

Oona Huotari

SAKEUSSÄÄDÖN PARANTAMINEN KARTONKITEHTAALLA

SAKEUSSÄÄDÖN PARANTAMINEN KARTONKITEHTAALLA

Oona Huotari
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, automaatiotekniikka

Tekijä: Oona Huotari

Opinnäytetyön nimi: Sakeussäädön parantaminen kartonkitehtaalla

Työn ohjaaja: Manne Tervaskanto (OAMK), Janne Pyykkönen (Valmet Automation Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2018

Sivumäärä: 68 + 2 liitettä

Työn tavoitteisiin kuului tutustua kartonkitehtaan sakeussäätöpiireihin. Lisäksi työn tavoitteisiin kuului Valmet Control Performance -työkalupaketin oppiminen sekä sen hyödyntäminen opinnäytetyössä. Työ toteutettiin kartonkitehtaan säätöpiirien kunnonvalvonnan vastaavalle Valmet Automation Oy:lle.

Kartonkitehtaan massan sakeudella on suuri merkitys prosessin eri vaiheissa sekä lopputuotteen laadussa. Sakeussäätöpiirin tavoite on pitää sakeus halutussa asetusarvossa säätämällä massaan syötettävän laimennusveden määrää. Sakeussäätöpiiri on hyvin altis ulkopuolisille häiriöille, ja näiden häiriöiden tutkintaan sekä eliminointiin keski-tyttiin tässä opinnäytetyössä.

Sakeussäätöpiirin häiriöiden osasylliseksi löydettiin muutamia virtaussäätöjä sekä pintasäädin, joiden virittämisellä sekä huoltotoimenpiteiden avulla voitiin vaikuttaa sakeussäätöpiirin toimintaan. Kuitenkin täysin häiriöttömäksi sakeuden säätöä ei tässä opinnäytetyössä saatu, mutta parannusehdotuksien avulla sakeussäätöpiirin toimintaa voitaisiin parantaa entisestään.

Asiasanat: automaatio, säätöpiiri, sakeus, kartonki, virtaus

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Valmet Automation Oy Kemissä. Haluaisinkin kiittää Kemin Valmetin esimiestä, Jarmo Harjujaa, joka mahdollisti opinnäytetyön tekemisen. Haluan myös kiittää ohjaajaani Janne Pyykköstä, sekä Tero Kasalaa suuresta avusta opinnäytetyön aikana. Kiitokset kuuluvat myös kartonkitehtaan käyttöpäällikkö Tapani Nivalle sekä Caverion automaatiovastaava Jani Pietilänaholle. Kiitän myös kartonkitehtaan osaston työntekijöitä asiantuntemuksen jakamisesta opinnäytetyötäni varten. Kiitos opintojeni edistymisestä kuuluu Manne Tervaskannolle sekä Tero Hietaselle, jotka ovat kannustaneet minua kaikissa opintojeni vaiheissa.

Torniossa

Oona Huotari 1.12.2018

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 KARTONKIKONE	8
3 MASSAOSASTO	10
3.1 Massan hajotus ja jauhatus	10
3.2 Hylkyjärjestelmä	12
3.3 Sakeus	13
4 SÄÄTÖTEORIA	18
4.1 Säättöpiiri	18
4.1.1 Säättöpiirin komponentit	19
4.1.2 Häiriöt	20
4.2 Takaisinkytkentä	21
4.3 Kaskadikytke	21
4.4 Myötäkytkentä	22
4.5 Suhdesäätö	23
4.6 PID-säädin	23
4.6.1 P-säätö	24
4.6.2 Integroiva säätö	25
4.6.3 Derivoiva säätö	26
4.7 Prosessimallit ja v erityksessä käytetyt prosessikokeet	27
4.7.1 Askelvaste ja yleiset prosessityypit	28
4.7.2 Askelvastekoe	29
4.8 PID-säädön v iritys	31
4.9 Lambda-v iritys	33
4.10 Säättöpiirin kunnonvalvonta	36
5 SÄÄDÖN PARANTAMINEN	39
5.1 FFIC-001	47
5.2 FFIC-002	49
5.3 LIC-001	53
5.4 QIC-001	53
5.5 Muita kohteita	54

6 TULOKSET	56
6.1 FFIC-002	56
6.2 LIC-001	59
6.3 QIC-001	61
7 POHDINTA	65
LÄHTEET	67
LIITTEET	
Liite 1 Sakeussäätö QIC-001 piirikaavio	
Liite 2 Virtaussäätö FFIC-001 piirikaavio	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli tutustua sakeussäätöpiireihin kartonkitehtaalla. Lisäksi työn tavoitteisiin kuului oppia Valmet Control Performance -työkalupaketti sekä hyödyntää sitä opinnäytetyössä. Työ toteutettiin kartonkitehtaan säätöpiirien kunnonvalvonnasta vastaavalle Valmet Automation Oy:lle Kemissä.

Kartonkitehtaan massan sakeudella on suuri merkitys koko prosessiin sekä lopputuotteen. Opinnäytetyön aiheeksi valittu sakeussäätö sijaitsee hylkymassaosastolla. Hylkymassaosaston sakeussäätö on hyvin altis ulkopuolisille häiriöille. Työssä keskityttiin näiden häiriöiden tutkintaan sekä eliminointiin.

Tärkeässä osassa tässä työssä on säätimien viritys sekä säätöpiirien kunnonvalvonta. Sakeussäädön häiriöiden osasylliseksi löydettiin kaksi virtaussäädintä sekä pintasäädin. Säätöpiirit viritettiin sekä annettiin huoltokehoitus löytyneelle vialliselle venttiilille toisessa virtaussäätimessä.

Virityksien avulla pystyttiin eliminoimaan sakeussäädön häiriöitä jonkin verran. Kuitenkin työn löydökset ovat merkittäviä, sillä ongelmat virtaussäätimissä sekä pinnansäädössä olisivat voineet tuoda paljon ongelmia tulevaisuudessa.

2 KARTONKIKONE

Kartonkikoneen pääosat ovat perälaatikko, viiraosa, puristinosa ja kuivatusosa. Prosesissa hyödynnetään tehokkaasti raaka-aineita uudelleen lyhyen vesikierron sekä hylkyjärjestelmän avulla.

Kartonkikoneen alkuosaa, jossa oikeastaan koko massankäsittely ja rainan muodostuminen tapahtuu, kutsutaan märäksi pääksi. Tämän opinnäytetyön aihe kohdistuu kartonkikoneen märkään päähän. Sulppu, eli laimea kuituseos, syötetään kartonkikoneen perälaatikolla tasaisesti viiralle. Perälaatikolla sakeuden haluttu taso olisi n. 0,5–1,0%. Viiran pienien silmien läpi suotautuu pois suurin osa vesimassasta. Viiraosalla poistetaan yli 95% perälaatikosta virtaavasta vesimäärästä. Kuiva-ainepitoisuus viiran loppupäässä on kasvanut 15-20%:iin. Muodostunutta tuotetta viiralla kutsutaan rainaksi. Viiran läpäissyt vesi ohjautuu lyhyeen kiertoon, joka palauttaa kiertoveden mukana tulleet arvokkaat raaka-aineet uudelleen prosessiin hyödynnettäväksi. Kartonkikoneella käytetään useiden viiraosien yhdistelmää kartongin monikerroksisen rakenteen saavuttamiseksi. (1, s.15–16.)

Viiraosalta raina viedään puristinosalle, jossa rainan kuiva-ainepitoisuus kasvaa 40–60% tasolle. Puristusosa vaikuttaa siis rainan vedenpoistoon ja rakenteeseen. Puristusvyöhykkeellä puristuspaineen vaikutuksesta massan kuidut sitoutuvat toisiinsa tiukemmin. (1, s. 16.)

Puristinosalta raina johdetaan kuivatusosalle, jossa siitä haihdutetaan vesi ja päästään haluttuun loppukosteuteen. Kuivatusosalla raina kulkee höyryllä lämmitettävien sylinterien päällä, josta lämpö kulkeutuu rainaan poistaen siitä vettä. Kuivatusosa on kokonaan peitetty koneen osuus, sillä näin saadaan minimoitua energian kulutusta. Kuivatusosan ominaisuuksilla vaikutetaan myös kartongin laatuun, kuten pintaominaisuuksiin, lujuusominaisuuksiin sekä kartongin yleiseen profiiliin. (1, s. 16.)

Kartonkikoneen jälkeen kartonki viedään jälkikäsittelyyn ennen asiakkaalle luovutusta. Oikeastaan asiakkaan tilauksen ehdot määrittelevät jälkikäsittelyn menetelmät kyseiselle tuotteelle. Jälkikäsittelyssä kuitenkin yleisesti kaikki tuotteet pituusleikataan ja rullataan

uudelleen. Lisäksi tuotetta voidaan vaatimuksien mukaan pintaliimata, päällystää, kalantroida sekä päällystää erilaisilla kalvoilla. (2.)

3 MASSAOSASTO

Massaosasto sijaitsee ennen kartonkikonetta. Lyhyesti voidaankin sanoa, että massaosaston tehtävä on tehdä massasta tarpeeksi tasalaatuista kartonkikoneen perälaatikolle syötettäväksi. Massankäsittely voidaan jakaa seuraavanlaisiin osaprosesseihin:

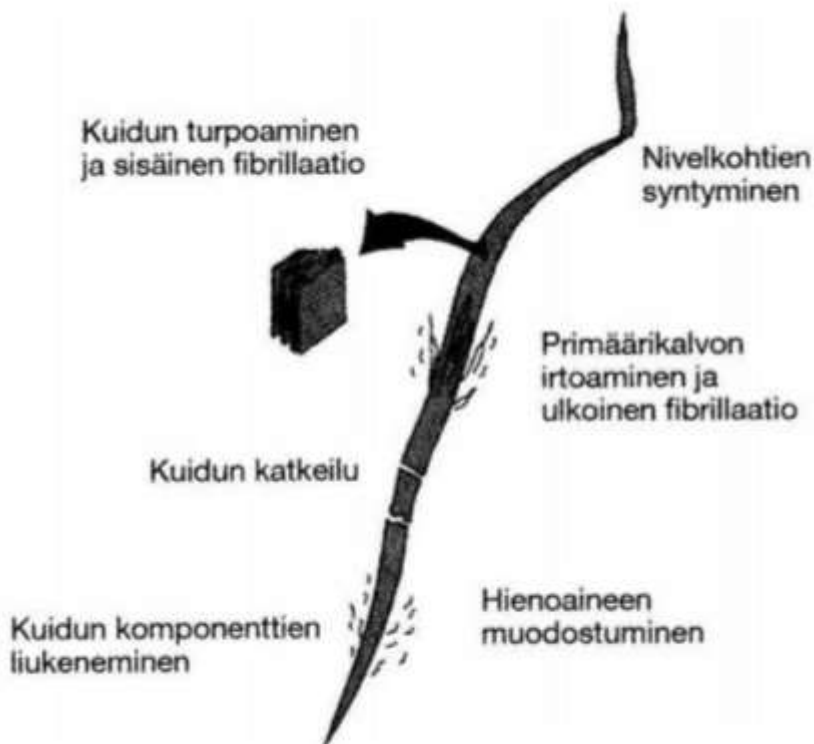
- kemiallisen massan eli sellun hajotus ja jauhatus
- mekaanisen massan eli hiokkeen tai hierteen hajotus ja jauhatus
- hylkymassan käsittely
- lisä- ja apuaineiden käsittely
- massojen sekä lisä- ja apuaineiden annostelu
- lyhyt kierto.

3.1 Massan hajotus ja jauhatus

Massan hajotus tehdään kuiduttimilla ja pulppereilla. Pulpperit eivät jauha kuituja, vaan ne käsittelevät kuitusulpun käsiteltävään muotoon seuraavaa vaihetta varten. Vesi ja kuivat sellupaalit syötetään pulpperiin, jossa ne hajoavat tasalaatuiseksi massasulpuksi, jonka sakeus on 4–5%. Pulpperissa hajotetussa massassa voi esiintyä kuituuntumattomia massatiheyymiä, flokkeja. Flokkien eliminoimiseksi massa kuidutetaan ennen jauhimille siirtymistä. Kuitujen erottaminen toisistaan tapahtuu terien välissä suurella leikkausnopeudella. Kuidutin ei jauha massaa, joten massan suotautuvuus eli jauhatusaste ei juurikaan muutu kuiduttimella. Kuidutin ei pysty hajottamaan kiinteitä epäpuhtauksia, kuten massassa olevia tikkuja. (1, s. 112–113.)

Massan jauhatuksessa kuituja muokataan jauhinterien välissä niin, että niiden sitoutumiskyky saadaan mahdollisimman korkealle. Ilman massan jauhatusta kartongin lujuus olisi riittämätön. Jauhamaton kartonki on myös liian huokoista, joten sitä olisi vaikeaa käyttää päällystetuotteissa ja painotuotteissa. Jauhatuksen primäärivaikutukset ovat tärkeitä massan käsittelyn kannalta. Niihin kuuluvat mm. ulkoinen fibrillaatio, eli kuitujen parempi sitoutuminen toisiinsa kuidusta irronneiden haivenien avulla. Ne lisäävät myös kuidun kosketus pinta-alaa. Sisäisen fibrillaation ansiosta kuidun sisäisten lamellien väliin menee vettä, joka tekee kuidusta notkeamman ja vähemmän katkeilevan. Hienoaineen muodostumisen ansiosta katkeilukohtiin muodostuu ikään kuin liima, joka pitää kuitua koossa.

Kuidun osittainen liukeneminen muodostaa sidoksen kuidun pintaan, joka sekkin on toivottavaa jauhatuksessa. Kuvassa 1 on koostettu jauhatuksen primäärivaikutukset.



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

Jauhatus on tärkeimpiä kartongin valmistuksen osaprosesseja, koska sillä on suurin vaikutus valmiin tuotteen laatuun (1, s. 113–114). Jauhimia voidaan kytkeä rinnan tai sarjaan. Paras jauhatustulos saadaan kytkemällä jopa 3 jauhinta sarjaan. Sarjaan asettelun ansiosta mikään kuitu ei pääse läpi prosessiin ilman jauhatusta, eikä kuitenkaan tule jauhetuksi liikaa, jolloin ominaisuudet heikkenevät kuidussa. Jauhimien tehon ottoa säädetään asettelemalla roottorin ja staattorin terävällystä. Massan määrä ja etenkin sakeus vaikuttavat suuresti jauhatuksen määrään. (1, s. 115.) Jauhatuksessa yleensä ollaan 3–6%:n sakeudessa (2).

Yleisimmin käytetty jauhatusmenetelmä on jauhatus särmäterillä kuitujen ollessa vesilietteessä. Kuidut kerääntyvät jauhimen liikkuvan teräroottorin etureunalle ja jauhautuvat samalla kun terät ohittavat toisensa. Jauhatuksessa yleisimmät käytettävät jauhimet ovat levy- ja kartiojauhimia (2).

3.2 Hylkyjärjestelmä

Hylkyjärjestelmän tehtävänä on muokata prosessissa tuleva hylkytavara uudelleen käytettäväksi raaka-aineeksi mahdollisimman energiatehokkaasti ja nopeasti. Tavoitteena on, että uudelleen käytettävän hylkytavaran ajettavuus ei tuota ongelmia eikä se saa näkyä laadussa. Hylkyjärjestelmän tehtäviin kuuluu myös nostaa tehtaan materiaalitaloutta sekä toimia puskurina katkotilanteissa (2).

Hylkyä syntyy prosessissa seuraavissa kohteissa:

- viiraosan reunanauhat
- katkon yhteydessä kartonkikoneen pulppereilla
- pituusleikkureilla reunanauhat
- hylättävät kartonkirullat
- leikkaushylky arkittamalla.

Hylkyjärjestelmä voidaan jakaa oikeastaan kahteen osaan: pulpperijärjestelmään ja hyllyn käsittelyjärjestelmään. Pulpperijärjestelmän tehtävänä on hajottaa kartonkikoneella ja jälkikäsittelyssä syntyvä hylky sulpuksi ja pumpata se varastotornin kautta hyllyn käsittelyjärjestelmään. Hyllyn käsittelyjärjestelmässä pulperoitu ja päällistetty tai konehylystä saapuva tavara varastoidaan niin, että sitä voidaan syöttää uudelleen kartonkikoneen massojen annosteluun. (2.)

Hylkyjärjestelmä koostuu useista osaprosesseista, kuten varastoinnista, saostuksesta, lajittelusta, massojen yhdistämisestä sekä annostelusta. Varastoinnissa hylky pumpataan pulppereilta varastotorneihin. Hylkymassaosaston tornit toimivat myös kartonkikoneen katkotilanteissa puskureina sekä varastoina. Saostuksessa hylky pumpataan saostimille ja massan sakeus nostetaan 4–5%:n tasolle. Lajittelussa massasta poistetaan epäpuhtaudet ennen lyhyttä kiertoa. Epäpuhtauksia ovat teipit, muovit ja kumien palaset. Massojen yhdistämisessä yhdistetään kone- ja kuivahylkymassaa. Lopuksi annostelussa yhdistetty hylky annostellaan sekoitussäiliöön, josta se voidaan ottaa käyttöön seuraavaa prosessia varten. (2.)

3.3 Sakeus

Kaikkein merkittävin määränpään hallinnan suure on sakeus. Sakeudella tarkoitetaan massasulpun kuiva-aineen määrää. Massan sakeudella on monia vaikutuksia prosessissa:

- veden kulutus prosessissa
- rainan rakenne ja mittaaminen
- säiliöiden putkisto ja koko
- massan pumppaus ja sekoitus
- kemikaalien vaikutus. (2.)

Perälaatikon ja viiraveden sakeuksista voidaan määritellä merkittävä viiraosan tehokkuuden mittari, retentio. Retentiolla kuvataan perälaatikosta syötetyn massan viiraan jäänyttä määrää. Kaavan 1 avulla, jossa käytetään ainoastaan sakeustietoja, voidaan laskea likimääräinen kokonaisretentio. (1, s. 149.)

$$Kok.retentio = \frac{\text{perälaatikon sakeus} - \text{viiraveden kokonaissakeus}}{\text{perälaatikon kokonaissakeus}} * 100\%$$

KAAVA 1

Lukema kertoo hyvin prosessin muutoksista ja häiriöistä, joita ei välttämättä ole vielä huomioitu muuten prosessista. Korkea retentiotaso ei ole ideaalein, vaan tärkeämpää on löytää ideaalein taso, jolla saavutetaan riittävä kuituhienoaineen ja täyteaineen retentio. Liian korkealla retentiolla vedenpoisto heikkenee, formaatio huononee sekä retentioke-mikaaleja käytetään liikaa. (1, s. 149.)

Retentioaine pyrkii siis kiinnittämään kiintoainepartikkelit massasta paremmin viiraosalla muodostuvaan rainaan. Näiden ominaisuuksien ideaalitason hallinnalla voidaan ohjata kartonkikoneen laatusuureita paremmin. (1, s. 150.)

Hyvällä retentiotasolla päästään moniin eri hyötyihin, kuten parempaan tuottavuuteen ja kustannustehokkuuteen sekä toisaalta parempaan kartongin laatuun. Hyvä retentiotaso tekee kartongista symmetrisempää, sekä täyteaineiden ja värien jakauma on tasaisem-

paa. Tuottavuuspuolella pienemmällä lisäainekulutuksella saadaan puhtaampi märän-
pään konepuoli, ja esimerkiksi kartonkilajien ajovaihdot helpottuvat huomattavasti. Myös
tuoreveden käyttö vähenee kartonkikoneen pesukertojen vähentyessä, joten jätevesiä
syntyy vähemmän. Hyvän retention ansiosta myös täyteaineita voidaan käyttää enem-
män massassa, sillä kartongin lujuus ja formaatio pysyvät silti hyvänä. Taloudellinen
säästö on siis huomattava, sillä täyteaineet ovat huomattavasti edullisempia oikeaan kui-
tuun verrattuna. (1, s. 153–154.)

Sakeutta säädettäessä ja mitattaessa on tärkeää muistaa prosessin ja tehtävien muutos-
ten suuruuden suhteellisuus. Yleisesti voidaan pitää sakeussäädöissä laimennusvirtauk-
sen vahvistuksen ja massan virtausnopeuden olevan kääntäen verrannollisia toisiinsa.
Jos massalinjan virtaus on n. 10 l/s. ja laimennusvedellä tehdään litra/s muutos, saadaan
selville vahvistus laimennuksesta sakeuteen. Jos kuitenkin massan virtausnopeus muut-
tuukin luokkaan 100 l/s, ei enää kyseinen vahvistus tee kuin kymmenesosan muutoksia
sakeuteen kyseisellä säädöllä. Siksi olisikin hyvä määritellä erilaiset säädöt erilaisille ajo-
ohjelmille. Yleisenä sääntönä kuitenkin pidetään, että säädin viritetään hitaimman halutun
virtausnopeuden mukaan. Näin vältetään liian nopean säätimen aiheuttama värähtely
suuremmilla prosessisuuruuksilla. (3, s. 36.)

