

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma / Käyttö ja käynnissäpito

Lauri Lehtomäki

HÖYRYNJAON OPTIMOINTI JÄTTEENPOLTTOlaitoksella

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

LEHTOMÄKI, LAURI

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Tammikuu 2013

Avainsanat

Höyrynjaon optimointi jätteenpolttolaitoksella

33 sivua + 6 liitesivua

Risto Korhonen, DI, lehtori

Petri Jalkanen, käyttöinsinööri

Kotkan Energia Oy

Kaukolämpö, jätteenpoltto, höyrynjako

Höyry on yleisin teollisuusprosessien käyttämä lämmönsiirtoaine sen sitoessa suuria määriä energiaa massaansa nähden. Kaukolämpö taas on Suomen yleisin lämmitys-
muoto sen hinnan ja toimitusvarmuuden vuoksi. Teollisuuden voimalaitokset tuottavat
näitä molempia ja sähköä niiden sivutuotteena.

Kotkan Energia Oy:n jätteenpolttolaitos, Hyötyvoimalaitos, tuottaa viereiselle karton-
kitehtaalle prosessihöyryä ja lisäksi kaukolämpöä sekä sähköä. Sen ongelmana on jät-
teen lämpöarvon heittely, joka vaikuttaa höyryn tuotantoon ja -jakoon. Huojuntaa
kompensoidaan ajamalla ylimääräinen energia lauhdeturbiinilla sähköksi, jonka on-
gelmaksi on muodostunut sähkön alhainen pörssihinta.

Työssä tutkitaan voimalaitoksen höyrynjakoa ja muodostetaan polttoprosessia seuraa-
va kaukolämpötehon säätö. Työssä kuvataan säädön suunnitteluperusteet, toiminta se-
kä dokumentoinnit ja arvioidaan sen vaikutuksia Hyötyvoimalaitoksen ja Kotkan
Energian polttoainetalouteen . Lisäksi työssä esitellään konsepti lämmön väliaikaises-
ta varastoinnista.

Työllä on saavutettu noin 40 %:n lisäys kaukolämmön tuotantoon ja vähennetty huo-
mattavasti lämpökuormaa Kymijokeen, josta on saatu suoraa ja epäsuoraa rahallista
hyötyä. Säätö on jatkuvassa käytössä voimalaitoksella ja sillä on suuri merkitys yri-
tyksen polttoainetalouteen.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

LEHTOMÄKI, LAURI

Optimization of Steam Distribution in Waste-to-Energy
Plant

Bachelor's Thesis

39 pages + 6 pages of appendices

Supervisor

Risto Korhonen, Senior L, M.Sc.

Petri Jalkanen, Operation Engineer

Commissioned by

Kotkan Energia Oy

January 2013

Keywords

District Heating, Waste-To-Energy, Steam Distribution

Steam is the most commonly used heat carrier in industry because of its great ability to transfer large amount of energy by its mass. District heating is the most commonly used way to heat in Finland because of its price and delivery reliability. Power plants in industry produce both of these, and electricity as by-product.

The waste-to-energy plant of Kotkan Energia Oy called Hyötyvoimalaitos produces process steam to the adjacent board mill and in addition district heat and electricity. The problem of the power plant is the swaying thermal value of the waste which has a direct impact on steam output and distribution. The Swaying has been compensated by driving the overrun energy to a condensate turbine to produce electricity, but the low market price has become a problem.

The thesis studies the distribution of the steam in the power plant and designs an alternating control loop for the power of district heat, which follows the waste combustion process. In the thesis design allowables, function of the control loop and documents are presented and the effect of loop on the fuel economy of Hyötyvoimalaitos and Kotkan Energia Oy is estimated. Finally, a concept for a temporary heat storage is introduced.

The thesis has enabled an increase of approximately 40 % in district heat production and it has decreased significantly the thermal load to Kymijoki, which has a direct and an indirect financial benefit. The control loop is in continuous operation in the power plant and it has a significant impact on the fuel economy of the company.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ABSTRACT

3

1 JOHDANTO

6

2 YRITYKSEN ESITTELY

6

2.1 Hovinsaaren voimalaitos

8

2.2 Korkeakosken Hyötyvoimalaitos

9

3 HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI

11

3.1.1 Jätteen vastaanotto ja käsittely

11

3.1.2 Arina ja palaminen

11

3.1.3 Savukaasujen puhdistus

13

4 HYÖTYVOIMALAITOKSEN HÖYRYNTUOTANTO

13

4.1 Vesi - höyry -piiri

14

4.2 Höyrynjako ja lauhde

14

4.3 Ajotavat

15

5 KAUKOLÄMPÖ

16

5.1 Hyötyvoimalaitoksen kaukolämmön tuotanto

16

5.2 Kaukolämmön tuotannon ongelmakohdat

18

6 VASTAPAINESÄÄTÖ

19

6.1 Säätimen toiminta

19

6.2 Lukitukset

20

6.2.1 Hyötyvoimalaitoksen lukitukset

20

6.2.2 Kartonkitehtaan lukitukset

21

6.2.3 Reduktioajo

21

6.3 Piirikohtainen toimintakuvaus

21

6.4 Toimintakaavio

22

6.4.1 AND-, OR- ja NOT-lohkot	22
6.4.2 Set/Reset-, Extrem- ja Switch-lohkot	23
6.5 Muutokset näyttökuviin	23
7 TULOKSET	24
7.1 Vaikutukset prosesseihin	27
7.2 Kaukolämpöakun konsepti	27
7.2.1 Toimintaperiaate	29
7.2.2 Akun mitoitus	30
7.2.3 Investoinnin kannattavuus	31
8 YHTEENVETO	32
LIITTEET	
Liite 1. Havainnekuva Hyötyvoimalaitoksen höyryverkosta	
Liite 2. Kotkan Energia Oy:n kaukolämpöverkko 2011	
Liite 3. Vastapainesäätö 10NDA10DQ002 toimintakuvaus	
Liite 4. Vastapainesäätö 10NDA10DQ002 toimintakaavio	
Liite 5. Tehollinen höyrynjako maaliskuu 2012	

