ja erilaisia prosessityyppejä

Yleisin ja yksinkertaisin tapa kuvata teollisuusprosessin käyttäytymistä on askelvaste. Askelvaste tehdään syöttämällä järjestelmään askelmainen heräte ja mittaamalla järjestelmän lähtö. Kokeella voidaan määrittellä matemaattisen mallin parametreja, sekä testata suljetun säätöpiirin toimivuutta. Jos askelkokeen aikana säädin on käsiajolla, tarkastellaan vain prosessin käyttäytymistä. Tehtäessä automaattilla olevan säätimen asetusarvoon muutos tarkastellaan koko säätöpiirin toimintaa. Prosessit reagoivat eri tavalla askelmaiseen muutokseen ja tällöin voidaan erotella erilaisia prosessityyppejä. Prosessin ohjaukseen vaikuttavat oikean prosessin tunnistaminen ja valinta. (6, s. 74.)

Yhden aikavakion prosessi on yksinkertaisin prosessikuvaus. Siinä aikavakiolla kuvataan järjestelmän dynaamista nopeutta. Prosessin muutos tapahtuu

enemmän logaritmisen käyrän mukaan, kuin askelmaisesti tai lineaarisesti. (6, s. 75.)

Kun aikavakioita on kaksi tai useampi puhutaan usean aikavakion prosessista. Prosessin alussa on tyypillisesti toimilaitteen aiheuttamaan hitautta, joka näkyy ensimmäisenä aikavakiona. Ajan edetessä alkaa kuitenkin prosessin toinen aikavakio hallita kokonaiskuvaa. Ensimmäinen aikavakion vaikutus on lyhytaikainen, joten se usein poistetaan mallista ja hallitsevan aikavakion perusteella prosessista saadaan yksinkertaisempi yhden aikavakion malli. Aikavakion poistaminen on aina tapauskohtaista ja se vaatii harkintaa. (6, s. 75.)

Useimmiten prosessin vaste asettuu uuteen loppuarvoon askelmuutoksen jälkeen eli prosessit ovat stabiileja. On myös integroivia prosesseja, joissa askelmaisesta muutoksen jälkeen prosessin lähtö kasvaa suoraviivaisesti, kunnes prosessin rajat tulevat vastaan. (6, s. 75.)

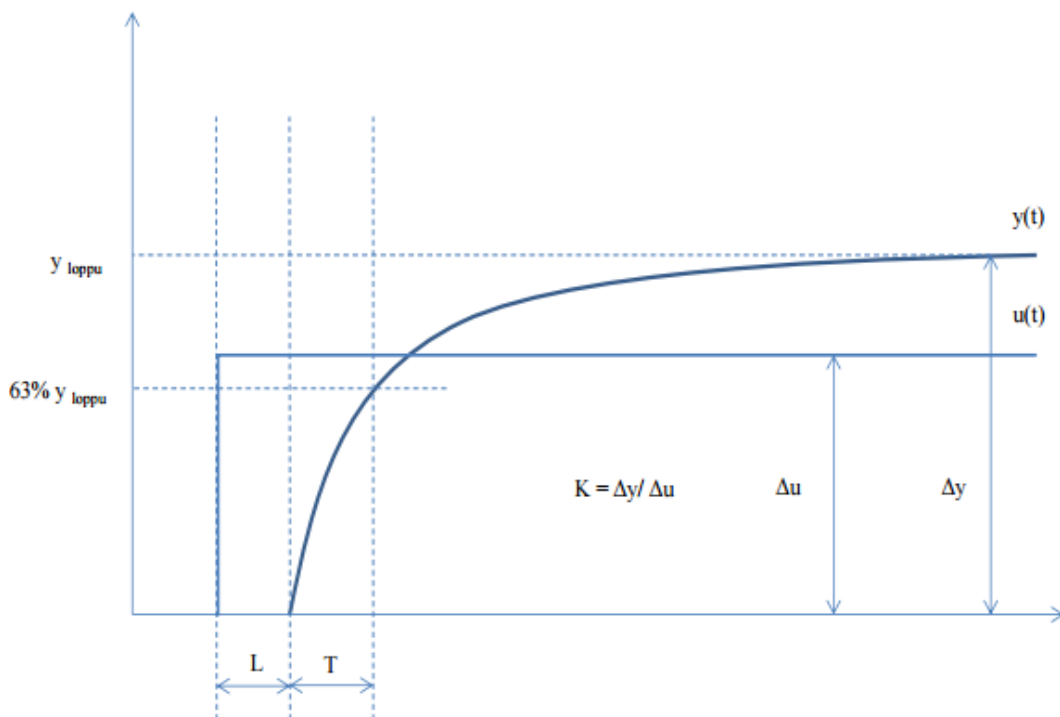
Kuolleen ajan prosesseissa askelmaisesta muutoksen jälkeen on viive, jonka aikana ei prosessin mittauksessa tapahdu muutosta. Pitkä kuollut aika tekee säädöstä huonomman, sillä viiveen aikana säädin nostaa koko ajan ohjausta. Tämä johtuu siitä, että mittaus ei anna vastetta säätimelle. Kuolleen ajan kompensointiin on mahdollista käyttää ennustavaa säätöä, mutta se ei ole mahdollista kaikissa säätimissä. (6, s. 78.)

4.5.2 Askelvastekoe

Askelvastekokeessa säätimen ohjaukseen tehdään käsiajolla askelmainen muutos. Askeleen jälkeen annetaan prosessin asettua uudelle tasolle. Kokeesta kerätään mittaustulokset mittaus- ja ohjaussignaaleista. Prosessi ei välttämättä reagoi samalla tavalla ylös- ja alaspäin tehtäviin ohjauksen muutoksiin, joten olisi hyvä tehdä kokeita molempiin suuntiin. Jos tehdään useita peräkkäisiä askelvasteita, voidaan selvittää toimilaitteen hystereesi, sekä kuinka pieniin muutoksiin prosessi voi antaa vasteen. Ennen askelvastekokeen aloittamista pitää olla

varma, että prosessi on asettunut lähtötasoon, eikä prosessi värähtele. (6, s. 88–89.)

Askelvastekokeella saadaan helposti määriteltyä järjestelmän viive, jatkuvuustilan vahvistus ja aikavakio, kun kyseessä on yhden aikavakion ja viiveen prosessimalli. Aika jolloin prosessi ei reagoi ohjaussignaaliin, kutsutaan viiveeksi L (kuollut aika). Jos prosessissa ei ole viivettä, näkyy ohjaussuureen muutos välittömästi lähtösuureessa. Vahvistus K on mittaussignaalin muutoksen ja ohjaussignaalin muutoksen suhde. Aikavakio T voidaan määrittää usealla menetelmällä. Kuvaajan jyrkimmän nousukohdan tangentsuoran ja lopputason leikkauspisteestä voidaan määrittää aikavakio. Toinen tapa on arvioida aikavakio 63 % nousujan kohdalta lopputasoon nähden, kuollutta aikaa ei oteta huomioon aikavakiota määriteltäessä (Kuva 9). Prosessin asettumisaika on 4–5 kertaa aikavakio. Asettumisajalla tarkoitetaan hetkeä, jolloin mittaus on saavuttanut 98 % lopullisesta arvosta pysyvästi. (6, s. 79–80.)



KUVA 9. Yhden aikavakion ja viiveen prosessin askelvastekuvaaja (6, s. 80).

4.6 PID-säädön viritys

Suunniteltaessa viritystä tulee tietää säätötavoitteet, onko säädön tarkoitus hallita asetusarvomutoksia vai kompensoida kuormitushäiriöitä. Järjestelmän dynamiikka, epälineaarisuudet, häiriöt ja epävarmuuksia koskevat ehdot tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Viritykseen voidaan joutua jättämään varmuusvara, sillä prosessimalli ei välttämättä kuvaa prosessia tarpeeksi hyvin. (6, s. 107.)

Simuloimalla prosessia saadaan tutkittua mallintamisen onnistuminen vertailemalla simuloitua vastetta ja prosessikokeesta kerättyä dataa. On hyvä varmistua prosessimallin tarkkuudesta vertailemalla simuloitua vastetta kerättyyn mittausdataan, ennen kuin mallin pohjalta tehdään päätöksiä oikeaan prosessiin. Simuloinnilla saadaan selville säätimen rakenne, sekä tarvitaanko myötäkytkeä tai viiveen kompensointia. Usein simuloinnilla saadaan hyvin selville virityksen sopivuus prosessiin. Aina aseteltuja tavoitteita ei kuitenkaan välttämättä saavuteta, jolloin joudutaan miettimään säätötavoitteet uudestaan. (6, s. 108.)

Hyvällä säätöpiirin virityksellä tavoitellaan säädön riittävää tarkkuutta, nopeutta ja/tai kuormitushäiriöiden kompensointikykyä, ohjaussignaalin rauhallista käyttäytymistä, epäherkkyyttä mittauskohinaa vastaan ja epäherkkyyttä parametri-muutoksia kohtaan. Hyvän virityksen saavuttamiseksi tasapainotellaan erilaisien vaatimusten ja prosessin ominaisuuksien välillä. Säätöpiiristä saadaan nopea ja tarkka, kun avoimen säätöpiirin vahvistus on mahdollisimman suuri. Tällöin myös prosessin hallittavuus paranee. Liian suuri säätimen vahvistus johtaa kuitenkin prosessin epästabiliin käyttäytymiseen. (6, s. 109.)

Epälineaarisisissa prosesseissa tulisi virittäminen suorittaa kullekin toiminta-alueelle erikseen, koska säätimen halutaan toimivan yhtä hyvin jokaisella toiminta-alueella. Viritysparametreja voidaan konfiguroida esimerkiksi asetusarvon mukaan. (6, s. 113.)

Lambda-iritys

Lambda-virityksessä käyttäjä määrittelee suljetun piirin käyttäytymisen suljetun ja avoimen piirin aikavakioiden suhdetoimen avulla. Tätä parametria kutsutaan yleisesti *lambdaksi* (λ), ja viritysmenetelmä on mallipohjainen. Toisin sanoen, käyttäjä asettaa suljetulle piirille aikavakion. Virityksellä on helppo määrittää säätöpiirille nopeustavoite, sillä suhdetoimen fysikaalinen merkitys on helppo ymmärtää. Suunniteltaessa viritystä määritellään ensiksi prosessin haluttu käyttäytyminen suljetussa piirissä ja sen perusteella valitaan piiriin sopiva säädin. Tämä poikkeaa hieman normaalista säätösuunnittelusta. Seuraavaksi on esitetty yhden viiveen ja aikavakion prosessin siirtofunktion laskentakaava. (6, s. 116–117.)

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-sL}}{Ts+1}$$

YHTÄLÖ 8

missä

$Y(s)$ = säädettävä suure

$U(s)$ = ohjaus

K = prosessin vahvistus

L = viive (kuollut aika)

T = aikavakio

Suljetun piirin siirtofunktio määritellään avoimen piirin siirtofunktion perusteella. Piirin vahvistus on yksi, sillä säädettävän suureen halutaan asettuvan samalle tasolle kuin asetusarvon. Viive on sama kuin avoimella piirillä, koska prosessin viivettä ei voida muuttaa virityksen aikana. λ -arvo toimii aikavakion viritysparameetrina. Jos $\lambda > 1$ on suljettu säätöpiiri hitaampi kuin avoimen piirin prosessi. Vastaavasti $\lambda < 1$ on suljettu säätöpiiri nopeampi kuin avoin prosessi. Seuraavaksi on esitetty suljetun piirin siirtofunktion laskentakaava. (6, s. 117.)

