

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Energiatekniikan koulutusohjelma / Automaatiotekniikka

Sami Hackman

HÖYRYNTUOTANNON STABILOIMINEN SÄÄTÖTEKNISIN MENETELMIN
JÄTTEENPOLTTOlaitoksella

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

HACKMAN, SAMI

Suunnitelma höyryntuotannon stabiloimiseksi säätötekni-
sin menetelmin jätteenpolttolaitoksella

Opinnäytetyö

37 sivua + 6 liitesivua

Työn ohjaaja

Merja Mäkelä, DI, yliopettaja

Antti Lanki, käyttöpäällikkö

Toimeksiantaja

Kotkan Energia Oy

Toukokuu 2015

Avainsanat

Jätteenpolto, prosessinohjaus, automaatio

Arinakattilat ovat yleisin kattilatyypin jätteenpolttolaitoksissa Suomessa. Yhteisinä tavoitteina laitoksilla on, että tuorehöyryä saataisiin tuotettua mahdollisimman tasaisella virtauksella ja ettei jätettä tule palamattomana arinan läpi loppusijoitettavan kuonan sekaan.

Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksella ongelmia tasaisen höyryn tuotannon suhteen syntyy tilanteissa, joissa polttoon menevän jätteen laatu muuttuu paljon hetkellisesti. Seurauksena on äkillinen muutos tuotetun höyryn virtauksessa, johon polttoaineensyöttö reagoi välittömästi. Tämä voi myöhemmin johtaa höyryvirtauksen heiluntaan ja polttoprosessin epävakaaseen toimintaan.

Työn tarkoituksena on suunnitella ja tutkia erilaisia säätötekniisiä menetelmiä, joilla höyryntuotantoa Hyötyvoimalaitoksella saataisiin stabiloitua. Työssä toteutettiin ja testattiin lisäys nykyiseen polttosäätöön ohjausjärjestelmän lohkoeditorin avulla, sekä hahmoteltiin laitokselle kokonaan erilaista, joskin toisissa samantyyppisissä laitoksissa hyvin tuloksin toimivaa polttosäätöä.

Työssä toteutettu muutos nykyiseen polttosäätöön on todettu toimivaksi ja testauksista saadun palautteen perusteella se on lähes kokoaikaisessa käytössä laitoksen ajossa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

HACKMAN, SAMI

Stabilizing Steamflow in a Waste-to-Energy Plant by
Methods of Process Control

Bachelor's Thesis

37 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Merja Mäkelä, M. Sc., Senior Lecturer
Antti Lanki, Operation Manager

Commissioned by

Kotkan Energia Oy

May 2015

Keywords

Waste-to-Energy, process control, automation

Grate tile technology using boilers are the most common boiler type used in waste-to-energy plants in Finland. A common goal for all of them is to produce steam at a rate as steady as possible and that all of the waste is burned out before reaching the end of the combustion grate and it doesn't mix up with the usual end product.

At Kotka Energy Ltd's waste-to-energy plant problems concerning steady steam production may occur when the quality of the waste fed into the boiler changes greatly for a short period of time. This may cause a rapid change in steam production, which the fuel feeding control instantly tries to correct. This can later lead to swaying of the steam production and unstable functioning of the combustion process.

The purpose of this thesis was to design and study different process control related methods to stabilize the steam flow of the plant. In the thesis, an addition to the current main combustion control was designed and tested using the control system's block editor software. Also an alternative type of combustion control was sketched based on a control method which has proved being successful in another plants of the same type.

Based on the testing results regarding the addition to the combustion control, it has proven to be functioning correctly and is in everyday use in the plant.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI	7
	2.1 Jätteen vastaanotto ja varastointi	8
	2.2 Arina ja poltto	8
	2.3 Savukaasujen puhdistus	10
3	HYÖTYVOIMALAITOKSEN OHJAUS	10
	3.1 Ohjausjärjestelmät	10
	3.2 Valvomo-operointi	12
	3.3 Hyötyvoimalaitoksen pääsääto	13
	3.3.1 Pääsäädon nykyinen toiminta	15
	3.3.2 Pääsäädon ajotapamoodit	18
	3.3.3 Pääsäädon ongelma	18
4	HÖYRYVIRTAUSSÄÄDÖN HONEYWELL-SOVELLUKSEN PARANTAMINEN	21
	4.1 Perinteiset viiveen kompensointimahdollisuudet säätötekniikassa	21
	4.2 Suunnitelma	22
	4.3 Toteutus	22
	4.3.1 Lisäykset operointipäätteiden kuviin	23
	4.3.2 Pitolohko Honeywellin lohkoeditorissa	24
	4.4 Testaus ja tulokset	27
5	VAIHTOEHTOINEN POLTTOSÄÄTÖ	31
	5.1 Pohjatiedot säädön toiminnasta suunnittelua varten	31
	5.2 Polttosäädön vaatimat säätöpiirit ja erityisehdot	33
	5.3 Säätokaavion parametrit	33
6	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36

LIITTEET

Liite 1. Periaatekuva Hyötyvoimalaitoksen höyryverkosta (Lauri Lehtomäki, 2013)

Liite 2. DCS-järjestelmän pääkuva

Liite 3. Toimintakuvauksen muutos

Liite 4. Pääsäädön pitolohkon käyttöohje

Liite 5. Vaihtoehtoisen polttosäädön säätökaavio

1 JOHDANTO

Kotkan Energia Oy:n Hyötyvoimalaitoksella polttoprosessin ongelmana on usein epätasainen höyryntuotanto. Aika ajoin vaihteleva polttoaineen laatu ja nopeasti kattilan kuormaan reagoiva polttosäätö aiheuttavat sen, että höyryntuotanto alkaa heilua välitömien polttoaineensyötön nopeuskorjauksien seurauksena. Polttoprosessin haasteena onkin siihen vaikuttamisen hitaus. Hetkellisiin muutoksiin reagoiminen ei ole aina tarkoituksenmukaista. Höyryvirtauksen heilunnalla etenkin alaspäin on suora vaikutus höyrynjaon kohteisiin, kuten kaukolämpö- ja sähkötehoon sekä pahimmassa tapauksessa viereiselle kartonkitehtaalle toimitettavan höyryn oloarvoihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja tutkia erilaisia säätötekniisiä menetelmiäjoilla höyryvirtauksen heiluntaa saadaan hillittyä. Tähän sisältyy muutos nykyiseen polttosäätöön, jossa säätöä koetetaan ohjelmoida reagoimaan rauhallisemmin jätepolttoaineella tyypillisesti tapahtuviin hetkellisiin höyryvirtausmuutoksiin.

Lisäksi työssä hahmotellaan vaihtoehtoista polttosäätöä laitokselle. Pohjana suunnittelulle käytetään Riihimäellä toimivan Ekokem Oyj:n jätteenpolttolaitos Voimala 1:n käytössä olevaa säätöä, jonka laitoksen omat asiantuntijat ovat kehittäneet. Hyötyvoimalaitos ja Ekokemin jätteenpolttolaitos ovat pitäneet yllä yhteistyötä laitostensa kehittämiseen jo pitkän aikaa. Idea opinnäytetyöhön saatiin osittain juuri tämän yhteistyön kautta saadusta hyvästä palautteesta koskien Voimala 1:ssä käytössä olevaa polttosäätöä. Työhön liittyen suoritetaan vierailu Ekokemin laitoksella, jossa säädön suunnittelija kertoo tarkemmin sen periaatteista.

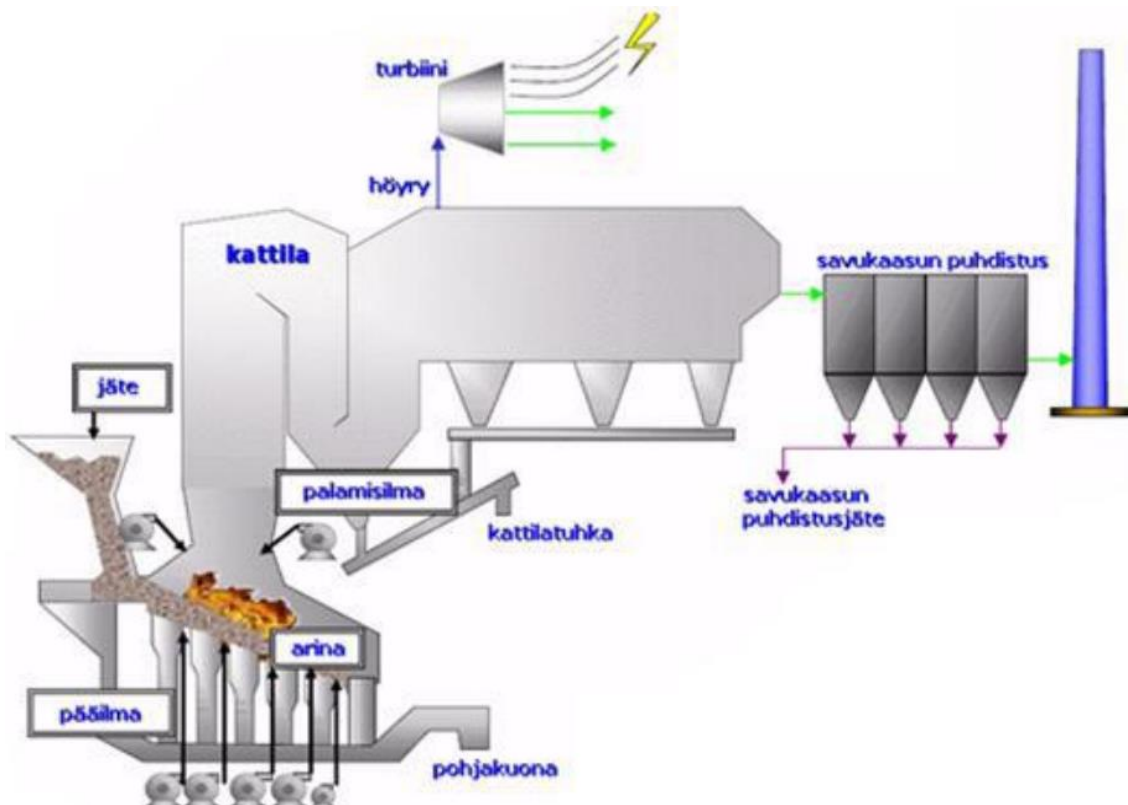
Kotkan Energia Oy on Kotkan kaupungin kokonaan omistama energiayhtiö, joka on perustettu vuonna 1993. Yrityksen liiketoiminta jakautuu energian tuotantoon sekä yritys- ja kaukolämpöpalveluihin. Päätuotteita ovat kaukolämpö, prosessihöyry teollisuudelle ja sähkö. Näitä tuotetaan yrityksen strategian mukaisesti uusiutuvia energialähteitä ja jätteenpolttoaineita hyödyntäen yhteistyössä paikallisen teollisuuden kanssa. Hovinsaaren voimalaitos ja Korkeakosken Hyötyvoimalaitos ovat yhtiön päätuotantolaitoksia. Lisäksi sähköä tuotetaan yhden 1 MW:n ja kahden vuonna 2013 valmistuneen 2,35 MW:n tuulivoimalan voimin. Lämmityskauden kaukolämmön tarvetta tukee 2013 talvella käyttöönotettu Sunilan biolämpökeskus 18 MW kaukolämpötehollaan sekä useat kaukolämpökeskukset eri puolin kaupunkia. (1.)

2 HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI

Korkeakoskella sijaitseva hyötyvoimalaitos on toinen Kotkan Energia Oy:n päätuotantolaitoksista. Laitoksen pääasiallinen energianlähde on kierrätykseen kelpaamaton kotitalousjäte, jonka keräilyalue kattaa Itä-Uudenmaan, Kymenlaakson, Päijät-Hämeen ja Mikkelin. Jätteen lisäksi laitoksella poltetaan pieni määrä teollisuusjätettä, josta suurin osa tulee viereiseltä Sonoco-Alcoren kartonkitehtaalta. Vuodessa poltetaan noin 100 000 tonnia jätettä. Hyötyvoimalaitoksen ansiosta säästetään fossiilisilla polttoaineilla ja ulkomailta hankittua energiaa. (1.)

Voimalaitos on polttoaineteholtaan 34 MW:n CHP-laitos eli yhdistetty sähkön ja lämmöntuotantolaitos. Laitos tuottaa prosessihöyryä, kaukolämpöä ja sähköä. Noin 50% sen tuottamasta energiasta toimitetaan viereiselle Sonoco-Alcoren kartonkitehtaalle, 30 % tehdään kaukolämmöksi ja noin 20 % muutetaan sähköksi. (2.)

Laitos käy jatkuvasti 100 %:n teholla vuotuisen käyntiajan ollessa noin 11 kuukautta. Siinä käytetty tekniikka on yksinkertaista ja nykyaikaisia päästörajoituksia noudattavaa. Palamisesta syntyvät tuotteet, kuten tuhka ja kuona hyödynnetään esimerkiksi kaatopaikoilla katemateriaalina tai erinäisissä maantäyttökohteissa. (2.)



Kuva 2.1 Hyötyvoimalaitoksen prosessi (2.)

Taulukossa 2.1 on esitetty Hyötyvoimalaitoksen sähkön, kaukolämmön ja prosessihöyryn tuotannon sekä jätteen hyötykäyttöpäalvelun kehitystä viime vuosien aikana.

Taulukko 2.1 Hyötyvoimalaitoksen tuotanto (10, 12)

Hyötyvoimalaitoksen tuotantolukuja (GWh)	2011	2012	2013	2014
Sähkön tuotanto	37	35	35	35
Kaukolämmön tuotanto	37	62	61	64
Prosessihöyry tehtaille	86	88	83	88
Jätteen hyötykäyttöpäalvelun myynti (1000 t)	91	99	105	101

2.1 Jätteen vastaanotto ja varastointi

Jätettä tuodaan hyötyvoimalaitokselle jäteautoilla sekä rekkakuljetuksilla. Autot kulkevat vaa'an kautta saapuessaan, minkä jälkeen ne purkavat kuormansa vastaanottomonttuun. Jäte siirretään vastaanottomontusta varastointibunkkeriin automatisoidulla kahmarinosturilla. Kahmarin automaattitoimintoihin kuuluu muun muassa jätteen syöttö-, sekoitus- ja siirtotoimintoja. Hajuhaittojen ehkäisemiseksi bunkkeria pidetään alipaineisena imemällä sieltä palamisilmaa kattilaan.