Märkäosalla sakeutta mitataan pääosin keskisakeusalueella 2–8% mekaanisilla leikkaus-
voimaan perustuvilla mittalaitteilla. Selvästi suosituin leikkausvoimaan perustuva mittari
on sakeusmittaus lapalähttimellä. Lapalähttimet ovat luotettavia, edullisia, tarkkoja
sekä helppokäyttöisiä. Se on myös sopiva kaikkiin prosesseihin sen lämmönkestävyyden
ja lujuuden vuoksi. (2.)

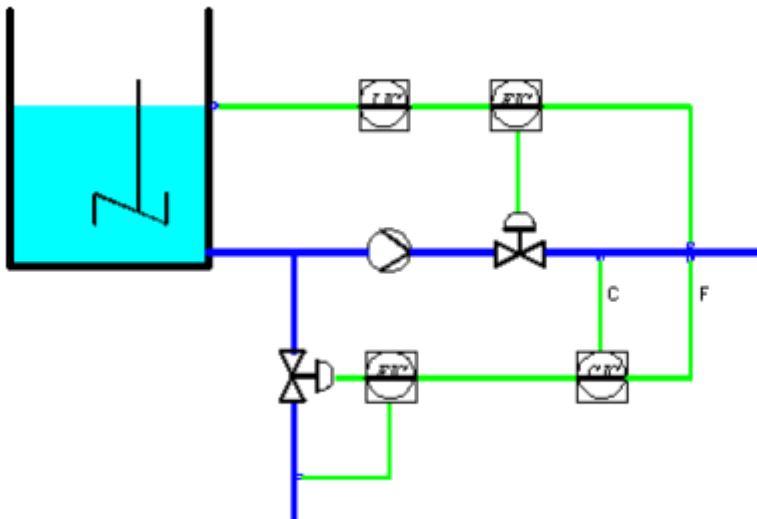
Matalasakeuden alueella 0–2% käytetyin sakeuden mittausmenetelmä on optiset sa-
keusmittarit. Leikkausvoimamittareihin verrattuna niillä on kapeampi mittausalue, mutta
ne ovat paljon tarkempia ja niillä voidaan mitata myös massan tuhkasakeus. (2.) Kuiten-
kin optisten mittareiden herkkyys massan vaihtelulle sekä värimuutoksille on suuri haitta-
puoli (4, s. 125).

Mikroaaltomittarit edustavat uusinta sakeudenmittaustekniikkaa. Niillä voidaan mitata
myös massan kokonaissakeutta, kun leikkausvoimamittarit mittaavat ainoastaan massan
kuitusakeutta. Mikroaaltomittareita kannattaa suosia äärimmäistä tarkkuutta vaativissa

sakeussäädöissä. (2.) Mikroaaltoihin perustuva mittaus on myös riippumaton muista prosessimuuttujista. Prosessin vaihtelevat ominaisuudet, kuten valmistusmenetelmä, puulaji, kuidun pituus taikka virtauksen nopeus eivät vaikuta mittaukseen. (4, s. 124.)

Sakeussäädössä lähettimen paikkaan tulee kiinnittää huomiota. Lähetin tulee asentaa mahdollisimman lähelle pumppua, jotta viive sakeussäätöön saadaan minimoitua. Kuitenkin liian lähelle pumppua asettelu aiheuttaa vääristynyttä tulosta, sillä laimennusveden sekoittuminen massaan vie hieman aikaa. Näytteenotto kohta tulee sijoittaa siis täysin kehittyneeseen virtaukseen. (2.)

Sakeussäädöt ovat yleensä hyvin sekoittavien säiliöiden jälkeen, jotta säiliön tulon vaikutukset sakeudessa olisivat vähäiset. Kuitenkaan niin ei aina ole, ja silloin säiliön jälkeen käytetään esilaimennusta virtauksen suhdessä säätöpiirillä. Kuitenkin sakeussäätö on herkkä laimennuspiirin painevaihteluille. Säädöllisessä mielessä laimennusveden viritys on toteutettava ensin, jonka jälkeen voidaan säätää sakeussäätöä. Yleisesti ottaen sakeus on todella herkkä ulkopuolisille häiriöille, esimerkiksi pienikin lämpötilan vaihtelu näkyy merkittävästi sakeussäädössä. Sakeussäädössä suositetaan kaskadisäätöjä tai myötäkytkentää, myös yhdistelmänä (Kuva 2). Näin kannattaa toimia, jos virtausmäärän asetusarvo saadaan säiliön sakeusmittaukselta. (5, s.170; 7.)



KUVA 2. Sakeussäätö, jossa on kaskadi- sekä myötäkytkentä (5, s. 55)

Usein sakeusmittausta tarkastellessa huomataan, että se on virtausnopeusriippuvainen. Huomioitavaa on kuitenkin se, että mittalaitteen riippuvuus virtausnopeudesta on eri asia kuin mittalaitteen samaa näytteen sakeusriippuvuus virtausnopeudesta. Sakeusmittauksen tulos voi vaihdella mm. massan virtausnopeuden vuoksi tai putkistovaihteluiden seurauksena. Tämä on myös hyvä huomioida näytteiden otossa, sillä liian lyhyellä aikavälillä otettu näyte ei vastaa oikeaa kokonaissakeutta. Siksi näytteiden otossa kannattaisi suosia useiden kymmenien sekuntien näytevirran ottoa. (2.) Sakeussäädöissä virtausmittaukseen törmää usein laimennusvesien tarkastelussa.

Virtausmittauksissa on hyvä ymmärtää virtaavan aineen käyttäytymistä putkistossa. Virtaus voi olla laminaarista, jolloin virtaavan aineen kaikki nopeusvektorit ovat yhdensuuntaisia. Turbulenttisessa virtauksessa virtausta esiintyy eri suuntiin. Teollisuudessa esiintyvät virtaukset ovat usein turbulenttisia, kuten esimerkiksi kahden putkiston yhdistyessä. (2.)

Virtauksen profiili on suuressa osassa näytteen mittauksessa. Tarvitaan tarpeeksi pitkä suora putkiston osuus, jotta virtausmittausta voidaan pitää todellisuutta vastaavana. Mittattaessa tilavuusvirtausta mittaus perustuu virtausnopeuteen. Tilavuusvirtaus saadaan, kun kerrotaan putken poikkipinta-ala virtauksen nopeudella. Nopeutta voidaan mitata pistemäisesti putken yhdeltä kohdalta tai vaihtoehtoisesti keskiarvon avulla, jolloin mittaus tulokset otetaan putken halkaisijaa pitkin. (2.)

Kartonkitehtaalla virtausta voidaan mitata esim. induktiivisen mittauksen avulla. Induktiivisesta mittauksesta käytetään myös nimitystä magneettinen määrän mittaus, eli ”mankkuputki”. Induktiivinen mittaus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Johtimen liikkuessa magneettikentässä siihen indusoituu jännite. Jännitteen suuruuden avulla sitä voidaan verrata suoraan sähkökentän suuruuteen, johtimen pituuteen sekä liikkeen nopeuteen. Tässä tarkastelussa johtimena toimii massa putkistossa ja johtimen pituutena putken halkaisija. Virtausmittaukselle voidaan käyttää Faradayn kaavaa (Kaava 2).

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

KAAVA 2

missä:

U = indusoitunut jännite

K = dimensoitu laitevakio

B = magneettivuon tiheys

V = keskimääräinen virtausnopeus

D = putken halkaisija.

Käytännössä kuitenkin virtausmittari koostuu eristeestä tehdystä putkesta ja sen ulkopuolelle sijoitetusta magnetointikäämistä. 90° :n kulmassa käämeihin verrattuna kulkevasta massasta mitataan jännite elektrodien avulla. Mitattava jännite on suoraan verrannollinen virtaukseen ja vahvistimen avulla jännitteestä muodostetaan virtausta kuvaava signaali. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että mitattavan nesteen on johdettava sähköä. Virtausprofiililla ja virtauksen pyörteisyydellä ei induktiivisessa mittauksessa ole juurikaan merkitystä. (2.)

4 SÄÄTÖTEORIA

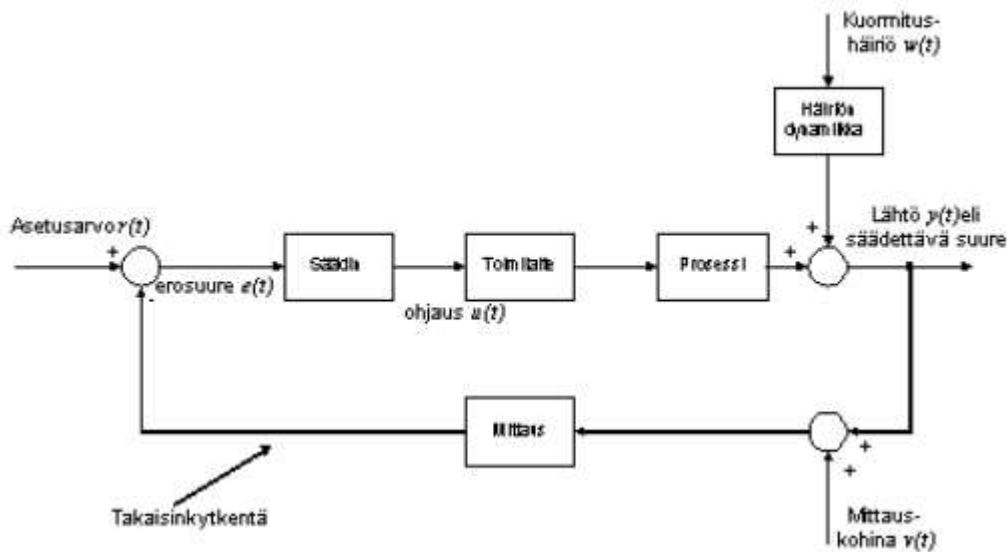
Prosessilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa esiintyy sähköisiä sekä mekaanisia ilmiöitä. Prosessit voivat sisältää muun muassa kaasujen ja nesteiden virtausta, lämmön käsittelyä ja kemiallisia reaktioita. Hyviä esimerkkejä prosessista ovat paperikone ja voimalaitos. Prosessit sisältävät osaprosesseja, kuten kartonkikoneen jauhin. Osaprosessit sisältävät säätöpiirejä, joiden avulla ohjataan prosessin toimintaa. (5, s. 9.)

4.1 Säätöpiiri

Säätöpiiri koostuu säädettävästä prosessista toimilaitteineen, mittausanturista ja lähettimestä sekä tietenkin säätimestä. Säädin antaa ohjauksen toimilaitteelle joko digitaalisena tai analogisena. Analoginen (4–20 mA) ohjaustapa on yleisempi verrattuna digitaaliseen, mutta kenttäväylien lisääntyessä digitaalinen ohjaus lisääntyy huomattavasti. (5, s. 13.)

Toimilaitte (hydraulinen, pneumaattinen, mekaaninen, sähköinen) vaikuttaa prosessin suureisiin. Suureisiin vaikutetaan usein samanaikaisesti, kuten lämpötilaan ja pinnankorkeuteen tai pyörimisnopeuteen ja sakeuteen. Toimilaitteena voi toimia esimerkiksi moottori tai venttiili. Lyhyesti kerrottuna säätö tapahtuu niin, että säädettävä suure mitataan hetkellisen tilanteen tietoon saamiseksi, jonka jälkeen mittausviesti kytketään takaisin säätimelle. Tämänhetkistä arvoa verrataan säätimelle annettuun haluttuun arvoon, ja säädin laskee eroosuuren perusteella ohjauksen toimilaitteelle. (5, s.13.)

Signaaleja merkitään seuraavanlaisesti: asetusarvo r , erosuure e , ohjaus u sekä säädettävä suure y . Säätöjärjestelmän pelkistettynä kuvauksena voidaan käyttää lohkokaaviokuvaa (Kuva 3), jossa kuvataan säätöpiirissä olevia signaaleja.



KUVA 3. Säättöpiirin peruskomponentit (5, s. 13)

Takaisinkytkentä on oikeastaan koko säätötekniikan perusta. Takaisinkytkennän avulla verrataan hetkellistä säädön tilaa haluttuun säädön tilaan. Vertauksen avulla tehdään ohjausmuutoksia halutun tilan saavuttamiseksi. Takaisinkytkennän avulla eliminoidaan häiriöitä säädössä. Haittapuolena voidaan pitää kuitenkin epästabiilia käytöstä, jossa esimerkiksi värähtelyn vaikutus kertautuu takaisinkytkennän vahvistuksen vuoksi. (5, s. 13.)

Säättöpiiri on suljettu, kun se on automaattiohjauksella (A), jossa käytetään takaisinkytkentää, ja avoin, kun se on käsiohjauksella (M) eikä takaisinkytkentä ole siis käytössä (5, s.13).

4.1.1 Säättöpiirin komponentit

Säädettävän suureen säätäminen haluttuun muotoon vaatii prosessin hyvää tuntemusta. Häiriöiden ja erilaisten asetuseromuutosten tunteminen helpottaa säädön suunnittelua huomattavasti. Tätä varten tarvitaan kuvaus järjestelmästä, matemaattinen malli. Prosessimalli muodostetaan vertailemalla ohjaus- ja mittaussignaalia sekä seuraamalla, miten mittaussignaali reagoi ohjaussignaalin muutoksiin. Prosessimalleissa usein mittausanturi sekä toimilaite sisällytetään prosessiin, joten niiden täytyy olla itse prosessia nopeampia. (5, s. 15.)

Toimilaite on säädössä ohjausmuutoksen tekevä laite, kuten venttiili. Esimerkiksi sakeus-säädössä ohjataan laimennusveden venttiiliä niin, että lähtevä sakeus tornista linjastoon on halutulla tasolla (5, s.16). Toimilaitteen mitoituksella prosessiin sopivaksi saadaan parempaa säätöä sekä kunnossapidollisesti taloudellisempaa tulosta. Toimilaitteen nopeuden tulee olla prosessille riittävä, muttei kuitenkaan liian nopea turhan toiminnan minimoimiseksi.

Säätötekniikassa mittaustekniikka on suuressa osassa. Sellaista suuretta, jota ei voida mitata, ei voida myöskään säätää. Mittaus ja suodatus tuovat säätöpiiriin hitautta ja viivettä, mutta ilman niitä mittaussignaaleissa olisi kohinaa, joka vaikeuttaa säädön analysointia ja toimintaa. Mittalaitteen sekä säätimen on hyvä olla samassa aikatarkkuudessa, jotta vältetään turhilta viiveiltä ja hitauksilta. (5, s.17.)

Prosessien ollessa erilaisia tarvitsevat ne erilaisia säätömenetelmiä. Säätösuunnittelun avulla voidaan valita oikeanlaiset säädinyhdistelmät (P-, PI-, PD-, PID) sekä viritysparametrit. Muita säädinmalleja ovat esimerkiksi sumeat säätimet, ennustavat säätimet sekä monimuuttujäsäätimet. Tässä työssä keskitytään PID-säätimeen (Proportional Integral Derivate) sen yleisyyden vuoksi ja siitä kerrotaan myöhemmin omassa luvussa. (5, s.18.)

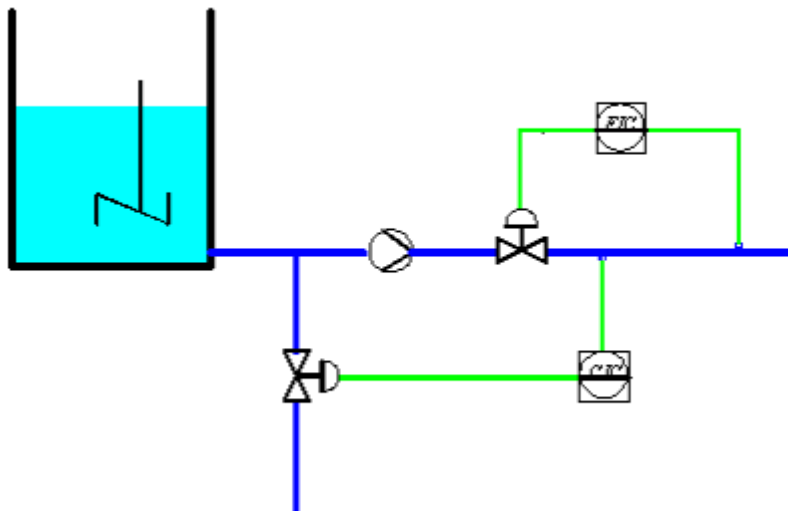
4.1.2 Häiriöt

Häiriöt säätöpiirissä ovat mm. mittauskohinaa ja kuormitushäiriöitä. Kuormitushäiriöt ovat usein askelmaisia tai jaksollisia, kohina on satunnaisempaa. Häiriöitä ovat esimerkiksi paineenvaihtelut sykäyksinä, aallot nesteen pinnassa tai saostumat massan mukana.

Säätöpiirien vaikutukset voivat olla myös häiriöitä toisilleen, jota kutsutaan ristikkäisvaikutuksiksi. Nopeammilla piireillä, joilla on suuri vahvistus, on ristikkäisvaikutukset merkityksellisempiä kuin hitaammilla piireillä. Toimilaittevat, kuten venttiilivika, ovat yleisesti helposti huomattavissa olevia häiriöitä ja ne on helppo eliminoida vaihtamalla rikkinäinen toimilaite uuteen toimivaan. (5, s.19.)

4.2 Takaisinkytkentä

Esimerkiksi sakeussäätö voidaan toteuttaa takaisinkytkennällä. Kuvassa 4 sekoitetaan kaksi nestettä pumpun imupuolella. Sakeussäädössä tyypillisiä häiriöitä ovat säiliön sakeusvaihtelut, virtausmäärien vaihtelut sekä painenvaihtelut laimennusvedessä. Normaalisti takaisinkytkennässä yhdellä ohjaussuureella säädetään yhtä mittaussuuretta. Kuvassa sakeussäätö sekä virtaussäätö ovat siis erilliset säätimet. Takaisinkytkentä on yksinkertainen ja helppo virittää, mutta koska säätövirhettä poistetaan viemällä erosuuretta suoraan säätimen tulosignaaliin, se ei ole välttämättä suorituskyvyltään ideaalein säätömalli. (5, s.32.)