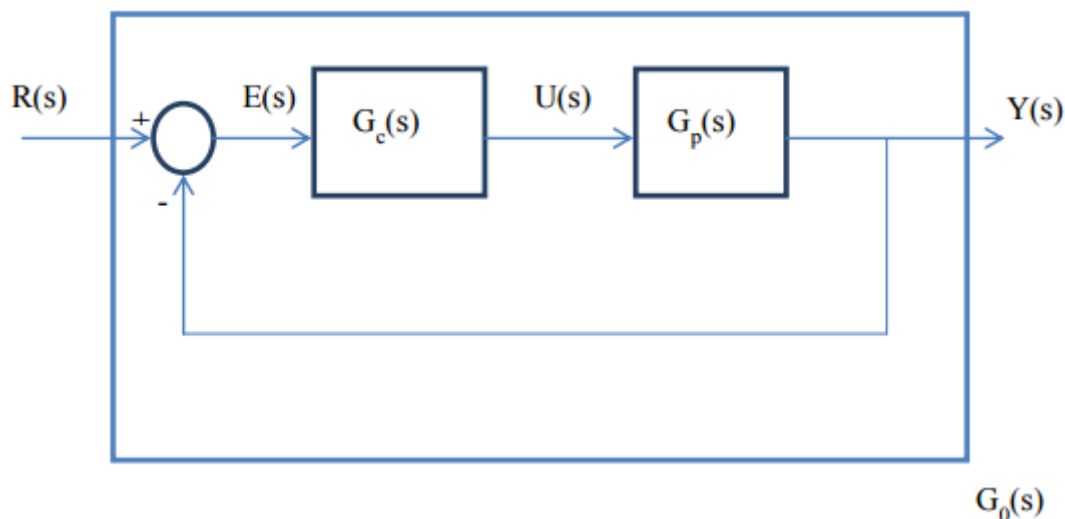
$$G_0(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{e^{-sL}}{\lambda Ts+1}$$

YHTÄLÖ 9

missä

$R(s)$ = siirtofunktion asetusarvo

λ = viritysparametri

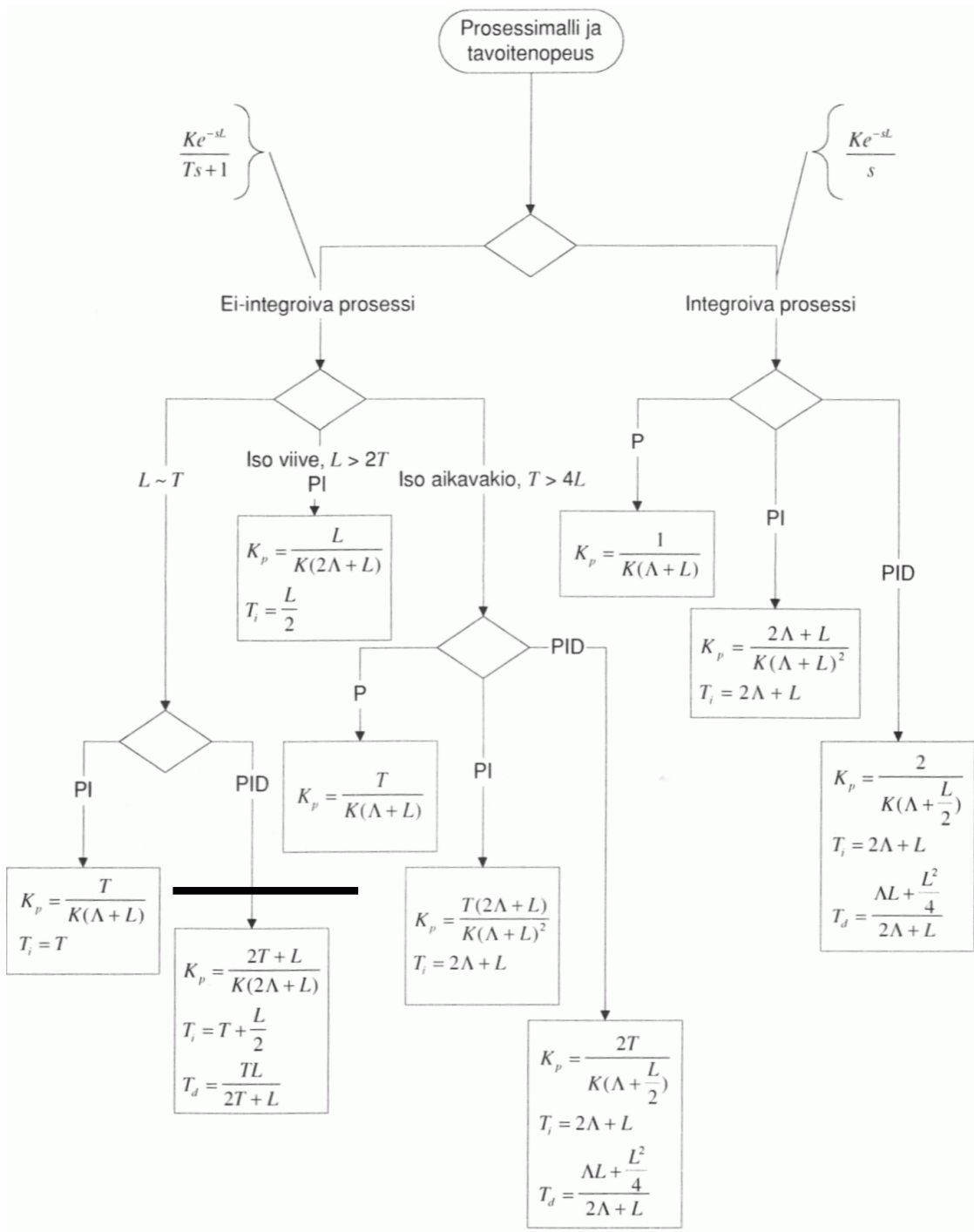


KUVA 10. Lambda virityksessä käytetty lohkokaavio (6, s. 118).

Kuvan 10 ja suljetun piirin siirtofunktion perusteella lasketaan säädinrakenteen siirtofunktio (Yhtälö 10). Siirtofunktion perusteella valitaan säädintyyppi prosessin säädölle. (6, s. 118.)

$$G_c(s) = \frac{Ts+1}{K(\lambda Ts+1-e^{-sL})} \quad \text{YHTÄLÖ 10}$$

PID-säätimen viritys tehdään usein yksinkertaisilla laskentakaavoilla, kun prosessimalli oletetaan yksinkertaiseksi. Näiden sääntöjen perusteella lasketaan viritysparametrit yksinkertaisten matemaattisten laskutoimitusten avulla. Laskentakaavat määräytyvät prosessin viiveen ja aikavakion välisen suhteen, sekä käytetyn säätimen perusteella. Lambda-virityksen laskentakaavat on esitetty kuvassa 11. (6, s. 122.)



KUVA 11. Lambda-virityksen säännöt (6, s. 122.).

5 SÄÄDÖN PARANTAMINEN

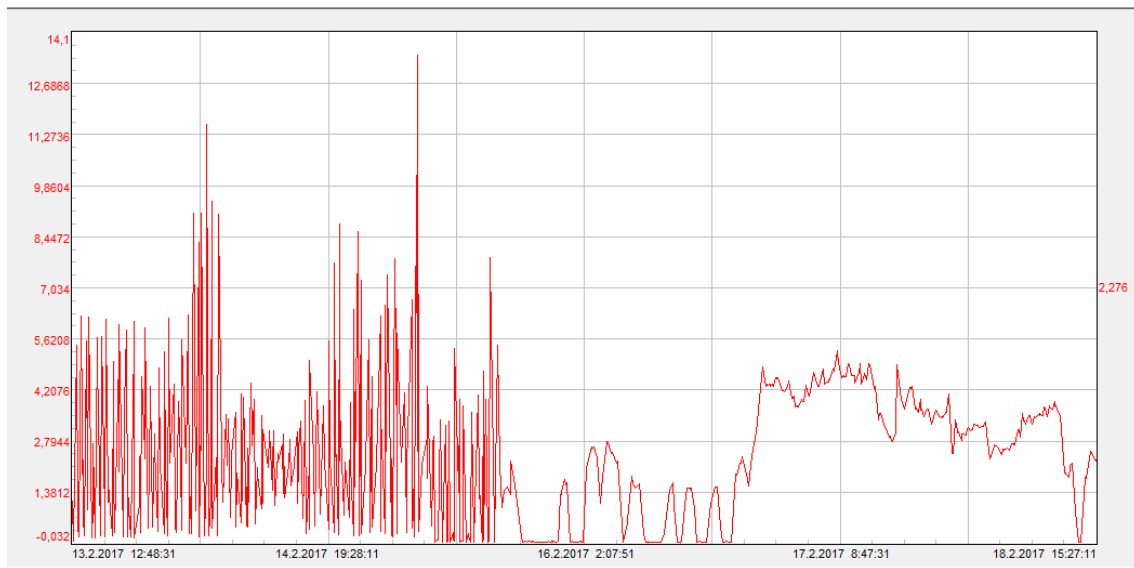
5.1 Kenttäsuunnittelu

Opinnäytetyön aloituspalavereissa ei erikseen mainittu kenttäsuunnittelusta, mutta työn ollessa oppimisprosessi, on siitäkin hyvä kertoa. Kenttäsuunnittelu on myös oleellinen osa uuden laitteen asennusta tai vanhan laitteen purkamista. Myös kunnossapito tarvitsee oleellisesti työssään piirikaavioita ja piirikaavioiden ollessa päivittämättä hankaloituu päivittäinen tekemien huomattavasti. Tässä työssä kenttäsuunnittelua tarvittiin uuden virtausmittauksen asentamiseen, vanhan sakeuslähettimen purkamiseen ja laimennusventtiilin position muuttamiseen.

Ennen työn aloitusta oli mäntysellun annostelulinjassa kolme erilaista sakeusmittausta. Optinen sakeusmittaus ei toiminut prosessissa hyvin, joten se poistettiin annostelulinjasta ja dokumenteista. Optisen sakeusmittauksen vapautunut analogiatulo käytettiin virtausmittaukselle ja näin välttyttiin paljolta asennustyöltä, kun kaapeleita ei tarvinnut tuoda järjestelmästä asti. Aikaisemmin laimennusventtiili oli sakeussäädön position alla, mutta työn myötä siitä tuli virtaussäädön venttiili. Tämän johdosta venttiilin positiotunnus ja -numero vaihtuivat.

Kenttäsuunnitteluun käytettiin ALMA-sovellusta, jolla tehdään suunnittelu-, kunnossapito-, teknisen tiedon ja tapahtumien hallintajärjestelmää ja siihen liittyviä palveluita. Ohjelmalla saadaan luotua piirikaaviot kokonaisuudessaan. Lisäksi ohjelmassa saadaan luotua positiorakenteet oikeanlaisilla tuotteilla, eli virtausmittauksen tyyppiä saadaan sama kuin prosessissa. Ohjelmalla luodaan rakenteet, joille tehdään tarvittavat kytkennät ja erilaiset varaukset, sekä generoidaan piirikaaviot. Piirikaaviot generoidaan dokumenttipohjien avulla. Dokumenttipohjia löytyy ohjelmasta valmiiksi, mutta usein joudutaan luomaan uusi dokumenttipohja, kuten tässä työssä tehtiin. Dokumenttipohjassa on kaavoja, joiden avulla ohjelmasta generoidaan tiedot piirikaavioon. Liitteessä 1 on esitetty virtaussäädön piirikaavio.

Kun virtausmittaus saatiin asennettua ja tuotua järjestelmään, oli mittaus todella häiriöistä ja käytännössä käyttökeltontona. Virtausmittaukselle tehtiin nollakalibrointi useampaan kertaan, mutta tuloksetta. Virtauksen häiriöiseen mittaukseen lopulta oli syynä kytkentävirhe. Kenttäsuunnittelua tehdessä oletettiin liikaa, jonka johdosta mittaus ei toiminut oikein. Yleensä automaatiolaitteissa, joissa kulkee milliampeeritietoa, käytetään häiriösuojausta, joka on yksi johdin ja se kytketään vain toisesta päästä. Kytkentä tapahtuu aina keskukselta päin, jossa häiriösuoja johdetaan maihin. Häiriösuojauksen tarkoituksena on poistaa mahdollisia häiriösignaaleja maihin. Mikäli häiriösuojaus kytketään molemmista päistä, eivät häiriösignaalit pääse purkautumaan maihin. Näin ajateltiin myös virtausmittauksen ja virtauslähettimen kohdalla. Kun manuaalista asiaa tarkemmin katsottiin, oli siellä merkitty, että kaapelin häiriösuoja kytketään molempiin päihin. Näin ollen ei koskaan tulisi olettaa mitään, vaan on parempi tarkistaa asia. Kuvassa 12 on esitetty tilanne, jolloin häiriösuojaus on kytketty molemmista päistä, jolloin mittauksesta saadaan käyttökelpoinen.