2.2 Arina ja poltto

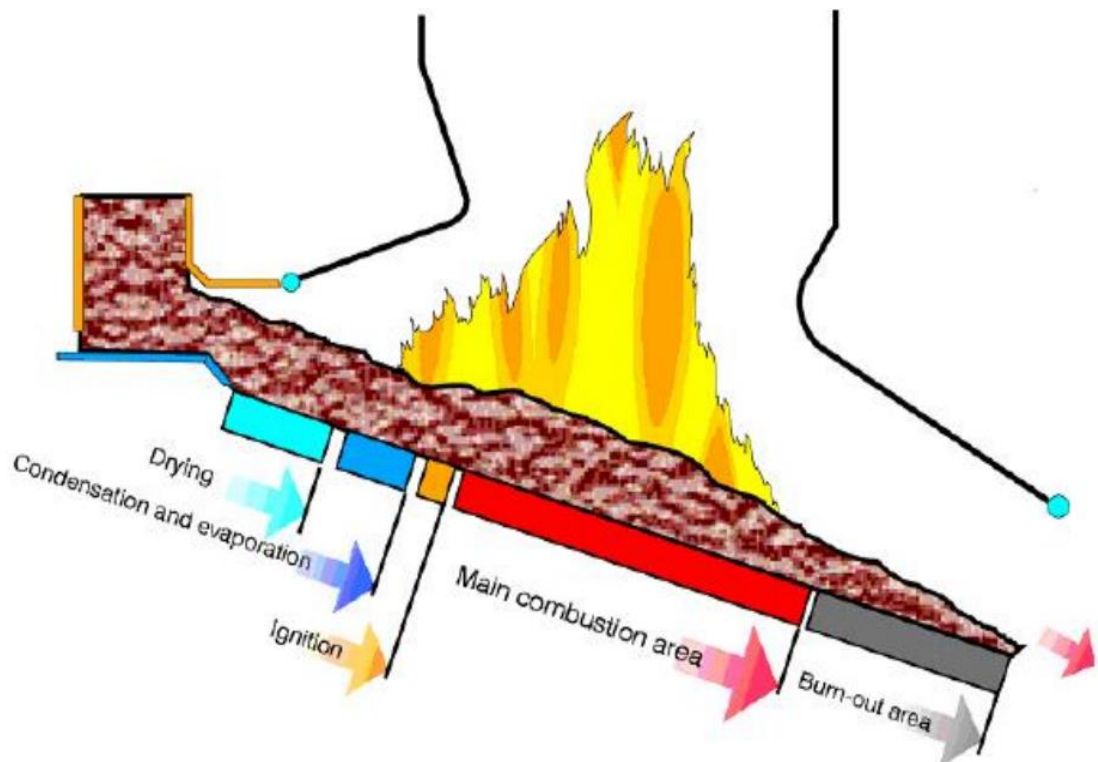
Syöttötorvesta jäte valuu painovoiman avulla syöttöpöydälle muodostaen samalla ilmalukon tulipesään. Syöttöpöytä toimii kahdella hydraulisylinterillä, niin sanotuilla syöttötyöntimillä, työntäen jätettä arinalle. Se on kytketty tuorehöyryn virtaussäätöön ja ohjaa polttoaineen syöttöä. (3.)

Arina on Keppel Seghersin toimittama ilmajäähdytteinen, 5-elementtinen viistoarina. Tämä malli on käytössä erityisesti laitoksilla, jotka käyttävät matalasta keskisuureen lämpöarvon omaavia polttoaineita. Arina on jaettu viiteen hydraulisilla sylintereillä liikuteltavaan elementtiin. Neljä ensimmäistä koostuvat kahdesta rumpulaatasta ja yhdestä liukulaatasta. Viidennellä elementillä on kaksi liukulaattaa ja yksi rumpulaatta. Liukulaattojen tehtävä on liikuttaa jätettä eteenpäin arinalla ja rumpulaatat taas kohen-tavat palamista, jos savukaasujen jäännöshappi nousee liian suureksi, eli toisin sanoen palaminen heikkenee. Jokaisen elementin alapuolella on primääri-ilmapuhallin, joka syöttää palamisilmaa arinalle. Primääri-ilman lämmitykseen käytetään matala-

painehöyryllä toimivaa lämmönvaihdinta. Lisäksi arinan yläpuolella on kaksi sekundaari-ilmapuhallinta, jotka syöttävät ilmaa tulipesän etu- ja takaseinämältä. Sekundääripuhaltimet säätelevät kattilan jäännöshappea ja viimeistelevät palamisen. Ylös- ja alasajo- sekä poikkeustilanteita varten tulipesässä on kaksi maakaasukäyttöistä tuki-poltinta. (3,4)

Savukaasut luovuttavat lämpöenergiaa tulipesän seinissä oleviin vesiputkistoihin ja konvektio-osassa sijaitseviin lämmönsiirtimiin. Viimeisen tulistimen jälkeen tuorehöyryn arvot ovat 40 baaria ja 400 °C. Liitteessä 1 on havainnollistettu laitoksen höyrynjakoa virtauskaavion muodossa.

Kuvassa 2 on esitetty eri vaiheita palamisessa arinan sivusta kuvattuna. Ensimmäisellä elementillä jäte kuivatetaan. Toisella elementillä jäte syttyy palamaan, ja kolmannella itse palaminen ideaalitalanteessa tapahtuu. Neljännellä elementillä jäte palaa loppuun. Viides jähdyttää jäljelle jäänyttä kuonamateriaalia. Arinan loppupäästä kuona tippuu vedellä täytettyyn kuljettimeen, joka siirtää materiaalin kuonahalliin. (3.)



Kuva 2.2 Palamisen eri vaiheet arinalla (3.)

2.3 Savukaasujen puhdistus

Konvektio-osan jälkeen jäähtyneet savukaasut johdetaan Alstom Finland Oy:n toimitamaan puolikuivaan savukaasujen käsittelyprosessiin eli NID:iin (=Novel Integrated Desulfurization) puhdistettavaksi. Reaktorissa savukaasuihin sekoitetaan aktiivihiihtä sitomaan TOC- ja HF-yhdisteitä ja niiden johdannaisia. Happamien ja rikkiyhdisteiden neutralointiin käytetään poltettua kalkkia, joka sammutetaan sammuttimessa ja syötetään savukaasujen joukkoon. Savukaasut johdetaan lopuksi letkusuodatinyksikölle, jossa pölypartikkelit jäävät paineilmalla puhdistettaviin sukkiin kiinni. Letkusuodattimen jälkeen piipusta ulos tulevat päästöt ovat puhdistettu 99,9-prosenttisesti.

3 HYÖTYVOIMALAITOKSEN OHJAUS

3.1 Ohjausjärjestelmät

Hyötyvoimalaitoksella on käytössä maailmanlaajuisen Honeywell-yhtiön toimittama Experion PKS DCS-prosessinohjausjärjestelmä. Honeywell on yritys, joka kehittää ja valmistaa teknologioita nykyajan haasteisiin kuten energiatehokkuuteen, puhtaaseen energiantuotantoon ja turvallisuuteen. Yhtiön liiketoiminta Suomessa kattaa sekä teollisuus- että rakennusautomaation osa-alueet.(9.)

Hyötyvoimalaitoksen kattilan ohjausjärjestelmä perustuu Honeywellin Process, Machinery, Drives- eli PMD-teknologiaan, jossa yksi järjestelmä ohjaa laitoksen jatkuvia prosesseja, koneita sekä sähkökäyttöjä. Ohjaukset ja mittaukset toteutetaan suorituskykyisillä PMD Controller -kenttäohjaimilla sekä XPR-A-pohjaisilla prosessiasemilla. Ne välittävät prosessitiedot järjestelmän muille yksiköille ja käyttäjälle sekä saavat muilta yksiköiltä ja käyttäjältä asetusarvot ja muut prosessin toimintaa koskevat ohjaukset. (5.)

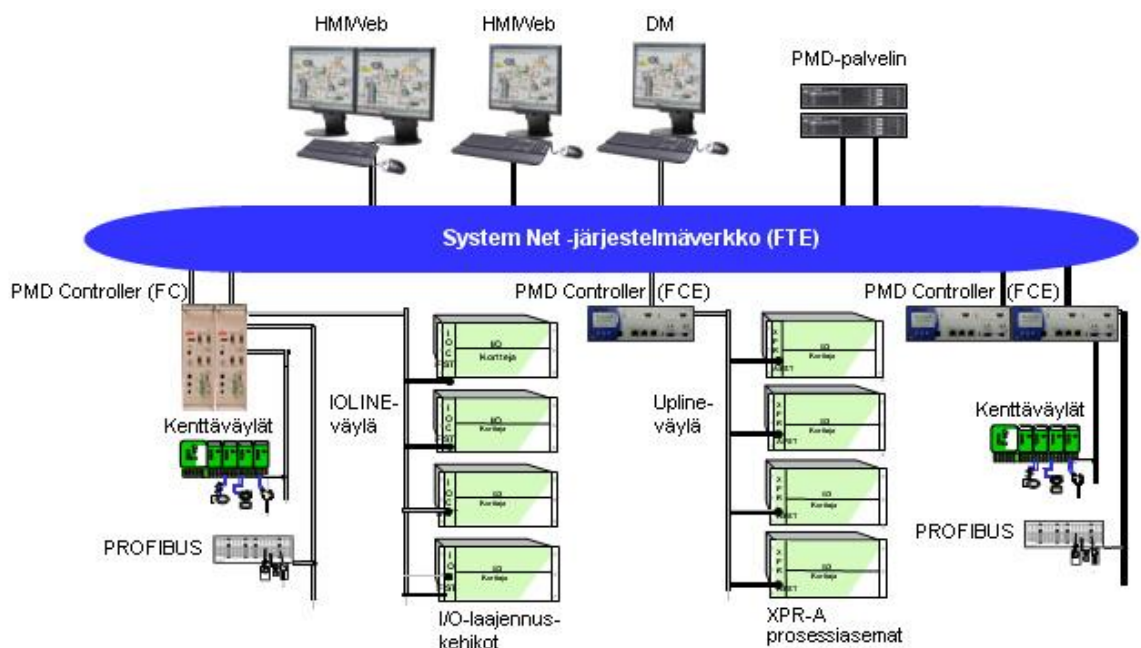
System Net on Ethernet-pohjainen TCP/IP-verkko, joka liittää automaatiojärjestelmän osaksi laitoksen muita tietojärjestelmiä. DM-sovellusasemalla määritellään automaatiojärjestelmän rakenne ja luodaan sovellusmäärittelyt graafisiksi rakenteiksi, joiden avulla voidaan hallita laajoja sovelluskokonaisuuksia. PMD-palvelin puolestaan huolehtii automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoon ja -käsittelyyn liittyvistä tehtävistä ja toimii järjestelmän tietojen talletus- ja hakupaikkana. HMIWeb-käyttöliittymät eli pää-

asiassa operaattoreiden käyttöpäätteet ovat nimensä mukaisesti web-pohjaisia käyttöliittymiä, jotka mahdollistavat prosessin ohjaus- ja valvontatoimintojen lisäksi erinäisten tuotantotietojen keruun. (5.)

Laitoksen höyryturbiinilla on oma valmistajan, sveitsiläisen Turbomachin toimittama ohjausjärjestelmä. Turbomachin ohjausjärjestelmää ei kuitenkaan tarvitse käyttää yleisten toimintojen kuten turbiinin etupaineen tai sähkötehon säätämiseen, koska nämä säätöpiiri-ikkunat ovat liitettynä myös Honeywell-järjestelmän valvomopäätteisiin. Useimmiten turbiinin omaa päätettä tarvitsee käyttää vain turbiinin ylös- tai alasajoissa. Turbomachin ohjausjärjestelmä on kuitenkin melko vanhentunut ja tukea mahdollisissa ongelmatilanteissa on erittäin vaikea enää saada, joten kesän 2015 revisiossa onkin tavoitteena turbiinin määräaikaishuollon lisäksi ottaa käyttöön Fortum Oyj:n toimittama järjestelmäpäivitys.

Lisäksi laitoksella on oma LVI-ohjausjärjestelmänsä, jolla voidaan hallita ja seurata muun muassa laitostilojen ilmanvaihtoa, lämmitystä ja jäähdytystä.

Valvomossa ohjausjärjestelmiin liittyviä tietokoneita on yhteensä viisi, joista yksi on LVI-toimintoja varten, yksi on turbiinin omalle käyttöpäätteelle, ja kolmesta viimeisestä operoidaan Honeywellin järjestelmää sekä seurataan hälytyksiä.



Kuva 3.1 Yleiskuvaus Hyötyvoimalaitoksen automaatiojärjestelmästä (5.)

3.2 Valvomo-operointi

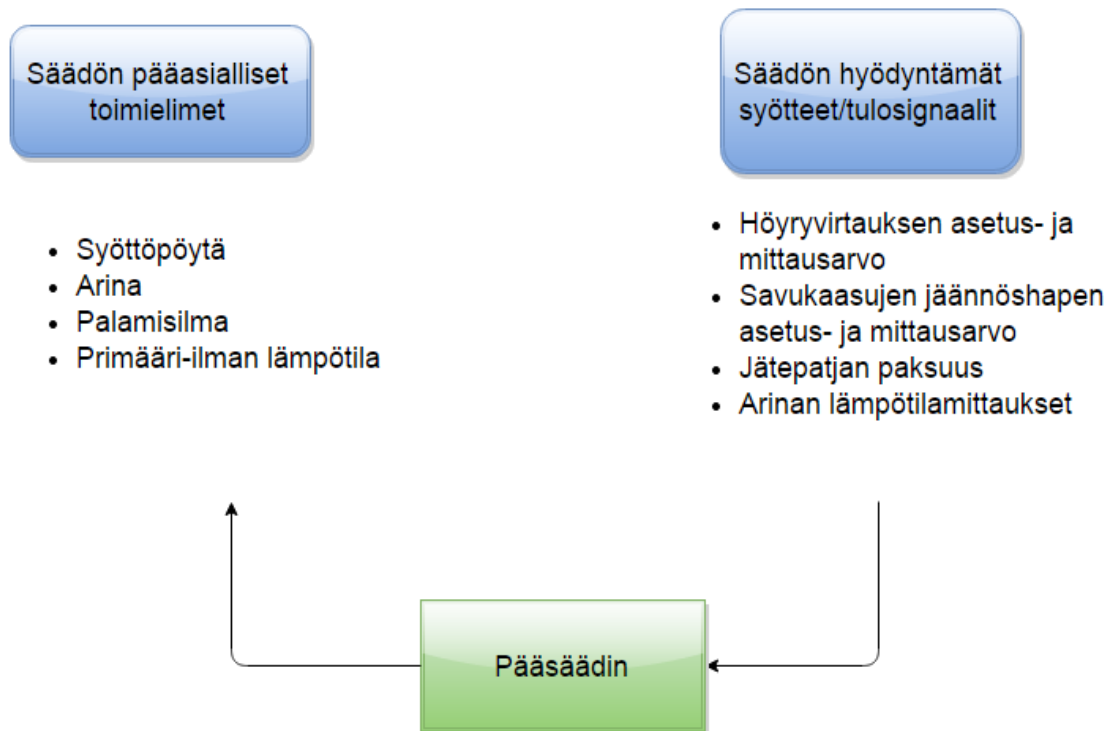
Voimalaitoksen käyttötehtäviä suorittaa normaalisti kaksi operaattoria 12 tunnin vuoroissa. Operaattorit työskentelevät yleensä kaksi aamuvuoroa ja kaksi yövuoroa peräkkäin, jonka jälkeen on kuuden päivän vapaat. Operaattoreiden ydintoimintoihin hyötyvoimalaitoksella kuuluu muun muassa höyryntuotannon ja palamisprosessin valvominen ja matalapainehöyryn takaaminen kuluttajakohteille, polttoaineen vastaanoton ja varastoinnin hallinta, päästöjen valvonta sekä kaukolämmön ja sähkön välisen tuotannon optimointi. Yleisimpiä operaattorin toimintoja ovat muun muassa palamisen kontrollointi palamisilmoja ja polttoaineen syöttöä säätäen. Lisäksi operaattorit käyvät päivittäin läpi kaikki laitostilat vuotojen tai muun vikojen varalta, osallistuvat tarpeen tullen pieniin kunnossapitotöihin, sekä opastavat ja valvovat saapuvaa liikennettä kuten polttoaine- tai kemikaalikuljetuksia.