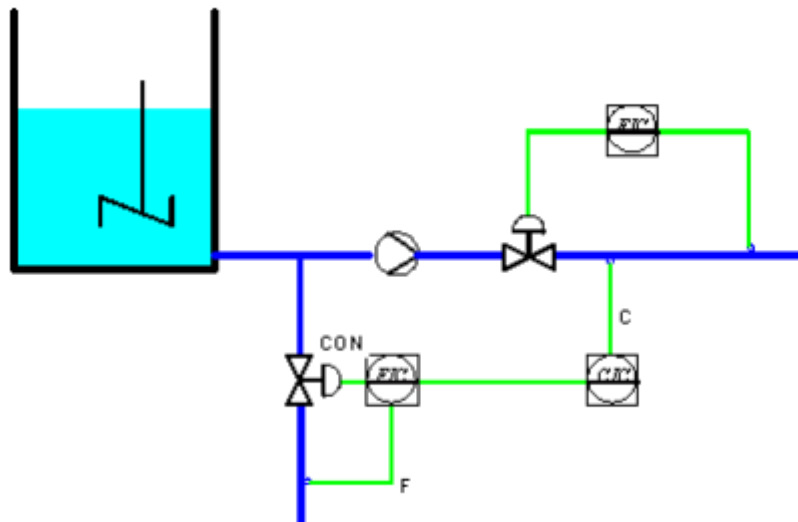


KUVA 4. Kaksi takaisinkytkettyä säätöpiiriä: sakeussäätö CIC ja virtaussäätö FIC (5, s. 32)

4.3 Kaskadikytkenä

Kaskadikytkenässä on useampi ohjaussuure ja yksi säädettävä suure. Toisin sanoen suureen ohjaus tapahtuu toisen suureen kautta. Kaskadikytkenän etu on sen nopeus, kun varsinaisen säätäjän apuna käytetään apusäätäjää, joka reagoi nopeammin ohjausmuutoksiin. Kaskadipiirissä on sisäkkäin säätösilmukoita, joista ulompi on yläsäädin ja sisempi apusäädin. Apusäätimen asetusarvo saadaan pääsäätimen ohjaukselta, eli apusäädin on remote-tilassa (R). Apusäätimen asetusarvo on siis jatkuvasti muuttuva suure. (5, s. 33.) Kuvassa 5 sakeudensäätö on toteutettu niin, että virtausmittaus (F) ja ohjaus (CON) on kytketty laimennusventtiilille. Laimennuspiiri toimii siis apusäätimenä

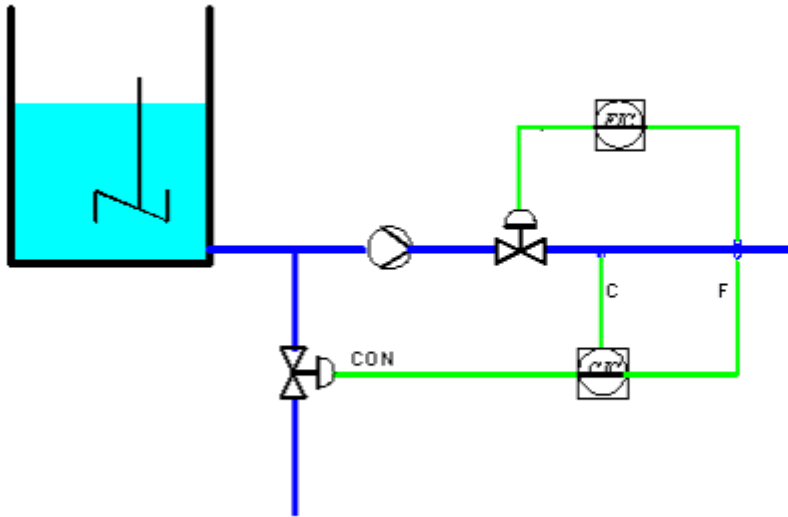
sakeussäädölle. Näin saadaan eliminoitua häiriöitä jo ennen kuin ne ehtivät vaikuttaa prosessiin. Säätopiirin viiveestä osa jää sisäisen piirin ulkopuolelle, jolloin pääsäädin on merkittävästi nopeampi. (5, s. 32–33.)



KUVA 5. Kaskadikytkentä, jossa laimennusveden virtauspiiri toimii apusäätimenä sakeussäädölle (5, s.32)

4.4 Myötäkytkentä

Kun prosessin kuormitushäiriö on mitattava ja käytöstä löytyy siihen soveltuva ohjaussuure, voidaan käyttää toimilaitteen ohjaukseen myötäkytkentää. Kompensointi kuitenkin edellyttää, että viive ohjauksen ja säädettävän suureen välillä on pienempi kuin häiriön ja säädettävän suureen väliseen viiveeseen. Oikein mitoitettulla myötäkytkennällä voidaan eliminoida mittavasti häiriöiden määrää, sillä myötäkytkentä tekee korjauksen ohjaussuureeseen ennen kuin se ehtii vaikuttaa säädettävään suureen. Kuvassa 6 esitellään sakeussäätöä myötäkytkennällä, jossa ohjaukseen summataan termi, joka on riippuvainen massavirtauksen muutoksista. (5, s.36.)



KUVA 6. Myötäkytkentä, sakeussäätimen ohjaukseen summataan termi, joka on suoraan riippuvainen massavirtauksen muutoksista. (5, s.36)

4.5 Suhdesäätö

Suhdesäätö on yleinen annostelu- ja sekoitusprosesseissa. Esimerkiksi sakeussäädössä laimennusveden määrää voidaan säätää suhdesäädöllä. Suhdesäädöllä pyritään pitämään tietynlainen suhde kahden tai useamman prosessimuuttujan välillä.

Suhdesäätimen virittämisessä ei ole mitään erityistä, esimerkiksi jos se on kytketty kaskadikytkennän apusäätimeen, viritetään se kaskadikytkennän ohjeilla. Suhdesäädön suhdeluku ei ole aina vakio, vaan se voi vaihdella esimerkiksi paperilajin vaihtuessa prosessissa. (5, s. 39.)

4.6 PID-säädin

PID-säädin on teollisuudessa yleisimmin käytetty säädin. PID-säätimen virittämisen peruseriaatteet ovat melko tunnettuja, ja se toimii hyvin myös piireissä, joihin vaikuttaa useita häiriöitä ja epävarmuustekijöitä. PID-säätimestä voidaan käyttää eri yhdistelmiä, kuten P-, PI- ja PD- säätimiä. Yleisimmin käytetty onkin PI-säädin. (5, s. 67.)

Kun säätimen tulona on erosuure (asetusarvo–mittausarvo), PID-säädin laskee ohjauksen kolmen eri osan summasta. Osat ovat:

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

Asetusarvon valinta voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla:

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

Käyttäjä antaa paikallisen asetusrvon (Local) PID-säätimelle, kun taas Computer- ja Remote-valinnat ovat muuttuvia asetusrvoja. Remote-valinnassa asetusrvo on siis järjestelmän sisäinen muuttuva arvo, kun taas Computer-valinnassa asetusrvo tulee järjestelmän ulkopuolelta tietokoneen laskemalta arvolta, usein ns. ylätasoon optimoivalta säätimeltä. (5, s. 67–68.)

4.6.1 P-säätö

P-säädössä jatkuva-aikainen ohjaussignaalin arvo on suoraan riippuvainen erosuureen arvosta kaavan 3 mukaisesti.

$$u(t) = K_p e(t) + u_0 \quad \text{KAAVA 3}$$

missä:

$u(t)$ = ohjaussignaali

$e(t)$ = erosuure

K_p = säätimen vahvistus

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

Kun ohjaussignaalin määrittelee oikein, siinä ei esiinny säätövirhettä halutussa toimintapisteessä. Kyseessä on siis pelkkä kerto- ja yhteenlasku. Erosuureen ollessa nolla on myöskin säätimen lähtö sama kuin u_0 (usein nolla). (5, s. 69.)

Tyypillisesti P-säädin jättää säädettävään järjestelmään hieman asento- ja nopeusvirhettä. Kun vakiotaso u_0 valitaan vastaamaan tyypillistä toimintapistettä, on asentovirhe kuitenkin melko pieni. P-säätimen huonona puolena on sen vahvistuksen ja erosuureen suhde. Vaikka säätimen vahvistus K_p olisi kuinka suuri, erosuure lähestyy nollaa koskaan kuitenkaan saavuttamatta sitä. Käytännössä tulee säätimen vahvistuksen yläraja vastaan paljon aikaisemmin. (5, s. 69.)

Esimerkkitalanteessa, missä erosuureeseen tulee muutoksia mutta säädettävä suure ei reagoi ohjaukseen, on takaisinkytkentä poissa käytöstä. Toisin sanoen prosessia ajetaan manuaalilla. Testitalanteessa voidaan tarkastella kuinka käytetty säädin yrittää ohjata prosessia. Säätimen ohjauksen ollessa askel, jonka koko on erosuureen askel kerrottuna vahvistuksella K_p , ohjaussuure pysyy vakiona, jos erosuure ei muutu. P-säätimellä on siis taipumus pysyvään virheeseen. (5, s. 69.)

4.6.2 Integroiva säätö

P-säädön asentovirhettä voidaan eliminoida lisäämällä integroiva säätö. PI-säätimen ohjaussignaali on

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt] \quad \text{KAAVA 4}$$

missä

T_i = integrointiaika sekunneissa

Signaalin vakiotaso u_0 on nyt korvattu ajan funktiona muuttuvalla suureen integraalilausekkeella. Integraalilauseke voidaan ajatella P-säädön erosuureiden summaan verrannolliseksi. Niin kauan kuin säätimen säätöpoikkeama ei ole nolla, säätimen lähtö muuttuu. Lähtöön siis vaikuttavat säätöpoikkeaman suuruus ja säätöpoikkeaman vaikutusaika. Integrointia voidaan matemaattisesti ajatella pinta-alan laskemisena, sillä ohjaustaso on riippuvainen sen pinta-alasta. PI-säädin on yleisin teollisuudessa käytetty säädin. (5, s. 72.)

Kun PI-säädön erosuureeseen tulee ensimmäinen askelmainen muutos, säätimen lähtö kasvaa aluksi melko suoraviivaisesti. Nousun kulmakerroin riippuu integrointitermin vahvistuksesta K_p/T_i . Kun erosuure on nolla, jää säätimen ohjaus vakioksi ja erosuureen ollessa negatiivinen säätimen lähtö pienenee. Erosuure vaihtaa merkkiään vain, kun säädettävä suure leikkaa asetusravon. Kun erosuure on nolla, säädin ja integrointitermi hakevat perustason, jolloin erosuureeseen ei jää pysyvää virhettä. Tämä vastaa P-säädön vakiotasoa u_0 . Lyhyesti sanottuna I-osa muuttaa ohjausta niin kauan, jotta säätöpoikkeamasta päästään eroon. (5, s. 72.)

Integrointi-osan päätarkoitus on siis poistaa jatkuvaa virhettä, sillä pienelläkin erosuureen arvolla integrointiosan vahvistuksen vuoksi säätimen lähtö kasvaa. Integrointiaika T_i on aika, jossa F-osa saa aikaan samansuuruisen muutoksen kuin P-osan askelmaisen erosuureen muutos. Integrointiaikaa pienentämällä pienennetään I-osan vaikutusta. Integrointiajan muotoa kaavassa 4 tarkastelemalla voidaan päätellä, että laittamalla integrointiaika T_i äärettömän suureksi, saadaan säädin muistuttamaan P-säätöä. Pienellä T_i :llä saadaan suuri ohjauksen kasvun muutos. (5, s. 77.)

4.6.3 Derivoiva säätö

Derivoivaa säätöä käytetään yleensä PD- tai PID- säädön muodossa. Derivaatta (d/dt) kuvaa suureen muutosnopeutta. PID- säätimen ohjaussignaali on

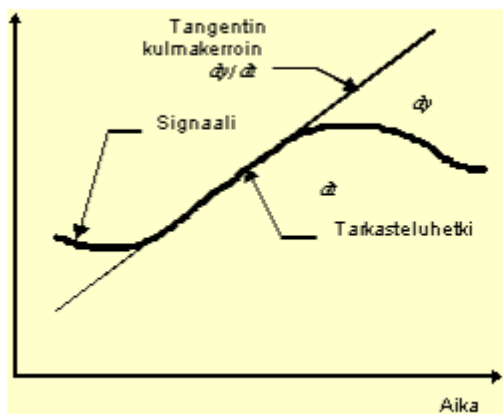
$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad \text{KAAVA 5}$$

missä:

T_d = derivointiaika sekunneissa.

Derivaatan ollessa nolla, muutoksia ei tapahdu ja silloin D-signaali on vakio. D- säädin on usein suunniteltu vain kuormitushäiriöiden kompensointiin, sillä erosuureen muuttumisnopeuden (=derivaatan) sijasta käytetään mittaussuureen muuttumisnopeutta $dy(t)/dt$. Säädin ei siis silloin reagoi D- osan kautta asetusravon muutoksiin ollenkaan. (5, s. 73.)

D-osa siis reagoi erosuureen muutosnopeuteen. Muutosnopeuden ollessa nolla, myös D-osan lähtökin on nolla. Kun erosuureessa näkyy askelmainen muutos, säätimen lähdössä näkyy piikki. D-säädössä ohjaus reagoi erosuureen muutoksiin rajusti enemmän kuin pelkästään säätöpoikkeaman suuruus edellyttäisi. Siksi D-osa kutsutaan ennakkoivaksi säädöksi. Matemaattisessa mielessä derivaatta tarkoittaa sitä, että sovitetaan suora (tangentti) tarkasteltavaan käyrään tarkastelupisteen kohdalle. Näin voidaan havainnoida ja ennakoida järjestelmän käyttäytymistä tulevaisuudessa. Lyhyillä ajanjaksoilla (Kuva 7) malli tuntuu toimivalta. (5, s. 73–74.)



KUVA 7. Derivaatan tangentin sovitus signaaliin (5, s. 74)

D-osan haittapuolena on sen taipumus korostaa korkeita taajuuksia, kuten mittauskohinaa. Tästä johtuen tarvitaan signaalien suodatusta tai derivaatan laskemista toisella tavalla. Prosessiteollisuudessa mittaukset ovat aina kohinaisia, joten D-osa ei käytetä usein. (5, s. 78.)

4.7 Prosessimallit ja virityksessä käytetyt prosessikokeet

Prosessimalleilla voidaan kuvata ohjaus- ja häiriösuureiden vaikutuksia prosessin säädettävään suureeseen. Tavoitteena on löytää tarkoituksenmukainen riippuvuus suureiden välille. Tällöin tarkastellaan pääasiassa vain signaaleja ja niiden kulkureittejä (informaatiotekninen malli). Prosessiteknisissä malleissa kuvataan todellisia prosessin fysikaalisia ilmiöitä. Mallien avulla voidaan suunnitella prosesseja varmemmin ja turvallisemmin. Sääntöteknisessä mielessä mallit ovat yksinkertaisempia, kuvaten lähinnä signaalien riippuvuuksia eikä niiden fysikaalisia reaktioita. Mallintaminen on paljon tietoa eri osa-

alueilta vaativaa työtä, eikä sitä koskaan saisi ajatella erillisenä osana säätösuunnittelua. Mallintaminen on kiinteästi riippuvainen säädön tavoitteista. (5, s. 110.)

Tulo- ja lähtösignaalien välistä riippuvuussuhdetta kutsutaan joko dynaamiseksi tai staattiseksi. Staattisessa systeemissä jokainen ulostulon arvo on kokonaan määritelty viimeimmän tulosignaalin mukaan. Dynaamisessa järjestelmässä huomioidaan tulosignaalin historia, sillä sen lähtö on riippuvainen myös aiemmista tulosignaalin arvoista. Dynaamiset järjestelmät voidaan jaotella hitaisiin ja nopeisiin, värähteleviin, stabiileihin ja epästabiileihin systeemeihin. Viive, eli kuollut aika, on tyypillinen dynaaminen systeemi. (5, s. 111.)

4.7.1 Askelvaste ja yleiset prosessityypit

Teollisuudessa käytetyin ja yksinkertaisin tapa kuvata järjestelmän käyttäytymistä on askelvaste. Askelvaste tehdään signaaliin syöttämällä järjestelmään askelmainen heräte ja mittaamalla järjestelmän lähtö. Askelvastekoetta käytetään varsinkin silloin, kun säädölle määritellään uusia viritysparametrejä. Askelkoetta voidaan käyttää useiden eri osien käyttäytymisen testaamiseen, kuten säätimen ollessa käsiajolla askelvastekokeella voidaan testata pelkästään prosessin käyttäytymistä. Kun säädin on automaattilla, askelvasteen avulla voidaan tarkastella koko säätöpiirin toimintaa ja erityisesti säätöparametrien toimivuutta. (5, s. 115.) Prosessit reagoivat eri tavoin askelvasteeseen, kuten esimerkiksi sakeussäädössä askelvastekokeen toteuttaminen on hieman epätoivottavaa, sillä askelvasteen tarvittavan askeleen muutoksen suuruus vaikuttaisi merkityksellisesti prosessiin. Prosessin tuntemus onkin tärkeää erilaisten kokeiden suorittamista varten.

Tyypillisimpiä teollisuusprosesseja voidaan kuvata riittävän hyvin yhden aikavakion avulla. Todellisuudessa prosessi voisi olla monimutkaisempi, mutta yksinkertaistamisen avulla havainnointi on helpompaa. Yhden aikavakion prosesseissa kuvataan järjestelmän dynaamista nopeutta. Kyseessä on siis dynaaminen ilmiö, sillä prosessissa tapahtuu varastoitumista. Hyvä esimerkki tällaisesta prosessista olisi lämpötilan säätö. (5, s. 115.)

Kun tarkasteltava piiri on esimerkiksi virtaus- tai painepiiri, aikavakioita on useampia. Useamman aikavakion piirit koostuvat useasta peräkkäisestä, rinnakkaisesta tai tietyin ehdoin takaisinkytketyistä yhden aikavakion prosessista. Käyrää tarkastellessa voidaan

havaita eri aikavakioiden vaikutus. Käyrän alussa nousu on rauhallisempaa kuin käyrän lopussa, joka aiheuttaa ongelmia kokonaisvaikutusten arvioinnin kannalta. Usein toimilaitte aiheuttaa ensimmäisen hitaamman aikavakion käyrään, ja myöhemmin prosessia dominoivampi aikavakio alkaa hallita käyrän kokonaiskuvaa. Siksi usein käyttötarkoituksen mukaan määritellään, onko tarpeellista huomioida toista aikavakiota lainkaan, vai voiko sen olemassaolon unohtaa kokonaan. Esimerkiksi toimilaitetta voidaan kuvata yhdellä aikavakiolla tai pakettina prosessin kanssa. (5, s. 116.)

Kun prosessi on stabiili, prosessin vaste suppenee askelmuutoksen jälkeen lopulliseen arvoonsa. Integroivassa prosessissa kuitenkin askelmaisen muutoksen jälkeen käyrä kasvaa siihen asti, kunnes prosessin rajat tulevat vastaan. Hyvä esimerkki tällaisesta tapauksesta olisi säiliön täytyminen. (5, s. 116.)

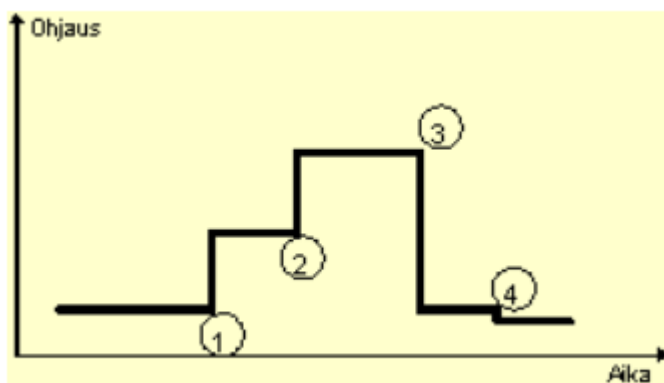
Kuolleen ajan prosesseissa mittaus reagoi askelmaiseen muutokseen tietyn viiveen jälkeen. Käyrää tarkastellessa ei tarvita muuta dynamiikkaa, vaan askelmaisten muutosten ohjauksen ja mittauksen välillä voidaan havainnoida pelkästään viiveen suuruutta. Prosessissa viivettä usein aiheuttavat toimilaitteen ja mittauksen etäisyys toisistaan, massan kulku-aika pisteestä toiseen sekä mittalaitteen oma hitaus. Suuri viive on ongelmallinen säädössä, sillä ohjaus kasvaa viiveen aikana huomattavasti, nostaen todellisen mittauksen nopeasti yli toivotun rajan. Viiveen kompensointiin ei ole monia menetelmiä, mutta esimerkiksi ennustavan säädön avulla voidaan pienentää viiveen vaikutuksia. Sakeussäädöissä viiveen vaihtelu on hyvä huomioitava asia, sillä esimerkiksi laimennusveden määrä ja virtausnopeuden muutokset vaikuttavat suoraan massan kulku-aikaan prosessissa. (5, s. 119.)

4.7.2 Askelvastekoe

Helpoin ja yleisin tapa prosessin määrittämisen kannalta on askelvastekoe ja prosessin parametrien asettaminen sen kannalta. Askelvastekokeessa säätimen ohjaukseen tehdään käsiajon aikana askelmainen muutos, jonka jälkeen prosessin annetaan asettua uudelle tasolle. Kokeesta lasketaan yksinkertaisimmillaan viivoittimen ja kynän avulla uudet parametrit prosessille. Kuitenkin suurimmassa osassa viritystyökaluja askelvastekokeen suorittaminen on mahdollista ilman viivaintakin. Askelvastekokeen ihanteellinen tila olisi häiriötön, mutta koska se ei käytännössä ole juurikaan mahdollista, operaattorin tulee

muokata hieman mittausdataa askelvasteelle sopivaksi. Askelvastekoetta tehtäessä on hyvä huomioida, että prosessi ei välttämättä reagoi samalla tavalla nostavaan tai laskevaan askeleeseen. Askelvastekoe onkin hyvä toteuttaa molempiin suuntiin. Askeleen pitää olla teräväreunainen, joten nuolinäppäimillä nostettu askel signaaliin ei riitä. (5, s. 136.)