KUVA 12. Häiriöinen virtausmittaus.

5.2 Metso DNA -toimilohkoja

Tässä luvussa käydään läpi tässä työssä oleellisia toimilohkoja. Yleensä toimilohkolla on monta erilaista käyttötapaa ja paljon kytkettäviä tietopisteitä, joten

tarkoituksena on käydä toimilohkojen toiminta läpi kuten ne tässä työssä toimivat.

5.2.1 PID-toimilohko

Säädintoimilohkolla muodostetaan asetusarvon (spa) ja mittauksen (me) perusteella ohjausviesti (con). Tässä työssä ohjausviestillä ohjataan säätöventtiiliä. Toimilohkolla pyritään ohjauksen avulla pitämään mittaus asetusarvon suuruisena häiriöstä riippumatta. (5.)

Säädintä voidaan käyttää joko käsi- tai automaattiohjauksella. Käsiohjauksella syötetään lähdön arvo käsin valvomosta ja automaattiohjauksella lähdön arvo lasketaan mittauksen, aktiivin asetusarvon ja myötäkitykentäkanavan perusteella. Lähdön periaatteellinen laskentakaava on yhtälön 11 mukainen. (5.)

$$con = K_p * \left(e + \frac{T_s}{t_i} \int e dt + td \frac{dme}{dt} \right) + K_{ff} * m_{ff} * bias \quad \text{YHTÄLÖ 11}$$

missä

K_p = k_p -viritystermi

e = eroarvo = $sp-me$

T_s = ohjelman suoritusväli

t_i = T_i -viritystermistä riippuva kerroin

td = T_d -viritystermistä riippuva kerroin

me = mittaus

K_{ff} = K_{ff} -viritystermi, myötäkitykentäkanavan vahvistuskerroin

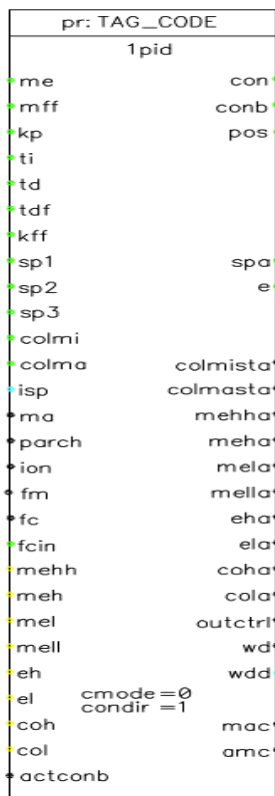
m_{ff} = myötäkitykentäkanavan tulo

$bias$ = biasointiparametri, eli ohjauksen perustaso

Eroarvon suora vahvistus ohjaukseen on k_p . Jos eroarvo muuttuu 100 %, eli koko mittausalueen muutoksen, aiheuttaa P-termi lähtöön 100 % muutoksen vahvistuksen ollessa 1,0. Mikäli k_p on 2,0, on muutos periaatteessa 200 %, mutta se rajoitetaan ohjausalueelle. (5.)

Integrointiainkavakiolla kuvataan nopeutta, jolla erosuuretta ajetaan kohti nollaa. Erosuureen muuttuessa 100 % aiheuttaa I-termi ohjaukseen k_p :n arvolla 1,0 ja t_i :n arvolla 10,0 s ohjaukseen 100 % muutoksen 10 sekunnissa. (5.)

k_{ff} on suora vahvistus myötäkannavan mittauksesta ohjaukseen. Jos myötäkannavan tulo muuttuu 100 %, aiheuttaa se ohjaukseen k_{ff} :n 1,0 100 %:n muutoksen. (5.)



KUVA 13. PID-toimilohkon piirrosmerkki (5).

Kuvassa 13 on esitetty PID-toimilohkon piirrosmerkki. Seuraavaksi käydään läpi kytkettäviä tietoja, joita tämän työn yhteydessä on käytetty ja kytketty.

kp

P-termin vahvistuskerroin, joka on analogiatulo ja mittaus- ja lähtöalueesta riippumaton kerroin.

ti

Integrointiaika, joka on analogiatulo ja mittaus- ja lähtöalueesta sekä moduulin suoritusvälistä riippumaton kerroin.

kff

Myötäkytkentäkanavan vahvistuskerroin, joka on analogiatulo, ja se on myötäkytkentäkanavan ja lähdön alueesta riippumaton kerroin.

me

Analogiamittaus, jonka alaraja määritellään parametrilla *memi* ja yläraja parametrilla *mema*.

mff

Analogiatulo, jossa määritellään myötäkytkentäkanava. Alaraja määritellään parametrilla *ffmi* ja yläraja parametrilla *ffma*.

sp1 ja sp2

Analogiatuloja, joihin määritellään säätimen asetusarvot. Säätimen kannalta kaikki asetusarvot ovat samanlaisia, mutta yleisesti *sp1*-tuloa käytetään *local*-ohjauksella ja *sp2*-tuloa *remote*-ohjauksella.

conb

Analogiatulo, joka kuvaa takaisinluettua ohjausta. Takaisinluettu arvo on lähdön *con* alkuarvo kaikissa vaihtotilanteissa. *conb*-tulon tulevien vikabittien avulla tulkitaan toimilaittevat ja paikallisohjaustilanteet.

parch

Binääritulo, jolla aktivoidaan uusien parametrien (kp, ti, td, kff) muutokset. Aktivoimisen jälkeen tulo asetetaan tilaan epätos = 0. On otettava huomioon, että suorituskiirroksilla, joilla parametrit aktivoidaan, ei suoriteta normaalia säätölaskentaa. Edellä mainitusta syystä johtuen liian tiheä parametrien vaihto estää PID-säätimen normaalin toiminnan. Mikäli parametrit muutetaan ohjelman jokaisella suorituskerralla, aiheuttaa se säätimen lähdön jäätyksen.

amc

Binääritulo, jolla sallitaan auto/käsi-vaihto.

mac

Binääritulo, jolla sallitaan auto/käsi-vaihto.

fc

Binääritulo pakko-ohjaukselle. Tulon ollessa yksi, kopioidaan tulon *fcin* arvo lähtöön *con*.

fcin

Analogiatulo, jolla määritellään pakko-ohjauksen suuruus. Tuloa voidaan käyttää myös turvatilatoiminnon yhteydessä turvatila-arvona.

pos

Analogiatulo, jolla saadaan näytettyä valvomoon toimilaitteen asentotieto. Usein ja myös tässä työssä kytketään samaan tuloon kuin *conb*.

mehh, meh mel ja mell

Liukulukutyypinen tulo joihin määritellään mittauksen ylempi ylähälytysraja, ylärajahälytys, alarajahälytys ja alempi alarajahälytys.

eh ja el

Liukulukutyypinen tulo, jolla määritellään eroarvon ylä- ja alarajahälytykset.

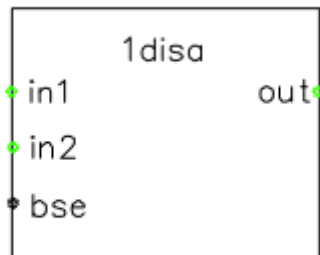
coh ja col

Liukulukutyypinen tulo, jolla määritellään ohjauksen ylä- ja alahälytysrajat.

Ainoa kytketty lähtö on *con*, joka on analogialähtö ja säätimen ohjaus. Sen alaraja määritellään parametrilla *comi* ja yläraja parametrilla *coma*. (5.)

5.2.2 Disa-toimilohko

Toimilohkolla pystytään toteuttamaan valinta kahden eri analogiatulon välillä. (5.)

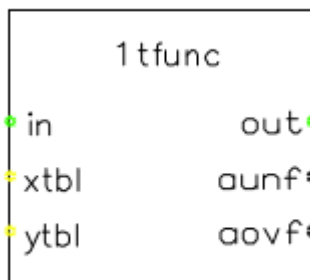


KUVA 14. Disa-toimilohkon piirrosmerkki (5).

In1 ja *in2* ovat analogiatuloja ja binääritulolla *bse* perusteella toinen tulo kopioidaan lähtöön. Kun tulo *bse* on 0, kopioidaan analogiatulo *in1* ja kun *bse* on 1, kopioidaan analogiatulo *in2* lähtöön. (5.)

5.2.3 Tfunc-toimilohko

Taulukkokomponentti-toimilohkolla pystytään muodostamaan 1-ulotteinen taulukko, josta lähtöviesti luetaan sisääntulon funktiona. Tässä työssä kyseistä toimilohkoa käytetään yläsäätimen ohjauksen (0–100 %) skaalaamista alasäätimelle sopivaksi (0–20 l/s). Taulukon minimi koko on 2 alkia ja taulukkoarvojen väliin jäävät arvot lasketaan lineaarisen suoran avulla. (5.)



KUVA 15. Tfunc-toimilohkon piirrosmerkki (5).

Kuvassa 15 on esitetty taulukkofunktiotoimilohkon piirrosmerkki ja seuraavaksi käydään läpi kytkettäviä tuloja. Toimilohkon lähtö on normaali analogialähtö.

in

Analogiatulo, johon määritellään argumentti, jolla funktion arvo lasketaan.

xtbl

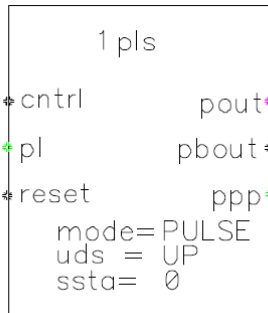
Liukuluku-tulo, johon määritellään argumentin arvot. Paikallisella tietopisteellä määritellään taulukon koko ja ulkoisilla tietopisteillä määritellään nousevasti argumenttien arvot. Huomioitavaa on, että x- ja y-taulukoiden tulee olla yhtä suuria.

ytbl

Liukuluku-tulo, johon määritellään funktion alkuarvotaulukko. Taulukon koko ja funktion arvot määritellään samalla tavalla kuin tulossa *xtbl*.

5.2.4 Pls-toimilohko

Pulssitoimilohkolla voidaan joko muodostaa pulsseja tai viiveitä. Viiveiden ja pulssien kesto on konfiguroitavissa. Tässä työssä toimilohkoa on käytetty viive-toimilohkona, joten sen toimintaa tarkastellaan siltä osin. (5.)



KUVA 16. PLS-toimilohkon piirrosmerkki (5).

Kuvan 16 mukaiselle toimilohkolle pitää määrittellä aluksi sen toimintaan vaikuttavia tietoja.

mode

Valitaan, onko toimilohko pulssi- tai viivetoimilohko, eli moodin valinta. Valitaan kirjoittamalla parametriin *PULSE* tai *DELAY*.

uds

Parametri jolla määritellään, aloitetaanko pulssi/viive ohjaustulon *cntr* nousevasta vai laskevasta reunasta.

0 = liipaisu nousevasta reunasta

1 = liipaisu laskevasta reunasta

ssta

Lähdön lepotila, joko 0 tai 1

Toimilohkon tulot on esitetty seuraavaksi, toimilohkon lähtö on binäärilähtö.