1 JOHDANTO

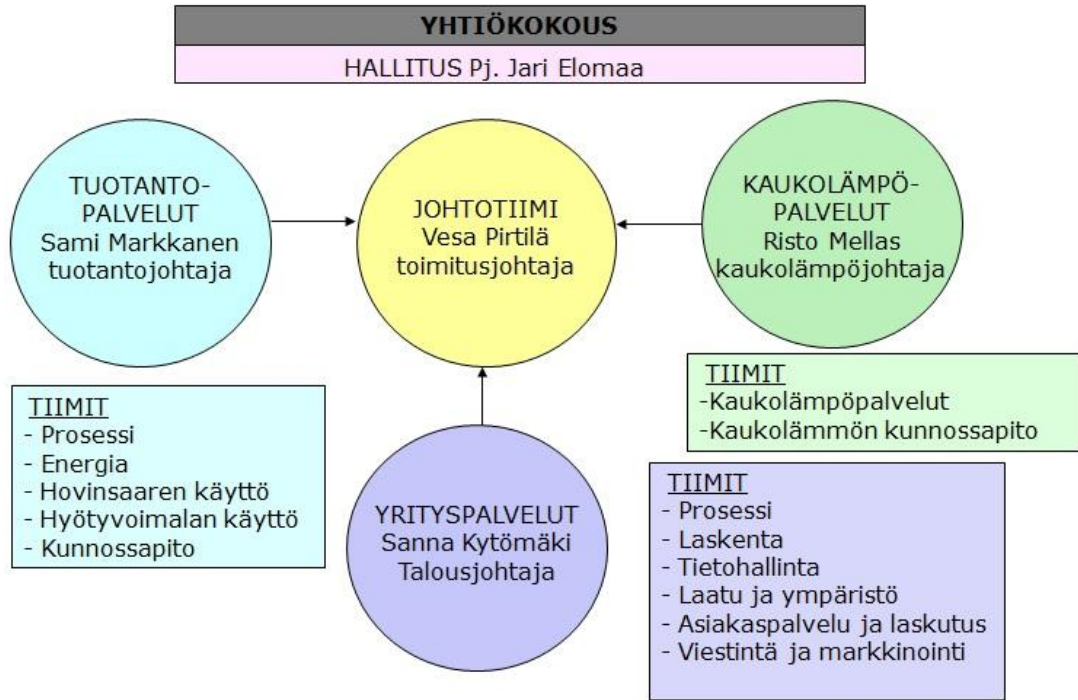
Tämän työn tarkoituksena on optimoida Kotkan Energian Hyötyvoimalaitoksen höyrynjakoa ja tutkia sen vaikutuksia voimalaitoksen prosessiin ja Kotkan kaukolämpöverkkoon. Työn tavoitteena on minimoida laitoksen lauhdeajoa ja nostaa kokonaisyötysuhdetta.

Työssä muodostetaan Hyötyvoimalaitoksen höyryprosessista riippuvainen liukuva kaukolämpötehon säätöpiiri. Sain työn aiheen Hyötyvoimalaitoksen käyttöinsinööritä Petri Jalkaselta joulukuussa 2011. Säätöpiiriä työstetään yhdessä Pöyry Finland Oy:n Seppo Immosen kanssa, joka ohjelmoi säätöpiirin laadittujen toimintakuvausten pohjalta. Työ joudutaan kaukolämmön kulutuksesta johtuen jakamaan vuoden 2012 keväälle suunnittelujaksoon ja syksyille testaus- ja raportointijaksoon.

2 YRITYKSEN ESITTELY

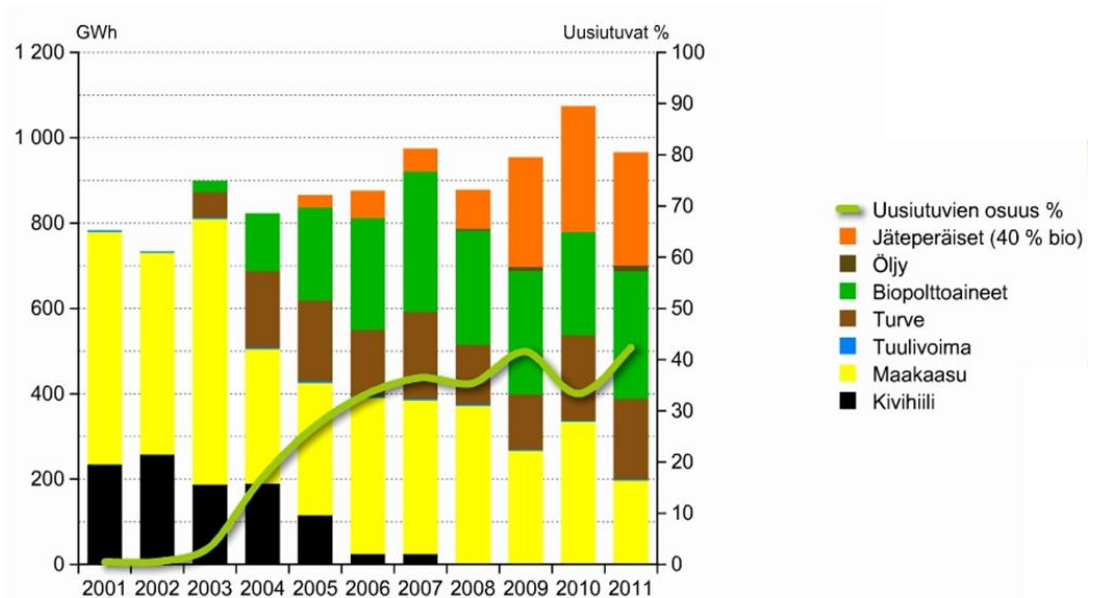
Kotkan Energia Oy on vuonna 1993 perustettu kokonaan Kotkan kaupungin omistama energiayhtiö. Sen liiketoiminta jakautuu energian tuotantoon ja kaukolämpöpalveluihin ja päätuotteita ovat kaukolämpö, teollisuushöyry ja sähkö. Lisäksi se myy jätteiden hyötykäyttöpalvelua ja maakaasua teollisuudelle. Yrityksen liikeidea on kaukolämmön myynti sekä lämmön ja sähkön yhteistuotanto, jolla hyödynnetään edelläkävijänä uusiutuvia energiamuotoja ja jätteitä taloudellisesti yhteistyössä paikallisen teollisuuden kanssa. Yrityksen tavoitteena on edistää asiakkaiden hyvinvointia tuottamalla laadukkaita ja kustannustehokkaita energiapalveluita. (1.)

Yhtiö on jakautunut tuotantopalveluihin, yrityspalveluihin ja kaukolämpöpalveluihin. Sen arvoja ovat ihmisläheisyys, innovatiivisuus, tavoitteellisuus ja ympäristöystävällisyys ja visiona on olla johtava uusiutuvan energian ja jätteiden hyödyntäjä. Yritykselle on myönnetty ISO 9001:2000 -laatusertifikaatti vuonna 2001 ja ISO 14001:2004 ympäristöjärjestelmä sertifikaatti vuonna 2006. (2.)