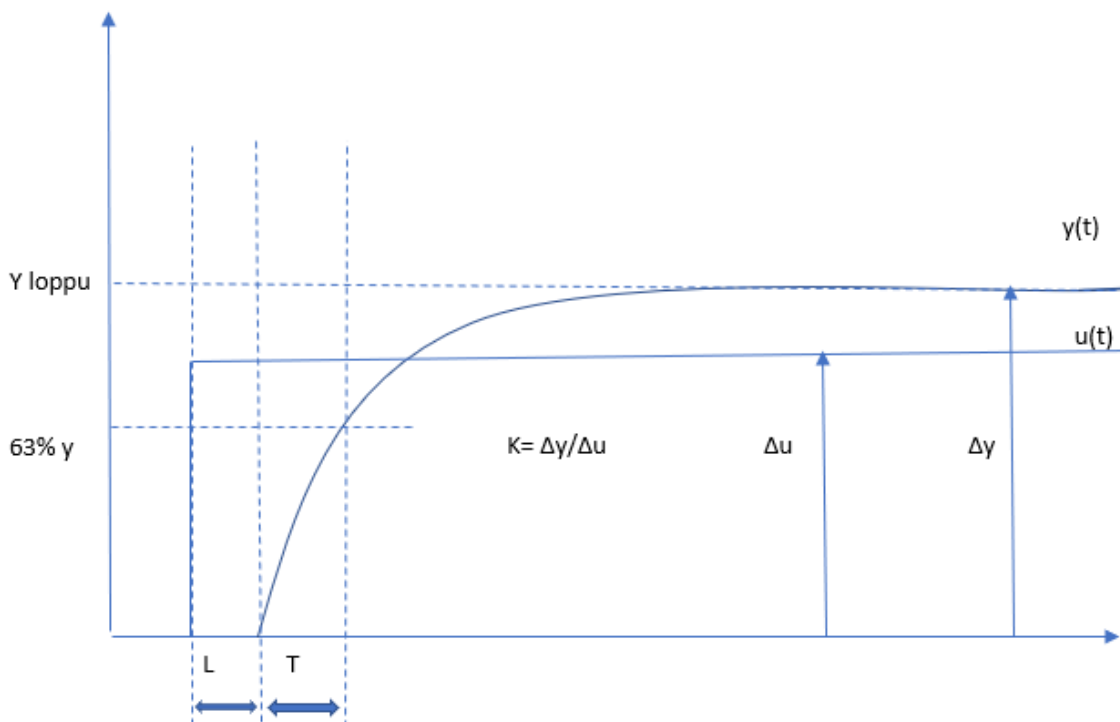
Askelvastekoe voidaan toteuttaa useina peräkkäisinä askelvastekokeina. Näin voidaan havainnoida eri prosessin osien käyttäytymistä. Kuvassa (Kuva 8) ensimmäisessä askeleessa on tarkoituksena poistaa ylimääräiset välykset toimilaitteesta, jonka jälkeen toisen askeleen kokeessa voidaan määrittää todelliset parametrit prosessille. Kolmannen askeleen avulla voidaan tarkastaa uusien parametrien hyvyyttä sekä hystereesin määrää. Hystereesin tulisi olla mitätön, eli askeleen jälkeen prosessisuureen pitäisi palautua samalle tasolle aiemman askelvasteen kanssa. Neljännen askelvastekokeen avulla voidaan havainnoida, kuinka pieniin askelmaisiiin muutoksiin prosessi ylipäättään reagoi. (5, s. 136–137.)



KUVA 8. Useamman askelvastekokeen trendi, jolla voidaan havainnoida prosessia ja toimilaitetta (5, s. 137)

Askelvastekokeen avulla saadaan määriteltyä järjestelmän viive, vahvistus sekä aikavakio. Tämä pätee vain yhden aikavakion ja viiveen prosesseissa. Kuollut aika, eli viive L , näkyy käyrän alussa, jolloin prosessi ei reagoi ollenkaan ohjaussignaalin muutokseen. Viiveettömässä prosessissa prosessi reagoi välittömästi ohjaussignaalin muutokseen eikä käyrässä silloin näy kuollutta aikaa. Prosessin vahvistus K on mittausignaalin muutoksen ja ohjaussignaalin muutoksen suhde. Signaalien on oltava samassa skaalassa,

joten niitä joudutaan usein skaalaamaan toisilleen sopiviksi. Järjestelmän nopeuteen verrannollinen aikavakio T voidaan määrittellä askelvastekokeesta usealla tavalla. Yleisin tapa on kuitenkin arvioida aikavakio 63%:n nousuajan kohdalta (Kuva 9). Kuollut aika L ei kuulu nousuaikaan, vaan se jätetään aikavakion määrittelystä pois. Prosessin asettumisaika on arvioitu 4–5 kertaa aikavakion suuruus, johon lisätään vielä viive. Asettumisajalla tarkoitetaan tasoa, jossa prosessi on saavuttanut +1% loppuarvostaan pysyvästi. (5, s. 122.)



KUVA 9. Askelvasteen parametrien määrittäminen (5, s. 123)

4.8 PID-säädön viritys

Säätöä suunniteltaessa tavoitteiden tietäminen on tärkeää. Tavoitteena voi olla hallita joko asetusarvomuu-tilanteet tai kuormitushäiriötilanteiden kompensointitilanteet. Tavoitteen määrittelyn jälkeen voidaan valita siihen oikeanlaiset säätöratkaisut ja viritysmene-

telmät. Suunnittelussa on myös otettava huomioon järjestelmän dynamiikka, epälineaarisuudet, häiriöt sekä epävarmuuksia koskevat ehdot. Ohjeena annetaan, että asetusarvo- ja kuormitushäiriötapaukset, mittauskohinat sekä mallintamisvirheet käsiteltäisiin omina tapauksinaan. Ohjaussignaalin tarkastelua ei pidä unohtaa, sillä myös sen käyttäytymisen avulla voidaan päätellä paljon järjestelmän luonteesta. (5, s. 146.)

Prosessia simuloimalla voidaan varmistaa prosessin mallinnuksen oikeellisuus vertailemalla simuloitua vastetta ja prosessikokeesta kerättyä dataa. Saadun mallin avulla prosessia voidaan havainnoida tarkemmin. Tämän jälkeen voidaan valita sopiva säätöratkaisu, joka usein on PID-säädin. Säättösuunnittelun osuudeksi jää selvittää, millaisella yhdistelmällä (P, PI, PD, PID) säätöä kannattaa toteuttaa ja millaisilla parametreilla kyseinen prosessi kannattaa virittää. Virittämiseen liittyy aina säädön suorituskyvyn analysointi sekä virityksien testaaminen simuloinneilla. Lopullinen testaus suoritetaan todellisella järjestelmällä joko prosessikokeen avulla tai seuraamalla prosessikokeen käyttäytymistä aiempiin parametreihin verrattuna. Viritystä tehdessä täytyykin aina muistaa, että vanhojen parametrien säilyttäminen on tärkeää, jotta voidaan aina palata aiemman säädön tasolle. (5, s. 147.)

Säätöpiirin hyvän virityksen tavoitteina voidaan pitää riittävää säädön tarkkuutta, riittävää nopeutta eli asetusarvon seurantakykyä, kuormitushäiriöiden kompensointikykyä, ohjaussignaalin rauhallista käyttäytymistä sekä epäherkkyyttä mittauskohinaa sekä parametrimuutoksia kohtaan. Optimaalisen virityksen saavuttaminen onkin tasapainottelua näiden tavoitteiden mukaisesti, jolloin onkin tärkeää priorisoida asiat prosessiin nähden. Säätöpiirin nopeus ja tarkkuus saavutetaan, jos avoimen piirin vahvistus (prosessivahvistus * säätimen vahvistus) on mahdollisimman suuri. Prosessin hallittavuutta voidaan kasvattaa tällä tavalla, mutta liian suuri säätimen vahvistus johtaa kuitenkin prosessin epästabiliin käytökseen. (5, s. 149.)

Säätöpiirin kokonaisvahvistusta voidaan muokata PID-säätimen virityspareetreillä. Vahvistusta K_p kasvattamalla vaikutetaan koko taajuusalueeseen ja piirin vahvistusvara pienenee. Lyhentämällä integrointiaikaa T_i nostetaan alhaisten taajuuksien vahvistusta ilman, että se vaikuttaisi liikaa korkeampiin taajuuksiin. Derivointiaikaa T_d kasvattamalla säätöpiiristä tulee herkempi mittauskohinalle. (5, s. 150.)

4.9 Lambda-viritys

Lambda-viritysmenetelmä on mallipohjainen viritysmenetelmä, jossa käyttäjä määrittelee suljetun piirin käyttäytymisen suljetun ja avoimen piirin aikavakioiden suhdekertoimen avulla. Viritysparametrierroin on Lambda (λ). Tässä mallinnuksessa käyttäjä määrittelee suljetulle piirille sopivan aikavakion. Tämä on helppo tapa määrittää säätöpiirille nopeustavoite, sillä suhdekertoimen fysikaalinen merkitys on helppo ymmärtää tässä muodossa. Tällä menetelmällä on mahdollista saavuttaa riittävän rauhallinen vaste sekä ohjaussignaali. Lambda-virityksessä valitaan ensin haluttu käyttäytyminen prosessille suljetussa piirissä, ja sen jälkeen valitaan siihen sopiva säädin.

Yleisimmissä viritystyökaluissa on valmiina mahdollisuus lambda-viritykselle. Lambda-menetelmä on tullut yleiseksi sen yksinkertaisuuden ja selkeän rakenteen vuoksi maailmalla. Erityisen hyvin se soveltuu virtaus-, paine-, ja sakeuspiireille.

Lambda-viritys soveltuu siis viiveellisille prosesseille. Alla on kaava 6 jossa tarkastellaan yhden viiveen ja aikavakion prosessin siirtofunktion laskentaa. (3, s. 117.)

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-sL}}{Ts+1} \quad \text{KAAVA 6}$$

missä

$Y(s)$ = säädettävä suuren laplace-muunnos

$U(s)$ = ohjauksen laplace-muunnos

K = prosessin vahvistus

T = aikavakio

L = viive

Suljetun piirin siirtofunktio määritellään avoimen piirin siirtofunktion perusteella ja piirin vahvistus määritellään ykköseksi, jolloin säädettävä suure asettuu samalle tasolle asetusravon kanssa. Viive pysyy samana, sillä prosessin viivettä ei voida muuttaa virityksen aikana. Lambda-arvo toimii aikavakion viritysparametrina. Jos $\lambda > 1$, on suljettu säätöpiiri

hitaampi kuin avoin piiri. Jos $\lambda < 1$, on suljettu piiri nopeampi kuin avoin piiri. Teollisuudessa säätöpiirien nopeudet valitaan yleensä niin, että λ -arvo on 0,5 – 5. Kaavassa 7 on esitetty suljetun siirtofunktion laskentakaava. Kuvassa 10 havainnoidaan lambda-viritystä lohkokaavioesityksellä. (3, s. 117.)

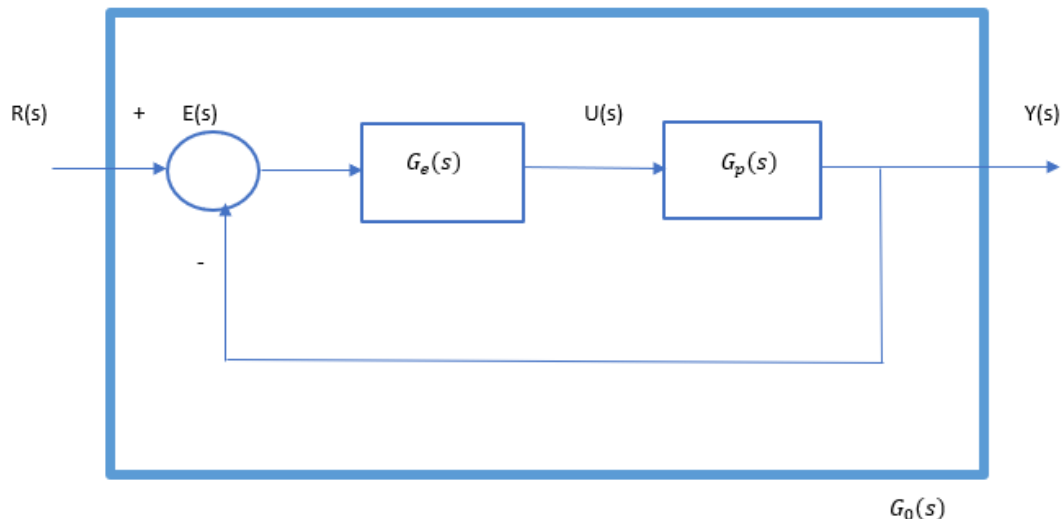
$$G_0(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{e^{-sL}}{\lambda Ts + 1}$$

KAAVA 7

missä

$R(s)$ = siirtofunktion asetusarvon laplace-muunnos

λ = viritysparametri



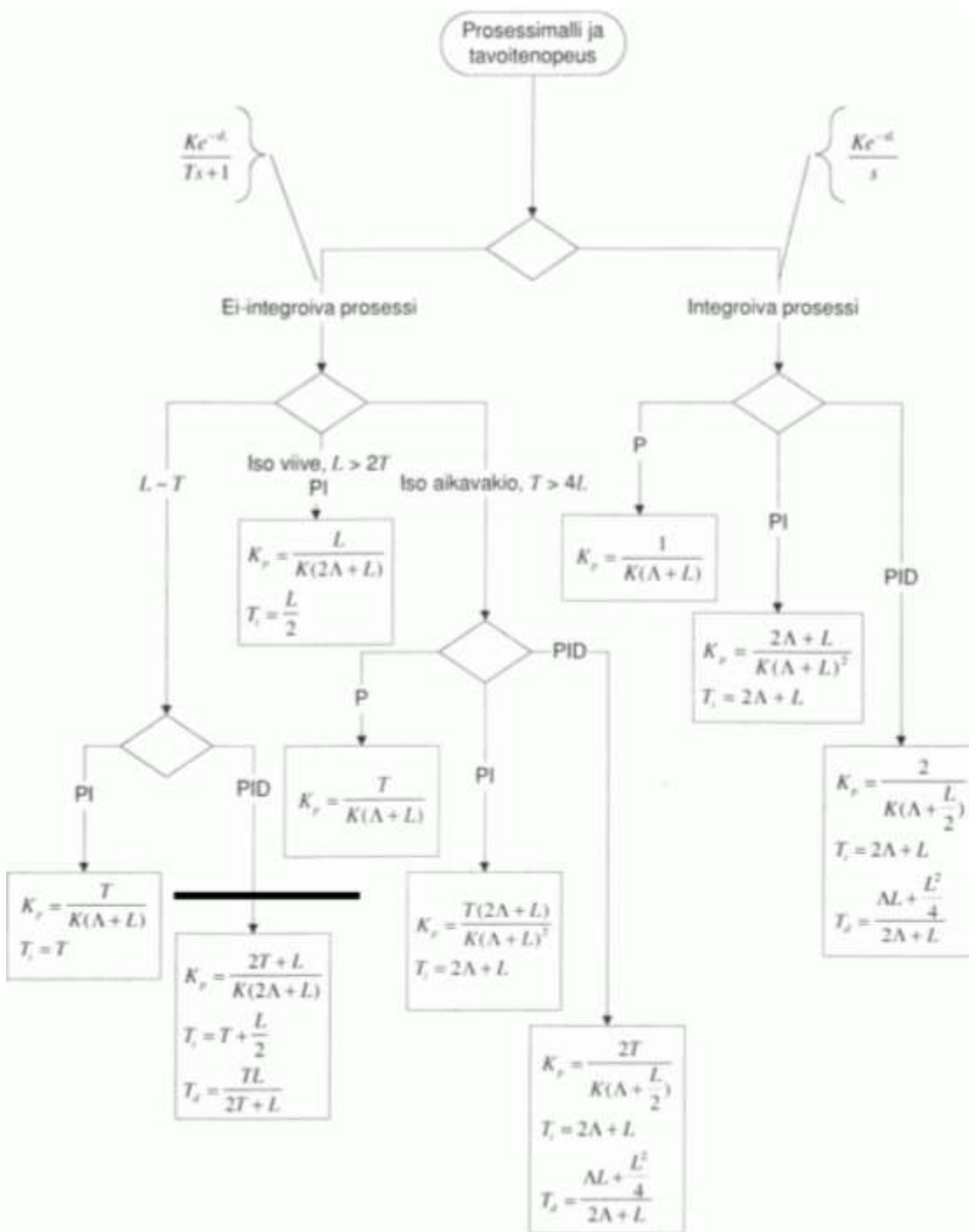
KUVA 10. Lohkokaavioesitys Lambda-virityksestä (3, s. 118)

Kuvan (Kuva 10) ja suljetun piirin siirtofunktion perusteella lasketaan säädinrakenteen siirtofunktio alla olevalla kaavalla 8. Siirtofunktion avulla valitaan säädintyyppi kyseiselle prosessin säädölle. (3, s. 118)

$$G_e(s) = \frac{Ts + 1}{K(\lambda Ts + 1 - e^{-sL})}$$

KAAVA 8

PID-säätimen viritys tehdään usein yksinkertaisilla laskentakaavoilla, kun prosessimalli oletetaan hyvin yksinkertaiseksi. Kuvassa 11 olevilla laskutoimituksilla lasketaan PID-säädön parametrit. Ensin valitaan, onko prosessi integroiva. Tämän jälkeen oletetaan, että prosessin malli on tunnettu, eli tiedetään vahvistus K , aikavakio T ja viive L . Yhden aikavakion ja viiveen malleissa virityskaavat riippuvat lisäksi näiden kahden suureen suhteesta toisiinsa. Säätotulos annetaan käyttämällä suljetun piirin tavoiteaikavakiota, eli lambdaa. P-, PI-, PID- säätömenetelmillä on omat laskentakaavat. (3, s. 122.)



KUVA 11. PID-säätimen virityskaavat Lambda-virityksellä (3, s. 123)

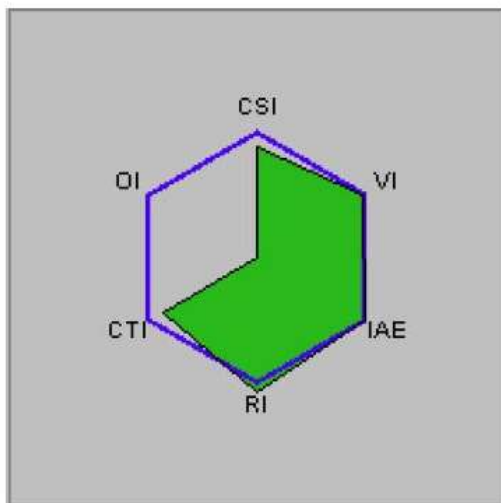
4.10 Säätöpiirin kunnonvalvonta

Säätöpiirin kunnonvalvontaa tehdään samalla periaatteella kuin toimilaitteiden kunnonvalvontaa. Säätöpiirin kunnonvalvonnalla voidaan optimoida säätöä ennen kuin ongelmat näkyvät prosessissa. Kunnonvalvonnalla saadaan merkittäviä säästöjä tuotannossa sekä

kunnossapidossa. Käytännössä siis prosessit ja järjestelmät ovat aikavariantteja, joten ne kuluvat ajan mukaan. Säättöpiirien seuraamattomuuden haittavaikutuksia ovat mm. alhaisemmat tuotantomäärät, tuotannon laatuongelmat sekä tarvetta suuremmat ympäristöpäästöt.

Säättöpiirien kunnonvalvonnan suurimpiin etuihin kuuluu ennakoitavien huoltotoimenpiteiden suuri hyöty prosessiin nähden. Säättöpiirien kunnonvalvonnan avulla löydetään prosessien heikot kohdat, ja niiden korjaamisella vaikutetaan koko prosessin hyvyyteen. Ennakkohuoltojen tekeminen prosessiin on huomattavasti taloudellisempaa korjaaviin ja mahdollisesti tuotannon seisauttaviin korjauksiin verrattuna.

Säättöpiirin suorituskyvyn perinteisinä indikaattoreina pidetään tarkkuutta, nopeutta, häiriötoleranssia, robustisuutta sekä säätimen tekemän työn määrää. Säättöpiirien kunnonvalvonnan raakaindeksit lasketaan reaaliaikaisista mittauksista, prosessimallista sekä vitysparametreista. Jokaisella säätöpiirin hyvyyden osa-alueella on omat laskentakavaansa, joiden avulla tietoja peilataan annettuihin haluttuihin tasoihin. Säättöpiirin kunnonvalvonnessa käytetään mm. Valmet automation Oy:n LoopBrowser-ohjelmaa. Säädöstä saadut skaalatut suorituskykyarvot esitetään LoopBrowser-ohjelman näytöllä. Kuvassa (Kuva 12) nähdään ote LoopBrowserin näytöstä, josta nähdään nopeasti eri osa-alueiden tilanne kyseistä säätöä tarkasteltaessa. (6, s. 6–8.)