Nykyisen ajotavan mukaan laitokselta ajetaan kylminä vuodenaikoina niin paljon kaukolämpöä kuin mahdollista. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että turbiinin korkeapaineosan jälkeen väliottoon ajetaan maksimaalinen määrä höyryä. Jäljelle jäävällä höyryllä, joka menee turbiinin matalapaineosaan ja edelleen lauhduttimeen, tuotetaan sähköä. Lämpiminä vuodenaikoina kaukolämmön tuotanto laitokselta minimoidaan johtuen vähäisestä kaukolämmön kulutuksesta ja siitä, että Hovinsaaren laitos joutuu tuottamaan pääosan kaukolämmöstä pitääkseen lauhduttimensa paineen sallituissa rajoissa. Liitteessä 2 on esitetty operointipäätteiden pääkuva ”Kattila”, josta operaattori näkee samasta ruudusta kaikki tärkeimmät prosessin oloarvot ja mittaukset.

Lisähaasteita jätteenpolttolaitoksella tuottaa jätetulien silmämääräinen seuraaminen tulipesäkamerasta. Operaattorin on huolehdittava, ettei jätettä tule palamattomana arinan läpi ja tarvittaessa pysäytettävä yksittäisiä elementtejä tai koko arina ja polttoaineensyöttö hetkeksi, jotta jäte kerkeää palamaan loppuun. Ongelmatilanteita voidaan ennakoida seuraamalla arinaelementtien yli olevien paine-ero- sekä lämpötilamittauksien kehitystä.

3.3 Hyötyvoimalaitoksen pääsääto

Kuvassa 3.2 on ohjausjärjestelmän toimittajan esittämä yleisperiaatteellinen kaavio jätteenpoltossa käytettävän polttosäädön toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä.



Kuva 3.2 Jätteenpolttosäädön toimintaperiaate (5.)

Työssä ei ole otettu kantaa polttoilmasäätöihin, koska niihin ei tehty muutoksia missään vaiheessa.

Työn kannalta on olennaista ymmärtää, kuinka säätimet, pääsäätopiirit ja kaskadikytkentä toimivat. Voimalaitosprosessia ohjaavissa säätimissä on yleensä seuraavat toimintatilat:

- Manuaali
- Automaatti
- Kaskadi (remote), ei kaikissa säätöpiireissä.

Säätimestä ilmenee yleisesti säätimen tila, mittausarvo, asetusarvo, kaskadin asetusarvo ja ulostulo. Asetusarvo on käyttäjän asettama arvo säätimelle, jota se tavoittelee

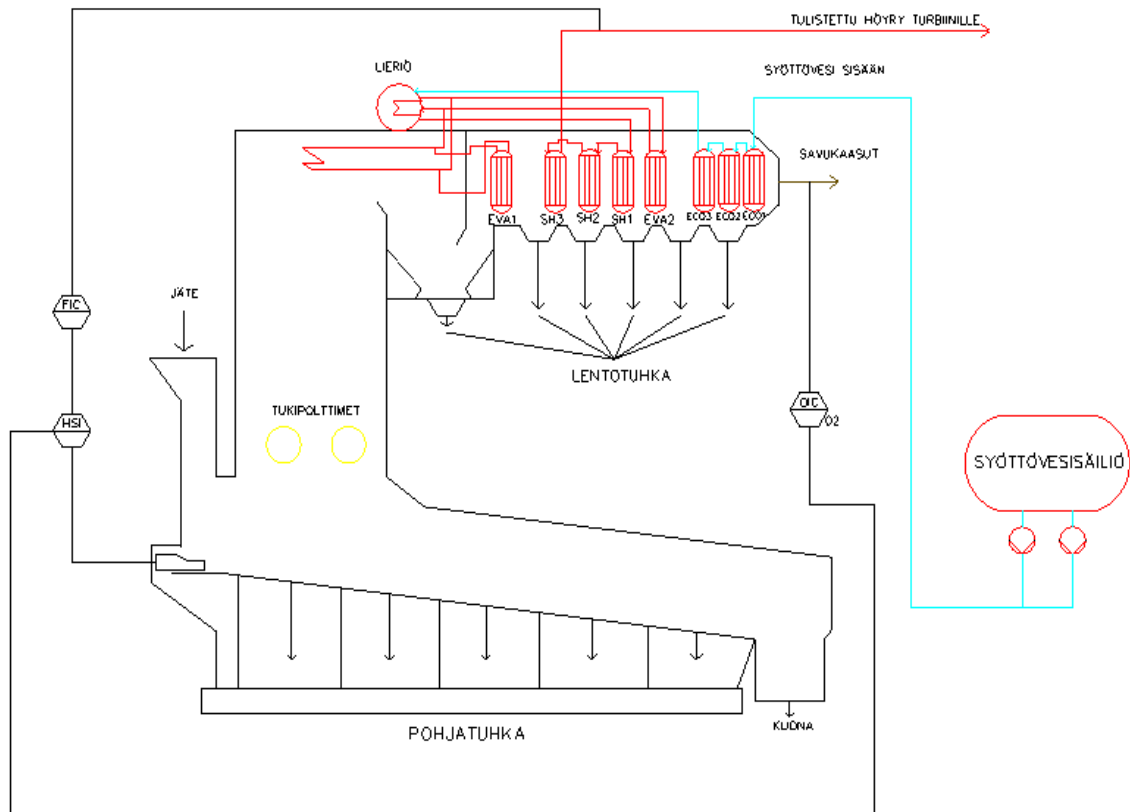
muuttamalla ulostuloaan eli jonkin toimilaitteen ohjausta säädön toimitus suunnan mukaisesti. Toimilaitteen ollessa esimerkiksi pumppu, säätimen ulostulo on pumpun kierrosnopeus. Manuaaliltilassa käyttäjä voi itse säätää säätimen ulostuloa. Kaskadiksi kutsutaan säätimen ulkopuolelta tulevaa asetusarvoa. Käyttäjä ei itse suoraan vaikuta asetusarvoon, vaan se tulee toiselta säätimeltä tai muualta automaatiojärjestelmästä, esimerkiksi savukaasujen jäännöshapen asetusarvo. (11.)

Pääsäätimellä viitataan yleisesti säätimeen, joka ohjaa polttoaineen syöttöä halutun tuotantosuureen mukaisesti. Hyötyvoimalaitoksen tapauksessa tämä tuotantosuure on tuorehöyryn virtaus, joka ilmaistaan säätimessä tonneina tunnissa (t/h).

Kuvassa 3.3 on havainnollistettu virtauskaavion muodossa kattilan periaatteellinen toiminta massavirtoineen. Lisäyksenä on yksinkertaistettuna säätöpiirit jotka vaikuttavat syöttöpöydän nopeuteen eli savukaasujen jäännöshappi ja päähöyryvirtaus. Kuvassa näkyvät myös kattilan konvektio-osalla sijaitsevat lämmönsiirto-putkistot, joihin kuumat savukaasut siirtävät lämpöenergiansa. Myös tulipesän seinämällä on putkistot, joissa tapahtuu höyrystymistä luonnonkiertoperiaatteella. Tulipesän pienen pinta-alan vuoksi konvektio-osalle on kuitenkin asennettu kaksi lisähöyrystintä, EVA1 ja EVA2. EVA1:n tehtävänä on myös suojata ensimmäistä tulistinta SH1.

Lämmönsiirto-putkistojen lyhenteet selitettynä:

- ECO1, ECO2, ECO3: Syöttöveden esilämmittimet
- EVA1, EVA2: Lisähöyrystimet
- SH1, SH2, SH3: Tulistimet.



Kuva 3.3 Virtauskaavio kattilasta ja polttoaineen syöttöön vaikuttavat säätöpiirit

3.3.1 Pääsädön nykyinen toiminta

Polttoainetta arinalle työntävän syöttöpöydän perusnopeus on suora funktio höyryvirtauksen pääsäätimelle asetetusta asetusarvosta. Polttoaineensyötön perusnopeuksia joudutaan vaihtamaan normaalisti vuodenajan mukaan. Täydellä teholla ajettaessa tämä arvo vaihtelee normaalisti alueella 1,5 - 2,5mm/s. Pelkällä perusnopeudella ei kuitenkaan yleensä saavuteta haluttua höyryvirtauksen ohjearvoa. Siksi syöttöpöydän perusnopeuttakorjataan kolmella rajoitetulla arvolla, jotka on esitetty taulukossa 3.1. (7.)

Taulukko 3.1 Syöttöpöydän perusnopeutta korjaavat tekijät (7.)

Korjaava säätö	Korjauksen maksimiarvo (mm/s)
Höyryvirtauksen korjaussäädin	+/- 0.5
Happipitoisuuden korjaussäädin	+/- 0.5
Käyttäjän tekemä korjaus	+/- 0.5

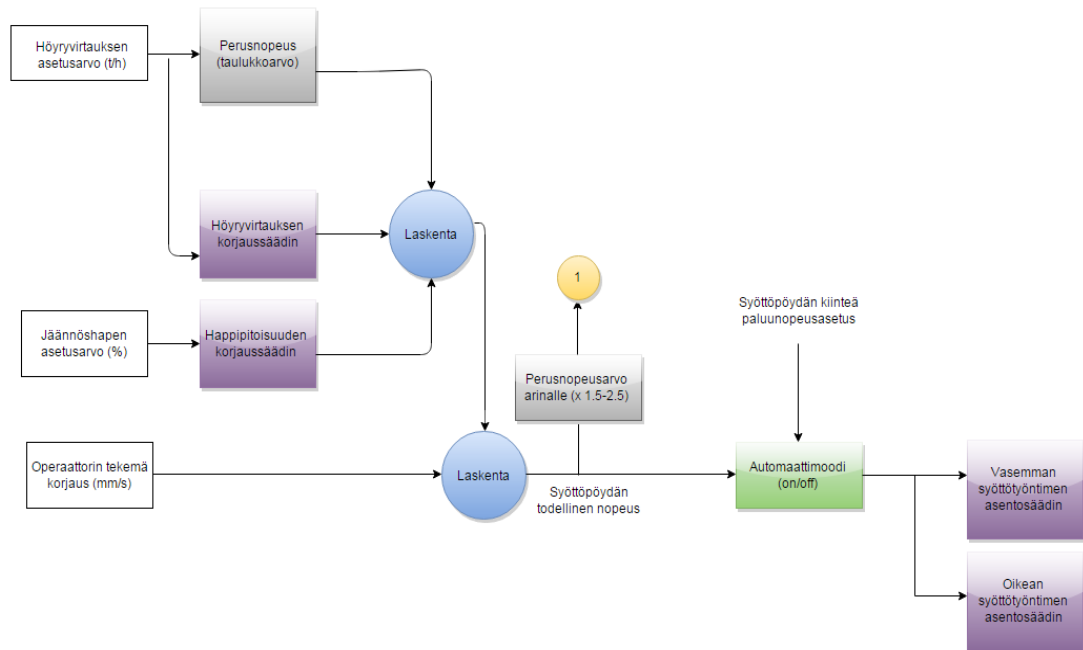
Käyttäjän tekemää syöttöpöydän nopeuskorjausta käytetään tilanteissa, joissa automaattisen korjauksen säätimet eivät enää riitä. Käytännössä tämä tarkoittaa tilannetta, jossa käsitellään jätettä, jonka fyysiset ominaisuudet poikkeavat runsaasti tavallisesta.

Arinan kokonaisnopeus on vastaavalla tavalla kolmen tekijän summa. Myös tällä parametrilla on perusnopeusarvo, joka liittyy syöttöpöydän todelliseen nopeuteen. Perusnopeus saadaan nopeussuhdekertoimella, joka määritellään tässä tapauksessa yksinkertaisella kaavalla: $2 * \text{syöttöpöydän todellinen nopeus}$. Muut arinan nopeutta korjaavat tekijät on eriteltyinä taulukossa 3.2. Yksittäisen arinaelementin liukulaattojen nopeus on käyttäjän aseteltavissa oleva kiinteä prosenttiarvo lopullisesta laskennallisesta arinan nopeusasetusarvosta kullakin ajanhetkellä. Normaali nopeusjakauma eri elementeille on yleensä 30 - 40 % jokaisella ensimmäisellä neljällä elementillä ja noin 15 % viimeisellä jäädytys-elementillä. (7.)

Taulukko 3.2 Jätteenkuljetusnopeutta korjaavat tekijät. (7.)

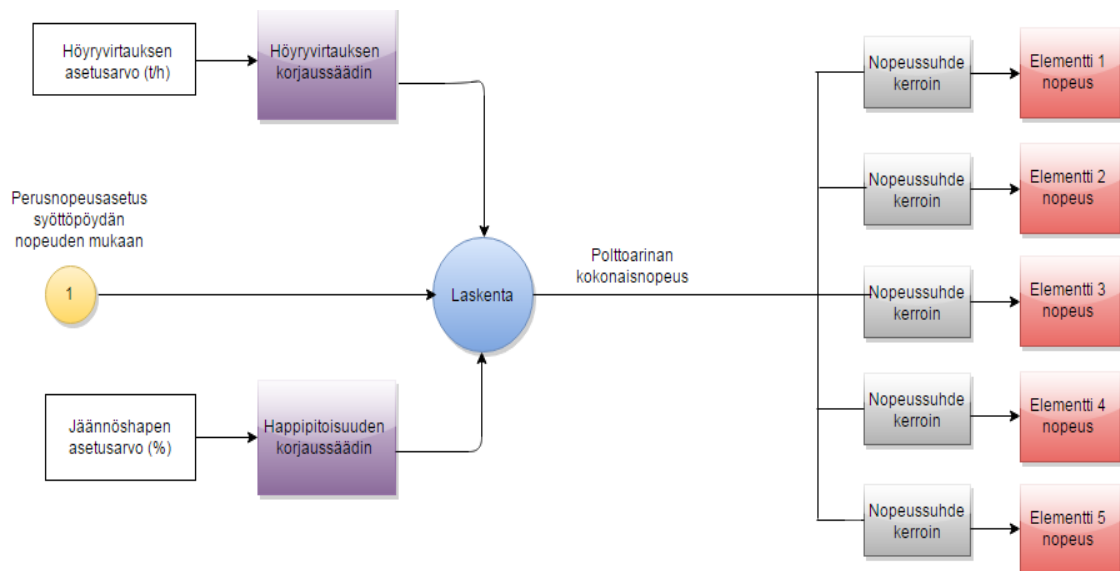
Korjaava säätö	Korjauksen maksimiarvo (mm/s)
Happipitoisuuden korjaussäädin	+/- 2
Höyryvirtauksen korjaussäädin	+/- 1.5

Kuvassa 3.4 on esitetty havainnollistava lohkokaavio pääsäädön toiminnasta syöttöpöydän osalta kun käytössä on tasaisen höyryntuotannon ohjaus. Syöttöpöytä saa siis todellisen nopeusarvonsa kahden laskentavaiheen kautta. Ensimmäisessä perusnopeutta korjaavat höyryvirtauksen ja happipitoisuuden säätimet, toisessa otetaan huomioon mahdollinen käyttäjän antama korjaus nopeuteen. Toisen laskennan jälkeen syöttöpöydän nopeus kulkeutuu kiinteän kertoimen kautta perusnopeusarvoksi arinalle. Lopullinen nopeusasetus lähtee syöttötyöntimille, jotka puskevat synkronoituna jätettä arinalle.