Kuva 1 Kotkan Energia Oy:n organisaatio (2.)

Kotkan Energia Oy:llä on kaksi CHP-laitosta eli yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto-laitosta, Hovinsaaren voimalaitos ja Korkeakosken Hyötyvoimalaitos, sekä kaksi 1 MW:n tuulivoimalaitosta Mussalossa ja useita kaukolämpökeskuksia eri puolilla Kotkan kaupunkia. Lisäksi yritys rakentaa biopolttoaineita käyttävää kaukolämpökeskusta Sunilan kaupunginosaan sekä suunnittelee uusia investointeja tuulivoimaan. (1.)



Kuva 2 Kotkan Energia Oy:n polttoaineiden hankinnan kehitys (2.)

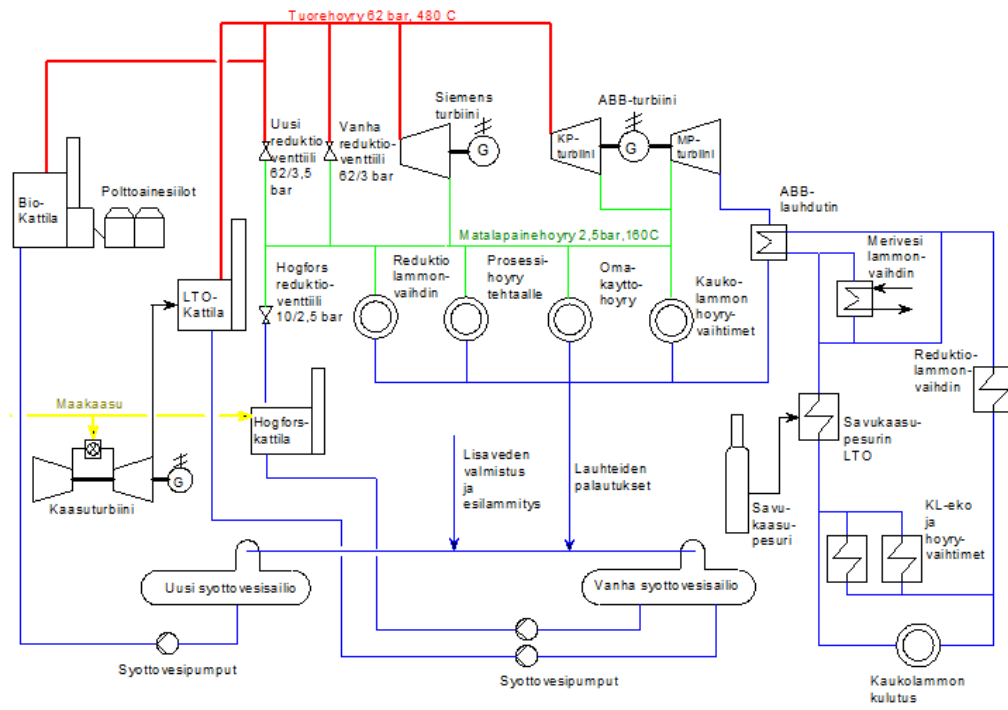
2.1 Hovinsaaren voimalaitos

Hovinsaaren voimalaitos on Kotkan Energian päätuotantolaitos, joka tuottaa suurimman osan kaupungin kaukolämmöstä. Lisäksi se tuottaa sähköä sekä prosessihöyryä läheiselle DuPontin sokeritehtaalle. Vuosittain voimalaitos tuottaa 150 - 250 GWh sähköä, 300 - 350 GWh kaukolämpöä ja 140 GWh prosessihöyryä. Voimalaitos käsittelee biovoimalaitoksen, kombivoimalaitoksen sekä apukattilalaitoksen. (2.)

Vuonna 2003 valmistunut biovoimalaitos käyttää polttoaineina puuperäisiä polttoaineita, turvetta, kierrätyspolttoaineita sekä käynnistys- ja tukipoltossa maakaasua. Kattilan tuorehöyryteho on 61 MW ja sen on toimittanut Fortum Engineering Oy. Kattila on varustettu sähkösuodattimella ja savukaasupesurilla. (2.)

Kombivoimalaitos valmistui 1997 ja se koostuu ABB Stalin GT10-kaasuturbiinista ja Foster Wheelerin valmistamasta lämmöntalteenottokattilasta. Kaasuturbiinin sähköteho on 25 MW ja polttoaineteho 75 MW ja lämmöntalteenottokattilalla saadaan höyrytehoa 60 MW. (2.)

Hovinsaaren Högfors-apukattila on 25 MW:n matalapainehöyrykattila, jolla tuotetaan matalapainehöyryä viereiselle tehtaalle biovoimalaitoksen revisioiden ja häiriöiden aikana. Voimalaitoksella on kaksi höyryturbiinia: 5,5 MW:n Siemensin valmistama vastapaineturbiini ja ABB Stalin valmistama kaksivaiheinen 19 MW:n turbiini. Turbiinissa on höyryväliotto ja lauhdutin, joka on myöhemmin muutettu kaukolämmönvaihtimeksi. Kun kaukolämmön kulutus on vähäistä, voidaan kaukolämpöä jäähdyttää merivedellä. Lauhdutin, jota kutsutaan myös kaukolämpöperäksi, on kriittinen osa koko Kotkan Energian kaukolämpöverkkoa. Hovinsaaren voimalaitoksen höyrynjakoa on havainnollistettu kuvassa 3. (2.)



Kuva 3 Hovinsaaren voimalaitoksen pääkaavio (2.)

2.2 Korkeakosken Hyötyvoimalaitos

Korkeakosken Hyötyvoimalaitos on Suomen toiseksi vanhin niin sanottu moderni jätteenpolttolaitos ja se valmistui vuonna 2009. Laitos käyttää polttoaineena syntypaikalajiteltua jätettä ja sen vuotuinen kapasiteetti on noin 100 000 tonnia. Polttoaine kerätään Kymenlaakson, Itä-Uudenmaan, Päijät-Hämeen ja Mikkelin alueilta, jossa asuu noin 540 000 ihmistä. Lisäksi laitos polttaa noin 10 % kokonaispolttoainemäärästä Sonoco-Alcore Oy:n kartonkitehtaan prosessijätettä. Käynnistys- ja tukipolttoaineena käytetään maakaasua. (2.)