Tulot

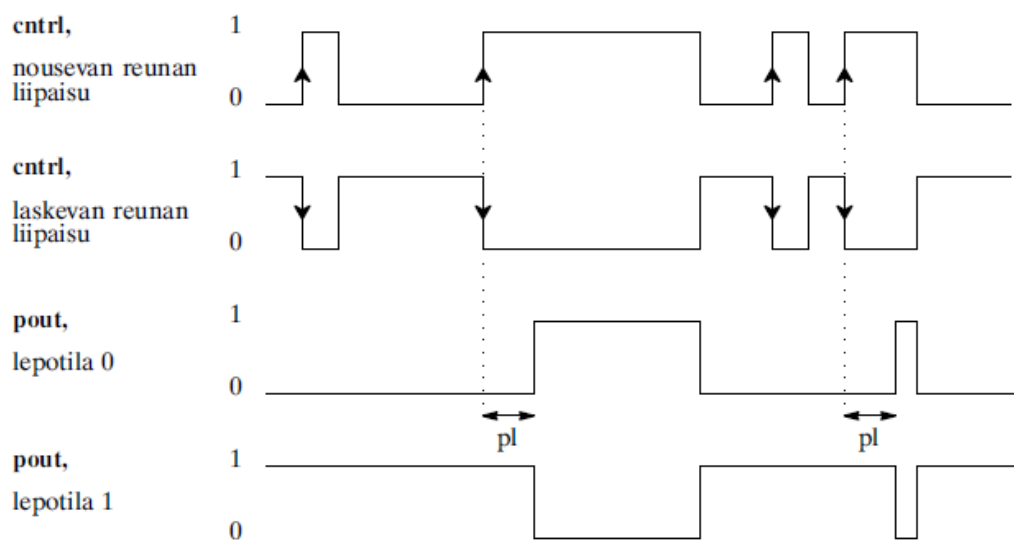
cntr

Binääritieto, ohjaus. Parametrin *uds* mukainen muutos (nouseva/laskeva reuna) käynnistää pulssin/viiveen.

pl

Analogiatulo, johon määritellään pulssin/viiveen pituus sekunneissa. (5.)

Viivemoodilla toimilohko vie ohjelman ensimmäisellä suorituskierroksella (initialisointikierroksella) lähtöön *pout* lepotilan *ssta* mukaisen arvon. Normaalilla suorituskierroksella lähtö pysyy lepotilassa, jos ohjaustulossa ei tapahdu haluttua nousevaa tai laskevaa reunaa. Kun ohjaustulossa tapahtuu *uds*:n mukainen muutos, muuttuu lähtö *pout* lepotilan *ssta* mukaisesta arvosta vastakkaiseksi tulon *pl* määräämän ajan kuluttua. Kuvassa 17 on esitetty viivemoodin toimintakaavio. (5.)



KUVA 17. Viivemoodin toimintakaavio (5).

Viiveen aikana saapuvat tulon *pl* muutokset eivät vaikuta viiveen pituuteen. Kun viive on kulunut, asetetaan lähtö *pout* lepotilaan. Tulon *cntr* palautuessa alkutilaansa viiveen aikana ei lähdössä tapahdu muutosta. (5.)

5.3 Lähtötilanne

Ennen työn suorittamista oltiin tilanteessa, jossa laimennusvesiventtiilin säätö ei ollut tehokasta. Käyttäjä asetteli halutun sakeuden asetusarvon PID-säätimelle, joka on 3–5 % alueella. PID-säädin oli viritetty hitaaksi, sillä laimennusvesiputken koko on suuri ja pienellä venttiilin asennon muutoksella tapahtuu virtauksessa iso muutos. Säädön ollessa hidas ja laimennusveden virtauksen ollessa hieman arvoituksellinen huojuu sakeus pitkän aikaa. Myös laimennusveden linjassa tapahtuvat paineen vaihtelut muuttavat virtausta ja tähän reagoidaan vasta sen vaikuttaessa jo sakeuteen. Tällainen häiriö ehti vaikuttaa sitten jo jauhatukseen ja sitä kautta paperin laatuun. Sakeuden säädössä ei myöskään oteta mitenkään huomioon muuttuvaa tuotantomäärää. Paksummat paperilajit vaativat luonnollisesti enemmän massaa ja paperikoneen pyöriessä nopeampaa kuluu massaa myös nopeammin.

Kartiojauhimilla jauhatus on jatkuva prosessi, eikä nopeisiin prosessivaihteluihin pystytä vaikuttamaan. Jauhatussakeuden nosto parantaa lujuuksia ja suositeltavaa on pitää sakeus alueella 4–5 %. Jauhatukselle tehdään 15 minuutin välein säätökorjausta suotautuvuusanalysointin mittauksen perusteella, ja jos tällöin sakeus ei ole ollut asetusarvossaan tai sakeus muuttuu, annetaan jauhimelle huonoa säätökorjausta. Jos massa on liian laimeaa, jauhetaan massaa liikaa, jolloin kuidut katkeilevat ja esimerkiksi kuidun ulkoinen fibrillaatio heikenee. Kun taas massa on liian sakeaa, ei kuituja saada jauhettua tarpeeksi, jolloin kuiduista ei tule karheita ja tarttumaominaisuudet huononevat.

Mäntysellun annostelulinjassa on käytössä kaksi sakeuden mittausta, leikkausvoimamittari (Iapa) ja mikroaaltomittari (MCA). Käyttäjä pystyy valitsemaan käytettävän mittauksen. Mittauksen valinta on tehty ohjelmassa kokonaan omalle sivulle. Mittaukselle tehdään nollakorjaus ja aluekorjaus, jotta PID-säätimelle saadaan oikeita arvoja. Jos mittaus toimii huonosti tai on muodostunut vikatilanne, on säätimelle mahdollista syöttää käsin haluttu arvo. Mäntysellun annostelun sakeutta säädetään 2–4 % välillä. Mikäli mäntysellun annostelupumppu pysähtyy, syötetään säätimelle vakioarvoa, joka tässä tapauksessa on 2. Pum-

pun pysäytyksestä käynnistetään myös kahden sekunnin viive, jonka jälkeen säädin laitetaan pakko-ohjaukselle. Pakko-ohjauksen arvoksi on laitettu nolla, jolloin venttiili ajetaan kiinni. Kun piiri käynnistyy tai se ladataan uudelleen, laitetaan säädin pakko-ohjaukselle, mikäli mäntysellun annostelun syöttöpumppu on pysähtyneenä. Sakeusmittausta verrataan myös hylkyjauhimen kuormitusrajaan, ja sen ollessa pienempi kuin kuormitusraja on tilanne normaali. Sakeuden noustessa yli kuormitusrajan viedään siitä tieto toiseen piiriin. Sakeuden ja hylkyjauhimen kuormitusrajan vertailu on tehty ohjelmassa omalle sivulle. Liitteessä 2 on esitetty ohjelmakuvat ennen säädön parantamista.

5.4 Säädön parantaminen

Säädön parantamisella on tarkoitus saada sakeus pysymään tasaisempana. Opinnäytetyön aloituspalaverissa sovittiin, että tehdään kaskadikytkentä, jossa sakeussäädin ohjaa virtaussäädintä. Näin ollen voidaan venttiiliä ohjaava säädin virittämään nopeammaksi, jolloin laimennusveden virtaus saadaan tasaisemmaksi. Tällöin sakeussäädin toimii yläsäätimeksi ja virtaussäädin toimii alasäätimeksi. Säädön parantamiseen on tarkoitus myös käyttää myötäkytkentää, jolloin muuttuviin virtauksiin pystyttäisiin reagoimaan paremmin. Myötäkytkennän tehokkaan toimimisen takaamiseksi tulisi myötäkytkentäkanavaan saada sellainen tieto, joka on prosessissa ennen sakeussäätöä. Tällainen tieto voi esimerkiksi olla paperilajin tieto. Muuttuvan paperilajin takia sakeussäätimelle on myös tarkoitus tehdä muuttuvat viritysparametrit. Suuremmilla virtauksilla tulisi virtaussäätimen toimia räväkämmin, kun taas pienemmillä virtauksilla saadaan haluttu lopputulos rauhallisemmalla säädöllä.

5.4.1 Sakeussäätö

Muutosta ohjelmapuolella tehtiin PID-säätimen kytkentöihin. Sakeuden mittaukselle ja sen nolla- ja aluekorjauksiin ei tehty minkäänlaisia muutoksia. Heti alussa oli tarkoitus tehdä muokatuista ohjelmista sellaiset, että tarvittaessa pystytään helpoin muutoksin palaamaan lähtötilanteeseen. Kun voidaan tarvittaessa palaamaan alkuperäiseen toimintaan, voidaan hyvin testata ja virittää säätimiä.

PID-säädin vaihdettiin isompaan, jolla tarkoitetaan, että toimilohkossa on enemmän kytkettäviä tuloja ja lähtöjä. Aikaisemmin PID-säätimen ohjaus (*con*) kytkettiin analogialähtökorttiin, mutta nyt se vie tietopisteen kautta virtaussäätöpiirille. Säädin vaatii takaisinkytkennän tuloihin *conb* ja *pos*. Virtaussäätöpiiristä saadaan analogialähtökortilta takaisinkytkentä ja *fbor-toimilohkolla* analogiatiedosta otetaan käyttöön vain vikatiedot, jolloin säätimelle saadaan vietyä tietoa venttiilin häiriöstä. PID-säätimen myötäkytkentäkanavaan (*mff*) tuodaan tietoa mäntysellun annostelun asetusarvosta, jolla pyritään reagoimaan muuttuvaan tuotantomäärään, ennen kuin jauhatukseen menevän massan määrä muuttuu. Tällöin onnistutaan reagoimaan muuttuvaan tuotantomäärään ja mäntysellun sakeus saadaan pidettyä tasaisempaan. Myötäkytkentäkanavan vahvistuskerroin eli voimakkuus määritellään tulossa *kff*. Mikäli sakeussäätöä halutaan ajaa vanhalla mallilla, syötetään kertoimeksi nollaa, jolloin myötäkytkennän vaikutus häviää. Liitteessä 3/1 on esitetty sakeussäätimelle tehdyt uudet ohjelmakuvat.

Sakeussäätöpiiriin tehtiin kokonaan uusi sivu, jossa määritellään sakeussäätimelle parametrit muuttuvan tuotantomäärän mukaan. Mäntysellun annostelun mittaus (kg/s) vertaillaan haluttuun arvoon, jolla määritellään, onko kyseessä suuri tai pieni tuotantomäärä. Tämän vertailun perusteella on määritelty hitaat ja nopeat parametriarvot (K_p ja T_i). Kun mäntysellun annostelu kasvaa yli vertailupisteen, siirrytään nopeaan säätöön ja annostelun ollessa alle vertailupisteen on käytössä hidas säätö. PID-säätimen parametrimuutokset pitää aktivoida ja se tapahtuu tuotantomäärän vertailulla. Kahdella viivetoimilohkolla jotka reagoivat laskevan ja nousevan reunan muutokseen, saavat aikaan halutun mittaisen viiveen. Parametrien asettelulle halutaan viivettä, sillä tuotantomäärän huojuessa vertailupisteen molemmiin puolin vaihtuisivat parametriarvot jatkuvasti. Lisäksi ohjelman suorituskerralla, jolla parametrit aktivoidaan, ei suoriteta normaalia säätölaskentaa. Tämä tarkoittaa sitä, että pahimmassa tapauksessa säädin ei säätäisi ohjausta ollenkaan, vaan vaihtelisi parametriarvoja edestakaisin. Hitaan ja nopean säädön asettelu voidaan kuitenkin ohittaa, jos halutaan käyttää säädintä vanhalla mallilla. Virtaussäätöpiiristä tulevalla säädön valinnan

tiedolla ja valintatoimilohkojen avulla viedään säätimelle vanhat parametrit. Samalla säädön valinnalla asetetaan myötäkylmäkanavan vahvistuskerroin arvoon 0. Liitteessä 3/2 on esitetty sakeussäädön parametrien valinnan ohjelma-kuvat.

5.4.2 Virtaussäätö

Virtaussäätöpiiri lähdettiin rakentamaan ihan tyhjältä pöydältä, sillä aikaisemmin minkäänlaista virtaussäätöä ei ollut. Analoginen virtausmittaus tuodaan suoraan PID-säätimelle mittaus-tuloon (*me*), virtausmittauksen alue on 0–20 l/s. Sakeussäätimeltä tuleva ohjaus on 0–100 % ja virtaussäätimelle halutaan asetusarvon olevan samalla alueella, kuin mittauksen eli 0–20. Sakeussäätimen ohjaus skaalataan PID-säätimelle sopivaksi taulukon avulla. Taulukon x-akselille määritellään sakeussäätimen pienin ja suurin arvo, eli 0 ja 100, y-akselille vastaavasti virtauksen pienin ja suuri arvo eli 0 ja 20. Näin saadaan muutettua sakeussäätimen ohjaus virtaussäätimelle sopivaksi. Paikallisella tietopisteellä, joka suoritetaan vain ohjelman ensimmäisellä suorituskerralla, määritellään molemmille taulukon sarakkeille, kuinka monta riviä sarakkeessa on. Tässä tapauksessa molemmilla sarakkeilla on kaksi riviä eli suurin ja pienin arvo. Tämä sakeussäätimen skaalattu ohjaus viedään virtauksen PID-säätimen asetusarvoksi.