Kuva 3.4 Polttoaineen syöttönopeuden riippuvuustekijät

Kuvassa 3.5 on esitetty arinan nopeuteen vaikuttavat tekijät. Arina saa kokonaisnopeutensa laskennan kautta kolmesta tekijästä: höyryvirtauksen korjaussäätimestä, happipitoisuuden korjaussäätimestä ja syöttöpöydän nopeudesta saatavasta perusnopeudesta.



Kuva 3.5 Arinan kokonaisnopeuden riippuvuustekijät

3.3.2 Pääsädön ajotapamoodit

Kuvassa 3.6 ilmenevät pääsädön ajotapamoodit, joilla höyryntuotantoa voidaan ohjata. Normaalisti jatkuvassa käytössä on Höyry-moodi, niin sanottu tasaisen höyryntuotannon ohjaus. Tämä toimintatila on suunniteltu suhteellisen korkean lämpöarvon polttoaineelle, jolla nimellislämpökuorma saavutetaan. Moodi tähtää pitämään höyryvirtauksen asetusarvossaan täydellä kuormalla ohjaamalla syöttöpöytää taulukossa 3.1 mainittujen korjaussäätimien avulla. (7.)

Käsi-moodissa operaattori voi asettaa itse syöttöpöydän nopeudelle ohjauksen 0-100 %, jolloin operaattorin on aktiivisesti seurattava höyryntuotannon käyttäytymistä ja tarpeen tullessa lisättävä tai vähennettävä syötettävän polttoaineen määrää.

Jätekerros-moodi on suunniteltu matalan lämpöarvon polttoaineelle, jolla höyryn nimellistuotantoarvoa ei saavuteta. Moodi perustuu ensimmäisen arinaelementin yli olevanpaine-eromittauksen ja tulipesän paineen funktioon eli jätepatjan paksuuteen. Tarkoituksena on maksimoida kattilan läpi kulkevan jätteen määrä, eikä itse höyryntuotantoa suoranaisesti ohjata. Moodi ei kuitenkaan ole käytössä lainkaan eikä viimeistely toimintakuntoon ohjausjärjestelmään.



Kuva 3.6 Pääsäätimen ajotapamoodit

3.3.3 Pääsädön ongelma

Nykyisen pääsädön ongelmakohdaksi on esitetty syöttöpöydän liian nopeaa reagoimista hetkellisiin höyryvirtauksen vaihteluihin. Vaihtelut johtuvat usein luonnostaan epätasalaatuisen polttoaineen ominaisuuksista, jotka näkyvät polttoaineen lämpöarvossa. Kokemusten perusteella pääsädön ajotavan vaihtaminen Käsi-moodiin on monesti rauhoittanut tilannetta, jossa höyryntuotanto on jäänyt jatkuvaan heiluntaan pidem-

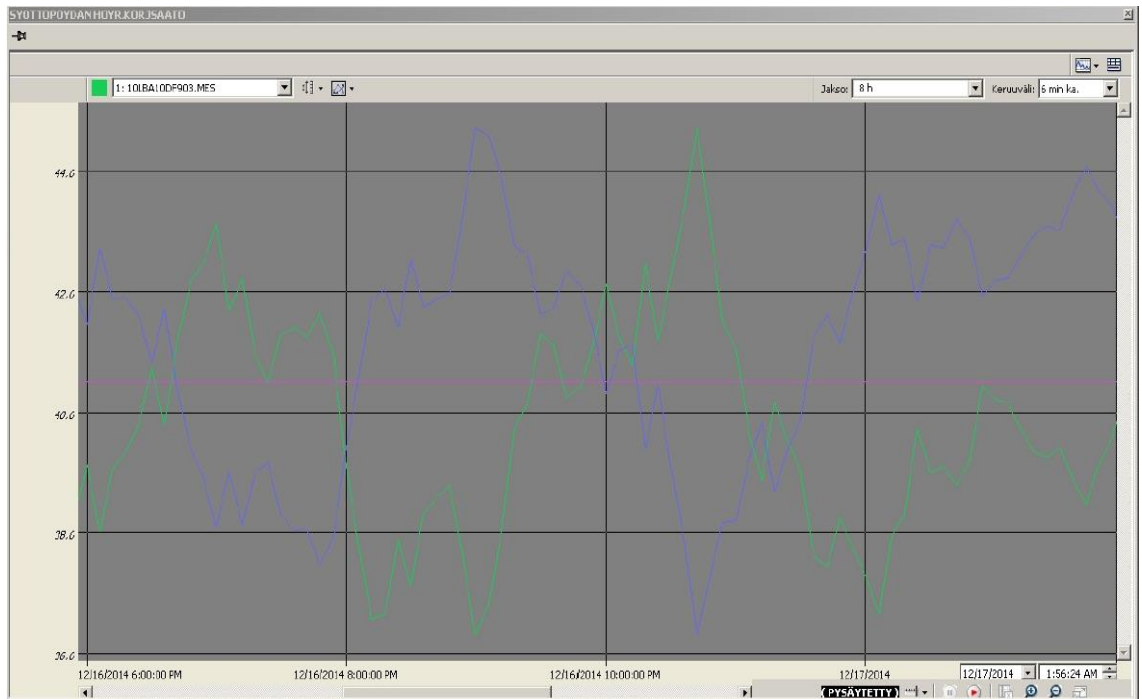
mällä aikavälillä eikä tasapainopistettä ole löytynyt. Säädön toimintaan liittyen kattilan valmistajan käyttäjäohjeessa onkin suoraan todettu:

”Syöttöarinan ohjaus on hidas prosessi, jossa halutun (höyryvirtauksen) ohjearvon saavuttaminen kestää. Syöttöarinan nopeuden äkilliset muutokset johtavat ainoastaan polttoprosessin myöhempään epävakaaseen toimintaan. Jos laitos toimii jatkuvasti epävakaassa tilassa, seurauksena voi olla haitallisia savukaasupäästöjä, savukaasujen käsittelyjärjestelmän toiminnassa ilmeneviä ongelmia ja järjestelmän normaalia nopeampi kuluminen.” (7.)

Välittömät ja osittain tarpeettomat säätötoimenpiteet polttoaineensyöttöön voivat siis vahvistaa höyryvirtauksen heiluntaa, toisin sanoen säädön vaste jää värähtelevään tilaan pitkäksi aikaa. Prosessille tyypillinen ominaisuus on myös sen hitaus. Aika, joka kuluu, että syöttöpöydän nopeuden muutos näkyy höyryntuotannossa selvästi on normaalisti 10 - 30 minuutin luokkaa. Tätä viivettä kutsutaan myös kuolleeksi ajaksi (aika, joka kuluu että säätimen ohjauksen muutos näkyy mitattavassa arvossa). Tämän tiedon perusteella säädin, joka muuttaa syöttöpöydän nopeutta pääasiallisesti höyryvirtausmittauksen perusteella, ei ole optimaalinen tasaisen höyryntuotannon kannalta.

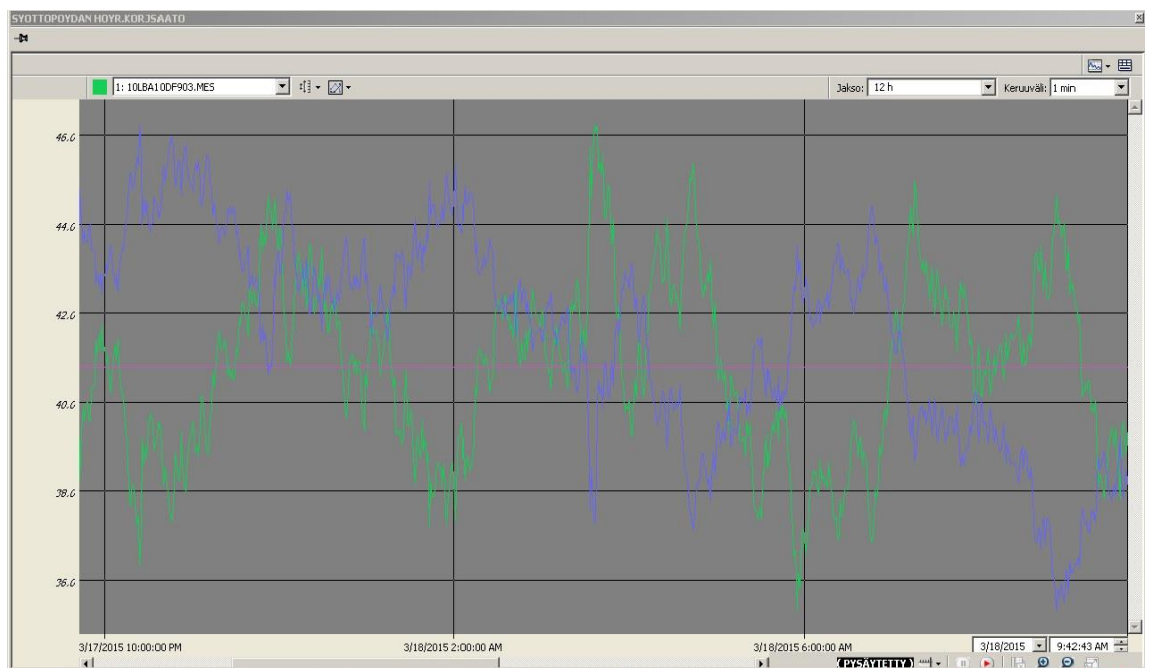
Palamattomaksi jäävän polttoaineen kanssa tulee harvemmin ongelmia ja siihen ei oteta kantaa opinnäytetyössä. Syynä tälle on, että Hyötyvoimalaitoksen arinalla on vähemmän yleisesti esiintyvä viides elementti, joten polttoaineella on lähes poikkeuksetta tarpeeksi aikaa palaa loppuun. Lisäksi arinakattiloille on tyypillistä huomattavalla yli-ilmamäärällä ajaminen, joka edistää polttoaineen loppuun palamista. (6.)

Kuvissa 3.7 ja 3.8 on esitetty työn alkutilanteessa voimassa olevan säädön mukaisia esimerkkitrenejä höyryvirtauksen ja syöttöpöydän nopeuskorjauksen suhteesta normaaliajossa. Kuvan 3.7 trendi kattaa 8 tunnin ajojakson ja käyrän mittauspisteet ovat keskiarvoja 6 minuutin väliajoilta. Kuvan 3.8 trendi kattaa 12 tunnin ajojakson ja käyrän mittauspisteet ovat 1 minuutin väliajoin. Trendeissä vihreä käyrä kuvaa tuorehöyryn virtauksen todellista arvoa, violetti käyrä on höyryvirtauksen asetusarvo (40 t/h) ja sininen käyrä kuvaa syöttöpöydän nopeutta (säätimen ohjaus). Trendeistä on huomattavissa jatkuvat ohjauksen muutokset syöttöpöydän nopeudessa, jotka ovat todennäköisesti olleet syynä höyryvirtauksen jatkuvaan epästabiliin tilaan.



Kuva 3.7 Pääsäätimen trendikäyrä 8 tunnin ajokajaksolta 6 minuutin mittauspistevälein

- Mittausarvo
- Ohjausarvo
- Asetusarvo



Kuva 3.8 Pääsäätimen trendikäyrä 12 tunnin ajokajaksolta 1 minuutin mittauspistevälein

- Mittausarvo
- Ohjausarvo
- Asetusarvo

4 HÖYRYVIRTAUSSÄÄDÖN HONEYWELL-SOVELLUKSEN PARANTAMINEN

4.1 Perinteiset viiveen kompensointimahdollisuudet säätötekniikassa

Säätötekniikassa viivettä on osattu kompensoida jo pitkän aikaa prosesseissa, joiden mallintaminen on loogista ja johdonmukaista, toisin kuin joskus jätteenpoltossa. Perinteisesti prosessin aikaviiveen takia säätimissä voidaan joutua käyttämään hitaan vasteen tuottavaa, pientä vahvistuskerrointa, jotta vältetään säädön jäämistä värähtelyvään tilaan.

Yksi yleisimmistä menetelmistä viiveen kompensoinnissa on kuitenkin Smithin prediktori. Periaatteena menetelmässä on yhden ylimääräisen takaisinkytkennän lisäksi suljettuun säätöpiiriin. Tämä takaisinkytkentä sisältää ennakoivan osan, joka arvioi, mikä prosessin olotila pitäisi olla kyseisen ajanhetken ohjauksella. Todellisen ja ennakoivan osan ollessa yksi yhteen, säätö toimii normaalin periaatteensa mukaisesti alkuperäisen takaisinkytkentätietonsa perusteella. (13.)

Viiveellisissä monimuuttujaprosesseissa suositetaan myös malliprediktiivistä säätöä. Säätöön kuuluu prosessimalli esitettynä esimerkiksi askelvastemallina, minkä avulla voidaan ennustaa säädettävien suureiden käyttäytymistä tulevaisuudessa. Lisäksi säädössä on optimointiosa, joka tuottaa optimaaliset ohjaukset, kun säädettäville suureille on asetettu tavoitetila. (6.)

Sumean logiikan säädintä käytetään yleensä tilanteissa, joissa johdonmukaiset viiveen kompensointimenetelmät eivät riitä, vaan halutaan hyödyntää käyttäjien ja asiantuntijoiden tietotaitoa prosessin optimointiin. Tämä tapahtuu määrittelemällä säätölakeja kielellisinä sääntöinä, jotka ovat helposti ymmärrettävissä. Esimerkkinä jos prosessissa virtaus on *suuri* ja *kylmä*, lisätään lämmityshöyryä *paljon*. Sääntöjen kielelliset termit saavat matemaattisen muotonsa käyrillä, jotka ilmoittavat kyseessä olevien termien jäsenyysasteet. Säätö koostuu yksinkertaisimmillaan kolmesta osasta, jotka ovat sumeutus, sääntökanta ja selkeytys. Sumeutuksessa prosessin tilasta saatu mittausarvo muutetaan tietyn termin jäsenyysasteeksi jäsenyysastefunktiolla. Sääntökantavaiheessa suoritetaan niin sanottu sumea päättely, joka suoritetaan luodun sääntökannan päättelysääntöjen perusteella. Selkeytysvaiheessa lasketaan päättelyn lopullinen tulos päättelyosasta saatavien sääntöjen laukeamisvoimakkuuksien perusteella. Jokaiseen päät-

telysääntöön on yleisesti liitetty tietty toimenpide, kuten esimerkiksi lämmityshöyryn määrää pitää lisätä *paljon* virtauksen ollessa *suuri* ja *kylmä*. (6.)

Muita viiveellisissä prosesseissa käytettyjä säätötekniikoita ovat muun muassa Kalmanin suodatin ja diskreetti prediktori. (14.)