Laitos on suunniteltu käymään aina 100 %:n teholla, ja sen vuotuinen käyntiaika on yli 11 kuukautta. Höyrykattila on Keppel Seghersin valmistama 34 MW:n niin sanottu "tail end" arinakattila, jossa konvektio-osa on asetettu vaakatasoon. Savukaasut puhdistetaan Alstom Finland Oy:n toimittamalla puolikuivalla NID-menetelmällä ja letkusuodattimilla. (2.)



Kuva 4 Yleiskuva Hyötyvoimalaitoksesta (2.)

Voimalaitoksen päätuote on teollisuushöyry, joka käytetään Sonoco-Alcore Oy:n kartonkitehtaalla. Lisäksi laitos tuottaa kaukolämpöä ja sähköä. Polttoprosessissa syntyy loppuun palaneen jätteen jäljelle jäävää tuotetta eli kuonaa sekä lentotuhkaa ja savukaasujen puhdistuksesta jäävää puhdistusjätettä eli lopputuotetta. (2.)

Aine	Määrä (t)	Tuotanto	Määrä (GWh)
Jäte	99 163	Sähkö	29
Kuona	16400	Prosessihöyry	106
Lentotuhka	742,7	Kaukolämpö	37,3
Lopputuote	2019,9	Yhteensä	172

Taulukko 1 Hyötyvoimalaitoksen tuotanto vuonna 2011 (3.)

Hyötyvoimalaitoksella on Turbomachin valmistama 8,5 MW:n höyryturbiini. Turbiinin välitosta otetaan matalapainehöyryä kulutuskohteita varten ja ylijäämähöyry ajetaan sähköksi matalapaineosassa, joka on varustettu jokivesilauhduttimella. Jäähdytysvesi pumpataan Kymijoesta noin 700 metrin päästä voimalaitoksesta. Lauhdutin on mitoitettu niin, että laitosta voidaan ajaa aina täydellä teholla, vaikka matalapainehöyrynkulutusta ei olisikaan.

Voimalaitoksella on kaksi 10,2 MW:n Vapor Finland Oy:n maakaasukattilaa vara- ja tukikäyttöön. Tuotannosta 50 % menee Sonoco-Alcore Oy:n kartonkitehtaalle prosessihöyrynä, 30 % kaukolämmöksi ja 20 % sähköksi. Palamisprosessista jää jäljelle loppuun poltettua jätettä eli kuonaa, lentotuhkaa sekä savukaasunpuhdistusjätettä eli lopputuotetta, joka sisältää tuhkaa, pölyä ja prosessissa käytettyjä sorbentteja. Laitoksen tekniikka on valittu siten, että se on yksinkertaista ja toimintavarmaa. (2.)

3 HYÖTYVOIMALAITOKSEN JÄTTEENPOLTTOPROSESSI

3.1.1 Jätteen vastaanotto ja käsittely

Jäte tuodaan voimalaitokselle pakkaavilla jäteautoilla sekä rekkakuljetuksilla. Autot punnitaan ja jätteet puretaan vastaanottomonttuun. Vastaanottohalli sekä jätebunkkeri on varustettu automaattisesti sulkeutuvilla ovilla ja tilasta imetään ilmaa kattilan palamisilmaksi, jolla ehkäistään hajujen leviäminen ympäristöön. Jätteitä ei käsitellä tai varastoida voimalaitoksen piha-alueella.

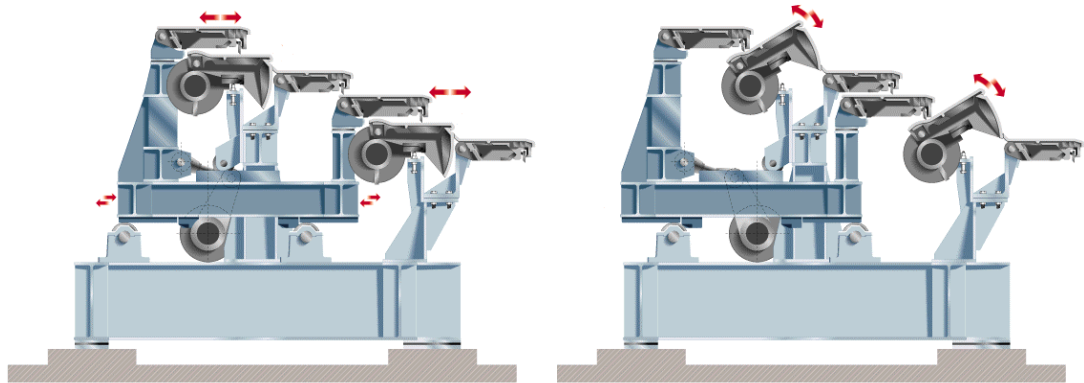
Jätekahmari nostaa jätteet varastosiilon puolelle, joka on erotettu vastaanottomontusta väliseinällä. Varastosiilossa toinen pääty on tuoretta jätettä ja toinen polttoaineen syöttöä varten. Jätekahmari sekoittaa syötettävää jätettä pitäen polttoaineen tasalaatuisena. Jätekahmari on täysin automaattinen ja ohjelmoitavissa tilanteen mukaan ja tarpeen vaatiessa sitä voidaan ajaa valvomosta. Varastosiilosta jäte nostetaan hopperiin, joka on kattilan syöttösuppilo. Hopperi pidetään täynnä siten, että syöttösuppilo toimii ilmalukkona ja seisokki- ja häiriötilanteessa se voidaan sulkea luukulla.

3.1.2 Arina ja palaminen

Hopperista jäte valuu painovoiman vaikutuksesta syöttöpöydälle. Syöttöpöytä on korotettu taso arinan alkupäässä ja se on varustettu kahdella hydraulisella sylinterillä. Syöttöpöydän nopeudella hallitaan myös polttoaineen syöttöä ja se on kytketty tuorehöyryn virtaussäätimeen, mutta sitä pystytään ajamaan myös jätekerroksen paksuuden mukaisesti. Syöttöpöydältä jäte putoaa arinalle.