KUVA 12. Säättötimantti LoopBrowserissa (6, s. 8)

Säätötimantin kulmissa sijaitsevat indeksilyhenteet tarkoittavat:

CTI = ohjauksen työn indeksi

IAE = absoluuttinen virheindeksi

VI = vaihteluväli-indeksi

OI = värähtelyindeksi

CSI = säätöpiirin nopeusindeksi

RI = robustisuusindeksi

Tarkastelutimantin avulla voidaan havainnoida useampaa indeksiä samanaikaisesti säätöpiiristä. Tarkastelutimantti kuvaa säädön tilaa paremmin ja selkeämmin kuin pelkästään mittaus- ja ohjaussignaalin tarkasteluun. Värillinen alue timantin sisällä on muuttuva muoto, jolla kuvataan säädön tilannetta. Jonkin säädön ominaisuuden korostuessa vika-tilanteessa kyseisen kulman suuruus kasvaa ja värillisen alueen muoto muuttuu sitä kulmaa kohden. Näytöllä näkyy myös kommentti, mikä säädössä voisi olla vialla. Näin saadaan nopeasti tarkasteltua säädön ongelmia. Myös timantin värillä on väliä. Vihreä väri ilmaisee automaattiajoa sekä säädön tilannetta hyväksi. Keltaisella värillä säätöpiiri on automaattiajolla, mutta suorituskyky ei ole paras mahdollinen. Valkoisella värillä säätöpiiri on käsiajo-tilassa. Ruskealla värillä indikoidaan taas pakko-ohjaustilaa. (6, s. 9.)

Tässä opinnäytetyössä LoopBrowserin käyttö on keskeisessä osassa, ja sen käyttöä sekä muita ominaisuuksia esitellään myöhemmin lisää.

5 SÄÄDÖN PARANTAMINEN

Opinnäytetyön aiheen mukaisesti keskityttiin kartonkitehtaan sakeussäätöihin. Työ aloitettiin aloituspalaverissa annetun sakeus audit 3.5.2016:n tarkastelulla. Sovittiin, että opinnäytetyön aihe tulisi valita joistakin sakeus auditin 29 sakeuspiiristä. Tavoitteena myös määriteltiin aloituspalaverissa Valmet Control Performance Työkalupaketin oppiminen, joten sakeuspiirien tutkiminen tuki myös tätä tavoitetta.

Sakeussäätöjä tarkasteltaessa tutkittavat piirit jaoteltiin 2 ryhmään, suuriin ja pieniin huomioiden. Pienempien huomioiden ryhmään kuuluivat sellaiset säädöt, jotka toimivat jo hyvällä tasolla, olivat poissa käytöstä tai olivat suurimman osan ajasta manuaaliohjauksella. Säätöpiireistä käytiin keskustelemassa valvomossa operaattoreiden kanssa, ja näistä kommentteista koottiin päivitetty sakeus audit Valmetille käytettäväksi. Kuitenkin prosessikalaisuuksien säilyttämiseksi näitä ei esitellä tässä opinnäytetyössä.

Suurempien huomioiden ryhmässä olevia sakeussäätöjä tutkittiin Valmet Control Performance Työkalupaketin avulla. Varsinkin aiemmin esitellyn LoopBrowserin merkitys säätöjen tutkimuksessa oli merkittävä.

Opinnäytetyön kohteeksi valitun sakeussäädön QIC-001 (positiotunnukset muutettu prosessikalaisuuksien turvaamiseksi) tutkiminen aloitettiin Valmetin DNA Reportin avulla. Opinnäytetyön alkuvaiheessa hyödynnettiin asset management hallintatyökaluja. Monitoring applications -valinnan alta avautuu Looppi-koneen valvontaraportteja (Kuva 13). Raporteista pääosin hyödynnettiin Loop Ranking- listausta sekä oscillating loops (värähtelevät piirit) -välilehtiä.

DNA Report

Asset Management / Monitoring Applications / Loop Monitoring Reports / Loop Ranking

Process Area Selection

Select Site: MB Kiemi

Current Tag: All available

Loop Monitoring TOP-listaus

Classic: MB Kiemi

Tuoreus: 5.12.2015

0 = Performance = status epäily, josta korjauksia tarvitaan
 1 = Automatin = status epäily, josta korjauksia tarvitaan
 2 = Saturation = status epäily, josta korjauksia tarvitaan
 3 = Fault = status epäily, josta korjauksia tarvitaan

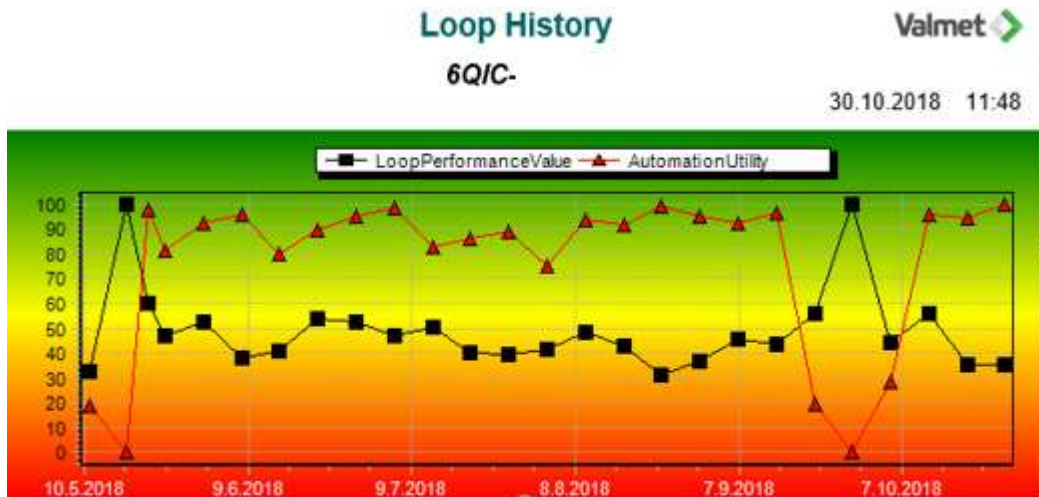
100 = Hyvä
 0 = Huono

Problemi	Fluensi	Tila	Diagnostiikka	P	A	S	F	Käsin tehty määrä (kpl)	Automaattinen määrä (kpl)	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	Total ranking	Kommentit
BAD Control saturated	0	100	5	100				0	8	1	122	13		14.1	
BAD Control saturated	0	35	85	100				0	8	3	34	81		21.8	
BAD Control saturated	0	100	5	100					8	8	171	14		22.1	
BAD Control saturated	0	88	40	100			14	8	11	37	36	87		28.8	
BAD Oscillating loop	0	100	98	100					5	5	199	27		28.8	
BAD Control saturated	28	100	25	100					38	77	38			32.2	
BAD Control saturated	0	100	1	100					10	262	8			33.0	
BAD Control saturated	1	100	7	100					20	198	28			33.0	
BAD Disturbance peak	0	100	98	100					7	204	88			33.5	
BAD Control saturated	8	100	8	100						39	145	23		33.7	
BAD Control saturated	3	100	2	100						26	108	8		35.1	
BAD Control saturated	0	100	100	100					4	153	104			37.1	
BAD Oscillating loop	0	100	97	100	88			1	2	130	78	77		37.5	
BAD Control saturated	4	100	3	100						27	242	10		41.4	
BAD Small or slow oscillations	0	100	1	100	0			3	8	209	8	48		41.8	
BAD Control saturated	0	100	5	100						13	337	18		43.1	
OK Controller in manual or force-mode	3	100	100	100						26	120	164		43.4	
BAD Control saturated	0	100	20	100						12	338	32		44.0	
BAD Control saturated	0	100	8	100						18	342	17		44.9	
BAD Control saturated	0	100	5	100						18	343	18		45.7	
BAD Control saturated	2	100	3	100						22	319	11		45.2	
BAD Small or slow oscillations	37	97	24	100	88			3	44	52	34	68		48.2	
BAD Control saturated	0	100	82	100						14	338	80		48.2	
BAD Control saturated	0	100	5	100						18	358	20		48.4	
B&T Control saturated	14	100	0	100						40	144	1		48.4	

KUVA 13. Kuva DNA Report hallintatyökalujen näkymästä

Loop Ranking -välilehdellä näkyy kaikki kartonkitehtaan piirit. Loop Ranking -työkalu on tärkeä osa säätöpiirien kunnonvalvontaa, sillä sinne listautuu huomiota tarvitsevat piirit yläosan siniselle alueelle, josta ne on helppo poimia ja aloittaa tutkimaan mahdollisia korjaustoimenpiteitä. Listautumisessa hyödynnetään mm. säätöpiirille annettua viikkoarvosanaa, automaatioastetta, käsin tehtyjen muutoksien määrää sekä säätöpiirin saturaatioastetta (milloin säätöpiiri on ollut fyysisiä rajoja vasten). Työkalu hyödyntää siis indeksejä, jotka on määritelty jokaiselle piirille erikseen. Määritellyjä tavoitearvoja verrataan nykyiseen säädön toimintaan, ja näiden avulla muodostetaan viikkoraportteja säätöpiirin toiminnasta. Jos indeksitavoitteet eivät täyty, muuttuu piirin tila BAD kommentiksi ja se listautuu siniselle alueelle, mistä piirien analysoijan on näin helppo havaita se. Välilehdellä näkyy pisteitä asteikolla 0–100 säätöpiirin kunnon mukaan. Pisteitä seurataan esimerkiksi sen mukaan, minkä verran säädin on ollut viikon aikana automaattiajolla.

Valitsemalla halutun kohteen säätöpiiri listauksesta, avautuu kyseisen säätöpiirin viikkoraportit. Viikkoraporttien yläpuolella näkyy myös trendi, jossa seurataan säätöpiirin käytön automaatioastetta sekä sen aikaista säätöpiirin kunnan arvosanaa. Arvosana muodostetaan tavoiteltujen indeksien toteutuvuuden perusteella. Kuvassa 14 nähdään viikkoraporttilistausta sekä edellä mainittu trendi. Kuvassa näkyy esimerkiksi 7.10.2018 kohdalla tehtaasta seisakki, jolloin piiri on ollut kokonaan käyttämättä ja automaatioaste on silloin nolla.



KUVA 14. Pitemmän ajan trendi säätöpiirin toiminnasta

Avaamalla säätöpiirin viikkoraportin saadaan tarkempaa analyysia säätöpiirin toiminnasta. (Kuva 15.)

Control Performance Report

Valmet >

6QIC-

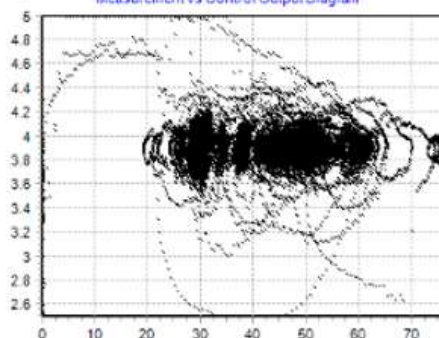
18.10.2018 18:24:04

>> Loop Browser

Performance Values

Loop Performance Value 35.51068
 Loop in Auto Mode (% of time) 94.31548
 Control Saturated (% of Time) 0.07936508
 Measurement Fault (% of Time) 0

Measurement vs Control Output Diagram

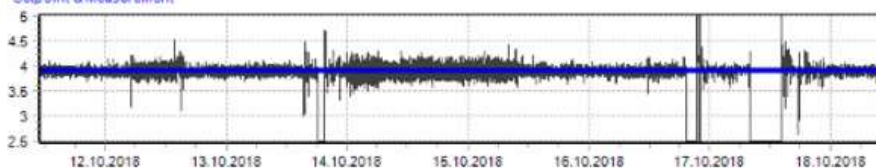


Most Common Situations (Percentage of Time)

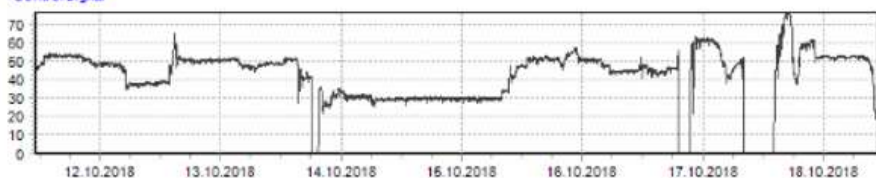
Description	Percentage	Description	Percentage
Small or slow oscillations	50	OK / Oscillation echo	17
OK / Control error and control travel small	12	Oscillating loop	10
OK / Control travel extra small	2	OK / Control error extra small	2
Load disturbance	1		

Loop Signal Trends

Setpoint & Measurement



Control signal



KUVA 15. Viikkoraportti säätöpiirin kunnosta

Viikkoraportissa kuvataan säätöpiirin toimintaa piirakkakuvion, viikon ohjaus- ja mittaus-trendin sekä pistediagrammin avulla. Piirakkakuviossa näkyy kommentteja säätöpiirin käyttäytymisestä viikon aikana. Kuvassa 14 hallitsevana osuutena näkyy Small or slow oscillations, joka viittaa piirin pieniin tai hitaisiin värähtelyihin. Tämän sakeussäädön kohdalla huomio kiinnittyi ensimmäisenä Loop Performance Valueen, joka on vain 35,5.

Myös pistediagrammi osoittaa, että mittauksen ja ohjauksen säätöpisteet ovat hyvin hajanaiset, kun tavoitteena olisi siisti yhteneväinen joukko pisteitä.

Slow oscillations -kommentilla on hallitseva osuus säätöpiirin toiminnan piirakkakuviossa. Kuitenkin välilehden oscillating loops avulla (Kuva 16) voidaan nähdä, että värähtelyjen huippujen välinen aika on yli 1000 sekuntia. Näin suurella taajuudella värähtelyä ei voida pitää luotettavana analysaattorina säätöpiirin kunnan valvonnassa, varsinkin kun kyseisen piirin mittauksessa voidaan havaita paljon lyhyemmällä aikavälillä muita epäsäännöllisiä värähtelyitä.

Date	Tag Name	Cycle Time [s]	Frequency [Hz]	PeakSize
8.10.2018 16:44:17	6QIC-	1 365	0.0007	82.5
12.10.2018 16:54:51		1 638	0.0006	34.0
15.11.2018 3:56:49		1 638	0.0006	118.2
10.10.2018 0:02:29		1 638	0.0006	28.8
9.10.2018 16:09:35		1 638	0.0006	31.5
10.10.2018 9:06:19		1 638	0.0006	20.1
8.10.2018 16:44:16		1 638	0.0006	129.3
9.10.2018 0:11:21		1 638	0.0006	109.0
8.10.2018 16:44:16		1 638	0.0006	51.8
8.10.2018 16:44:16		1 638	0.0006	130.2
10.10.2018 22:11:38		1 638	0.0006	181.3
9.10.2018 3:28:47		1 638	0.0006	183.1
8.10.2018 16:44:16		1 638	0.0006	218.4
8.10.2018 16:44:17		1 638	0.0006	190.2
18.10.2018 0:58:27		1 638	0.0006	235.5
15.11.2018 3:27:52		1 638	0.0006	254.3
8.10.2018 16:44:17		1 638	0.0006	119.5
4.11.2018 13:06:25		1 638	0.0006	21.4

KUVA 16. Värähtelevien piirien listaus

Listauksessa kerätään allekkain samalla taajuudella värähtelevät piirit yhteen. Tämän avulla voidaan löytää yhteinen tekijä usealle värähtelylle, joka on yleensä suurimman peak size -arvon omaava piiri. Peak size kuvaa värähtelyn kokoa.

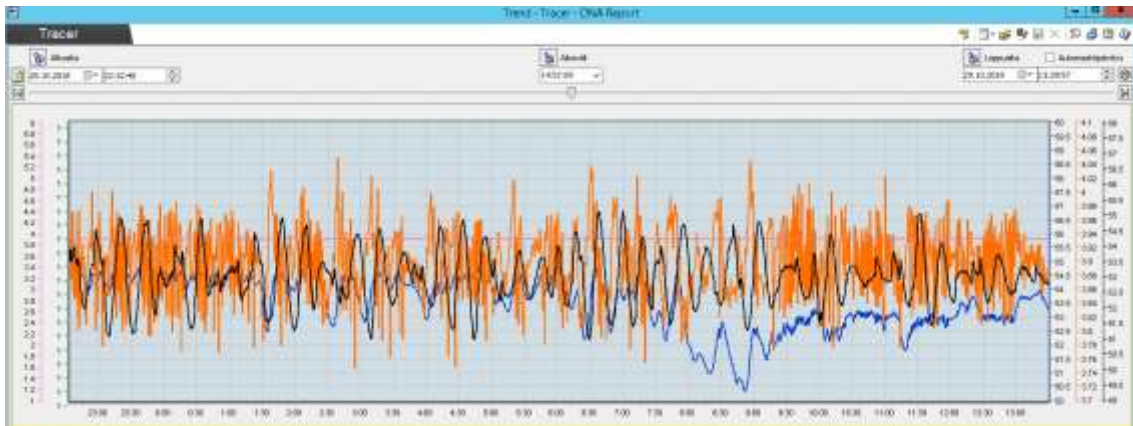
Kuvassa 15 huomataan mittauksen ja ohjauksen viikkotrendissä suuria, useamman kymmenyksen sakeusheittoja. Tätä lähdettiin tutkimaan ensin prosessikuvan avulla. Kuitenkin sakeuden pitäisi olla mahdollisimman tasalaatuista läpi koko prosessin.

Kohdesäätöpiiri QIC-001 sijaitsee hylkymassaosastolla. Hylkymassaa ajetaan hylkymassasäiliöihin prosessista eri vaiheissa, kuten katkojen, tuotteen leikkauksien sekä tuotteen hylkäyksien aikana. Prosessin katkojen aikana massa ajetaan säiliöön SL100, ja prosessin aikana syntyvää hylkymassaa ajetaan säiliöön SL300. Säiliöstä SL100 massa jatkaa matkaansa sakeuttajalle, missä massasta poistetaan vettä jatkokäsittelyä varten.

Massan kulkua ohjaa suhdesäädöllä toimiva virtausmittaus FFIC-001. Suhdesäätöä toteutetaan virtaussäätimen FFIC-002 kanssa. Suhdesäätöä muutetaan massavarastojen mukaan. Säiliötä SL200 voidaan pitää sekoitussäiliönä prosessin seuraavaa vaihetta, kuiduttimia varten. Sakeussäätö QIC-001 mittaa kuiduttimille menevää sakeutta.

Sakeussäätö QIC-001 mittaa sakeutta Smart Pulp -lapamittauksella. Sakeuden mittaus sijaitsee suhteellisen kaukana itse säädön olinpaikasta, joka aiheuttaa viivettä säädössä. Sakeutta säädetään SL200-säiliön vasemmalla puolella näkyvillä laimennusvesilinjoilla. Laimennusvettä syötetään kahden segmenttiventtiilin kautta massalinjaan halutun sakeuden saavuttamiseksi. Sakeussäädön QIC-001 alla näkyy myös venttiileiden valintalohko, josta voidaan määritellä laimennusvesiventtiileiden toimintaa.

Prosessin kulkua tarkastellessa huomattiin, että säiliön SL-200 pinnanvaihtelut näkyivät sakeussäädössä. Tarkasteltaessa sakeussäädön QIC-001 sekä säiliön SL200 pinnan säädön LIC-001 trendejä, voidaan huomata häiriöiden yhteneväisyys (Kuva 17).



KUVA 17. Sakeussäädön (oranssi) ja pinnanmittauksen (musta) trendi

Trendissä nähdään pinnanmittauksen pitempiä aikaista vaikutusta sakeussäätöön. Trendistä havaitaan suurempien häiriöiden piikkimäinen nousu sekä trendien vastakkaisuus. Kun säiliön SL200 pinta laskee, sakeus nousee. Lähemmässä tarkastelussa kuvassa 18 nähdään paremmin piikkien vastakkaisuus sekä mittauksien vaihtelun suuruus. Pinnanmittauksen viiden yksikön muutos aiheuttaa sakeussäädössä kuuden kymmenyksen muutoksia.