Virtaussäätimen ollessa remotella, eli käytetään asetusarvokanavaa *sp2*, kopioidaan asetusarvoa asetusarvokanavaan *sp1*. Näin ollen jos säädin laitetaan localille, ei säätimen asetusarvo tee isoa hyppyä arvosta toiseen. Virtaussäädin asetetaan *remote*-tilaan ja automaatille, mikäli sakeussäädin poistuu pakko-ohjaukselta tai sakeussäädin asetetaan automaatille. Asettelujen liipaisu tapahtuu ehdon nousevasta reunasta.

Virtauksen PID-säätimen lähtö viedään valintatoimilohkon kautta venttiilin lähtökorttiin. Valintatoimilohkolla pystytään halutessa ohittamaan virtauksen PID-säädin, eli ajetaan sakeussäätöä vanhalla mallilla. Säädön valinta (vanha tai uusi säätö) tehdään paikallisen tietopisteen kautta ja siitä viedään tieto myös

sakeussäätöpiirille. Kun halutaan ajaa säätöä vanhalla mallilla, viedään sakeussäätimen tieto suoraan venttiilin lähtökorttiin, eli virtaussäädin ohitetaan. Säädön ollessa vanhalla mallilla laitetaan virtaussäätimen PID-säädin pakko-ohjaukselle ja pakko-ohjauksen arvoksi on määritetty nolla, jolloin säädin ei tee turhia ohjauksia virtauksen muuttuessa.

Säätimen pakko-ohjausta olisi periaatteessa voinut parantaa siten, että säätimen ollessa pakko-ohjauksella seuraa virtaussäätimen ohjaus sakeussäätimen ohjausta. Tällaisella ohjauksen seuraamisella vältetään isoilta ohjauksen muutoksilta, joka rasittaisi toimilaitetta huomattavasti. Tällainen ohjauksen seuranta jätettiin tekemättä, sillä säädön valinta on tehty vain viritysten ja testailujen takia. Työtä tehdessä saatettiin välillä käyttää uutta säätötapaa päällä, mutta kuitenkin haluttiin testailujen ja viritysten jälkeen palata vanhaan säätötapaan, jotta säädön toimintaa ei tarvitse valvoa koko päivää. Työn tavoitteena kuitenkin on, että säädön valintaa ei tarvita. Sakeussäädön toimiessa kaskadikytkentänä tuodaan laimennusveden virtaussäädölle asetusarvo sakeussäätöpiirin PID-säätimeltä ja virtaussäädön PID-säädin saa mittauksen virtausmittauksesta.

Ohjelmassa on lisäksi virtaukselle am-toimilohko (analogiamittaustoimilohko), joka on tehty siinä vaiheessa, kun virtausmittari asennettiin. Näin saatiin jo siinä vaiheessa kerättyä tietoa siitä, kuinka virtaus käyttäytyy, ja myös siitä että mitaus toimii. Virtaussäätimen ohjelmakuva on esitetty liitteessä 4.

6 ASKELVASTEKOKEET JA VIRITYS

6.1 Virtaussäätimen viritys

Askelvastekoetta aloitettaessa oltiin tilanteessa, jossa mäntysellun annostelusäiliö oli tyhjä ja laimennusvesiventtiili oli kiinni. Yläsäädin eli sakeussäädin ja alasäädin eli virtaussäädin laitettiin manuaalille. Virtaussäätimen ohjausta muuteltiin erisuuruusin askelin ja aina muutosten välissä odoteltiin, että virtaus tasoittuu. Askeleita tehdessä huomattiin, että venttiilin ollessa auki 50 % saavutti virtausmittaus jo ylärajansa eli 20 l/s. Tässä kuvastuu hyvin se, että laimennusvesilinjan putki tai venttiili on aivan liian iso. Useimmilla säätöventtiileillä optimaalinen toiminta-alue on 50–80 % alueella, kuten segmenttiventtiilillä, jota tässä työssä käytettiin. Askeleita suoritettiin taulukon 1 mukaisesti.

Ohjaus
10 %
20 %
40 %
60 %
40 %
20 %
10 %
30 %
50 %
30 %
45 %
10 %
45 %

TAULUKKO 1. Askelvastekokeen askeleet virtaukselle.

Taulukon 1 askelista säätimen viritukseen valittiin askeleet 10–20 %, 20–40 % ja 10–30 %.

Tehdyistä askeleista määriteltiin viive L , aikavakio T ja vahvistus K . Edellä mainitut arvot määriteltiin kuvan 9 mukaisesti. Poikkeuksena on kuitenkin vahvistus, joka Metso DNA:ssa lasketaan mittausignaalin prosentuaalisesta muutoksesta mitta-alueen ylärajasta ja ohjaussignaalin prosentuaalisen muutoksen suhteeseen.

ta. Esimerkkinä jos ohjaus muuttuu 20 % ja mittaus tämän johdosta kasvaa 0 l/s -> 10 l/s. Mitta-alueen ollessa 0–20 l/s on mittaus muuttunut 50 % ja näin vahvistukseksi saadaan 2,5. Taulukossa 2 on esitetty askelvastekokeissa saadut malliparametrit.

Askel	K	T	L	λ
10->20 %	1,08	3,8 s	2 s	7,6 s
20->40 %	2,69	3,5 s	2 s	7 s
10->30 %	1,67	5 s	2 s	10 s

TAULUKKO 2. Askelvastekokeen malliparametrit virtaussäädölle.

Kun viritykseen tarvittavat parametrit ovat selvillä, saadaan kuvan 11 mukaisella kaaviolla laskettua säätimelle viritysparametrit. Kaaviota luettaessa edetään aluksi kysymykseen, onko prosessi integroiva vai ei. Sakeuden ja virtauksen tapauksessa kyseessä on ei-integroiva prosessi. Sitten vertaillaan onko viive likimain aikavakio, tai onko viive iso, tai onko aikavakio iso. Kaikissa tehdyissä askelvastekokeen askeleissa viive on likimain aikavakio, jolloin päädytään tilanteeseen, jossa oletettavasti toimiva säädin on PI- tai PID-säädin. Säätimeksi valittiin PI-säädin, sillä prosessin nopeus ei tarvitse PID-säädintä. Näin saadaan kaavat, joilla pystytään laskemaan virtaussäätimelle viritysparametrit. Lambda-irityksessä oleellinen osa on viritysparametri *lambda* (λ). Lambdan arvo virtaussäätimelle valitaan kaksi kertaa suuremmaksi verrattuna avoimen säätöpörrin aikavakioon. Seuraavana on esitetty esimerkki säätimen viritysparametrien laskennasta. Esimerkki on askeleesta 10–30 %, joten samalla on esitetty käytössä olevien viritysparametrien laskenta.

$$k_p = \frac{T}{K * (\lambda + L)} = \frac{5s}{1,67 * (10s + 2s)} = 0,25$$

$$T_i = T = 5 s$$

Liitteessä 5 on esitetty askelvastekokeen askeleet ja taulukossa 3 on esitetty saadut parametrit kussakin askeleessa. Liitteessä 4 esitetyissä askeleissa on merkattu pystyviivoilla askeleen aloituskohta, mittauksen muutoksen aloituskohta, 63 % muutos mittauksen loppuarvosta ja mittauksen loppuarvo.

Askel	kp	Ti
10->20 %	0,37	3,8 s
20->40 %	0,15	3,5 s
10->30 %	0,25	5 s

TAULUKKO 3. Virtaussäätimen viritysparametrit.

Virtaussäätimelle valitaan vain yhdet viritysparametrit ja säätimelle laitettiin askeleen 10–30 % parametrit. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä askeleessa laimennusveden virtaus on parhaiten samalla alueella, kuin tuotannollisessa tilanteessa. Askeleessa virtaus lähtee käytännössä nolasta ja virtauksen suurin arvo on 7 l/s. Tuotannollisessa tilanteessa vanhalla mallilla laimennusveden virtaus menee todella harvoin yli 7 l/s ja sekin saattaa johtua säädön hitaudesta.

6.2 Sakeussäätimen viritys

Virtaussäätimen viritykseen verrattuna lähtötilanne oli erilainen. Testit suoritettiin jauhatusprosessin ollessa käynnissä, kun taas virtaussäätimen virityksen kanssa ei tuotantoprosessi ollut käynnissä ollenkaan. Testi aloitettiin muuttamalla sakeuden asetusarvoa, jotta nähdään kuinka paljon säätimen ohjaus muuttui. Näin haarukoitiin ohjaus, jolla voidaan ohjata laimennusventtiiliä ilman että sakeus vaihtelee liikaa ja testi ei vaikuta tuotantoon liikaa. Kokeilujen pohjalta selvisi, että säätimen ohjausta pystyttiin ilman ongelmia muuttamaan 30–60 % välillä. Edellä mainituilla säätimen ääriarvoilla sakeus vaihteli 3,3–3,8 % välillä ja ohjelmalliset rajat sakeudelle on 2,8 % ja 4 %. Testissä suoritettiin taulukon 4 mukaisia askeleita.

Ohjaus	Sakeus
55->45 %	3,45->3,6 %
45->30 %	3,6->3,8 %
30->60 %	3,8->3,4 %
60->30 %	3,4->3,8 %

TAULUKKO 4. Askelvastekokeen askeleet sakeudelle.

10 % ja 15 % ohjauksen muutoksissa ei suurta sakeuden muutosta tapahtunut ja askelvastekokeessa on tarkoitus tehdä mahdollisimman suuri askel. Näin ollen viritykseen valittiin askeleet, joissa tehtiin 30 % muutos molempiin suuntiin.

Sakeuden mittaus on todella huojuvaa, ja testien aikana historiatietoa kerääväle ohjelmalle täytyi asettaa mittausdatalle suodatusta. Sakeuden mittaukselle asetettiin 10 sekunnin keskiarvo, jotta säädin saadaan kohtuudella viritettyä. Sakeuslähettimellä voidaan asettaa suodatus. Lähtötilanteessa lähettimelle oli aseteltu 5 sekunnin suodatus, joka muutettiin 20 sekunnin suodatukseksi. Häiriöllisellä mittauksella ei saada todellista kuvaa prosessista, jolloin säätö ei ole tehokasta.

Sakeuden askelvastekokeesta tulee määrittellä malliparametrit samalla tavalla kuin virtauksen virityksen kanssa. Sakeusprosessi käyttäytyy paljon hitaammin ja rauhallisemmin kuin virtaus, eikä suuria muutoksia mittauksissa tapahdu. Vahvistuksen määrittäminen tapahtuu ihan samalla tavalla kuin virtaussäätimen kanssa. Viivettä ei kuvaajasta näe, joka todennäköisesti johtuu suodatuksesta ja mittauksen huojumisesta. Viiveeksi valittiin sama lukema kuin virtaussäätimellä. Aikavakion määrittäminen tehtiin asettumisajan perusteella, sillä 63 % määrittäminen nousujan kohdalta ei käytännössä onnistunut, sillä sakeuden muutos oli niin pieni. Näin ollen kun tiedetään asettumisaika, pystyttiin määrittämään prosessin aikavakio. Taulukossa 5 on esitetty askelvastekkeen malliparametrit.

Askel	K	L	T	Λ
30->60 %	0,7	2 s	30 s	50 s
60->30 %	0,73	2 s	30 s	50 s

TAULUKKO 5. Askelvastekokeen malliparametrit sakeussäädölle.