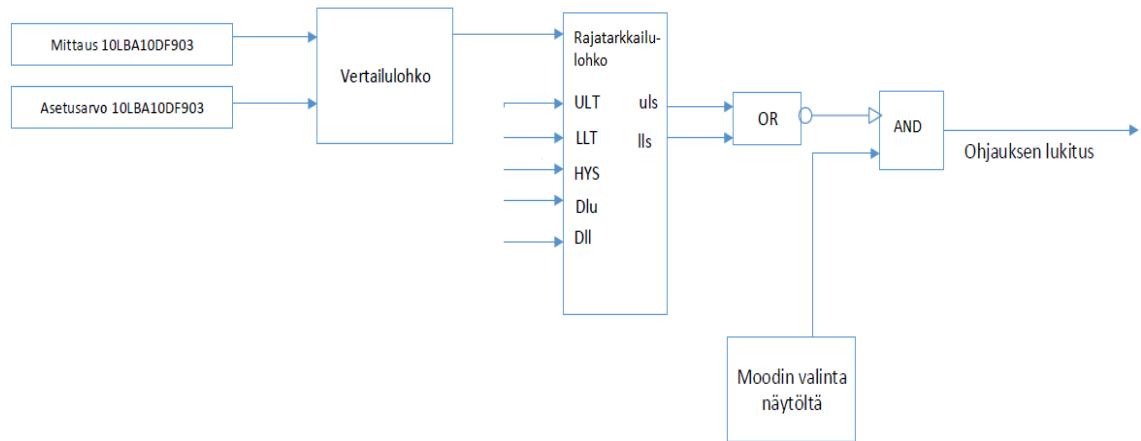
4.2 Suunnitelma

Ajatuksena nykyisen pääsäädön parantamisessa on syöttöpöydän tekemien nopeuskorjausliikkeiden hidastaminen/rauhottaminen. Tästä syystä höyryvirtauksen säätimelle luodaan erillinen pitolohko, joka sallii höyryvirtauksen vaihtelun halutun ikkunan sisällä ilman, että syöttöpöytä tekee korjausliikkeitä polttoaineen syöttönopeuteen. Pitolohkon käyttöönottoa varten operointipäätteiden pääkuvaan lisätään erillinen painike, josta toiminnon voi kytkeä päälle tai pois halutessa, sekä operaattoreiden käytössä oleva viritysikkuna jolla säädön parametrit ovat muutettavissa. Käyttöönotossa etsitään sopivat viritysparametrit säädölle ja seurataan höyryvirtauksen käyttäytymistä sekä verrataan uusia trendejä niihin, joissa pitolohkoa ei ollut käytössä. Toimintakuvausten muutos pääsäätimelle on esitetty liitteessä 3.

4.3 Toteutus

Pitolohkoa lähdettiin kasaamaan kuvassa 4.1 esitetyn yksinkertaistetun toimintakaavion periaatteen mukaisesti. Toimintakaaviot ovat yleinen tapa esittää piirien mittaus- ja ohjaustoimintoja graafisesti käyttämällä apuna erinäisiä funktiolohkoja. Kaaviota käytetään mallina lopullisessa lohko-ohjelmoinnissa. Pääajatuksena kaaviossa on, että pääsäätimen ohjaus (=syöttöpöydän nopeuden korjaus) pysyy lukittuna kun uusi moodi on valittuna aktiiviseksi, eikä höyryvirtaus ylitä parametreihin aseteltua ylä- tai alarajaa.

- AND-lohko: Logiikkafunktio, jossa kaikkien tulojen pitää olla aktiivisena (=1), jotta lähtö olisi aktiivisena
- OR-lohko: Logiikkafunktio, jossa yhden tuloista täytyy olla aktiivisena (=1), jotta lähtö olisi aktiivisena. Kaaviossa OR-lohko on invertoituna, joka tarkoittaa sitä, että lohkon lähtö asettuu aktiiviseksi kun kumpikaan tuloista ei ole aktiivisena. Invertointi ilmaistaan lohkoista lähtevässä nuolessa olevalla pallolla.



Kuva 4.1 Pitolohko säädölle 10LBA10DF903, toimintakaavio

Höyryvirtauksen mittauksen ja asetusarvon eroa mittaavalta lohkolta on kytkentä rajatarkkailulohkoon, joka sisältää liitännät ULT, LLT, HYS, Dlu ja Dll. ULT-liitäntä on aseteltava erosuureen yläraja, LLT vastaava alaraja. HYS-liitäntä kuvaa hystereesiä. Se määrittää, kuinka paljon höyryvirtauksen pitää palata alle raja-arvon kunnes säätimen ohjaus palautuu lukittuneeseen tilaan. Dlu-liittimeen kirjoitetaan viiveaika sekunteina, jonka säätö odottaa ennen kuin vapauttaa ohjauksen lukituksen ylärajarikkomuksen takia. Jos höyryvirtaus palautuu halutun rajan sisälle asetellun ajan sisällä, ohjauksen lukitus pysyy aktiivisena. Dll on vastaava viiveaika alarajarikkomuksen tapahtuttua.

Ala- tai ylärajalähdön (lls / uls) asettuessa aktiiviseksi signaali kulkee invertoidun OR-lohkon kautta AND-lohkoon, jonka toinen tulo on operaattorin näytöltä valittava moodin aktivointipainike. Toisin sanoen siis moodin ollessa valittuna ja kummankin rajalähdön ollessa 0 (=ei aktiivisena) AND-lohkon kumpikin tulo on 1, joka sallii ohjauksen pysyä lukittuneessa tilassa. Muilta osin säädin toimii kuten ennenkin.

4.3.1 Lisäykset operointipäätteiden kuviin

Kuvassa 4.2 on ympyröity pääkattilakuvaan lisätty on/off -valinta pitolohkon aktivoinniseksi. Alapuolelta löytyy pop-up-painike virityssikkunalle.

Aikajänki	Kapasiteetti	Lämpöarvo	Lämpöteho	Polttoilma	Pr
1 h	12.71 t/h	8.03 MJ/kg	30.8 MWth	45197.8 Nm ³ /h	18
2 h	12.29 t/h	9.35 MJ/kg	31.6 MWth	O2 SP 7.2 %	
8 h	12.57 t/h	9.50 MJ/kg	32.5 MWth	Käsi	
Kattilan lukitukset:		Ohjauksen moodi		Höyry	
<input type="checkbox"/>	Laitoksen hätälukitus	Käsi		Happi	
<input type="checkbox"/>	PA syötön laukaisu	Höyry			
<input type="checkbox"/>	Kiint. PA:n syötön lauk.	Jätekerros			
<input type="checkbox"/>	Kaasu PA syötön lauk.				0.05 t/h
<input type="checkbox"/>	Forced plant shutdown			-Off- K	33.3 t/h
				Viritys	9.3 kg/s

Kuva 4.2 Pitolohkon on/off -painike ja virityssikkunan pop-up-painike

Kuvassa 4.3 on virityssikkuna avattuna. Operaattorin muutettavissa ovat kaikki rajatarkkailulohkoon liittyvät parametrit, jotka on selitetty edellisessä kappaleessa. Ikkunassa on myös oma on/off -painikkeensa säädön aktivoinnille. Tämä siitä syystä, että parametri-ikkunaa tulisi selvyuden vuoksi pitää esillä yhdellä valvomon päänäytöistä käyttöönottoaiheessa, jotta operaattorin on helppo nähdä onko säätö käytössä vai ei.

HÖYRYN PÄÄDÄÄDÖN IKKUNAN PARAMETROINTI

Ero, yläraja [t/h]

Ero, alaraja [t/h]

Hystereesi 0.150 t/h

Viive ylärajalta [s]

Viive alarajalta [s]

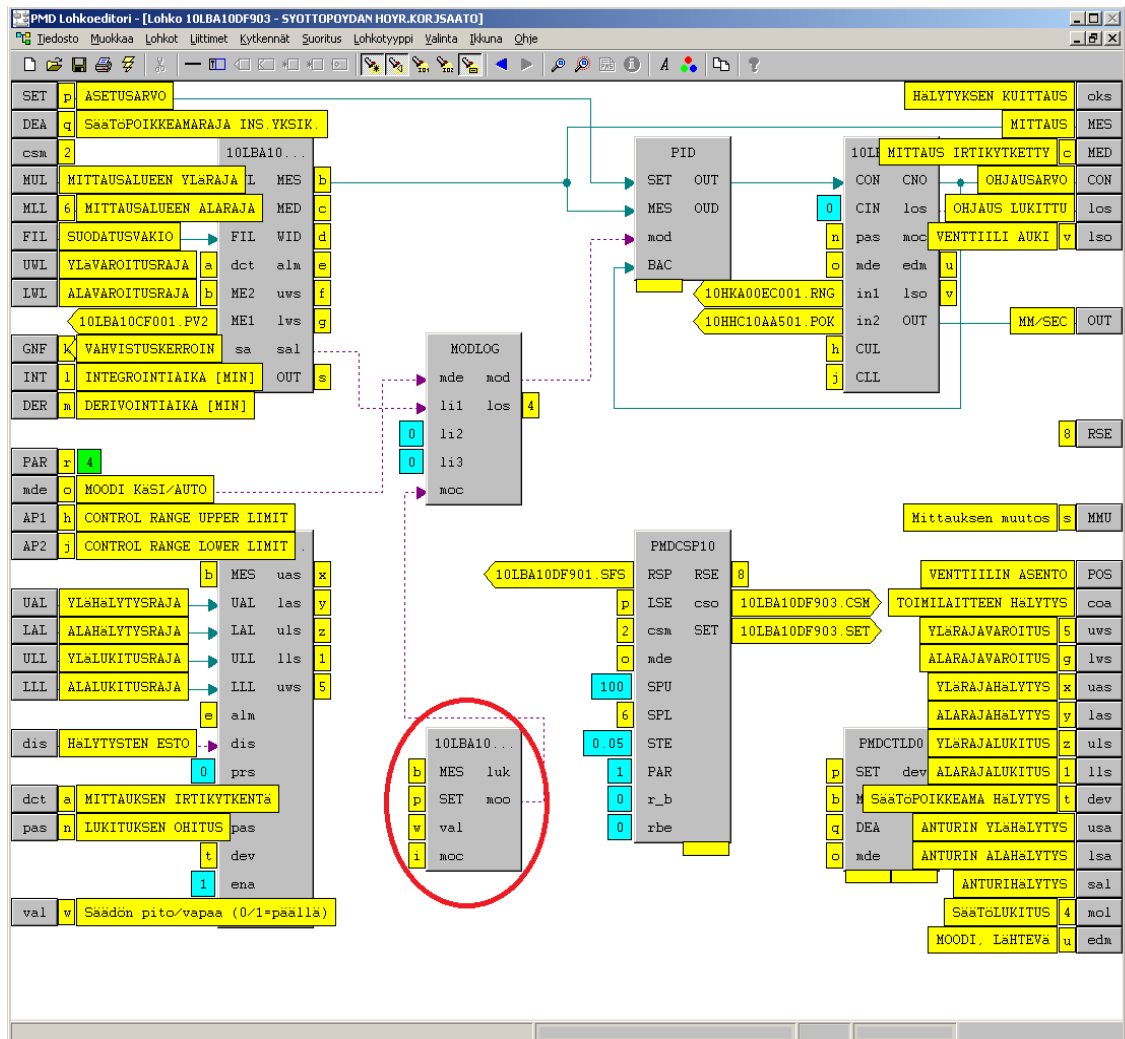
Moodin valinta aktivoi pitolohkon säätöpiirille 10LBA10DF903.

Kuva 4.3 Pitolohkon virityssikkuna avattuna

4.3.2 Pitolohko Honeywellin lohkoeditorissa

Pitolohko luotiin Honeywellin PMD lohkoeditorilla. Varsinaista ohjelmointia tehtiin yhteistyössä Pöyry Finland Oy:n Seppo Immosen kanssa. Kuvassa 4.4 on esitetty pää-

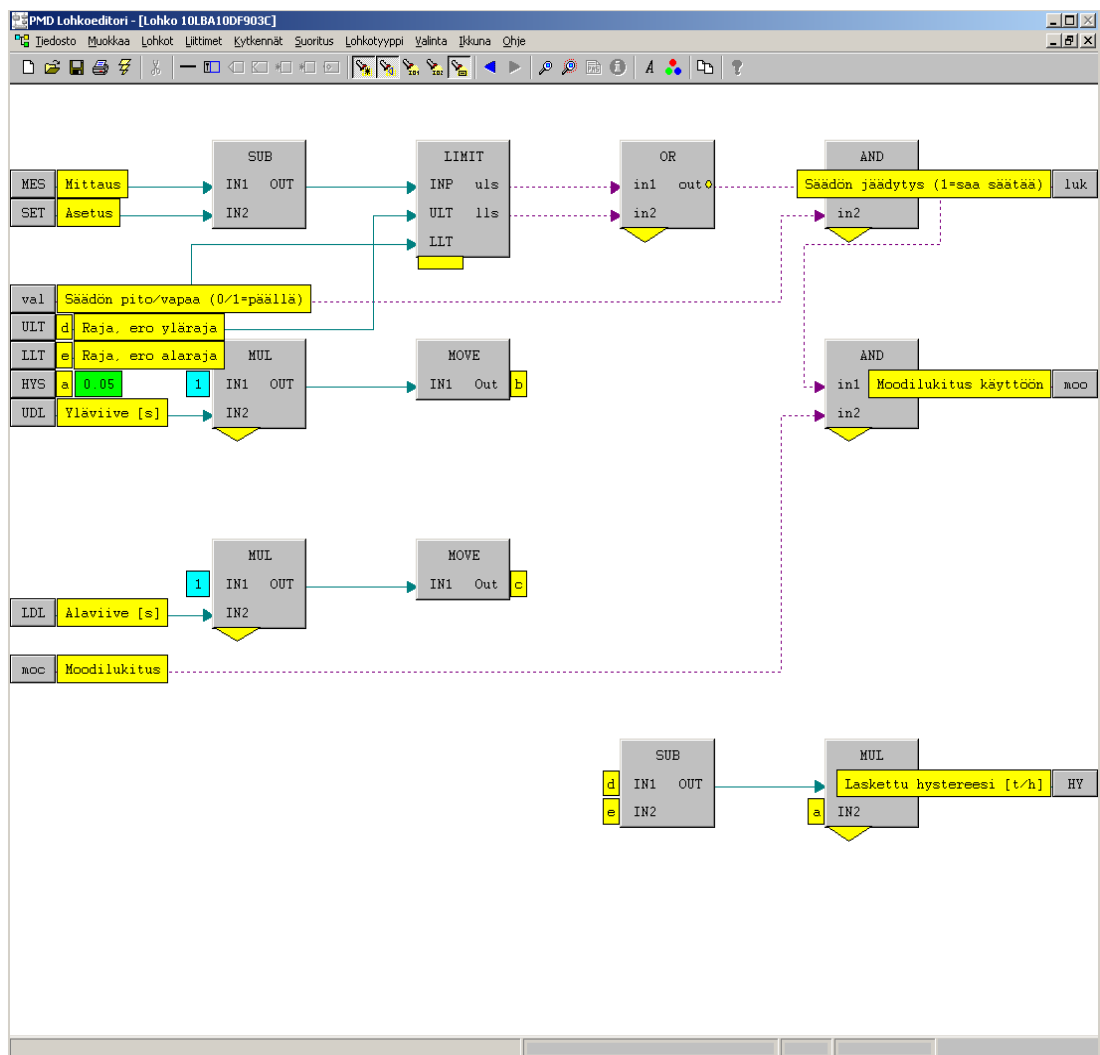
säätimen (piiri 10LBA10DF903) ylätaso, jossa näkyy kaikki siihen liittyvät alatason säätölohkot. Kuvan alareunassa ympyröity blokki 10LBA10... on tässä työssä säätöön lisätty lohko. Lohkosta lähtee moodin lukitusliitäntä yläpuolella olevalle MODLOG-lohkolle, joka toimii moodinvaihtologiikkana. Työssä ohjelmoidun lohkon tuottaessa aktiivisen lähdön, lukituspyyntö välittyy MODLOG-lohkolle, joka asettaa lukituksen itse säädön PID-blokkiin joka suorittaa vaativimman osan säädössä tarvittua laskentatoiminnasta.