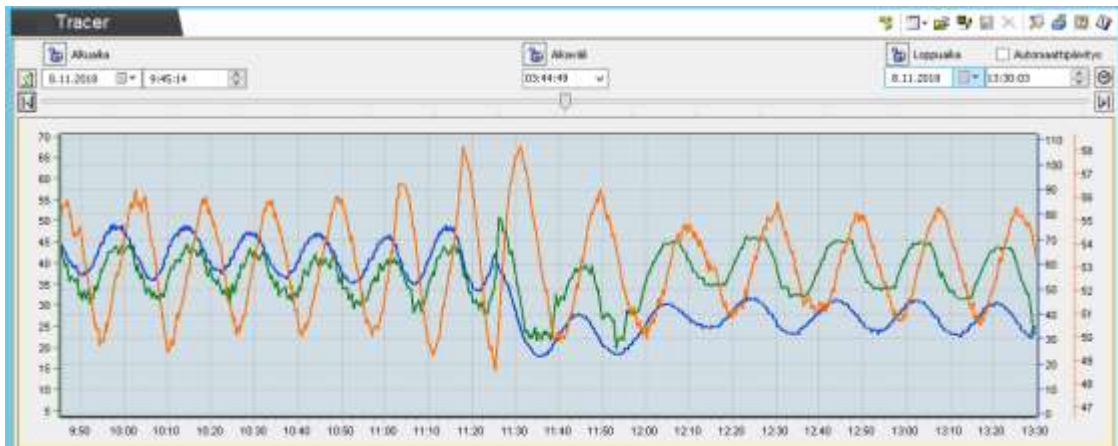
KUVA 18. Sakeussäädön (oranssi) ja pinnanmittauksen (musta) lyhyemmän tarkastelun trendi

Trendien avulla saatiin selville, että sakeussäädön parantamiseksi on siis tarkasteltava säiliön SL200 pinnanmittausta LIC-001 sekä siihen vaikuttavia asioita.

Sakeussäädön QIC-001 toimintaa tutkittiin myös DNA Explorer ohjelmalla, jossa sijaitsee säätöpiirien toimintamoduulit. Liitteessä 1 nähdään sakeussäädön toimilohkot. Moduulista nähdään, että sakeussäätöön ei ole lisätty muita mittauksia sakeussäädön rinnalle, vaan se toimii suoraan yhdellä mittauksella, jonka avulla säädetään laimennusvesien määrää. Moduulista kuitenkin voidaan nähdä valintalohko, jonka avulla määritellään laimennusvesiventtiileiden toimintaa. Venttiileitä voidaan ajaa erikseen sekä yhdessä, ja tässä tapauksessa käytännössä aina ajetaan molemmilla venttiileillä laimennusvettä massaun. Laimennusvedet tulevat samasta vesilinjasta, joten painevaihtelut kahden vesilinjan vuoksi voidaan eliminoida häiriönaiheuttajina jo tässä vaiheessa.

Säiliön SL200 pintaa säädetään LIC-001 piirillä. Säiliöön tulee massaa säiliöistä SL100 sekä SL300-säiliöstä. Massan syötön määrää näiden kahden säiliön välillä ohjataan suhdessäädöllä. Virtausta säädelään virtausmittausten FFIC-001 sekä FFIC-002 avulla. Molemmat virtaussäädöt ovat AIR-tilassa. Tällä tarkoitetaan automaattiajtoa remote-tilassa, eli piiri saa asetusarvonsa joltakin toiselta muuttuvalta arvosta järjestelmän sisältä. Asetusarvon lähteen löytämiseksi tarkasteltiin virtaussäädön FFIC-001 toimintamoduulia DNA explorerin avulla (Liite 2). 75 PID-lohkosta tulopuolella sp2- tulosta nähdään, että virtaussäädin saa asetusarvonsa pintasäädön LIC-001 mukaan. Moduulista nähdään myös molempien virtaussäätimien, FFIC-001 ja FFIC-002, laskentakaava suhdessäädölle. Säiliön pinnansäätö on toteutettu siis kaskadiperiaatteen avulla, jossa virtaussäätimet ovat apusäätimiä ja pinnanmittaus pääsäädin. Viritettäessä säätöpiirejä on hyvä huomioida se, että apusäätimet täytyy virittää ennen pääsäätimen viritystä. Apusäädin täytyy virittää kolme-neljä kertaa nopeammaksi kuin pääsäädin.

Kuvassa 19 nähdään virtausmittauksien vaikutuksia pinnansäädössä.

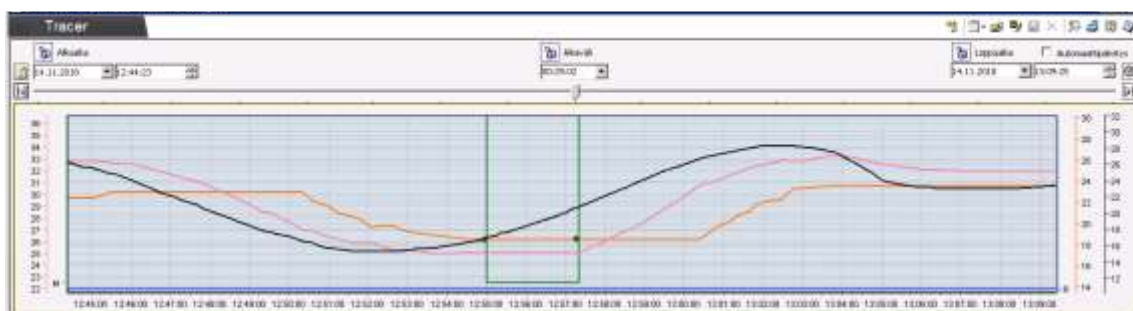


KUVA 19. Virtausmittauksien (sininen, vihreä) vaikutukset pinnanmittauksessa (oranssi)

5.1 FFIC-001

Edellä mainitut piirit tutkittiin, toimivatko ne oikein sekä olisiko niitä mahdollista parantaa virittämällä. Kaskadiperiaatteen mukaisesti testit ja viritukset aloitettiin apusäätimistä eli virtaussäädöistä.

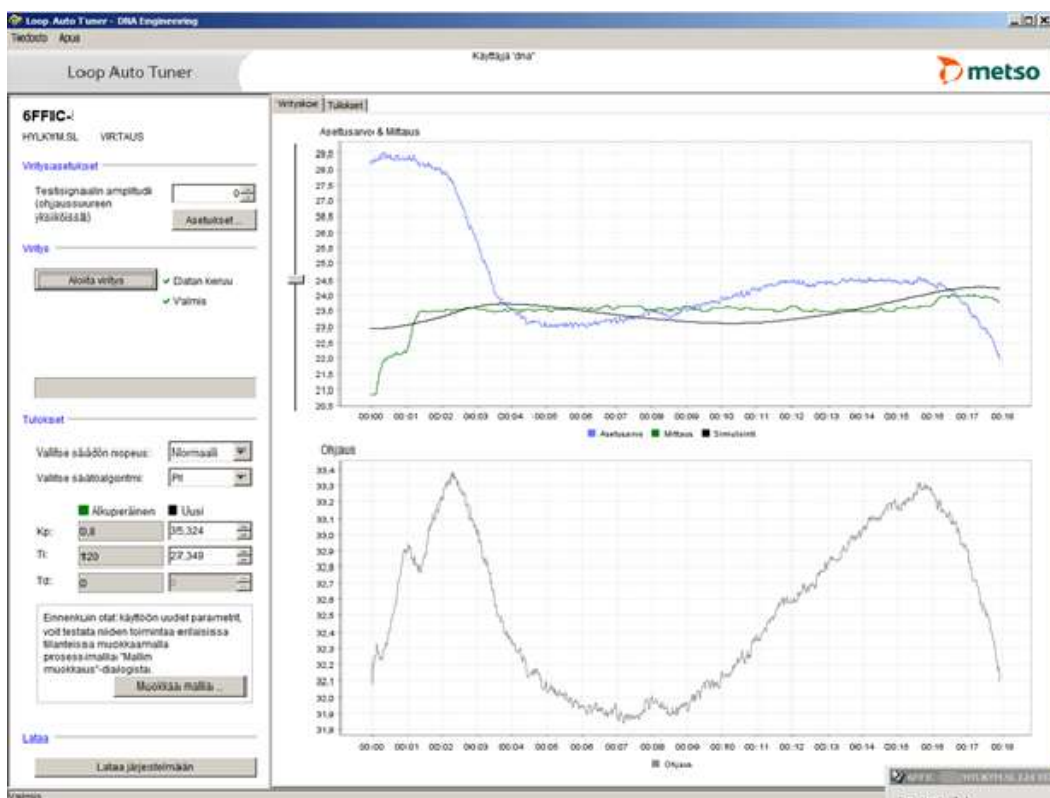
Tarkasteluun ensimmäiseksi valittiin virtaussäädin FFIC-001. Mittauksen toimivuuden varmistamiseksi suoritettiin manuaalitestaus piirille. Manuaalitestauksessa säätöpiiri vaihdetaan automaattiajosta manuaaliajolle halutulla säädön tasolla. Manuaalitestauksen avulla voidaan havainnoida mittauksen toimivuutta sekä sitä, saako itse mittaus suurempia ulkoisia häiriöitä prosessista. Kuvassa 20 nähdään FFIC-001-piirin manuaalitestauksen trendi.



KUVA 20. Manuaalitestauksen trendi FFIC-001, jossa mittaus (oranssi), ohjaus (vaaleanpunainen) sekä asetusrvo (musta)

Trendistä nähdään, ettei itse mittauksessa ole suurempia ongelmia eikä isoja ulkoisia häiriöitä.

Manuaalitestauksen jälkeen tarkasteltiin säädölle annettuja parametrejä. Alkuperäiset parametrit, jossa vahvistus $K_p = 0,8$ ja integrointiaika $T_i = 120$, ovat hyvin hitaat verrattuna yleisimpiin virtaussäätimen parametreihin. Parametrien vertaaminen pinnansäädön LIC-001 kanssa aiheutti myös ihmetystä, sillä virtaussäätimen parametrit ovat todella hitaat pinnansäätöön nähden. Tämäkin voi aiheuttaa huojuntaa säädössä, sillä säädön pyynti pinnansäädössä on paljon nopeampi verrattuna virtaussäätimen antokykyyn. Säätöä tarkastellessa huomataan myös, ettei se saavuta asetuservoa kovinkaan hyvin. Uusien viritysparettien saamiseksi käytettiin apuna Loop Auto Tuner-ohjelmaa. Loop Auto Tuner-ohjelma kerää reaaliaikaista dataa säätöpiiristä, ja laskee niiden avulla uudet parametrit säätöpiirille. Loop Auto Tuner-ohjelman avulla voidaan myös helposti suorittaa askelvastetestejä säätöpiireille, mutta tässä työssä askelvastetestin suuruus aiheuttaisi liikaa häiriötä prosessiin. Tämän vuoksi ohjelmassa amplitudi-valinnan kohdalle määritellään nolla (Kuva 21).



KUVA 21. Loop Auto Tunerin kuvaa virtaussäätimen FFIC-001 mittauksesta

Loop Auto Tunerissa näkyvät vanhat parametrit sekä ehdotukset uusiksi parametreiksi. Sokeasti ei tule kuitenkaan luottaa LoopAutoTunerin antamiin ehdotuksiin, sillä esimerkiksi tässäkin tapauksessa Loop Auto Tunerin vahvistuksen uusi arvo on liian iso. Loop Auto Tuneria käytetäänkin enemmän omien viritysepäilyjen varmistukseen sekä antamaan suuntaa antavia neuvoja muutettavan parametrin suuruuteen. Kuitenkin tässä tapauksessa huomio kiinnittyi mittauksen ja ohjauksen vasteeseen trendin keskivaiheen molemmiin puolin. Ohjauksessa (alempi trendi) tehdään 3%:n muutos, mutta mittauksessa (vihreä trendi) ei ole minkäänlaista vastetta muutokseen. Tällainen käytös viittaisi venttiilivikaan, ja siitä annettiin tehtaan kunnossapidolle tehtävä kunnan tarkastamiseksi. SAP-järjestelmän historiatietojen avulla voitiin epäillä, että kyseisen palloventtiilin asennoittimen vaihto olisi ratkaisu ongelmalle. Asennoittimen vaihto oli aikataulutettu tehtäväksi seuraavan tehtaan seisakin aikana.

Venttiilivikaepäilyyn vuoksi säätöpiiriä ei viritetty, vaan se jätettiin toimimaan nykyisillä parametreilla. Loop Auto Tunerin kuvasta nähdään, että virtaussäätö toimii hyvin alhaisemmillä ohjaustasoilla, joten sitä voidaan käyttää samalla tavalla kuin ennenkin huoltoon asti.

5.2 FFIC-002

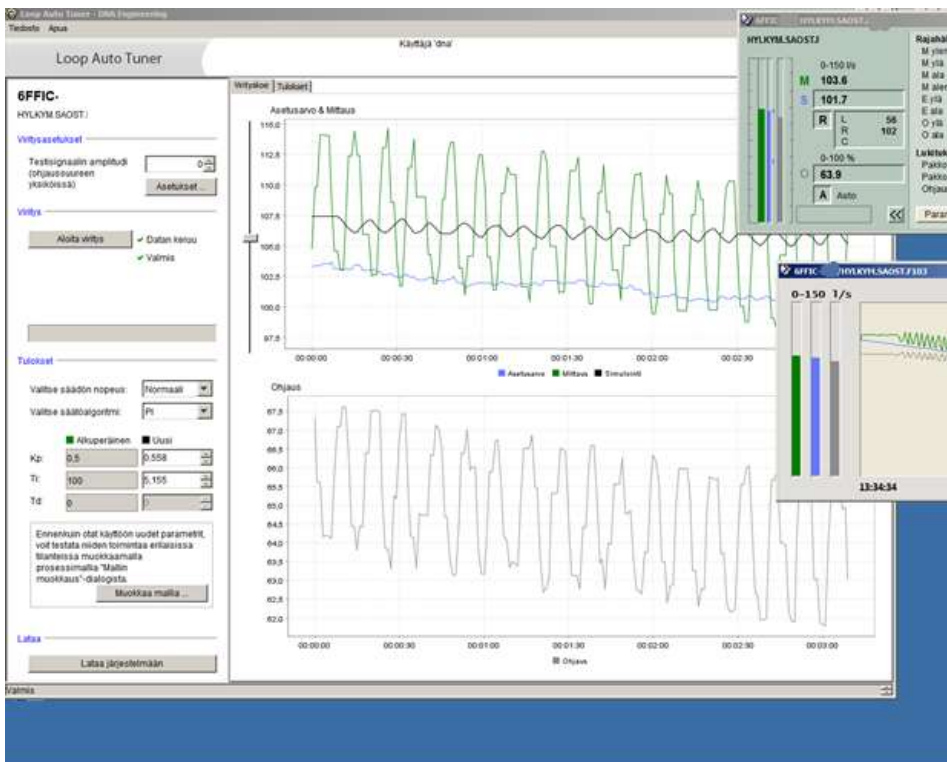
Virtaussäädön FFIC-002 käsittely aloitettiin myös manuaalitestauksella mittauksen kunnan tarkastamiseksi. Virtausmittauksen trendiä tarkastellessa huomio kiinnittyy virtausmittauksen suureen vaihteluun asetusarvon ympärillä. Virtausmäärä tekee n. 10 litran muutoksia hyvinkin lyhyellä ajanjaksolla jatkuvasti. Nykyisten parametrien ollessa hitaat, vahvistus $K_p = 0,5$ ja integrointiaika $T_i = 100$, huojuminen säädössä tuntui hyvinkin suurelta.

Manuaalitestauksella todettiin, että mittauksessa ei ole suurempia ongelmia tai ulkoisia häiriöitä. Mittauksen rauhoittuminen manuaalitestauksen aikana viittaisi nykyisten parametrien huonoon tasoon (Kuva 22).



KUVA 22. Manuaalitestauksen virtaussäätimen FFIC-002 trendi, jossa mittaus (oranssi), ohjaus (vaaleanpunainen) sekä asetusarvo (musta)

Uusien parametrien suunnan antajaksi käytettiin jälleen Loop Auto Tuner -ohjelmaa. Näin saatiin myös vertailuarvoa aiemman virtaussäädön vasteelle. Loop Auto Tuner -näytössä (Kuva 23) nähdään hyvin säädön käyttäytyminen sekä sen n. 10 litran muutosten sahausmittauksessa. Kuvan oikeassa yläreunassa näkyy myös säätöpiirin piiri-ikkuna, josta nähdään ja muutetaan parametrit sekä vaihdetaan säätöpiirin ajotapaa automaatilta manuaaliin.



KUVA 23. FFIC-002:n tarkastelua Loop Auto Tuner ohjelmalla.

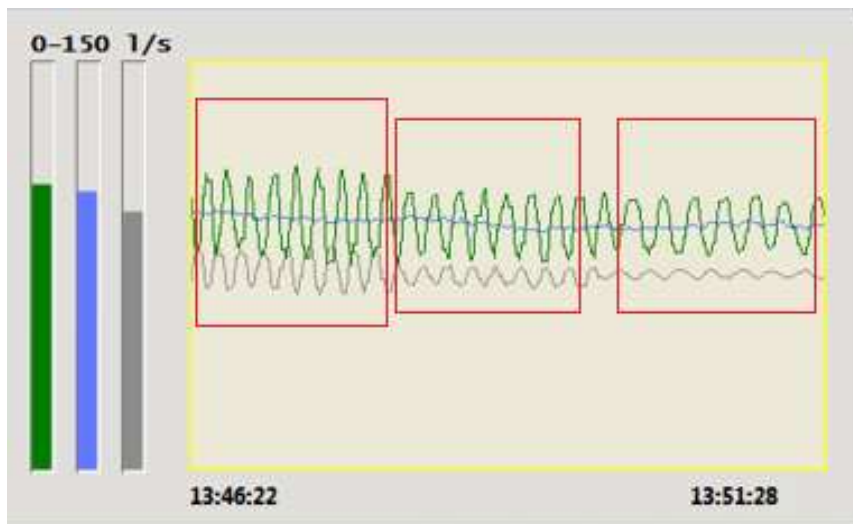
Loop Auto Tuner -ikkunasta nähdään, että mittauksen ja ohjauksen vaste on paljon parempi kuin aikaisemmassa, joten venttiilivikaa ei tässä kohteessa todennäköisesti ole. Venttiilin ohjauksen määrä heiluu koko ajan n. 3%:n verran. SAP-järjestelmästä katsottujen historiatietojen mukaan tämän virtaussäädön kokoonpano onkin vaihdettu vain muutamaa kuukautta aiemmin. Tässäkkin virtausta säädetään palloventtiilin avulla.

LoopAutoTunerin parametriedotuksissa uusien parametrien suuruus olisi vain murtoosa alkuperäisiin verrattuna, $K_p = 0,558$ ja $T_i = 5,155$. Säättöä lähdettiin virittämään asteittain, jotta voidaan seurata tarkemmin säädön käyttäytymistä sekä mahdollisia ongelmia. Hitaalla virittämisellä minimoidaan myös suuret heitot edempänä prosessissa. Alla on taulukoitu (Taulukko 1) virityksen askeleittain muutetut parametrit.

TAULUKKO 1. FFIC-002 virityksen muutokset

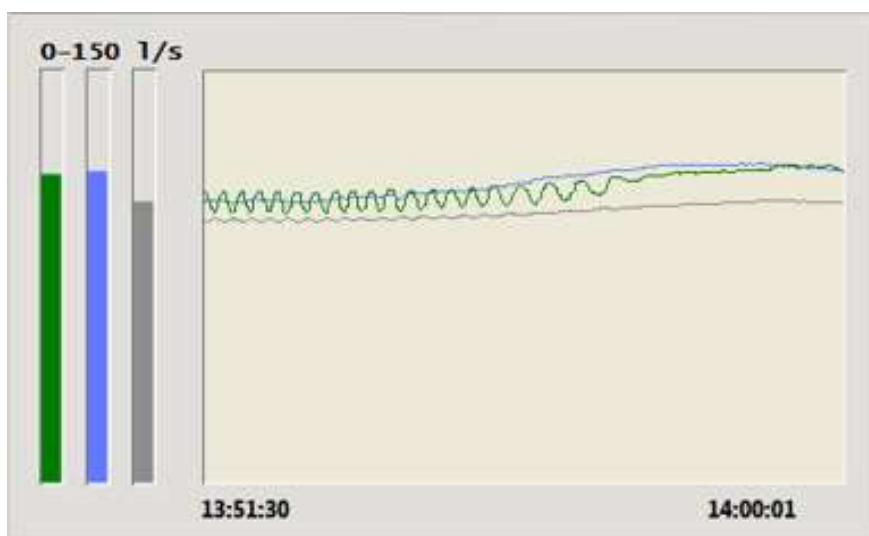
FFIC-002 Viritys	Vahvistus K_p	Integrointiaika T_i (s)
Alkuperäiset arvot	0.5	100
1. muutos	0.3	70
2. muutos	0.15	30
3. muutos	0.1	20
4. muutos	0.1	13
5. muutos	0.1	10

Viritystä seurattiin FFIC-002 piiri-ikkunan trendityökalulla reaaliaikaisesti, jolloin voitiin tehdä muutoksia mittauksen käyttäytymisen mukaan. Virityksen loppuvaiheessa vahvistusta ei enää muutettu, mutta koska mittaus jäi hieman asetusarvon alle, pienennettiin integrointiaikaa jonkin verran. Askelmaiset muutokset parametreihin näkyvät selvästi trendiin merkatuissa punaisissa laatikoissa (Kuva 24).