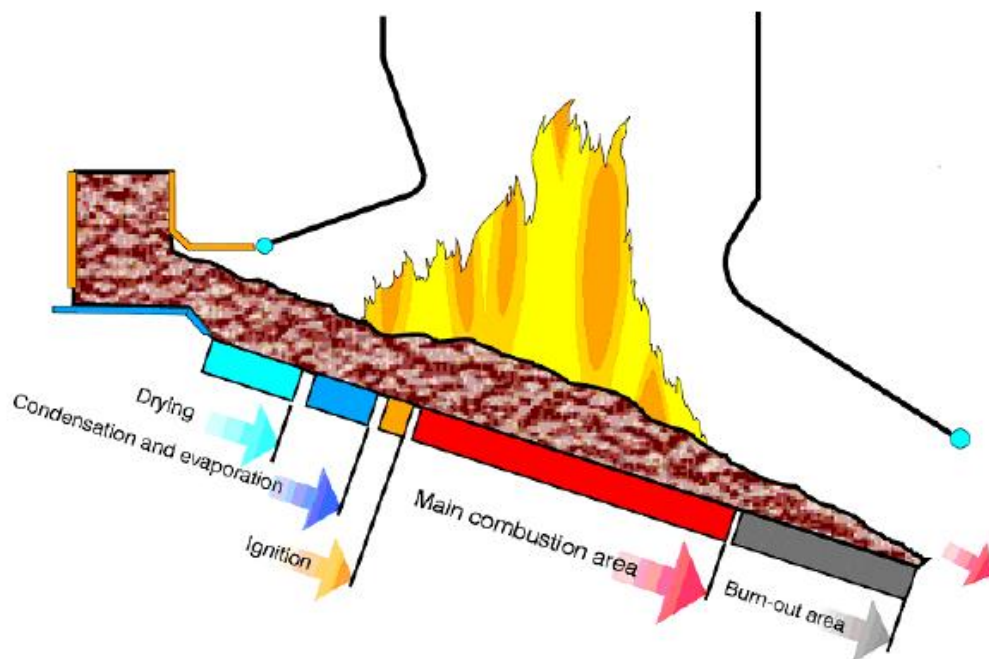
Arina on jaettu viiteen itsenäiseen elementtiin, joissa kussakin on kaksi eteen ja taakse liikkuva liukulaattariviä, kaksi kiinteää paikallaan pysyvää laattariviä ja kaksi ylöspäin liikkuvaa rumpulaattariviä. Liukulaatat siirtävät jätettä eteenpäin ja rumpulaatoilla

voidaan tarpeen tullen kohentaa palamista. Kukin elementti on varustettu omalla primääri-ilmapuhaltimella ja ilmaa voidaan lämmittää höyrykäyttöisellä esilämmittimellä.



Kuva 5 Arinaelementin rakenne. Vasemmalla on kuvattu liukulaattojen ja oikealla rumpulaattojen liike (4.)

Arinalla voidaan erottaa palamisen vyöhykkeet elementteittäin. Ensimmäisellä elementillä jäte kuivuu ja toisella syttyy. Kolmas ja neljäs elementti on tarkoitettu varsinaiseksi palamisvyöhykkeeksi ja viidennellä palanutta jätettä jäähdytetään ja tarvittaessa poltetaan loppuun. Viidennen elementin päässä poltetu jäte putoaa vesitäytettyyn kuonakuljettimeen, joka jäähdyttää kuonan ja siirtää sen omaan varastotilaansa.



Kuva 6 Palaminen arinalla (4.)

Arinan alla on jokaisella elementillä suppilo, johon laattojen välistä putoavat pienet metalli- ja lasikappaleet valuvat. Suppilot kaatavat vesitäytettyyn seulakuljettimeen, jossa kiinteä aines erotellaan ja johdetaan kuonakuljettimeen. Varastotilasta jäähtynyt kuona lastataan pyöräkuormaajalle kontteihin ja se kuljetetaan jatkokäsiteltäväksi. Kuonaa voidaan käyttää maantäyttöaineena metallinerottelun ja tiivistymisen jälkeen, ja voimalaitokselta sitä viedään noin 300 tonnia viikossa jälkikäsiteltäväksi. Määrä on noin 14 % vastaanotetusta jätemäärästä.

Noin kolme metriä arinan yläpuolella tulipesässä sijaitsevat sekundääri- eli palamisilmapuhaltimet. Puhaltimien tarkoituksena on säätää jäännöshappea ja polttaa loppuun leijailevat partikkelit sekä kaasut. Yhteensä jätekattilassa on kolme pystyvetoa ja yksi vaakaveto. Kuumat savukaasut kulkevat kanavaa pitkin ja luovuttavat lämpöä kattilan seinissä kulkeviin vesiputkistoihin ja vaakaosalla sijaitseviin konvektiolämmönsiirtimiin. Lämmönsiirtimiä on yhteensä kahdeksan: kolme tulistinta, kaksi höyrystintä ja kolme syöttöveden esilämmitintä eli ekonomaiseria. Savukaasun lämpötila ennen lämmönsiirtimiä on noin 630 °C ja jälkeen noin 160 °C. Tämän jälkeen savukaasut johdetaan puhdistuslaitokseen.

3.1.3 Savukaasujen puhdistus

Kattilan jälkeen savukaasut johdetaan NID-reaktoriin, jossa savukaasuihin sekoitetaan aktiivihiiltä, sammuttamatonta kalkkia ja vettä. Savukaasut johdetaan letkusuodattimelle, jonka jälkeen ne on puhdistettu 99,9 %:sti. Sukat puhdistetaan paineilmalla ja jäljelle jäävä pöly kerätään kuivana.

4 HYÖTYVOIMALAITOKSEN HÖYRYNTUOTANTO

Hyötyvoimalaitos on mitoitettu käymään aina sadan prosentin teholla kuorman muutoksista huolimatta. Voimalaitoksen tuotosta noin 40 % tulee jätteenkäsittelypalvelusta ja energiaa pystytään tuottamaan esimerkiksi hiilivoimalaitokseen verrattuna joustavammin. Tämä mahdollistaa kilpailukykyisen energian myynnin teollisuudelle, joka on osa koko yrityksen strategiaa.

Jätteenpolto edellyttää korkeita lämpötiloja, minkä vuoksi kattilan tulipesä on vahvasti muurattu. Muuraukset varastoivat lämpöä ja pitävät yllä edellytetyjä lämpötiloja.

Mikäli tulipesän lämpö laskee alle 850 °C, niin maakaasupolttimet käynnistyvät automaattisesti tukemaan palamista. Tulipesän ja konvektio-osan välissä on niin sanotusti tyhjä veto, jonka tarkoituksena on toimia syklonina ja erottaa lentotuhka savukaasuista sekä siirtää lämpöä veteen. Kattilan tyhjä veto on varustettu vesinuohoimilla sekä jälkiasennetuilla räjäytysnuohoimilla. Vaaka- eli konvektio-osan läpi kulkee kaksi kolis-tinnuohointa.

4.1 Vesi - höyry -piiri

Syöttövesi syötetään kattilan vaakaosan peräpäähän ensimmäiselle esilämmittimelle eli ekonomaiserille noin 130 asteisena. Mikäli syöttövesi on liian kylmää, voidaan sitä esilämmittää kierrättämällä sitä lieriössä. Vaakaosan kolme viimeistä konvektiolämmönsiirrintä ovat esilämmittimiä, joiden jälkeen vesi johdetaan lieriöön. Ekonomaiserien jälkeen syöttöveden lämpötila on noin 230 astetta.