Kuva 4.4 Pääsäädön 10LBA10DF903 ylätaso lohkoeditorissa

Kuvassa 4.5 on avattuna ylätasolla näkyvä, työssä ohjelmoitu säätölohko, joka on luotu kuvan 4.1 toimintakaavion pohjalta. Seuraavaksi on selitetty pitolohkosta löytyvien, Honeywellin sovellusjärjestelmälle ominaisten funktioblokkien toimintaa.

- SUB-lohko: Lohko laskee tulojensa erotuksen. Kaaviossa sitä on käytetty höyryvirtauksen asetusarvon ja mittauksen erotuksen laskemiseen sekä hystereesin todellisen arvon laskemisen apuna
- LIMIT-lohko: Toimintakaaviossa esitetty rajatarkkailulohko, joka tarkkailee tulosuureen (INP) rajaylityksiä
- MUL-lohko: Lohko laskee lähtönsä tulojensa tulon
- MOVE-lohko: Lohko suorittaa datan sijoitustoimintoja luomalla lähtönsä pikaviittauspisteen valmiiksi laskettuun arvoon, jotta sitä voidaan käyttää helposti muissa kohteissa.



Kuva 4.5 Pitolohkon sisältö lohkoeditorissa

4.4 Testaus ja tulokset

Höyryvirtaussäädön pitolohko saatiin toimintakuntoon 20.2.2015 ja säätö on sen jälkeen lähes poikkeuksetta ollut käytössä normaaliajossa, joten testausta on suoritettu runsaasti ja palautetta saatu myös muilta operaattoreilta. Parametrien osalta yhdeksi hyvin toimivaksi yhdistelmäksi kokeilun perusteella on valikoitunut taulukon 4.1 mukaiset arvot.

Taulukko 4.1 Toimivat parametrit pitolohkon päivittäiseen käyttöön.

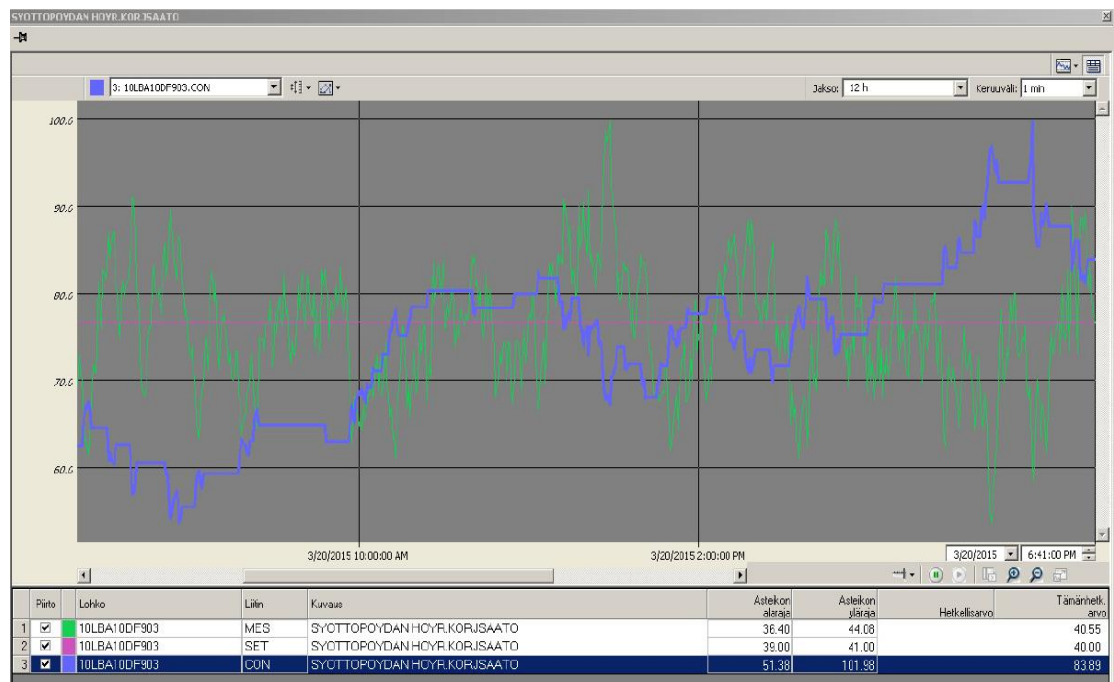
Erosuure yläraja (t/h)	1	
Erosuure alaraja (t/h)	1	
Hystereesi	0.05	=0.100 t/h
Viive ylärajalta (s)	60	
Viive alarajalta (s)	60	

Maksimiarvo jonka höyryvirtauksen erosuureille voi parametroida on +/- 3 t/h. Testauksen perusteella kuitenkin 1,5 t/h erot ylä- sekä alarajalla ovat maksimiarvot joilla säätö toimii järkevästi eikä höyryvirtauksessa ala tapahtumaan hallitsematonta heiluntaa pitkällä aikavälillä. Toisaalta taas liian pieni ikkuna, esim. 0,5 t/h on lähes merkityksetön säädön toiminnan kannalta. Ohjaus ei pysy lukittuneena kauaa koska näin pieni höyryvirtauksen vaihtelu on täysin normaalia jätepolttoaineelle.

Viive ylärajalle on maksimiarvossaan eli 60 sekuntia. Perusteena tälle on se, että höyryvirtauksen heiluntaa ylärajan tuntumassa ei pidetä niin haitallisena, näin kuluttajakohteiden höyrytarvekin pysyy taattuna. On kuitenkin todettu, että höyryvirtauksen karatessa reilun ylikapasiteetin puolelle pidemmäksi aikaa, vaarana on kattilan kiihtynyt likaantuminen. Säädön käyttöönoton myötä olikin syytä pitää säätimen ohjauksen kehitystä silmällä, ettei tämän kaltaista tilannetta päässyt tapahtumaan ja tarpeen vaatiessa pienentää syöttöpöydän ohjausta manuaalisesti. Ohjauksen muuttaminen manuaalisesti on mahdollista vaikka säätö olisi lukittuna.

Viive alarajalta on asetettu 20 sekuntiin. Ajatuksena on se, että säätö ei herää vielä eloon jos höyryvirtaus tekee äkillisen laskun tuorehöyryn reduktioaseman avautuessa, jolloin virtauspoikkeama yleensä kestää alle 20 sekuntia.

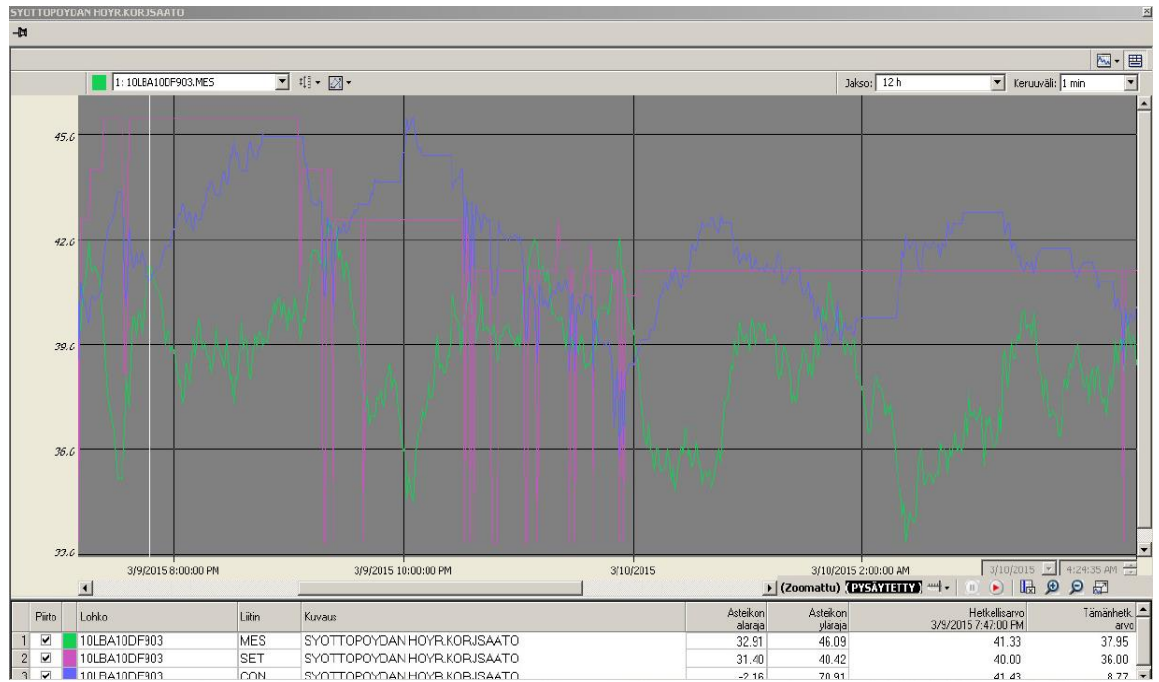
Kuvassa 4.6 on trendi pääsäätiöpiirin toiminnasta pitolohkon ollessa käytössä 12 tuntia eli kokonaisen vuoron 20.3.2015. Kyseinen trendi kuvaa hyvin pitolohkon toimintaa testauksen aikana. Pääosin höyryvirtaus on pysynyt 38 - 42 t/h alueella asetusarvon ollessa 40 t/h. Trendissä on ainoastaan kaksi suurempaa hetkellistä piikkiä, joissa höyryvirtaus on käynyt arvoissa 44,08 t/h ja 36,40 t/h. Sinisestä syöttöpöydän nopeuden käyrästä on myös näkyvissä pitkällä aikavälillä polttoaineensyötön lisäys jätteen ominaisuuksien muuttuessa hiljalleen jätekahmarin syöttäessä polttoainetta pitkän aikaa vain toiselta puolelta jätebunkkeria.



Kuva 4.6 Pääsäätiöpiirin trendikäyrä 12 tunnin ajokaudelta pitolohkon ollessa käytössä

- Mittausarvo
- Ohjausarvo
- Asetusarvo

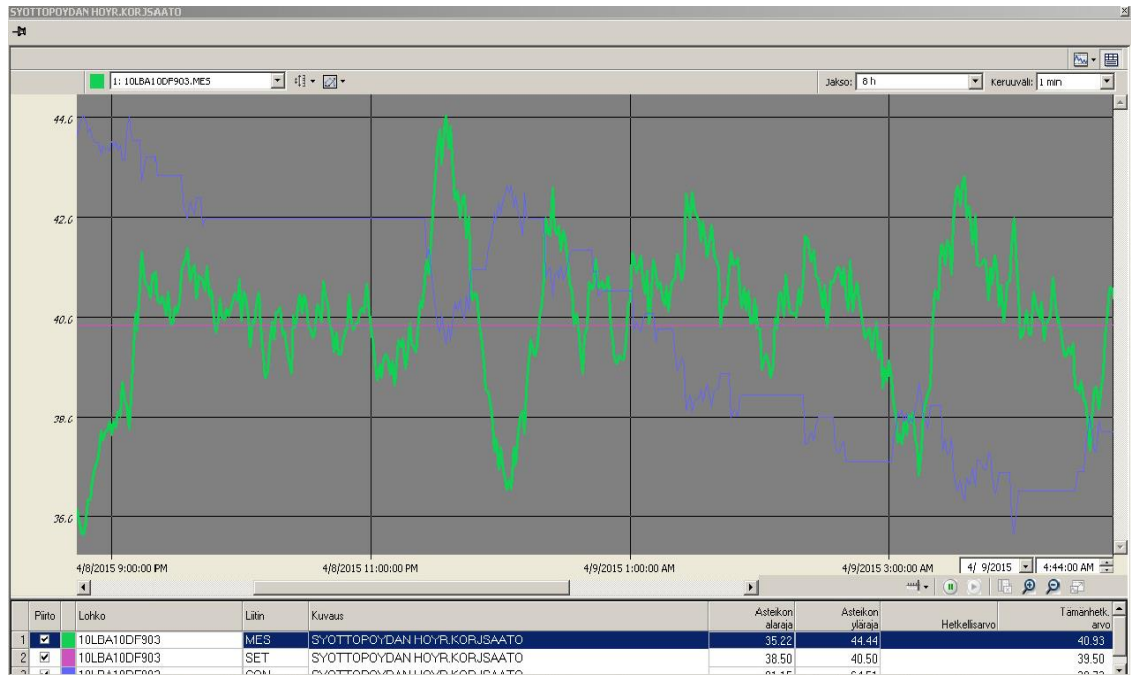
Kuvassa 4.7 pitolohko on ollut käytössä 9.3.2015 12 tunnin jakson poikkeavassa ajotilanteessa, kun savukaasunpuhdistuksessa on ollut ongelmia ja ohjausjärjestelmä on vähän väliä pakottanut höyryvirtauksen asetusarvon minimiinsä johtuen savukaasupuhaltimen korkeista imupaineista. Tällaisessa tilanteessa höyryvirtaus on entistä vaikeampi pitää tasaisena, joten pitolohkon käytöllä ei juurikaan kyseisessä ajotilanteessa huomattu erityisiä hyötyjä muttei toisaalta haittojakaan. Moodin käytöllä tässä tilanteessa haluttiin lähinnä vain selvittää, onko jatkuvasta asetusarvon heittelemisestä haittaa säädön toiminnalle pitolohkon kanssa.



Kuva 4.7 Pitolohko käytössä 12 tunnin ajojakson ongelmatilanteessa

- Mittausarvo
- Ohjausarvo
- Asetusarvo

Viimeisessä trendissä tarkastellaan 8 tunnin ajojaksoa huhtikuussa 2015. Esimerkissä syöttöpöydän nopeus on pysynyt lukittuneena lähes kaksi tuntia trendin alkupäässä höyryvirtauksen pysyessä vakaana. Tämän jälkeen polttoon on mennyt korkean lämpöarvon jätettä, joka on palanut nopeasti loppuun aiheuttaen tuotantopiikin, jonka seurauksena on puolestaan hetkellinen höyryvirtauksen romahdus. Höyryvirtaus ei kuitenkaan jäänyt suuremmin heilumaan näiden piikkien jälkeen, koska pitolohkon ollessa päällä syöttöpöydän nopeuteen ei ehtinyt tapahtua suuria muutoksia.



Kuva 4.8 Pitolohko käytössä 8 tunnin ajojakson

- Mittausarvo
- Ohjausarvo
- Asetusarvo

Tulosten tulkinta ei ole täysin yksiselitteistä vaikka testausta on suoritettu runsaasti. Suuren osan ajasta pitolohko on kuitenkin osoittautunut hyödylliseksi höyryntuotannon stabiloimisen kannalta ja lyhyen aikavälin höyryvirtauksen heilunnan eliminoimisessa. Pitolohkon ollessa käytössä lyhytkestoiset höyryntuotantopiikit eivät kerkeä vaikuttamaan polttoaineen syöttönopeuteen yhtä paljon kuin ennen, mikä osaltaan vähentää välittömästä säädöstä aiheutuvaa heiluntaa höyryvirtauksessa. Tätä väitettä tukee myös vakituisilta operaattoreilta saatu palaute heidän ajaessaan laitosta kyseisen säädön ollessa käytössä. Käyttönoton alkuvaiheessa vaikutti, että höyryvirtaus pääsee helposti karkaamaan reilusti yli tai ali asetuservonsa pitolohkon ollessa käytössä, mutta tilanne parani viritysparametrien optimoimisella. Pitolohkon viritysparametrien raja-arvoja on myös muutettu hieman joustavammaksi sitten varsinaisen ohjelmoinnin, joten käytönaikainen testaus jatkuu myös työn valmistuttua.