Kun malliparametrit olivat määritetty, voitiin lambda-virityskaavion (kuva 11) mukaan laskea säätimelle viritysparametrit. Samalla periaatteella, kuin virtauksen kanssa selvitetään onko prosessi integroiva vai ei ja viiveen ja aikavakion suhdetta. Tässäkin tapauksessa prosessi on ei-integroiva, mutta kyseessä on

ison aikavakion prosessi. Seuraavaksi valitaan käytetäänkö P-, PI- vai PID-säädintä, sillä jokaisessa laskentakaavat ovat hieman eroavaisia. Tässä työssä valitaan PI-säädin. Kuten aikaisemmin on mainittu, säädön oleellinen parametri on lambda (λ). Koska kyseessä on kaskadikytkentä, tehdään yläsäätimeistä noin viisi kertaa hitaampi, kuin alasäätimeistä ja tämä hitauden määrittäminen tapahtuu lambda:n avulla. Tämän perusteella valitaan sakeussäätimen suljetun piirin nopeudeksi viisi kertaa virtaussäätimen suljetun piirin nopeus eli suljetun piirin aikavakio.

Seuraavaksi on esitetty askeleen 30->60 % viritysparametrien laskenta. Näitä parametreja käytetään myös säätimellä, mutta toisen askeleen mukaan lasketut parametrit eroavat todella vähän toisistaan.

$$k_p = \frac{T(2\lambda + L)}{K * (\lambda + L)^2} = \frac{30s * (2 * 50s + 2s)}{0,70 * (50s + 2s)^2} = 1,62$$

$$T_i = 2 * \lambda + L = 2 * 50s + 2s = 102s$$

Liitteessä 6 on esitetty askelvastekokeen askeleet ja taulukossa 6 on esitetty saadut parametrit molemmista askeleista.

Askel	kp	Ti
30->60 %	1,62	102
60->30 %	1,55	102

TAULUKKO 6. Sakeussäätimen viritysparametrit.

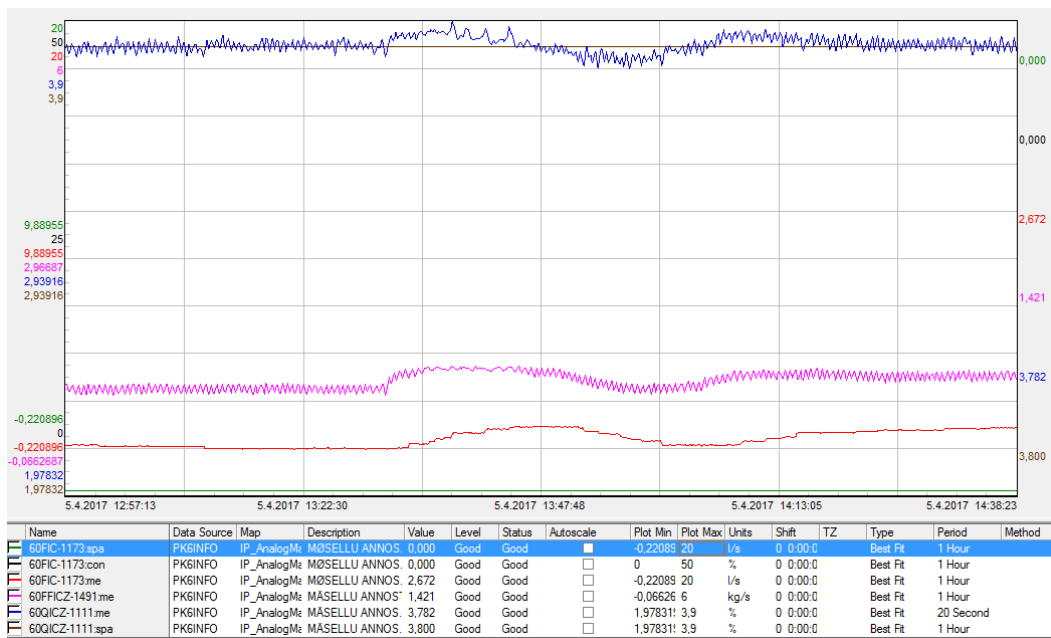
Tehtyjen askeleiden mukaan tehdyt viritykset eivät tuottaneet suurta eroa viritysparametreissa. Yläsäätimen on tarkoitus olla hidas (5 kertaa alasäädintä hitaampi) ja yläsäätimenä käytetään PI-säädintä. Tässä tapauksessa myös mittauksen huojunta ja mittaushäiriöt tekevät virityksestä epätarkemman, koska mitausta joudutaan suodattamaan aika paljon.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tehdä eri viritysparametrit eri tuotantomäärille. Ajatuksena oli, että suurilla tuotantonopeuksilla sakeussäädin toimisi nopeammin ja toisin päin. Kuitenkaan paperilaji ei suoraan vaikuttanut mäntysellun annostelun määrään eli tuotantomäärään. Työn aikana ei ollut mahdollisuutta tehdä sa-

keussäätimelle askelvastekokeita männyn annostelun ollessa suuri. Hetket jolloin mäntyä annostellaan enemmän, ovat yleensä lyhyitä, ja seurannasta huolimatta ei sellaisella hetkellä pystytty syystä tai toisesta askelvastekokeita tekemään. Tuotantomäärän vaihteluun vaikuttavat eniten massan annostelun suhteet eli missä suhteessa eri puulajien massoja ajetaan. Annostelusuhdetta säädetään massatilanteen mukaan ja myös koneen annostelijoilla saattaa olla eri annostelusuhteita eli vuorosta riippuen saatetaan mäntysellua ajaa enemmän tai vähemmän. Myös hylkytilanne vaikuttaa oleellisesti annostelusuhteeseen.

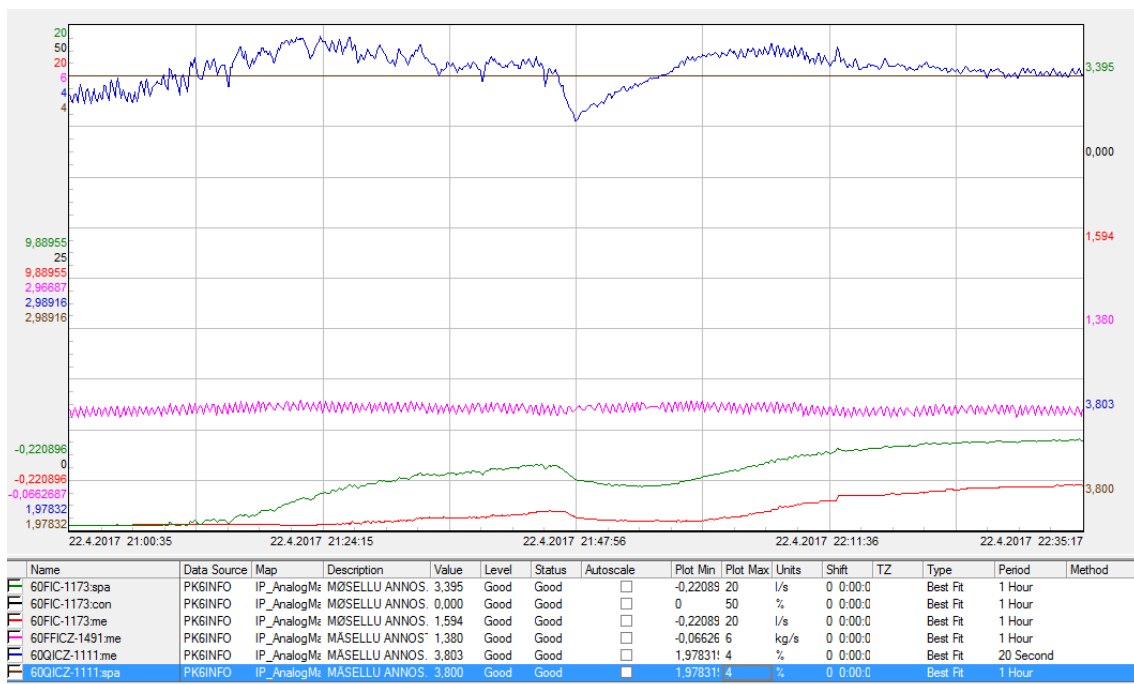
7 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa mäntysellun jauhatuksen sakeussäätöä. Lähtötilanteessa sakeuden säätö oli todella hidaskas, sakeus teki todella paljon huojuntaa ja sillä ei pystytty reagoimaan hyvin prosessissa tapahtuviin muutoksiin. Esitetyissä kuvissa sakeuden mittaus on kohisevaa, mutta silti mittaus on luotettava. Massan sakeuden mittaukseen vaikuttavat paljon esimerkiksi kuitujen pituudet ja se kuinka hyvin laimennusvesi ja massa sekoittuvat pumpussa. Kuvassa 18 sinisellä värillä on sakeuden mittaus ja ruskealla sakeuden asetussarvo. Punainen käyrä on laimennusveden virtaus ja violetti käyrä kuvaa tuotantomäärää. Tuotantomäärällä tarkoitetaan jauhatusprosessin jälkeistä virtausta, josta on ohjelmassa laskettu massavirtaus kg/s. Tuotantomäärän kasvaessa tarvitaan luonnollisesti lisää massaa. Näin ollen massan virtaus kasvaa, mutta sakeuden tulisi olla sama. Säädön ollessa hidaskas kerkeää sakeus nousta liikaa, sillä laimennusventtiiliä ei ohjata tarpeeksi nopeasti. Kun lopulta laimennusvettä saadaan enemmän, menee sitä monesti liikaa. Tuotantomäärän muuttuessa hieman huojuu sakeus reilun tunnin, jolla on vaikutusta paperin laatuun.



KUVA 18. Tuotantomäärän muutoksen vaikutus sakeuteen.

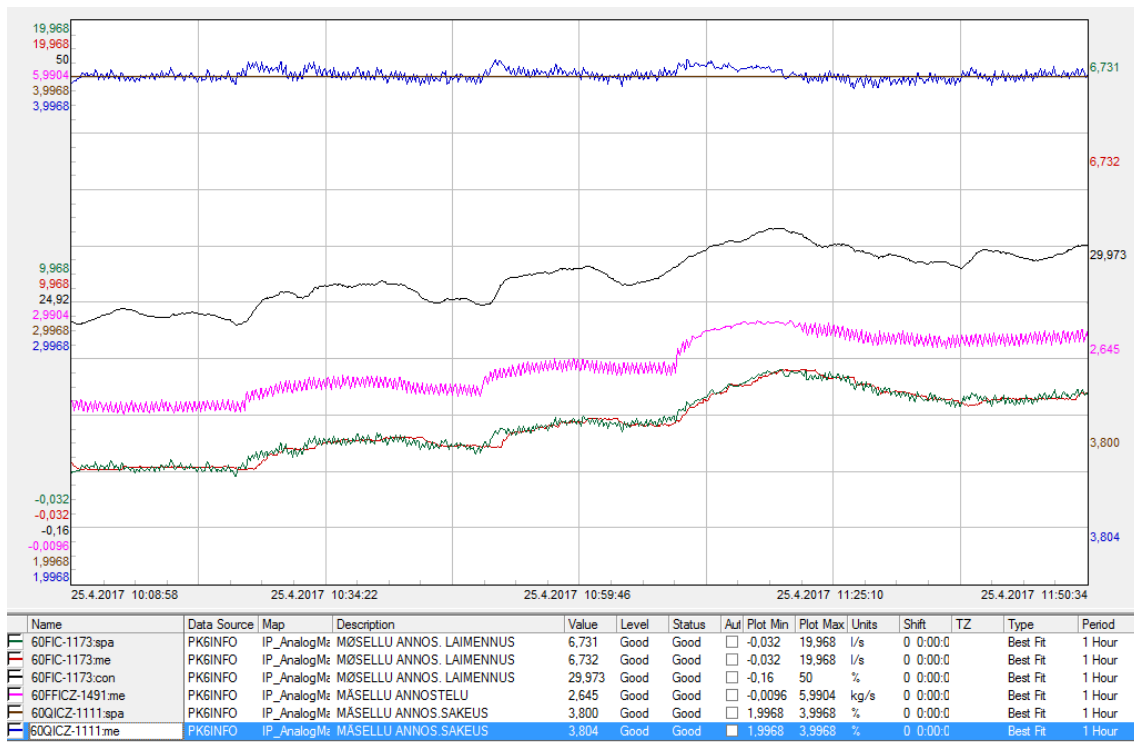
Sakeuden ollessa alhainen jo annostelusäiliössä ei säädöllä onnistuta vaikuttamaan sakeuteen. Tällaisia tilanteita tapahtuu, jos esimerkiksi sellutehtaalta tulee liian laimeaa massaa. Kuitenkin tilanteessa, jossa säiliön sakeus lähtee nousemaan ja sakeussäädön tulisi alkaa taas toimimaan, kestää vanhalla säädöllä kauan rauhoittaa sakeus. Tällainen tilanne on esitetty kuvassa 19. Kuvassa 19 on vastaavalla tavalla esitetty käyrät kuin kuvassa 18. Ainoana lisäyksenä on virtaussäätimen asetusarvo, jossa nähdään, että virtaus ei seuraa asetusarvoa. Kuvasta nähdään että massan sakeutta ei 50 minuutin aikana saada säädettyä lähelle asetusarvoa, sillä laimennusventtiiliä lähdetään avaamaan todella hitaasti, johtuen säätimen hitaudesta. Tämän jälkeen sakeus taas romahtaa äkillisesti, joka johtuu massan laimenemisestä annostelusäiliössä eli prosessihäiriöstä, johon sakeuden säädöllä ei pystytä vaikuttamaan.