Hyötyvoimalaitoksen höyrykattila on luonnonkiertokattila, jossa veden ja höyryn kiertäminen perustuu tiheuseroon. Raskaampi vesi laskee luonnollista kulkusuuntaansa pitkin alas höyrystimille ja höyrystynyt kevyempi vesi nousee takaisin lieriöön. Höyrystinpinta-alaa kattilassa on kaksi konvektiolämmönsiirrintä sekä vaakaosan, tulipesän ja tyhjänvedon kattava seinäputkisto. (5, 105)

Lieriöstä höyry nousee tulistimille. Tulistimissa höyry kiertää vaakaosan keskiosasta lähemmäs tulipesää. Toinen ja kolmas tulistin on varustettu vesiruisilla lämpötilojen hallintaa varten. Kolmannen tulistinvaiheen jälkeen tuorehöyryn paine on 40 baaria ja lämpötila 400 °C. Höyryn tuotantoa ja jakelua on havainnollistettu liitteessä 1.

4.2 Höyrynjako ja lauhde

Kattilan jälkeen tuorehöyrylinja jatkuu turbiinille. Höyry johdetaan turbiinin läpi ja otetaan ulos korkeapainepuolen jälkeen väliotosta. Välioton painetta voidaan säätää, ja jos matalapainehöyryllä ei ole kulutusta, niin ylimääräinen höyry ajetaan matalapaineturbiiniin ja lauhdutetaan lauhduttimessa jokivedellä. Tällainen kytkentä mahdollistaa kattilan täydellä teholla ajamisen, vaikka höyryllä ei ole kulutusta. Mikäli höyryn kulutus on suuri ja tehdashöyryverkon paine putoaa, ajetaan tuorehöyry reductio-aseman kautta, jossa korkeapainehöyryn muutetaan matalapainehöyryksi. Reduktio-asema sekä turbiiniväliotto on varustettu itsenäisillä paineen ja lämpötilan säädöillä.

Tehdashöyryverkko eli matalapaineapuoli käsittää useita eri putkilinjoja, joista tärkein on putkilinja kartonkitehtaalle ja muille höyryasiakkaille. Suurin osa matalapainehöyrystä käytetään Sonoco Alcore Oy:n prosessissa. Muita käyttökohteita ovat kaukolämpö ja Hyötyvoimalaitoksen oma prosessi, muun muassa syöttövesisäiliön paineenpito, sekä läheisen teollisuusalueen rakennusten lämmitys. Voimalaitoksen vara- ja tukikäyttöön tarkoitettut maakaasukattilat on kytketty matalapaineverkkoon kartonkitehtaan päässä ja revisioiden aikana höyryä voidaan kierrättää pieniä määriä takaperin voimalaitokselle putkiston lämmitystä varten.

Turbiini- ja kaukolämpölahde kerätään suoraan syöttövesisäiliöön. Kartonkitehtaan lauhde kerätään omaan säiliöön tehtaan alueella ja pumpataan voimalaitokselle lauhteenpuhdistuslaitokselle. Tehdaslauhdetta joudutaan puhdistamaan, sillä kartonkitehtaan putkistot ovat vanhoja ja putkien seinämiltä irtoaa epäpuhtauksia. Lauhteenpuhdistuksen jälkeen lauhde kerätään viivästyssäiliöön, josta se pumpataan syöttövesisäiliöön. Tehdaslauhdetta voidaan revisioiden ja häiriöseisakkien aikana kierrättää myös paikallisesti, jolloin lauhteet pumpataan tehtaan säiliöstä Vapor-kattiloiden syöttövesisäiliöön.

4.3 Ajotavat

Hyötyvoimalaitoksen polttoaineensyöttöä ohjaa tuorehöyryn eli korkeapainehöyryn virtaussäädin, jolla pyritään pitämään höyrymäärä halutussa asetusarvossa. Polttoaineensyöttöä voitaisiin ohjata myös jätekerroksen mukaan, jolloin polttoainetta syötettäisiin arinan painemittausten perusteella. Voimalaitos on kuitenkin viritetty höyryntuotantoa varten, joten jätekerrosajoa ei juuri käytetä.

Normaalissa ajotilanteessa turbiini on niin sanotusti etupainesäädöllä, jolloin turbiini, tarkemmin turbiinin höyrynsäätöventtiili, säätaa tuorehöyryn paineen. Paineensäätöä tuetaan tarvittaessa turbiinin ohitusreduktiolla (by-pass venttiili) ja starttiventtiilillä (höyryn ulospuhallusventtiili). Turbiiniväliotto säätaa tehdashöyryverkon paineen ja sitä tuetaan tarvittaessa tehdashöyryreduktiolla. Mikäli turbiini ei ole käytössä esimerkiksi ylösajotilanteessa, säädetään tuorehöyryn painetta turbiinin ohitusreduktioventtiilillä. Mikäli sekä turbiini että lauhdutin eivät ole käytössä, niin starttiventtiili säätaa tuorehöyryn paineen. (6.)

Jos turbiinia ajetaan sähköteholla, niin tuorehöyryn painetta säättää turbiinin ohitusreduktio. Turbiinin sähkötehoa säättää turbiinin höyrynsäätöventtiili ja ylimääräinen höyry ajetaan turbiinin ohitusreduktion kautta lauhduttimeen. Mikäli laitos putoaa valtakunnallisesta sähköverkosta ja joutuu saarekeajoon, niin turbiini siirtyy pyörimisnopeussäädölle, mutta säätö on muuten identtinen tavallisen sähkötehosäädön kanssa.

(6.)

5 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto ja kaukolämmitteisissä taloissa asuu noin 2,6 miljoonaa ihmistä. Suomessa kaukolämmitystä on ollut 1950-luvulta lähtien ja sen osuus lämmitysmarkkinoista on noin 50 prosenttia. (7.)