5 VAIHTOEHTOINEN POLTTOSÄÄTÖ

Uuden polttosäädön hahmottelua varten tehtiin vierailu Riihimäelle Ekokem Oyj:n jätteenpolttolaitos Voimala 1:lle. Hyötyvoimalaitoksen tavoin laitoksella poltetaan syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä ja erilaisia teollisuusjätteitä. Laitosten välillä on ollut jo muutamia vuosia yhteistyötä niin tiedonvaihdon kuin varaosatoimintojen saralla, ja etenkin heillä käytössä olevasta polttosäädöstä on saatu erittäin positiivista palautetta. Säädön ovat kehittäneet laitoksen omat automaatioasiantuntijat. Ekokemin Voimala 1:ssä käytössä olevista säätökaavioista otettiin mallia Hyötyvoimalaitoksella mahdollisesti kokeiltavaan pääsäättöön. Ilmasäätöihin ei suunnittelussa ole otettu kantaa olettaen tämänhetkisten toimivan myös uudenlaisen polttoainesäädön yhteydessä.

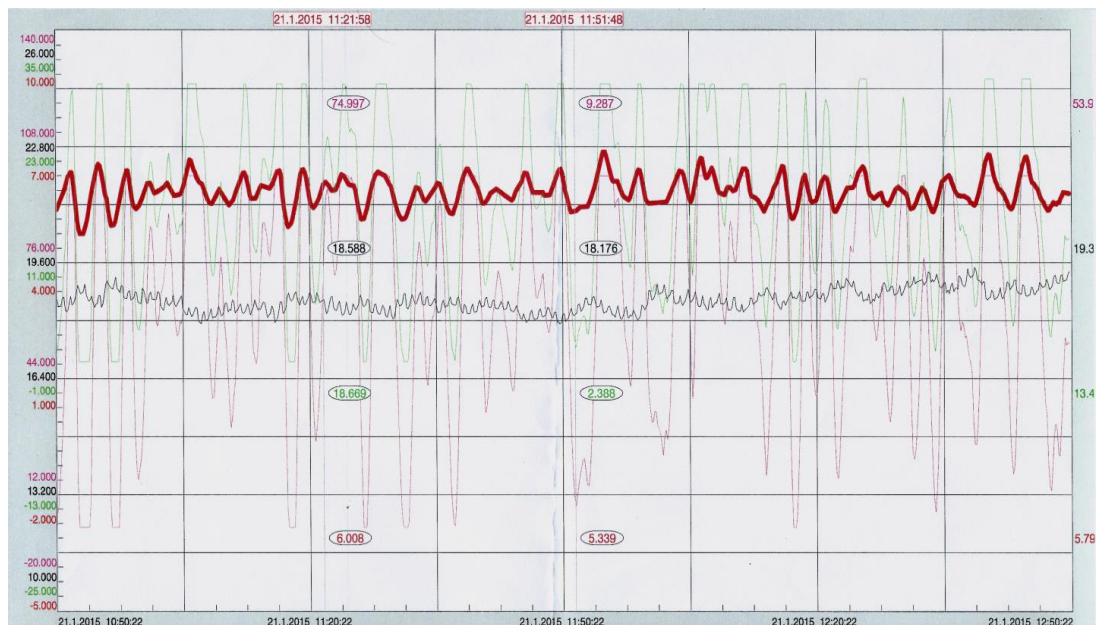
5.1 Pohjatiedot säädön toiminnasta suunnittelua varten

Ajatuksena polttosäädössä Ekokemin laitoksella sekä muun muassa Vantaan Energian uudella jätteenpolttolaitoksella on se, että arinaa ja syöttöpöytä ohjaa hallitsevasti jäännöshappi, jonka mittausarvon perusteella arina ja syöttöpöytä toimivat nopein liikkein lähes pysähdyksistä taas täyteen vauhtiin. Periaatteessa säädön toimsuunta on seuraavanlainen: jäännöshapen noustessa tarpeeksi yli asetusarvon kuvitellaan, että tulleet hiipuvat arinalla tai sen alkupää jää tyhjäksi jolloin primääri-ilmaa pääsee vapaasta raosta virtaamaan. Tällöin syöttöpöydän täytyy työntää lisää polttoainetta arinalle nopeasti, joten syöttöpöytä ja arina lähtevät liikkeeseen täydellä vauhdilla. Kun jäännöshappi laskee ja jäte syttyy jälleen palamaan, syöttöpöytä ja arina ajetaan lähes pysähdyksiin kunnes jäännöshappi taas nousee. Ilmamäärien ja syöttöpöydän nopeuden perusarvo sen liikkeessä ollessa määritellään laskennallisista taulukkoarvoista höyryvirtauksen asetusarvon perusteella. Lisäksi säätöihin kuuluu tietysti laskentaosiot, joissa otetaan huomioon korjaavat tekijät todellisten asetusarvojen saamiseksi, kuten Hyötyvoimalaitoksen säädöissäkin.

Säädön ideologia on siis lähes päinvastainen kuin muutoksessa, joka Hyötyvoimalaitoksen säätöön työn aikaisemmassa osiossa tehtiin. Ekokemin henkilöstö olikin vahvasti sitä mieltä, että hyvän jätteenpolttosäädön tulee olla nopeatoiminen, eikä testatun kaltainen säädön hidastus voisi toimia kunnolla. Yhtenä muuttujana säädön implementoinnissa Hyötyvoimalaitoksen kattilalle on ajettavan jäännöshapen määrä. Voimala 1:ssä savukaasujen jäännöshapetta ajetaan alle 6 %:iin kun taas Hyötyvoimalaitoksella

ajetaan tällä hetkellä noin 7,2 %. Pienempi jäännöshapen asetusarvo tarkoittaa suoraan pienempää sekundääri-ilmamäärää suhteessa primääri-ilmaan jota poltossa käytetään, täten myös korkeampaa hyötysuhdetta kattilalle. Säädön toimivuuden kannalta olisi-kin suotavaa käyttää pienempää määrää sekundääri-ilmaa poltossa, jotta happea seuraavasta säädöstä saadaan tarkempi ja herkkätoimisempi. Hyötyvoimalaitoksen tämän hetkinen korkean hapen ajotyylä johtuu kattilanvalmistajan suosituksesta, koska heidän mukaansa matalammalla jäännöshapella ajaessa korroosio-ongelmat lämmönsiirto-putkistoissa voivat korostua.

Kuvassa 5.1 on esitetty Ekokemin Voimala 1:ssä käytössä olevan höryvirtaussäädön trendikäyrä reilun 2 tunnin ajojaksolta. Trendissä musta käyrä kuvaa höryvirtausta, jonka vaihteluväli on +/- 0,5 kg/s asetusarvon ollessa noin 18 kg/s. Paksu punainen käyrä on jäännöshappi, jonka käyttäytyminen on suoraan yhteydessä haalean vihreään käyrään joka kuvaa syöttöpöydän liikeno- peutta. Näiden käyrien käyttäytymistä seuraa suoraan myös vaaleanpunainen käyrä, joka vastaa yksittäisen arinaelementin liikeno- peutta.



Kuva 5.1 Trendi Ekokemin Voimala 1:n höryvirtaussäädön käyttäytymisestä

- Höryvirtauksen mittausarvo
- Jäännöshapen mittausarvo
- Syöttöpöydän nopeus
- Arinan nopeus

5.2 Polttosäädön vaatimat säätöpiirit ja erityisehdot

Uusi polttosäätö vaatii jätteensyötön ja arinan nopeuden säätämisen pohjaksi happisäätimen, jätepatjan rajoitussäätimen sekä vaihtoehtoisesti käytettävän jätteen lämpöarvoon perustuvan höyryvirtauksen asetusarvon rajoittimen. Säädön toimivuuteen vaikuttaa myös olennaisesti laitosten arinoiden erilainen rakenne. Ekokemin laitoksella arinan liike ei ole täysin samanlainen kuin Hyötyvoimalaitoksen omassa, eikä kyseisessä arinassa ole rumpulaattoja joilla voidaan ”kohentaa” tulta ja vaikuttaa jäännöshapen määrään. Jäännöshapen määrään vaikuttaminen sen ollessa säädön ohjaavana tekijänä ei toisaalta ole säädön kannalta muutenkaan olennaista.

Tämän mallisessa polttoainesäädössä on vaarantekijänä liian paksun jätepatjan kertyminen arinalle tilanteessa, jossa syöttöpöytä haluaisi jatkuvasti syöttää jätettä arinalle maksiminopeudella jäännöshapen pysyessä korkealla pidemmän aikaa syystä tai toisesta. Liian paksun jätepatjan kertyminen johtaa siihen, ettei kaikki jäte kerkeä palamaan loppuun ennen kuin se on kulkenut arinan läpi. Sen vuoksi säätöön kuuluu jätepatjan rajoitussäädin, joka tulipesän paineen ja ensimmäisen arinaelementin yli olevan paine-eromittauksen funktiona laskee jätepatjan paksuutta. Paksuuden ylittäessä säätimelle annetun asetusarvon, säädin alkaa rajoittaa syöttöpöydän nopeutta. Liiallinen jätteen syöttö voidaan estää myös käyttämällä jätteen laskennallista lämpöarvoa tarkkaileva rajoitussäädintä. Lämpöarvon laskiessa alle tietyn pisteen, säädin antaa lineaarisen laskentataulukon kautta höyryvirtauksen asetusarvolle maksimiarvon, täten rajoittaen syöttöpöydän perusnopeutta.

Liitteessä 5 on esitetty säätökaavion muodossa polttoainesäätöjen toimintaperiaate.

5.3 Säätökaavion parametrit

Säätö lähtee liikkeelle tuorehöyryn virtauksen asetusarvosta. Asetusarvolle voi halutessa kytkeä päälle rajoitussäädön, joka toimii jätteen laskennallisen lämpöarvon (kJ/kg) perusteella. Rajoitussäädön halutessa laskea höyryvirtauksen asetusarvoa (SP), asetusarvon muutokseen kytkeytyy rampitussäätö, joka määrää kuinka paljon ohjausjärjestelmä saa laskea asetusarvoa sekunnissa (t/h/s).

Lopullisen höyryvirtauksen asetusarvon ollessa selvillä kyseinen asetusarvo lähtee ohjenuoraksi ilmasäädöille. Samasta asetusarvosta myös syöttöpöytä saa ensimmäisen

(1) prosentuaalisen nopeusarvonsa $f_1(x)$. Nopeusarvoon liittyy seuraavaksi käyttäjän muutettavissa oleva nopeuskerroin, jonka jälkeen syöttöpöydän nopeusasetus on vaiheessa (2). Ellei säätöön liitetä höyryvirtauksen perusteella toimivaa korjaussäädintä kuten Hyötyvoimalaitoksella, höyryvirtauksen tason hallinta voi jäädä operaattorin tehtäväksi käsin aseteltavalla kertoimella. Höyryvirtauksen heiluntaa ei kuitenkaan tarvitsisi kompensoida operointitoimenpiteillä.

Happisäädin on seuraavana vaikuttajana syöttöpöydän nopeuteen. Säätimen ulostulo kytkeytyy kertoimeksi syöttöpöydän nopeudelle, täten säätimellä on oltava minimi- ja maksimiraja sen ulostulolle. Maksimiulostulo tulisi asettaa niin, että happimitauksen ollessa noin 0,5 % asetusarvon yläpuolella ulostulo asettuu maksimiarvoonsa. Minimirajoituksella varmistetaan, että syöttöpöytä pysyy pienessä liikkeessä vaikka happimitaus olisikin alle asetusarvon. Olennaista happisäätimen nopean toiminnan kannalta on korkean arvon asettaminen tietyille säätödynamiikan parametreille, kuten vahvistuskertoimelle ja integroivalle termille, jotta säätimen ohjaus reagoi nopeasti asetusarvon ja mittauksen eroihin.

Syöttöpöydän saatuaan toiseksi viimeisimmän nopeusarvonsa (3) se kytkeytyy syöttöpöydän ensimmäiseen (1) asentosäätimeen. Säätimen kautta lähtee tieto arinan elementeille 2 – 5 arinalle halutusta nopeusohjauksesta kiinteän nopeuskerroinlohkon kautta.

Viimeisenä syöttöpöydän nopeuden korjauksena toimii jätepatjan rajoitussäädin. Säätimen toiminta vaikuttaa syöttöpöydän lopulliseen nopeuteen ainoastaan hidastavasti tarvittaessa, ei ikinä nopeuttavasti. Säätimen ulostulo lähtee jälleen kertoimeksi syöttöpöydän nopeusohjaukselle. Säätimessä on minimi- ja maksimirajoitukset ulostulolle. Maksimiarvon tulee olla 1 kun säätimen mittausta on yhtenäinen tai hieman alle asetusarvon, tällöin jätepatjan paksuus ei ole liian suuri ja syöttöpöydän nopeutta ei rajoiteta. Minimirajoitus ulostulolle tulisi olla luokkaa 0,60. Tämä tarkoittaa sitä, että jätepatjan muodostuessa tarpeeksi paksuksi säädin saa rajoittaa aikaisemmin saatua syöttöpöydän nopeusohjausta maksimissaan 40 %. Jätepatjan rajoitussäätimen korjauskertoimen jälkeen syöttöpöydän nopeudella on lopullinen arvonsa (4) joka asetetaan syöttöpöydän asentosäätimelle (2).

Arinan ensimmäisen elementin nopeusohjaus määräytyy samalla menetelmällä kuin elementtien 1 – 4, poikkeuksena se, että jätepatjan rajoitussäädin voi rajoittaa elemen-

tin nopeutta. Jätepatjan vaikutus ensimmäisen elementin nopeuteen perustellaan sillä, että itse jätepatjan laskennassa käytetään ensimmäisen arinaelementin yli olevaa paine-eromittausta hyödyksi, jolloin jätepatjan kehittyminen on lähes reaaliajassa tarkkailtavaa.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja toteuttaa säätötekniisiä menetelmiä, joilla Hyötyvoimalaitoksen höyryntuotantoa saataisiin stabiloitua. Työhön kuului nykyiseen polttosäätöön tehdyn muutoksen suunnittelu, implementointi ja testaus sekä vaihtoehdoisen polttosäädön hahmottelua Hyötyvoimalaitokselle. Työ syvensi oleellisesti tietämystäni voimalaitosten ohjausjärjestelmistä ja säätötekniikasta, sekä kehitti ammatillista osaamistani.