KUVA 19. Sakeuden palautuminen laimeasta massasta.

Parannetulla sakeuden säädöllä on selvät vaikutukset sakeuteen, sillä tuotantomäärän vaihteluihin onnritutaan nyt reagoimaan eikä sakeus lähde huojumaan. Kuvassa 20 käyrät on esitetty vastaavalla tavalla kuin aikaisemmissakin kuvis-
sa. Lisäksi mustalla värillä on käyrä, joka kuvaa venttiilin asentoa. Kuvaan 18

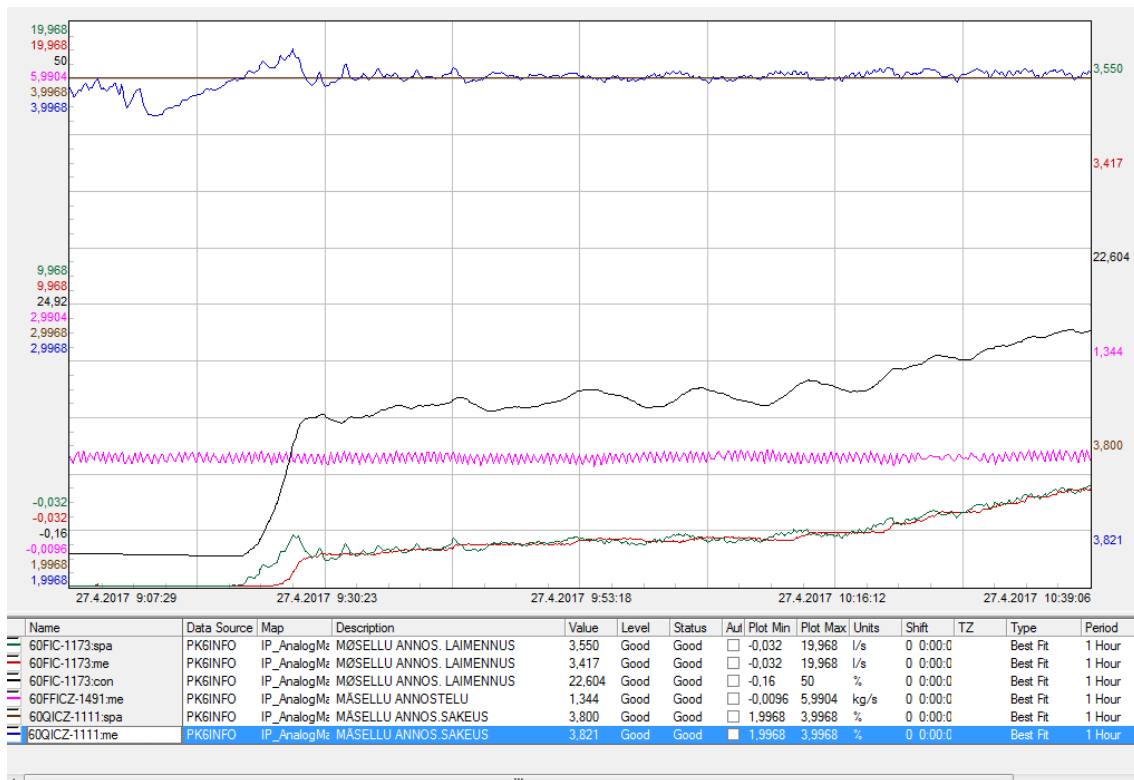
verrattuna ei sakeus lähde huojumaan tuotantomäärän muuttuessa. Kuitenkin prosessin muuttujiin kyetään tehokkaasti reagoimaan ja venttiilin asennosta nähdään kaskadisäädön tehokkuus. Venttiiliä voidaan ohjata nopeammin, vaikka sakeussäätö on todella hidas prosessi. Virtaussäätö on kuitenkin nopea prosessi ja näin vanhan mallin hidas säädin ei pysty hyvin ohjaamaan nopeaa virtausprosessia. Virtaus seuraa todella hyvin asetusrvoansa. Virtaussäädön asetusrvo tulee sakeussäätimeltä, joten sakeusmittauksen kohina vaikuttaa siten myös virtaussäätimen asetusrvoon. Virtaussäädin ei kuitenkaan reagoi asetusrvon pieniin muutoksiin, vaan itse virtaus on tasaista ja ainoastaan asetusrvo on kohisevaa.



KUVA 20. Parannettu sakeussäätö tuotantomäärän muuttuessa.

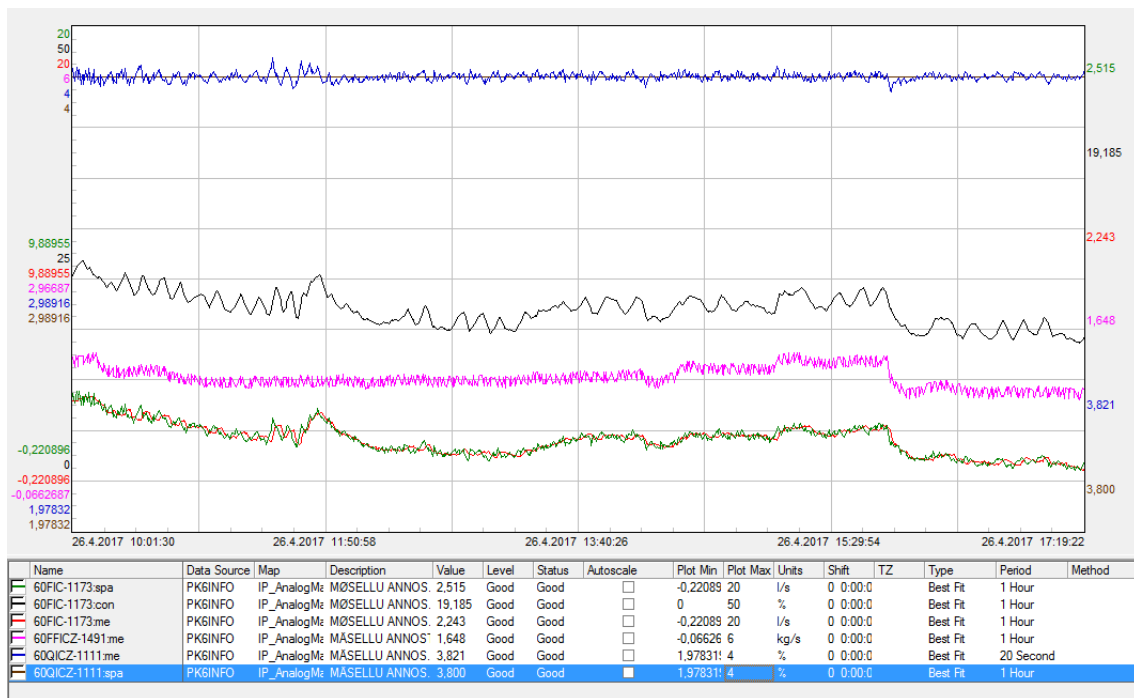
Uudellakaan säädöllä ei pystytä vaikuttamaan tilanteeseen, jossa massa on laimeaa jo annostelusäiliössä. Kun taas tilanteessa, jossa sakeus lähtee kasvamaan, saadaan sakeus nopeasti hallintaan. Uudella säädöllä vältetään sakeuden turhalta nousulta ja sitä kautta taas alettaisiin ohjata laimennusventtiiliä liian paljon kiinni jota vanhalla säädöllä tapahtui. Kuvassa 21 on esitetty tilanne,

jossa uudella säädöllä palaututaan laimeasta sakeudesta. Kuvan 21 käyrät ovat esitetty samalla tavalla kuin aikaisemmissakin kuvissa.



KUVA 21. Sakeuden palautuminen laimeasta massasta parannetulla säädöllä.

Työssä aikaisemmin on puhuttu sakeusmittauksen häiriöstä ja kohinasta. Häiriöinen mittaus vaikuttaa sakeussäätimen ohjaukseen ja sitä kautta myös virtaus­säätimen asetusarvoon. Sakeuslähettimelle on asetettu 20 sekunnin suodatus ja aikaisemmin se oli 10 sekuntia. Tällä pyritään saamaan sakeuden mittausta rauhallisemmaksi, silläkin riskillä, että nopeissa tilanteissa sakeuden mittaus ei reagoi tarpeeksi nopeasti muutoksiin. Sakeusmittauksen ollessa rauhallisempi ei virtaussäätimen asetusarvo vaihtele niin paljoa ja laimennusventtiilin turhilta säädöiltä vältyttäisiin. Kuvassa 22 on esitetty sakeuslähettimelle asetetun suo­datuksen vaikutus. Suodatus on asetettu 26.4.2017 noin kello 11:50, jolloin nähdään selvästi sakeusmittauksen rauhoittuminen.



KUVA 22. Sakeuslähettimelle suodatuksen muutos.

Sakeussäädön parantumista pystyttiin toteamaan historiatietojen avulla. Excel-ohjelmaan saatiin kerättyä historiatietoa ja STDEV-funktiolla saatiin laskettua sakeuden prosentuaalinen hajonnan pieneneminen. Vanhan ja uuden sakeussäädön ajalta otettiin kolmelta eri päivältä vuorokauden sakeusmittauksen arvot, joista laskettiin hajonnan keskiarvo. Näin hajonnan pienemiseksi vanhan ja uuden säädön välillä saatiin 26,55 %, joten tämäkin tieto osoittaa säädön toimivuuden.

8 POHDINTA

Työssä parannettiin mäntysellun sakeussäätöä asentamalla laimennusvesilinjaan virtausmittaus ja rakentamalla sen avulla kaskadikytkentä sakeussäätimen kanssa. Säädön parantamisella saadaan paremmin reagoitua tuotannon muutoksiin ja laimennusvesilinjassa tapahtuviin paineen muutoksiin.

Ohjelmia lähdettiin alusta rakentamaan idealla, että tarvittaessa voidaan palaa vanhaan säätöön. Näin ollen testailujen aikana pystytään pienissä pätkissä ja huolettomasti testaamaan säätimen toimintaa ja palaamaan lähtötilanteeseen. Tätä ominaisuutta käytettiin askelvastekokeiden aikana, jolloin säätimiä ajettiin manuaalilla. Tämä säädön palauttamisen ominaisuus olisi voinut olla hieman parempi, sillä virtaussäätimen ollessa pakko-ohjauksella ei virtaussäätimen ohjaus seuraa sakeussäätimen ohjausta.

Kun uusi säätö otetaan taas käyttöön, jolloin laimennusventtiiliä ohjataan virtaussäätimellä, hyppää venttiilin ohjaus rajusti. Tähän puutteeseen ei kuitenkaan tehty muutosta, sillä vaihtelut vanhan ja uuden säädön välillä ovat hallittuja ja niitä tehtiin vain kokeiluvaiheessa. Kokeiluvaiheessa virtaussäätimen lähtöä pystyttiin simuloimaan, jolloin ohjauksen hyppäykseltä vältytään.