Kotkan Energian kaukolämpöverkko on 173 km pitkä ja asiakasliittymiä on 1924 kappaletta. Verkko koostuu kahdesta CHP-voimalaitoksesta, useasta öljy- tai maakaasukäyttöisestä kaukolämpökeskuksesta sekä pumppaamosta Kotkan alueella. Kaukolämpöenergiaa ostetaan myös Kotkansaarella toimivalta Kotkamills Oy:n paperitehtaalta. Kaukolämpöverkkoa ajetaan siten, että Hyötyvoimalaitos, Kotkamillsin voimalaitos sekä tarvittaessa kaukolämpökeskukset ajavat vakiotehoa ja Hovinsaaren voimalaitos säättää verkon painetta. Verkkoa säädetään niin, että verkon kriittisimmässä kohteissa paine-ero kuluttajan yli on vähintään 0,5 baaria. Verkkoa operoidaan Hovinsaarelta ja Hyötyvoimalaitoksen käyttäjät nostavat ja laskevat kaukolämpötehoa Hovinsaaren operaattoreiden toiveiden mukaisesti. Kaukolämpöverkko on esitetty liitteessä 2. (1.)

5.1 Hyötyvoimalaitoksen kaukolämmön tuotanto

Hyötyvoimalaitoksen kaukolämpö tuotetaan turbiiniväliotosta tai tehdashöyryreduktiosta kautta otetulla matalapainehöyryllä. Voimalaitoksella on Högfors / Sento Oy:n valmistama kaukolämmönvaihdin, joka on mitoitettu siten, että se kykenee siirtämään noin 22 MW:n lämpötehon kaukolämpövedeen. Kaupungin verkosta palaava kylmä (50 - 85 °C) vesi pumpataan kaukolämpövaihtimeen, jonka jälkeen lämmennyt vesi (70 - 120 °C) johdetaan pääkaukolämpölinjaan. kaukolämpöveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaisesti. Säädin ohjaa kaukolämpövaihtimen höyrynsäätöventtiiliä ja veden lämpötilaa säädetään taulukon 2 mukaisesti. Ensimmäiset kaukolämpö-

kuluttajat ovat laitoksen prosessiin lämpöä käyttäviä kohteita ja rakennuksen lämmitys. Tämän jälkeen linja jatkuu kohti Karhulan keskustaa. (8.)

ulkolämpötila °C	KL-veden lämpötilan asetusarvo °C
-30	118
-20	114
-10	107
-5	99
0	89
3	83
10	79
20	77

Taulukko 2 Kaukolämpöveden lämpötilasäädön asetusarvot

Hyötyvoimalaitoksessa kaukolämpöä voidaan ajaa paine-erosäädöllä sekä tehosäädöllä. Paine-erosäädön käyttäminen ei ole kuitenkaan normaaleissa olosuhteissa järkevää Hovinsaaren voimalaitoksen toimiessa säätävänä voimalaitoksena ja sen käyttäminen on jäänyt lähinnä kokeiluasteelle. Paine-erosäädöllä ajettaessa virtausta säädettäisiin lähtevän ja palaavan kaukolämpöveden painemittausten erotuksen mukaan ja pyrittäisiin pitämään se vakiona.

Tehosäädöllä ajettaessa virtaussäädön asetusarvo määräytyy kaukolämpötehon asetusarvosta. Asetusarvo voidaan määrittää seuraavasti:

$$\dot{m} = \frac{P}{c_p \cdot (T_2 - T_1)} \quad (1)$$

$$\dot{m} = \text{kaukolämpöveden massavirta [kg/s]}$$

$$P = \text{kaukolämpötehon asetusarvo [W]}$$

$$c_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/kg°C}$$

$$T_2 = \text{kaukolämpöveden lämpötilan asetusarvo [°C]}$$

$$T_1 = \text{Palaavan kaukolämpöveden lämpötila [°C]}$$

5.2 Kaukolämmön tuotannon ongelmakohdat

Hyötyvoimalaitoksen aloittaessa toimintansa kaikki järjestelmät eivät toimineet suunnitellusti tai muuten täyttäneet niille asetettuja vaatimuksia. Lisävettä jouduttiin valmistamaan suunniteltua enemmän ja omakäyttöhöyryä kului lisäveden valmistamiseen. Höyryn kulutusta jouduttiin vähentämään muualta ja se kohdistui kaukolämpöön kartonkitehtaan ollessa ajossa.

Hyötyvoimalaitoksella polttoaineena käytettävän jätteen lämpöarvo vaihtelee välillä 8 – 14 MJ/kg, jonka takia voimalaitoksen tuotantoa on vaikea hallita. Käytännössä katsoen, jos höyryn virtauksen asetusarvo on 40 t/h, niin tuotanto voi vaihdella välillä 37 – 43 t/h. Matalapainehöyryn kulutuksen pysyessä vakiona tasataan höyryntuotannon muutokset turbiinilla ajaen ylijäämähöyry matalapaineturbiiniin ja lauhdesähköksi. Käytännössä kaukolämmön tehon asetusarvo on pidetty alhaisena, jotta matalapaineturbiinille on aina ollut virtausta. Lauhdesähkön tuotannon hyötysuhde on kuitenkin huono ja voimalaitoksen ympäristölupa rajoittaa lämpökuormaa Kymijokeen. Kuukausittainen raja-arvo lämpökuormalle on 40 TJ (11,1 GWh) ja vuotuinen 240 TJ (66,7 GWh). (9.)

Hyötyvoimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmä on mitoitettu 22 MW:n teholle, jolloin virtaama olisi 150 kg/s. Kokemus on kuitenkin osoittanut, ettei siirtolinjan todellinen kapasiteetti riitä tällaisiin virtauksiin ja vettä joudutaan ajamaan säätökäyrää lämpimämpänä verkkoon. (8.)

Hovinsaaren voimalaitos asettaa ehtoja kaukolämmön tuotannolle sen ollessa kaukolämpöverkon säätävä voimalaitos. Hovinsaaren voimalaitoksen ABB-turbiinin lauhdutin on vuonna 2003 muutettu kaukolämmöntuotantoon ja kaukolämpövesi vastaa höyryn lauhdutuksesta. Mikäli lauhduttimeen ei riitä jäähdytysvettä, nousee sen paine ja pahimmillaan aiheuttaa turbiinin alasajon. Kaukolämpövettä voidaan jäähdyttää merivedellä, jolloin lauhdesähkön määrä kasvaa ja laitoksen kokonaishyötysuhde pienee. (2.)

Vaikka Hovinsaaren lauhdutin eristettäisiin kaukolämpöverkosta, tarvitaan kaukolämpövettä myös savukaasupesurin jäähdytykseen, jotta pesurin pisaranerotimet eivät sulaisi. Laitos tarvitsee vähintään noin 6 MW:n kaukolämpökuorman ja 100 kg/s virtauksen. Koska voimalaitos tuottaa matalapainehöyryä viereiselle tehtaalle, ei laitosta

voida ajaa kokonaan alas, vaan sitä käytetään noin 60 – 70 %:n teholla. Tilanne kärjistyy kesäaikaan siihen, että Hyötyvoimalaitos joudutaan pahimmillaan eristämään kokonaan kaukolämmön tuotannosta.