KUVA 24. FFIC-002:n mittauksen muutokset

Kuvassa 25 nähdään mittauksen muutokset. Viimeisen muutoksen jälkeen mittaus saatiin rauhoittumaan huomattavasti ja saavuttamaan asetusravon ripeästi.



KUVA 25. FFIC-002:n mittauksen muutokset

Pitemmällä tarkastelulla virityksen jälkeen huomattiin virtausmittauksen olevan hyvin herkkä ulkoisille häiriöille, mutta tasaantuvan niistäkin tyydyttävällä tasolla. Mittauksen ja ohjauksen suurta heittelyä saatiin eliminoitua huomattavasti.

5.3 LIC-001

Virtaussäätimien tarkastelun ja virityksen jälkeen siirryttiin pinnansäätimen LIC-001 tarkasteluun. Loop Auto Tunerin käyttö pinnansäädössä epäonnistui useista yrityksistä huolimatta. Pinnansäädön hitaudesta johtuen Loop Auto Tuner ei pystynyt keräämään tarpeeksi dataa uusien parametrien laskemiseksi. Säättöpiiriä voidaan kuitenkin säätää käsin. Tämä on hyvin yleinen käytäntö teollisuudessa, sillä useinkaan Loop Auto Tunerilla ei saada säädölle vastaavia parametrejä laskettua. Kokemukset aiemmista virityksistä sekä asiantuntemuksen avulla käsin parametrien muutosten arviointi on luontevaa.

Pinnansäädön tarkastelussa täytyy huomioida se, että muutokset näkyvät paljon hitaammin virtaussäätöihin verrattuna. Tämän vuoksi päädyttiin tekemään yksi suurempi muutos parametreihin, jonka jälkeen seurattiin pinnansäädön toimintaa usean kymmenen minuutin ajan. Alkuperäiset parametrit, $K_p=2$ ja $T_i=150$, muutettiin uusiin arvoihin $K_p=2$ ja $T_i=300$. Integrointiaika siis muutettiin kaksinkertaiseksi alkuperäiseen verrattuna. Alkuperäisessä säädössä näkyi vaihesiirtoa ohjauksen ja mittauksen trendissä, joka viittaa integrointiajan muutostarpeeseen. Uusilla parametreillä pinnanmittauksen sahaamisen saatiin pienentymään ± 1 asetusarvosta, kun se ennen oli ± 3 :n luokkaa. Muutoksia voi havainnoida opinnäytetyön seuraavassa luvussa.

Koska muutos vaikutti hyvältä, se jätettiin säätimeen ja päätettiin havainnoida säättöpiiriä muutaman päivän päästä uudelleen. Näin saadaan näkyviin paremmin, miten uudet parametrit ovat vaikuttaneet erilaisissa tilanteissa pinnansäätöön. Muutoksiin oltiin tyytyväisiä, joten uudelleen virittämistä ei tässä opinnäytetyössä tarvittu. Tilanne voi kuitenkin muuttua FFIC-001:n venttiilin huollon jälkeen, jolloin olisi hyvä palata tarkastelemaan pinnansäätöä uudelleen.

5.4 QIC-001

Edellä mainittujen säättöpiirien tarkastelun ja virityksien jälkeen palattiin alkuperäiseen aiheeseen, QIC-001:n sakeussäätöön. Alkuperäisten parametrien ollessa $K_p=0,04$ ja $T_i=25$ sekä nykyisen trendin avulla päädyimme olemaan virittämättä sakeussäädintä uudelleen. Sakeussäädin pysyy kuitenkin asetusarvon mukana normaalitilanteessa, ja tarkoituksena olikin saada häiriöitä eliminoitua ennen sakeussäätöä.

Aiempien piirien virityksien vaikutusta tarkastellaan opinnäytetyön myöhemmässä luvussa.

5.5 Muita kohteita

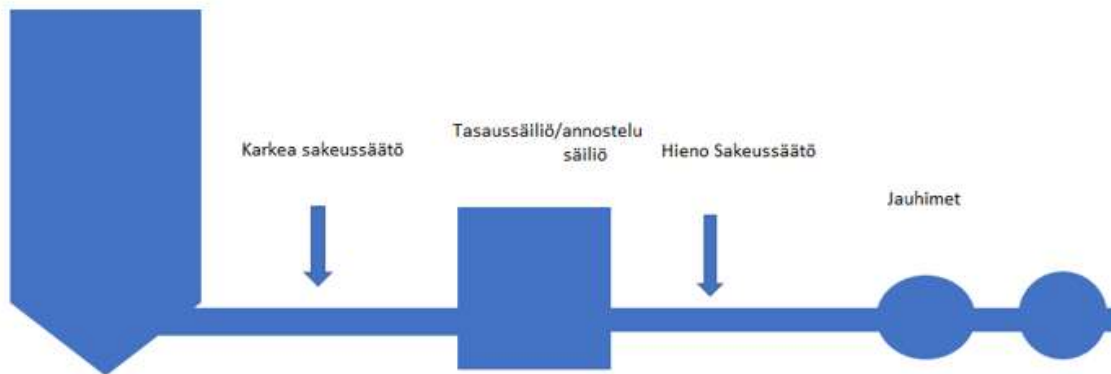
Kuten työn alussa mainittiin, käytiin läpi useita sakeussäätöpiirejä kartonkitehtaalta. Opimisen kannalta esittelen myös seuraavan aiheen lyhyesti, sillä siihen käytettiin myös jonkin verran aikaa sekä tutkinnan ansiosta sain oppia paljon käytännön ongelmista sakeussäätöjen suhteen.

Sakeussäätöpiiri sijaitsee pohjamassan jauhatusosastolla. Säätöpiiriä tutkimalla samoilla menetelmillä kuin aiemmin huomio kiinnittyi sakeuden suuriin heittelyihin, noin kolmen kymmenyksen vaihteluihin. Sakeutta havainnoidessa kolmen kymmenyksen vaihtelu on merkittävää, ja se voi aiheuttaa ongelmia prosessin muissa vaiheissa. Tässäkin sakeussäätöpiirissä näkyy paljon piikkimäisiä häiriöitä, ja osasyiksi niille löydettiin suhdessäädöllä toimivia virtausmittauksia. Tutkinnan edetessä kävi kuitenkin ilmi, että tätä sakeussäätöpiiriä on tutkittu aiemminkin. Sain paljon tutkintamateriaalia koskien tätä säätöpiiriä, joista kiitän Tero Kasalaa.

Sakeussäätöpiiriä on koitettu parantaa virittämällä siihen vaikuttavia muita säätöpiirejä, muutettu eri asetusarvojen saantia rauhallisempiin kohteisiin sekä sakeussäätöpiirin mittauksen paikkaa vaihtamalla. Virityksillä sakeussäätöpiiri sekä virtaussäätimet saatiin rauhoittumaan huomattavasti alkuperäiseen verrattuna, mutta sakeussäätöön jäi kolmen kymmenyksen vaihtelu. (8.) Mittauspaikan siirrolla ei ollut vaikutusta, ja se siirrettiin takaisin alkuperäiseen paikkaan. Sakeussäätöä ovat käyneet myös katsomassa Valmetin Tampereen sakeussäätöspesialistit, ja heidän parannusehdotuksensa esitellään alla (9).

Sakeuden suurin heilunta johtuu tulevan massan tornista. Tulevassa massassa on suuria heittoja, kuten flokkeja ja tornin seinämiin pakkautunutta massaa. Nykyisellä sakeussäädöllä näihin häiriöihin ei pystytä vaikuttamaan nykyistä paremmin ilman prosessimuutoksia. Ratkaisuna sakeuden heiluntaan olisi sijoittaa annostelusäiliö tornin ja sakeussäädön väliin, jossa massa ehtisi kunnolla sekoittua ja tasaantua ennen sakeuden hienosäätöä seuraavaa vaihetta varten. Heilunnan ollessa $\pm 0,3\%$, muutoksella sakeuden heilunta

saataisiin laskemaan +- 0,1%:n tasolle (9). Alla on havainnollistava kuva (Kuva 26) tarvittavasta muutoksesta.



KUVA 26. Parannusehdotus sakeussäädölle

Huomiota olisi hyvä myös kohdistaa massatornien kuntoon. Yleisin tornin sekoitusmuoto on sekoittaja tornin pohjassa. Näiden kuntoa, kuten lapojen kulmaa sekä saostumia niiden pinnassa olisi hyvä tarkkailla säännöllisesti. Tornien kunnonvalvonta on sinänsä vaikeaa toteuttaa tasaisin väliajoin, sillä on vaikeaa ennustaa, onko torni tyhjiillään seisakien aikana ja voidaanko massaa ajaa jonnekin muualle tarkastelun ajaksi. Saostumia ja tornin sekoituksen tehokkuutta voisi kuitenkin mitata lämpökameran avulla.

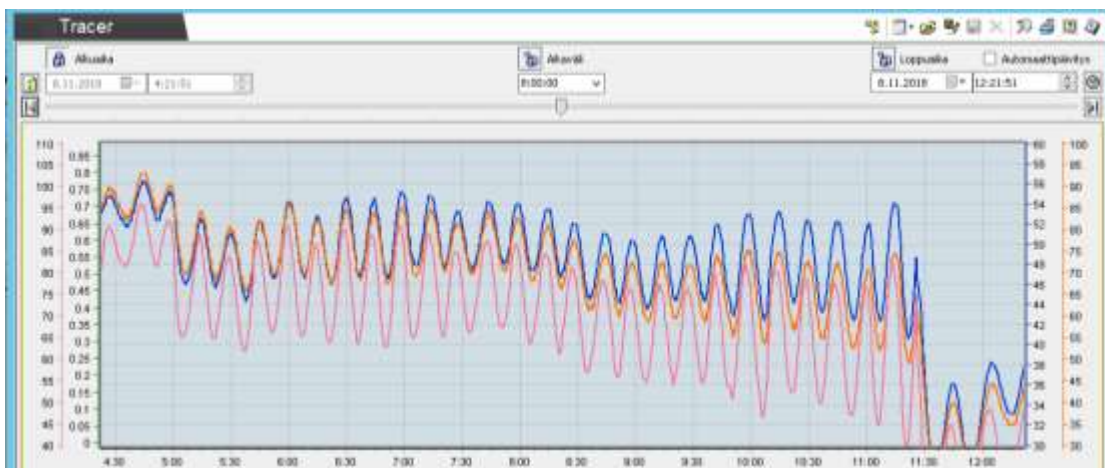
Tehdasvierailun aikana kartonkikoneen operaattori huomautti myös tarkastelemaan erästä toista sakeussäätöä, jossa kahden sakeussäädön välillä sakeus muuttuu huomattavasti. Kuitenkin näiden kahden sakeussäätöpiirin välimatka oli vain 10 metriä. Lähemmässä tarkastelussa kuitenkin todettiin, että sakeussäädön malli olisi juuri se, mitä aiemmassa sakeussäädössä tarvittaisiin. Näiden kahden sakeussäädön välissä oli tasaussäiliö, ja ensimmäisessä sakeussäädössä sakeutta säädettiin karkeasti halutulle tasolle. Sekoitussäiliön jälkeinen sakeussäätö hienosäätää sakeuden juuri sopivaksi seuraavalle vaiheelle, kuten kuiduttimille tai jauhimille, joissa sakeuden heittäyty näkyvät huomattavasti.

6 TULOKSET

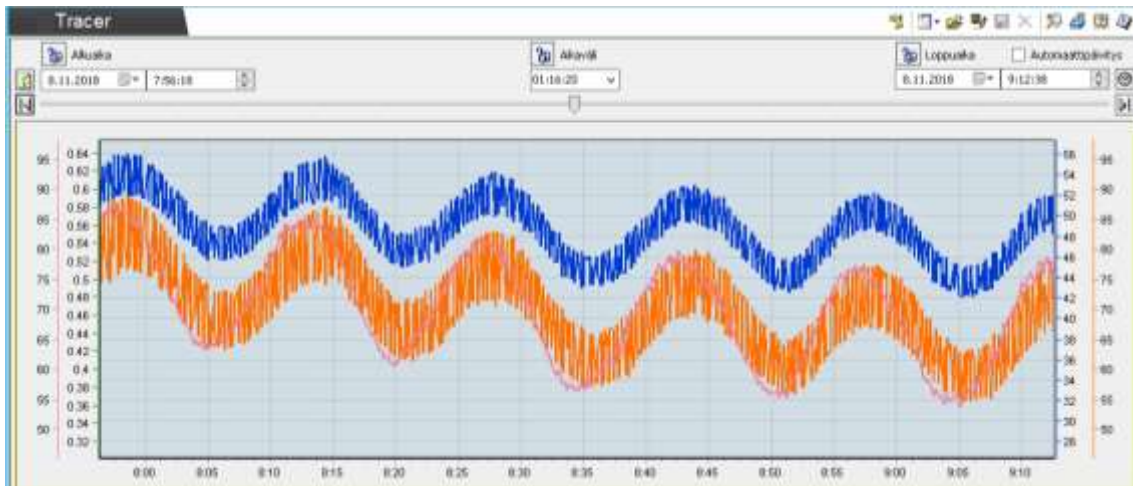
Tulosten esittelyssä hyödynnettiin Excel-asiakirjaa, jonka avulla voidaan kerätä dataa tietyistä säätöpiiristä halutulla ajanjaksolla. Datan keruuseen määritellään myös näytteiden ottoväli, joten laskentaan saadaan myös mittauksen suodatusta suurentamalla näytteenottoväliä. Tässä opinnäytetyössä käytettiin näytteiden ottoaikaväleinä kahden sekunnin sekä 30 sekunnin aikavälejä. Dataa on kerätty kahdeksan tunnin jaksolta, joka näkyy myös kyseisen piirin trendikuvassa. Kerätyn datan avulla laskettiin mm. säätöpiirin mittauksen ja ohjauksen keskihajontaa ennen tehtyjä muutoksia sekä niiden jälkeen. Sa-keussäädön tuloksissa hyödynnetään myös IAE (absoluuttinen eroarvo) trendin dataa. Trendien tarkastelussa mittaus näkyy oranssilla, ohjaus sinisellä sekä asetusarvo vaaleanpunaisella, ellei kuvassa toisin mainita.

6.1 FFIC-002

Alla tarkastellaan virtaussäätimen FFIC-002 alkuperäistä sekä virityksen jälkeistä trendiä. Kuvat ovat kahdeksan tunnin tarkastelun sekä n. tunnin tarkastelun ajalta.

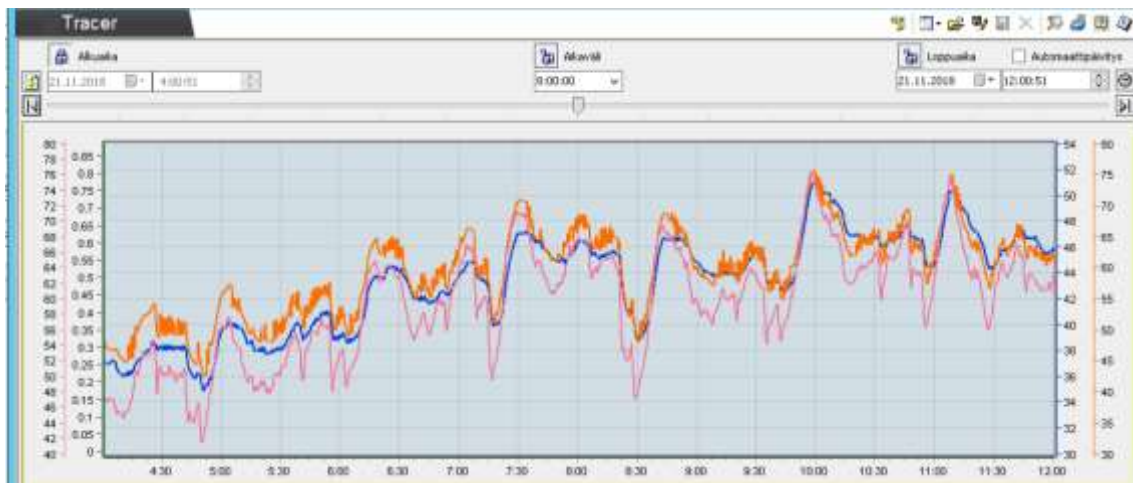


KUVA 27. FFIC-002:n kahdeksan tunnin trendi ennen viritystä

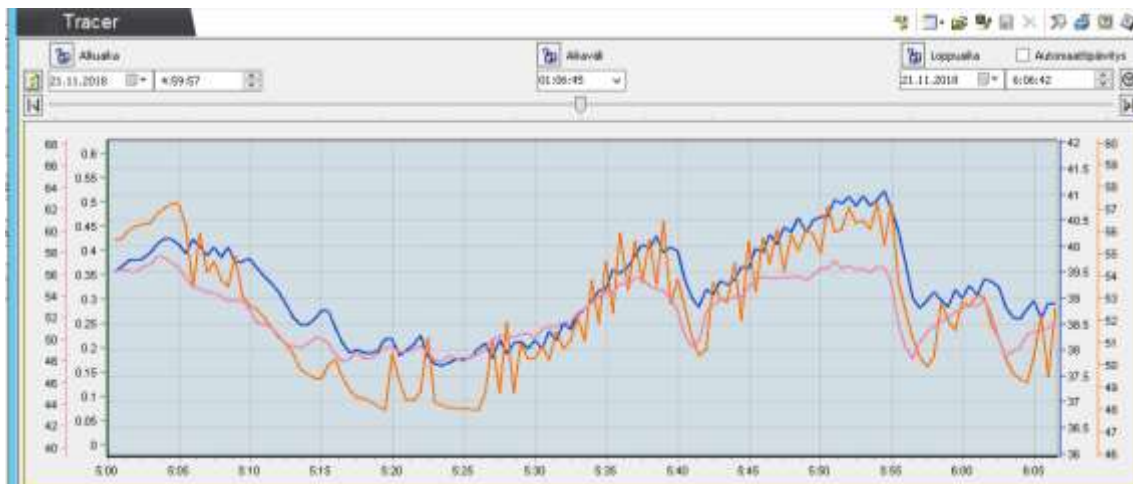


KUVA 28. FFIC-002:n tunnin trendi ennen viritystä

Kuvista nähdään selvästi säätöpiirin hyvin tiheä huojunta lyhyessä ajassa. Muutokset mitauksessa olivat pääsääntöisesti n. 10 litran luokkaa.



KUVA 29. FFIC-002:n kahdeksan tunnin trendi virityksen jälkeen



KUVA 30. FFIC-002 n. tunnin trendi virityksen jälkeen

Pelkästään jo trendejä tarkastelemalla nähdään säätöpiirin suuri muutos virityksen jälkeen. Mittauksen huojunta on pienentynyt vain murto-osaan verrattuna alkuperäiseen. Taulukoissa 2 ja 3 on laskettu keskipoikkeamaa mittauksessa, ohjauksessa sekä asetusarvossa ennen ja jälkeen virityksen. Data on kerätty kahdeksan tunnin trendikuvien tarkasteluajanjaksolta.