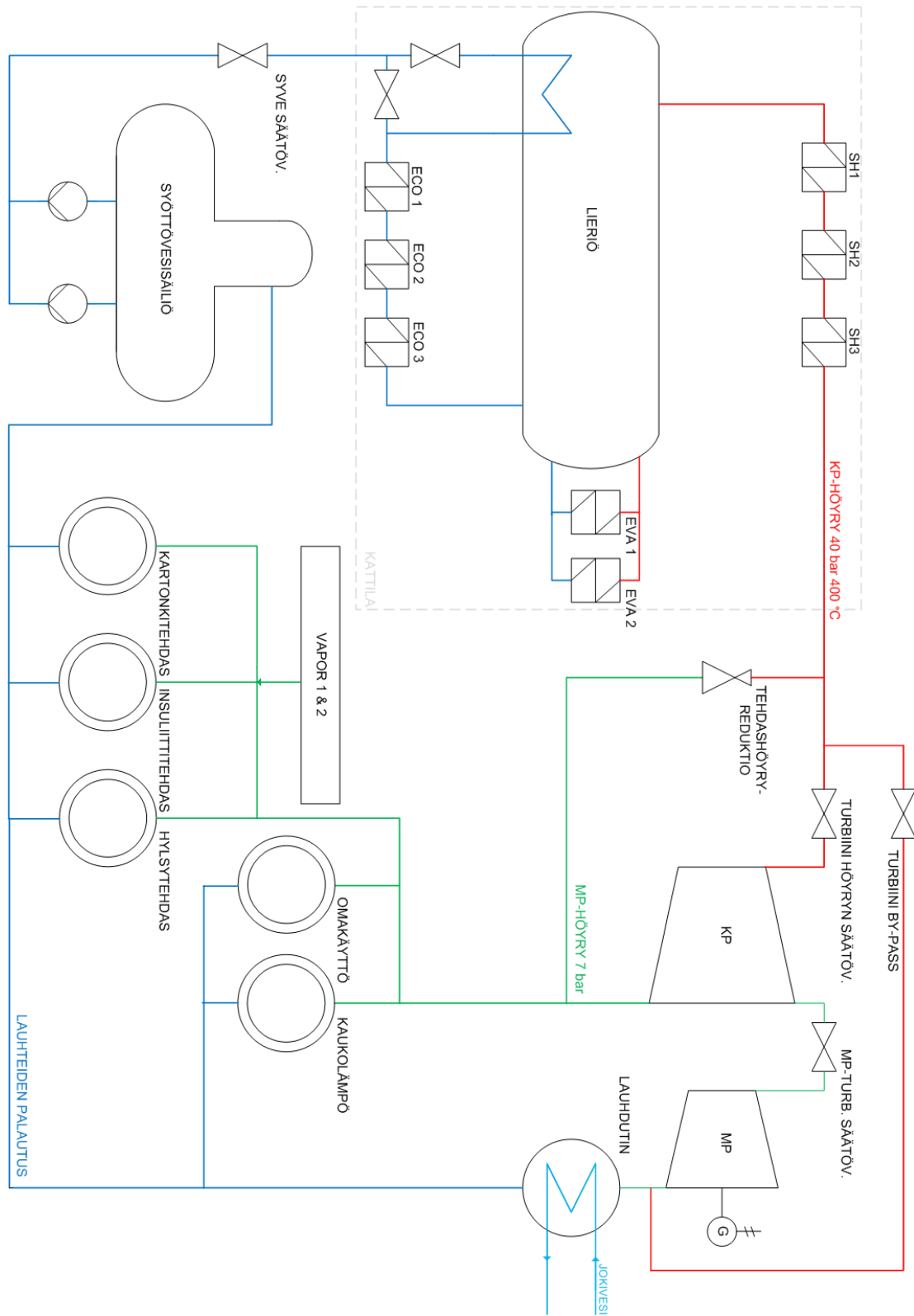
Työn aikana perehdyin Hyötyvoimalaitoksen ohjausjärjestelmiin sekä erilaisiin polttosäätöihin, joita käytetään jätepolttoainetta hyödyntävissä voimalaitoksissa. Laitoksen polttosäätöön toteutettu muutos suunniteltiin vähentämään polttoaineensyötön jatkuvasti tekemiä nopeuden muutoksia, jotka olivat työn alkuvaiheessa leimattu pääsyylliseksi höyryvirtauksen heiluntaan. Säädön käyttöönoton ja toimivien parametrien löytymisen myötä on saavutettu hyötyä tasaisemman höyryvirtauksen tuottamiseksi, joka osaltaan vähentää käyttäjien tekemien korjaustoimenpiteiden tarvetta palamisprosessissa. Vaihtoehdoisen polttosäädön osalta hahmoteltiin säädön toimintaa toisen laitoksen säädön perusteella ja sen vaatimia erityisehtoja Hyötyvoimalaitoksen prosessiin toteutettuna.

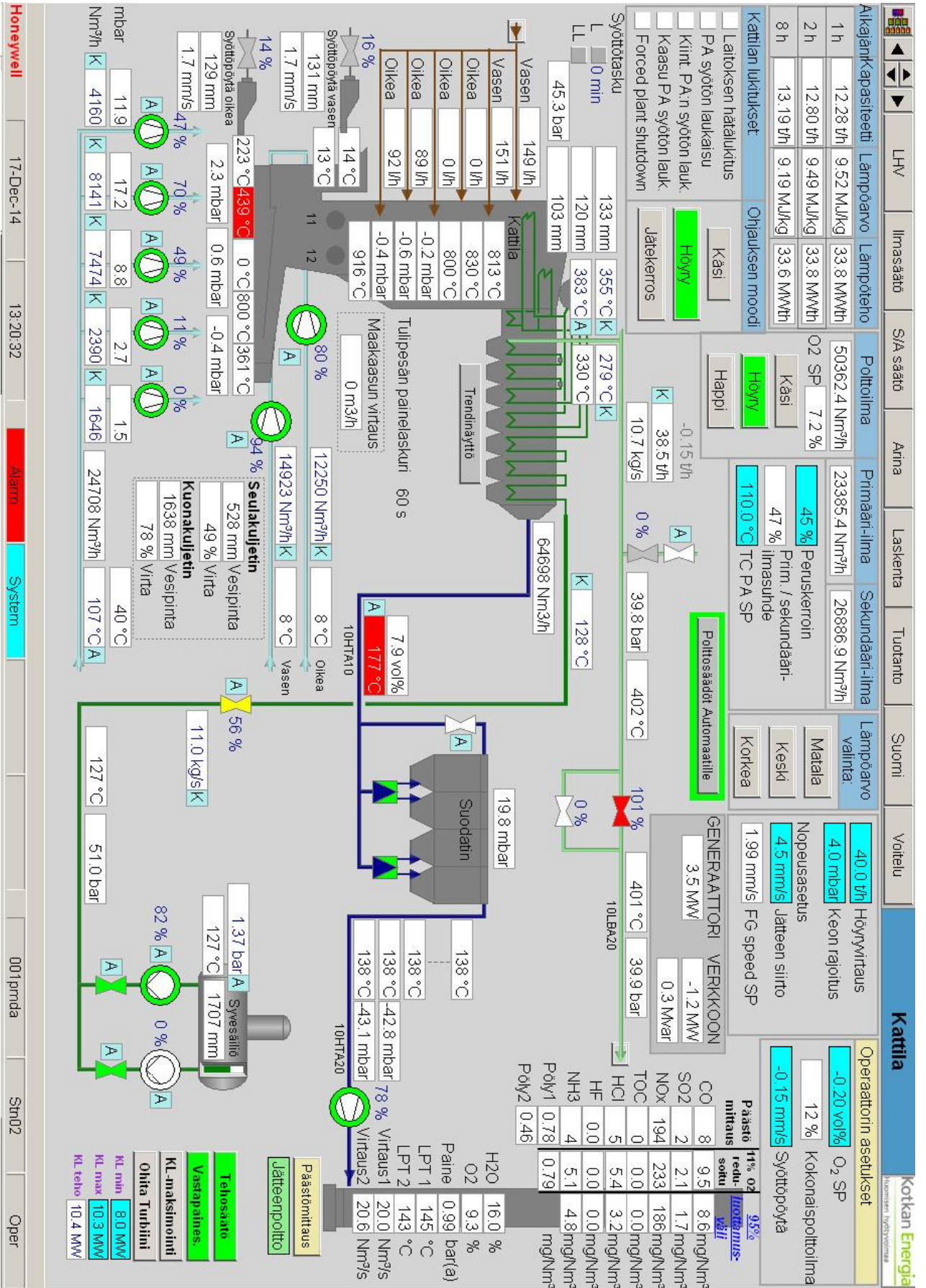
Työstä saatujen tulosten perusteella laitoksen polttosäädön uutta moodia käytetään normaaliajossa lähes kokoaikaisesti. Jos nykyinen polttosäätö on tarve rakentaa kokonaan uudelta pohjalta, olisi hahmotelman mukainen malli mitä todennäköisimmin toteutettavissa Hyötyvoimalaitokselle.

LÄHTEET

1. Kotkan Energia Oy. Verkkosivut. Saatavissa:
<http://www.kotkanenergia.fi/> [viitattu 15.11.2014]
2. Kotkan Energia Oy. 2012. Esittelykalvot. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
3. Keppel Seghers. 2008. Hyötyvoimalaitoksen koulutusaineisto. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
4. Keppel Seghers. 2014. Verkkosivut. Saatavissa:
<http://www.keppelseghers.com/en/content.aspx?sid=3031> [viitattu 15.11.2014]
5. Honeywell. 2010. Koulutusaineisto. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
6. Suomen Automaatioseura Ry. 2007, s. 162, 247-248, 257. Voimalaitosautomaatio.
7. Keppel Seghers. 2009. Manual for Daily Operation. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
8. Honeywell. 2010. Experion PSK sovellussuunnittelun käsikirja. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
9. Honeywell Suomi. Verkkosivut. Saatavissa:
<http://honeywell.com/country/fi/About/Pages/our-company.aspx> [viitattu 15.4.2015]
10. Kotkan Energia Oy. 2015. Vuosikertomus 2014. Saatavissa:
[http://kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/Kotkan energia vuosikertomus %202015.pdf](http://kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/Kotkan_energia_vuosikertomus%202015.pdf) [viitattu 15.4.2015]
11. Huhtinen M., Korhonen R., Pimiä T. ja Urpalainen S. 2013, s. 161. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.

12. Kotkan Energia Oy. 2015. Tuotannon raportointijärjestelmä. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei jaettavissa.
13. Camacho, E.F., Bordons, C. 1998, s. 151-152. Model Predictive Control.
14. Mäkelä, Merja. 2015. Kehittyneet säätömenetelmät ja simulointi. Opintomateriaali. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. [viitattu 12.5.2015]





SYÖTTÖPÖYDÄN HÖYR.KORJ.SÄÄTÖ 10LBA10DF903

Toiminta ja tarkoitus

Muutoksen tarkoituksena on vähentää tuorehöyryvirtauksen heiluntaa eliminoimalla syöttöpöydän tekemät korjausliikkeet polttoaineensyöttöön höyryvirtauksen pysyessä operaattorin asettamalla alueella asetusravosta. Uusi moodi on tarkoitettu käytettäväksi laitoksen normaalissa ajotilanteessa, ei ylös- eikä alasajossa. Operaattori voi kytkeä moodin päälle tai pois operointipäätteen kuvasta D1 ”Kattila”.

Kun moodi valitaan aktiiviseksi, pääsädön ohjaus lukittuu välittömästi höyryvirtauksen ollessa valittujen raja-arvojen sisällä asetusravosta. Jos näin ei ole, säädin toimii normaalisti lisäten tai vähentäen syöttöpöydän nopeutta kunnes ikkunan sallimiin rajoihin on päästy. Höyryvirtauksen karatessa rajojen ulkopuolelle pääsädin muuttaa ohjaustaan kuten ennen normaalimoodissakin.

Liittyvät piirit ja mittausalueet

Syöttöpöydän höyr.korj.säätö	10LBA10DF903
SP	0-60 t/h
PV	0-60 t/h
OP	0-100%

Parametrit

Ero, yläraja	0...3 t/h
Ero, alaraja	-3...0 t/h
Hystereesi	0...0,20 (0 – 20 %)
Viive ylärajalta	0...60 s
Viive alarajalta	0...60 s

HÖYRYVIRTAUSSÄÄDÖN PITOLOHKO

Kattilan pääsäätimelle 10LBA10DF903 on lisätty ohjelmaan uusi moodi, jonka saa aktivoitua on/off -painikkeesta DCS-kuvasta D1.

Aikajänri	Kapasiteetti	Lämpöarvo	Lämpöteho	Polttoilma	Pr
1 h	12.71 t/h	8.03 MJ/kg	30.8 MWth	45197.8 Nm ³ /h	18
2 h	12.29 t/h	9.35 MJ/kg	31.6 MWth	O2 SP 7.2 %	
8 h	12.57 t/h	9.50 MJ/kg	32.5 MWth	Käsi	
Kattilan lukitukset:		Ohjauksen moodi			
<input type="checkbox"/> Laitoksen hätälukitus		Käsi		Höyry	
<input type="checkbox"/> PA syötön laukaisu		Höyry		Happi	
<input type="checkbox"/> Kiint. PA:n syötön lauk.		Jätekerros		0.05 t/h	
<input type="checkbox"/> Kaasu PA syötön lauk.				-Off- K 33.3 t/h	
<input type="checkbox"/> Forced plant shutdown				Viritys 9.3 kg/s	

Toimintaperiaate:

Moodin ollessa aktiivisena pääsäätimen ohjaus lukittuu, jos höyryvirtaus on viritysikkunasta valittujen rajojen sisällä asetusravosta. Tässä tapauksessa piiri-ikkunassa on teksti ”Moodi lukittu”. Höyryvirtauksen karatessa valittujen rajojen ulkopuolelle, säätimen ohjaus vapautuu ja syöttöpöydän nopeuskorjaus toimii normaalisti.

Moodin parametrit:

Moodin aktivointipainikkeen alapuolella on ”Viritys”-painike, josta aukeaa ikkuna säätöön vaikuttavien parametrien muuttamista varten. Ikkunasta löytyy myös aktivointipainike moodille.

Ero, yläraja [t/h]	1.5 t/h	(0...3)
Ero, alaraja [t/h]	-1.5 t/h	(-3...0)
Hystereesi	0.05	0.150 t/h (0...0,20)
Viive ylärajalta [s]	10 s	(0...60)
Viive alarajalta [s]	10 s	(0...60)

Moodin valinta aktivoi pitolohkon säätöpiirille 10LBA10DF903.

- Ero, yläraja [t/h]: Maksimiero, jonka höyryvirtaus saa poiketa ylöspäin asetusarvosta, ennen kuin säätimen lukitus vapautuu.
- Ero, alaraja [t/h]: Maksimiero, jonka höyryvirtaus saa poiketa alaspäin asetusarvosta, ennen kuin säätimen lukitus vapautuu.
- Hystereesi [%]: Määrittää, kuinka paljon höyryvirtauksen pitää palata yli raja-arvon kunnes säätimen ohjaus lukittuu uudelleen. Hystereesin todellinen arvo [t/h] näkyy laskettuna rivin oikeassa reunassa.
- Viive ylärajalta [s]: Aika, jonka säätö odottaa ennen kuin vapauttaa ohjauksen lukituksen ylärajarikkomuksen johdosta. Jos höyryvirtaus palautuu rajojen sisälle valitun ajan sisällä, ohjauksen lukitus pysyy aktiivisena.
- Viive alarajalta [s]: Aika, jonka säätö odottaa ennen kuin vapauttaa ohjauksen lukituksen alarajarikkomuksen johdosta. Jos höyryvirtaus palautuu rajojen sisälle valitun ajan sisällä, ohjauksen lukitus pysyy aktiivisena.