Sakeussäätimelle kytkettiin myös myötäkytkentä, jolla oli tarkoitus reagoida ennakoiden muuttuviin tuotantomääriin. Työn loppuvaiheilla myötäkytkentäkanava otettiin käyttöön, mutta sillä ei säätöön ollut suurta vaikutusta. Vaikutuksen puute saattaa johtua huonosti suunnitellusta tiedosta, jota myötäkytkentäkanavassa käytetään, tai siitä että, myötäkytkennän vahvistus oli maltillinen. Myötäkytkentää olisi hyvä ollut testailta enemmän, jotta sopiva vahvistus olisi mahdollisesti löytynyt. Myötäkytkennän testailuilla olisi mahdollisesti saatu selville sopiva myötäkytkentäkanavan vahvistus tai se, onko myötäkytkennän tieto sopiva tähän prosessiin.

Virtaus- ja sakeussäätimelle suoritettiin askelvastekokeet, joiden avulla kyettiin lambda-viritysperiaatteella laskemaan säätimille viritysparemetrit. Virtaussäät-

men askelvastekokeet tehtiin tuotannon ollessa pysähtyneenä, jolloin laimenusventtiiliä voitiin ohjata suhteellisen huolettomasti. Sakeussäätimen askelvastekokeet tehtiin tuotannon ollessa käynnissä, joten kokeita tehdessä ei voinut tehdä liian suuria muutoksia. Kokeen aikana tuli sakeuden pysyä säädön rajoissa, jotta häiriöitä ei tule eikä tuotannon laatuun vaikuteta liikaa. Virtaussäätimelle saatiin tehtyä hyvä askelvastekoe ja säädin saatiin hyvin viritettyä. Sakeussäätimelle suoritettu askelvastekoe onnistui myös hyvin, mutta työn alussa ajatuksena oli ottaa huomioon tuotantomäärän muutokset. Jotta tuotantomäärän muutokset olisi voitu ottaa säätimen parametreissa huomioon, olisi sakeussäätimelle pitänyt tehdä askelvastekoe myös suurella tuotantomäärällä. Tällaista tilannetta ei työn aikana saatu, mutta keskustelujen jälkeen todettiin, että tuotantomäärän muutokset ovat aika pieniä eikä sakeussäätimen viritysparametrit olisivat juurikaan muuttuneet. Tästä syystä sakeussäädön ohjelmassa säätimen muuttuvat parametrit jäivät käyttämättä, mutta jatkoa ajatellen, jos tuotantomäärät kasvavat on tällainen parametrien muutos helppo tehdä ja ottaa käyttöön.

Sakeussäätimen virityksen tarkkuutta voisi myös hieman kyseenalaistaa, sillä askelvastekokeissa sakeuden mittaukselle asetettiin suodatusta. Näin saatiin rauhoitettua huojuvaa mittausta ja pystyttiin paremmin määrittelemään PID-säätimen malliparametrit. Kokonaisuudessaan askelvastekokeet ja säätimen viritykset onnistuivat hyvin ja oli mukava tehdä käytännössä säätimen viritys, sillä koulussa tällaisia tehdään vain simuloimalla. Valmetin ohjelmistosta löytyisi myös TuneUp-ohjelma, jolla voidaan automaattisesti virittää PID-säätimiä. Ohjelma ei kuitenkaan ollut opinnäytetyön aikana toiminnassa. Olisi ollut mielenkiintoista vertailla automaattivirityksen ja käsin tehtyjen viritysten tuloksia.

Saadut tulokset ovat omasta mielestä yksiselitteisiä ja osoittavat sakeussäädön parantuneen. Sakeuden tunnin mittaiset huojumiset on saatu säädön avulla poistettua ja prosessin normaaleihin tuotantomäärän muutoksiin pystytään reagoimaan hyvällä vasteella. Sakeussäätöä olisi ollut mukava vielä kuitenkin tes-

tata muuttamalla annostelujen suhteita ja sakeuden asetusarvoa. Kuitenkin parannettu säätö on osoittanut toimivuutensa tuotannossa.

Tulosten tarkasteluja oli tarkoitus suorittaa suotautuvuusanalysointilla, jolla seurataan jauhatustilaa. Analysointilla mitataan massan suotautumisvastusta kultakin massalajilta. Analysointilla ei suoraan nähty sakeussäädön parantamisen vaikutusta, joten sitä ei tähän työhön sisällytetty. Kuitenkin Valmet Oy:n analysointin parissa työskennellyt henkilö onnistui nopealla vilkaisulla toteamaan, että säädöllä on positiivinen vaikutus. Tulosten esittelemisen työssä olisi vaatinut paljon suodatusta ja kuvaajissa oli muita häiriöitä, jotka olisi pitänyt korjata.

Opinnäytetyön loppupalaverissa keskusteltiin mahdollisista parannusehdotuksista, joita sakeussäädön parantamiseksi voisi tehdä. Työssä aikaisemmin on mainittu laimennusvesilinjan liian suuri koko, johon ratkaisuna olisi venttiilin pienentäminen sekä lisäelementtien asennus. Lisäelementeillä saadaan rajoitettua virtausta, jolloin venttiilin avautumiskulmaa saataisiin säätöventtiilin paremmalle säätöalueelle. Venttiilin alhaisilla avautumiskulmilla liikkeet ovat isompia, kuin säädön olisi tarkoitus säätää. Myötäkytkennän vaikutuksen selvittäminen olisi syytä tehdä, jolloin tuotantomäärän muutoksiin pystyttäisiin tehokkaasti reagoimaan. Myös tuotantomäärän muutosten vaikutus sakeussäätimen parametreihin kertoisi, tarvitaanko säätimelle muuttuvia parametreja. Sakeuden laimentamisen voisi myös rakentaa annostelusäiliöön, johon tulisi asentaa tehokas sekoitus ja niin sanottu hullun kierto, jossa sakeus mitataan. Hullun kierrolla tarkoitetaan linjaa, joka kierrättää säiliössä olevaa tavaraa jatkuvalla syötöllä. Tässä linjassa tapahtuu myös sakeuden mittausta, sillä se ei onnistu suoraan säiliöstä. Laimennusvesi viettäisiin suoraan säiliöön eikä annostelulinjaan. Tällaisella säiliössä tapahtuvalla sekoituksella sakeudelle saataisiin lisää tasaisuutta, eikä huonosta sekoituksesta johtuen jauhimelle pääse pohjalle kertyneitä massaklumppeja.

LÄHTEET

1. Häggblom-Ahnger, U. & Komulainen, P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus 5. painos. Jyväskylä: Gummerus.
2. AEL Oy 2013. Paperitekniiikan ja automaatiotekniikan oppimisympäristö KnowPap 15.0 (12/2013). Sisäinen lähde. Prowledge Oy.
3. Paulapuro, H. 2008. Papermaking Science and Technology Book & Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End Second Edition. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus.
4. Metso DNA Manuals Collection 2011 Fi V.14.1 build 2. 2013. Sisäinen lähde. Metso Automation Oy.
5. Valmet Automation Inc. 2015. Valmet Microwave Consistency Transmitter – Valmet MCA Asennusohje & Käyttäjän käsikirja OUL00298 V2.3 FI. Sisäinen lähde. PDF-dokumentti
6. Harju, T. & Marttinen, A. 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. 1. painos. Espoo: Control CAD Oy.

LIITTEET

Liite 1 Virtaussäädön piirikaavio

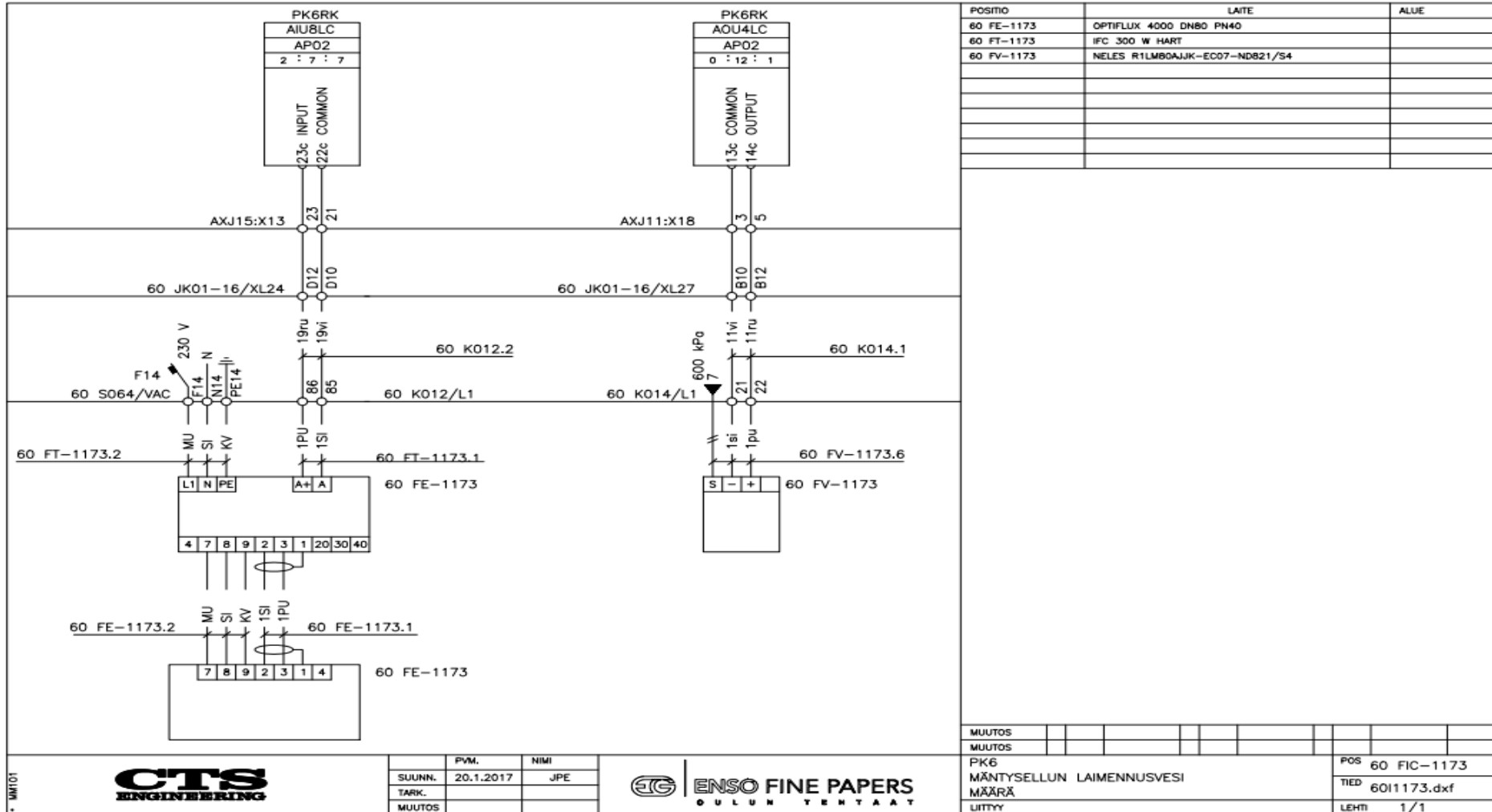
Liite 2 Vanhat sakeussäädön ohjelmakuvat

Liite 3 Päivitetyt sakeussäädön ohjelmakuvat

Liite 4 Virtaussäädön ohjelmakuvat

Liite 5 Virtauspiirin askelvastekokeen askeleet

Liite 6 Sakeuspiirin askelvastekokeen askeleet



POSITIO	LAITE	ALUE
60 FE-1173	OPTIFLUX 4000 DN80 PN40	
60 FT-1173	IFC 300 W HART	
60 FV-1173	NELES R1LMB0AJJK-EC07-ND821/54	

MUUTOS									
MUUTOS									
SUUNN.	PVM.	NIMI							
TARK.	20.1.2017	JPE							
MUUTOS									
PK6	MÄNTYSELLUN LAIMENNUSVESI							POS	60 FIC-1173
MÄÄRÄ								TIED	6011173.dxf
LIITYY								LEHTI	1/1



SUUNN.	PVM.	NIMI
TARK.	20.1.2017	JPE
MUUTOS		



MM101