TAULUKKO 2. FFIC-002:n kahden sekunnin laskennan tulokset

FFIC-002 Keskipoikkeama 2 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS	ASETUS- ARVO
Ennen viritystä	6,227	15,157	16,569
Virityksen jälkeen	3,743	7,079	7,167
Muutos	2,484	8,078	9,402
Muutos prosentteina	40%	53%	57%

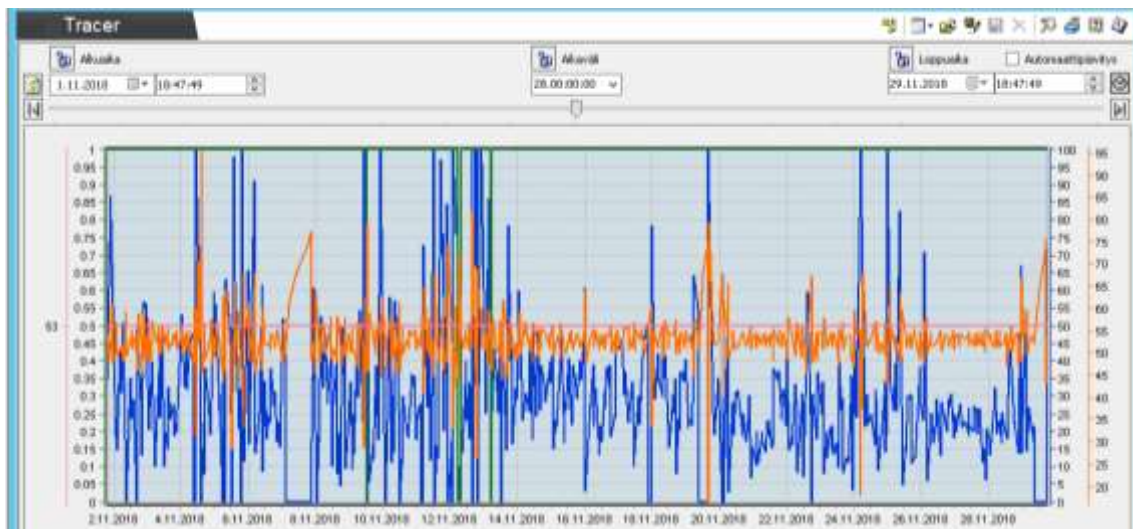
TAULUKKO 3. FFIC-002:n 30 sekunnin laskennan tulokset

FFIC-002 Keskipoikkeama 30 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS	ASETUS- ARVO
Ennen viritystä	6,143	14,85	16,563
Virityksen jälkeen	3,743	7,011	7,154
Muutos	2,4	7,839	9,409
Muutos prosentteina	39%	53%	57%

Laskennan avulla nähdään säätöpiirin rauhoittumista sen jokaisella osa-alueella. FFIC-002:n viritys onnistui hyvin, ja säätöpiirin suorituskyky DNA Reportin viikkoraporttien mukaan on parantunut myös merkittävästi.

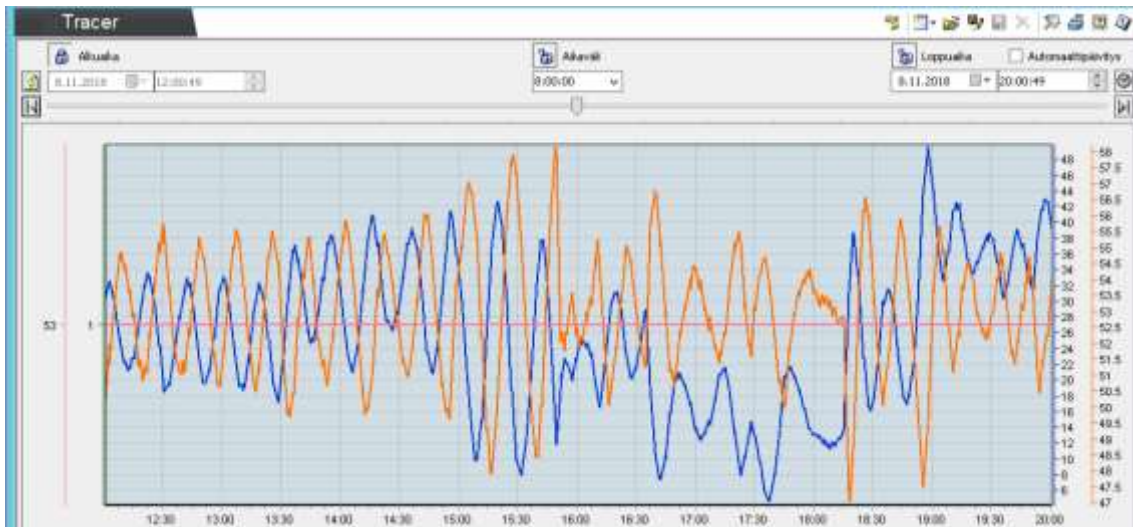
6.2 LIC-001

Koska pintasäädin on hidas säädin, on trendiä hyvä tarkastella pitkältä aikaväliltä. Alla on kuva (Kuva 31) pintasäätimen LIC-001 toiminnasta 28 päivän ajalta. Viritys tehtiin 14.11.2018, joka näkyy trendin puolenvälin paikkeilla.

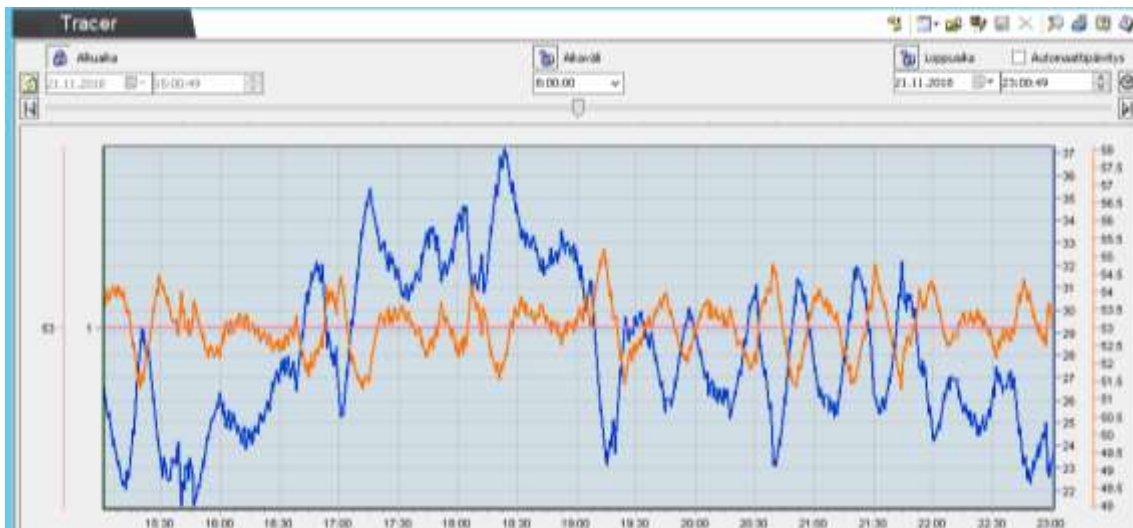


KUVA 31. LIC-001:n 28 päivän trendi

Selvää muutosta on havaittavissa jo näinkin karkealla trendillä. Lähemmässä tarkastelussa nähdään pinnansäädön alkuperäisen huojumisen ± 4 yksikköä asetusravon ympärillä pienentyvän $\pm 1,5$ yksikön tasolle.



KUVA 32. LIC-001:n kahdeksan tunnin trendi ennen viritystä



KUVA 33. LIC-001:n kahdeksan tunnin trendi virityksen jälkeen

Ero kahdeksan tunnin trendeissä on siis huomattava. Pintasäädintä saatiin rauhoitettua huomattavasti, ja näin ollen myös virtaussäätimien FFIC-001 ja FFIC-002 asetusravon huojuminen pienenee.

Taulukoissa 4 ja 5 on laskettu pinnansäädön mittauksen sekä ohjauksen keskipointkeaman muutosta trendeissä näkyvällä kahdeksan tunnin ajanjaksolla.

TAULUKKO 4. LIC-002:n kahden sekunnin laskennan tulokset

LIC-001 Keskipoikkeama 2 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS
Ennen viritystä	9,336	1,885
Virityksen jälkeen	3,458	0,688
Muutos	5,878	1,197
Muutos prosentteina	63%	64%

TAULUKKO 5. LIC-002:n 30 sekunnin laskennan tulokset

LIC-001 Keskipoikkeama 30 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS
Ennen viritystä	9,335	1,882
Virityksen jälkeen	3,456	0,684
Muutos	5,879	1,198
Muutos prosentteina	63%	64%

Datalaskelmilla saadaan tukea myös trendeissä havaittavaan muutokseen. Säättöpiirin suorituskyky on myös noussut huomattavasti DNA Reportin viikkoraporttien perusteella.

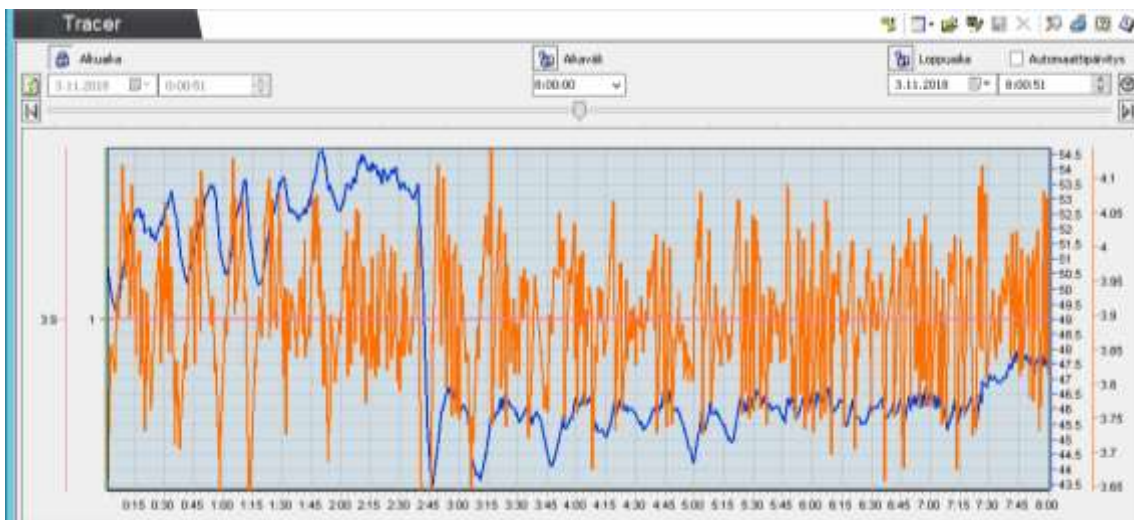
6.3 QIC-001

Sakeussäädön tulosten tarkastelussa on hyvä huomioida se, ettei siinä nähdä aiempien säättöpiirien suuruisia muutoksia. Kuitenkin QIC-001 säättöpiirin toiminta oli alun perinkin normaalitilanteessa kohtuullisella tasolla, mutta siinä esiintyi paljon suuria sakeusmuutoksia ulkoisten häiriöiden vuoksi. Näiden häiriöiden yhdeksi aiheuttajaksi havaittiin pinnansäädön sekä virtaussäätimien suuret muutokset, ja näitä häiriöitä saatiin rauhoitettua jonkin verran. Kuva 35 on sakeussäädöstä pitemmällä aikavälillä, 28 päivän ajalta.



KUVA 34. QIC-001:n 28 päivän trendi

Merkittävää muutosta ei trendissä nähdä aiempiin säätöpiireihin verrattuna. Kuitenkin suurimpien sakeushäiriöiden määrä näyttäisi olevan laskussa. Tätä ei kuitenkaan voida suoraan lukea tämän opinnäytetyön tulokseksi, sillä häiriöt ovat hyvin satunnaisia ja ennalta arvaamattomia itse prosessin vuoksi.



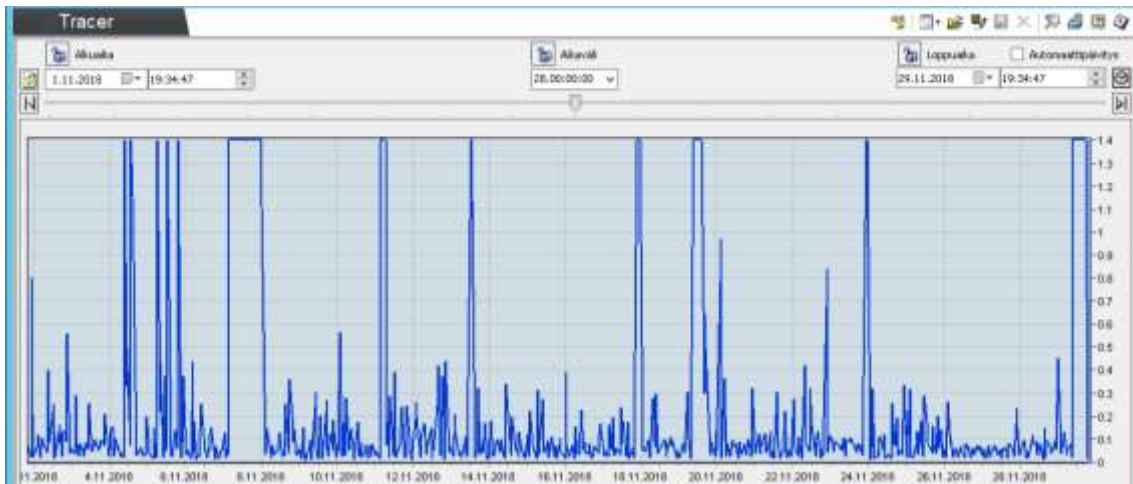
KUVA 35. QIC-001:n kahdeksan tunnin trendi ennen FFIC-002:n ja LIC-001:n viritystä



KUVA 36. QIC-001:n kahdeksan tunnin trendi FFIC-002:n ja LIC-001:n virityksen jälkeen

Suurta muutosta ei näy näissäkään trendeissä, mutta mittauksen trendissä voidaan havaita pientä huojunnan vähenemistä. Kuitenkin tarkasteluun on valittu väli, missä sakeussäädössä ei tapahdu suuria piikkejä eli ulkoisia häiriöitä. Aiempien virityksien vaikutus näkyy kuitenkin juurikin näissä ulkoisten häiriöiden piikkien suuruudessa.

Sakeussäätöön tässä kohteessa vaikuttaa useita ulkoisia häiriöitä. Prosessin paineenvaihtelut vaikuttavat suurelta osalta sakeuden huojuntaan, mutta tässä kohteessa voidaan sakeuden huojunnan yhtenä aiheuttajana pitää prosessissa sijaitsevaa sakeutinta. Sakeutin sijaitsee ennen säiliötä SL200, josta massaa ajetaan kuiduttimille sakeussäätimen QIC-001 kautta. Sakeuttimen vaikutusta on vaikeaa arvioida, sillä siitä ei ole mitattavaa tietoa saatavilla. IAE trendin (Kuva 37) avulla voidaan havainnoida sakeussäätöpiirin absoluuttisen eroarvon muutoksia, ja sen perusteella voidaan nähdä pientä muutosta parempaan suuntaan 14.11.2018 jälkeen.



KUVA 37. IAE trendi sakeussäätimestä QIC-001

Sakeussäädön laskennassa hyödynnettiin myös IAE trendin arvoja, mutta selvää muutosta ei nähdä datankeruujakson rauhallisen säädön luonteen vuoksi.

TAULUKKO 6. QIC-001:n kahden sekunnin laskennan tulokset

QIC-001 Keskipoikkeama 2 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS	IAE
Ennen viritystä	3,222	0,087	0,034
Virityksen jälkeen	3,377	0,067	0,027
Muutos	0,155	0,02	0,007
Muutos prosentteina	5%	23%	21%

TAULUKKO 7. QIC-001:n 30 sekunnin laskennan tulokset

QIC-001 Keskipoikkeama 30 sekunnin laskennalla	OHJAUS	MITTAUS	IAE
Ennen viritystä	3,223	0,079	0,034
Virityksen jälkeen	3,378	0,063	0,027
Muutos	0,155	0,016	0,007
Muutos prosentteina	5%	20%	21%

Laskelmien muutokset ovat hyvin pieniä johtuen tarkastellun aikavälin häiriöttömyyden vuoksi. Laskenta häiriöllisestä trendistä olisi kuitenkin epäluotettavaa, sillä häiriöiden suuruudet ja luonne vaihtelevat paljon eivätkä vertailtavat tulokset olisi luotettavia.

7 POHDINTA

Sakeussäädön suorituskykyä saatiin parannettua hiukan ulkopuolisten prosessihäiriöiden säätöjen virityksillä. Työssä viritettyjen virtaussäätimen sekä pintasäädön suorituskykyä parannettiin huomattavasti, ja näin ollen niiden aiheuttamat häiriöt pienenevät sakeussäädön tarkastelussa. Prosessista löytyi myös mahdollinen toimilaittevika, josta annettiin huoltokehoitus tehtaalte. Toimilaitteen huolto on ajoitettu seuraavan seisakkiin, joten virtauspiirin FFIC-001 huollon vaikutuksia sakeussäädössä ei tähän opinnäytetyöhön saatu.

Kohdeprosessin sakeussäätö on hyvin herkkä ulkopuolisille häiriöille. Mitattavien häiriöiden suuruuteen, kuten virtaussäätimessä FFIC-002 ja pinnansäätimessä LIC-001, pystyttiin vaikuttamaan tämän opinnäytetyön aikana. Kuitenkin muihin häiriöihin, kuten painevaihteluiden aiheuttamiin häiriöihin sekä sakeuttimen aiheuttamiin häiriöihin ei pystytty vaikuttamaan tässä työssä. Sakeuttimen toiminnan vaikutus sakeussäätöön on vaikeaa, sillä käytettävissä ei ole mittausdataa sakeuttimesta.

Nykyisellä sakeussäädöllä häiriöiden eliminointi on vaikeaa. Sakeussäätimen rinnalle voisi kaskadiperiaatteen mukaisesti lisätä virtausmittauksen, jolloin virtausmittaus minimoisi häiriöitä ennen sakeussäädintä. Sakeusmuutokset minimoitaisiin siis muuttamalla laimennusveden määrää samanaikaisesti massan virtausmuutoksen kanssa. Tämän hetkisen säädön viive on suuri, sillä mittauksen ja säädön välillä on matkaa. Sakeusmuutokset näkyvät kuiduttimilla pidemmän aikaa, ennen kuin säätö ehtii korjata sakeutta.

Nykyinen sakeussäätö on toteutettu Smart Pulp -lapamittauksella. Tällä mittauksella mitataan vain massan kuitusakeutta. Kohteeseen on asennettu aiemmin MCA-mikroaaltomittaus, mutta sitä ei ole koskaan liitetty sakeussäätöön mittaukseksi. Mikroaaltomittauksella mitataan massan kokonaissakeutta, eli mittauksella saadaan selville myös massan hienoaineet jne. Kuitenkin näiden kahden mittauksen välillä on tasoero, joka nähdään myös prosessikuvassa (Kuva 15) mittauksen QV-001 ja mittauksen QIC-001 välillä. Nykyisellä toimintatavalla mikroaaltomittaus laimentaisi liikaa massaa prosessiin. Mikroaaltomittauksen hyödyntäminen tässä sakeussäädössä olisi mielenkiintoinen kohde tutkitta-

vaksi. Mikroaaltomittauksen hyödyntämiseksi pitäisi määritellä vastaavat tasot mittauksien asetusarvojen välillä ilman prosessin häiriintymistä vaihdoksesta. Kuitenkin sakeuden häiriöt saattaisivat näkyä vastaavalla tavalla tai jopa isommin myös mikroaaltomittauksella toimivassa säädössä ilman muita muutoksia prosessissa.

LÄHTEET

1. Häggblom-Ahnger, Ulla – Komulainen, Pekka 2001. Paperin ja kartongin valmistus 2. painos. Jyväskylä: Gummerus.
2. AEL Oy 2013. Paperitekniiikan ja automaatiotekniikan oppimisympäristö KnowPap 19.0. Sisäinen lähde. Prowledge Oy. Hakupäivä 15.11.2018
3. Harju, Timo – Marttinen, Arto 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. 1. painos. Espoo: Control CAD Oy.
4. Pihkala, Juhani 2008. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy
5. Harju, Timo – Marttinen, Arto 2000. Säättöpiirin virityksen perusteet. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/pid_kirja_1-1.pdf . Hakupäivä: 15.11.2018.
6. Metso Automation 2005. LoopBrowser 2.0 Käyttöohje. Sisäinen lähde. Metso Automation Oy.
7. Valmet IQ Stock Control. Säätoratkaisut kuivamassavirtauksen stabilointiin massaosastolla. Sisäinen lähde. Valmet.
8. Kartonkitechdas. Havaintoja sakeussäädön virityksestä. 18.12.2017. Tero Kasala. Sisäinen lähde. Valmet.
9. Kartonkitechdas. Sakeussäätö 6QIC-000. 7.5.2018 Tero Kasala. Sisäinen lähde. Valmet.

LIITTEET

Liite 1 Sakeussäätö QIC-001 piirikaavio

Liite 2 Virtaussäätö FFIC-001 piirikaavio