6 VASTAPAINESÄÄTÖ

Hyötyvoimalaitoksen polttoaine mahdollistaa taloudellisesti joustavamman ajotavan, koska polttoaineella ei ole hankintakustannuksia. Periaatteessa sähkön tuotanto on millä tahansa pörssihinnalla kannattavaa, mutta laitoksen pienestä höyrytehosta johtuen lauhdesähkön ajaminen ei ole mielekästä, vaan on kannattavampaa pyrkiä käyttämään kaikki tuotettu energia hyödyksi. Käytännössä tämä tarkoittaa lauhdeajon minimoimista lisäämällä kaukolämmön tuotantoa.

Sonoco Alcoren kartonkitehtaan ollessa laitoksen pääasiakas pitää kaukolämmön tuotantoa rajoittaa siten, ettei asiakkaan höyrynpaine pääse laskemaan alle kuuden baarin missään tilanteessa. Polttoaineen laadunvaihtelusta johtuen myös kattilan höyryntuotanto heittelee, joten tehon säätö vaatisi jatkuvaa operointia. Aloite tämän toiminnon automatisointiin tuli voimalaitoksen käyttöhenkilökunnalta joulukuussa 2011. Automatisointi päätettiin toteuttaa osana opinnäytetyötä yhteistyössä Pöyry Finland Oy:n kanssa. Opinnäytetyön tekijä vastaisi säätöpiirin toiminnallisesta suunnittelusta sekä dokumentoinnista ja ohjelmointi toteutettaisiin alihankintana.

Säätimen suunnittelu aloitettiin laatimalla piirikohtainen toimintakuvaus, jossa on sanallisesti kuvattu säätimen tarkoitus, toiminta ja lukitukset. Aluksi säätöpiirejä oli suunnitteilla kaksi, joista toinen oli niin ikään sähkötehonsäätö, mutta se hylättiin hankalan toteutuksensa takia ja osa sen ominaisuuksista integroitiin lopulliseen säätimeen. Säätimestä käytetään nimitystä vastapainesäätö, koska sen tehtävänä on minimoida lauhdesähkön ajo ja pakottaa höyryturbiini vastapaineajoon ottamalla kaikki tuotettu höyry turbiinin väliotosta. Tässä työssä ei ole eroteltu säätimen kehitystä ajallisesti, vaan esitellään sen lopullista toimintaa ja ominaisuuksia. Lopullinen toimintakuvaus on esitetty liitteessä 3.

6.1 Säätimen toiminta

Säätimen konsepti on pitää matalapaineturbiinin säätöventtiili kiinni kasvattamalla kaukolämpötehoa ja laskea sitä, jos tehtaalle menevän höyrynpaine laskee. Tehoa ei

voida kuitenkaan kasvattaa loputtomasti eikä toisaalta myöskään laskea minimiin. Koska Hovinsaaren voimalaitos on elintärkeä osa kaukolämpöverkkoa, tulee huomioida säädön vaikutus myös heidän toimintaansa. Vastapainesäätö on nimetty järjestelmään KKS-tunnuksella 10NDA10DQ002 ja se toimii suunnanvaihtajana alkuperäiselle kaukolämmön tehosäädölle 10NDA10DQ001. Alkuperäisiin säätöpiireihin ei ole tehty muutoksia.

Vastapainesäädöllä on ylempi ja alempi asetusarvo, joista se valitsee kaukolämmön tehosäädön asetusarvoksi jommankumman tilanteen mukaan. Ylempi asetusarvo valitaan silloin, kun lukituksia ei ole vaikuttuneena ja se kasvattaa kaukolämmön tehoa asetusarvoon asti tai niin kauan, että MP-turbiinin säätöventtiili menee kokonaan kiinni. Tulevaisuudessa kaukolämpötehon ylempi asetusarvo tuodaan suoraan Hovinsaaren voimalaitokselta järjestelmään ja aktivoituakseen se vaatii operaattorin kuittauksen. Alemman asetusarvon asettaa Hyötyvoimalaitoksen operaattori ja se aktivoituu aina, kun jokin lukitus on aktivoitunut. Säätöä pyritään käyttämään siten, että kaukolämpötehon ylä- ja alarajan väli on 2 MW.

6.2 Lukitukset

Lukitukset laadittiin suojaamaan niin kartonkitehtaan kuin voimalaitoksen omaakin prosessia. Lukitukseen jouduttiin tuomaan myös Hovinsaaren voimalaitoksen lauhduttimen paine, koska kaukolämpöverkon ollessa suorassa yhteydessä Hovinsaaren voimalaitosprosessiin, voisi Hyötyvoimalaitoksen liian korkea teho nostaa Hovinsaaren voimalaitoksen lauhduttimen painetta kaukolämpöveden virtauksen laskiessa. Tämä taas johtaisi ABB-turbiinin hätäalasarjoon. Jos yhteys Hovinsaaren voimalaitokseen kadotetaan, jäädytetään kaukolämpöteho siihen arvoon, mikä se oli ennen yhteyden katkeamista. Lukitukset ja ohjaukset esitetään graafisesti liitteessä 4.

6.2.1 Hyötyvoimalaitoksen lukitukset

Normaalijossa matalapainehöyry otetaan höyryturbiinin väliotosta. Mikäli kattila tuottaa huonosti ja turbiinin höyrynsäätöventtiili on alle 26 % auki, sulkeutuu turbiinivälioton sulkuventtiili. Välioton käyttöönotto vaatii kaukolämpötehon laskemista lähes minimiin, joten kaukolämpötehoa rajoitetaan (säätö valitsee alemman asetusarvon) mikäli turbiinin säätöventtiili on alle 50 % auki. Koska turbiinia ei haluta kuitenkaan normaalitilanteessa ohittaa, rajoitetaan kaukolämmön tuotantoa, jos teh-

dashöyryreduktion säätöventtiili avautuu. Kaukolämpötehoa kasvatetaan ylempään asetusarvoon asti tai kunnes matalapaineturbiinin säätöventtiili menee kiinni. Mikäli yhteys voimalaitoksen pääautomaatiojärjestelmän ja Turbomachin oman ohjausjärjestelmän välillä katkeaa, jäädytetään kaukolämpöteho yhteyden katkeamista edeltävään tilaan. Mikäli väliotto menetetään, kaukolämpö siirtyy vakiotehosäädölle. (6.)

6.2.2 Kartonkitehtaan lukitukset

Putkisilta kartonkitehtaalle on noin 700 metriä pitkä, minkä takia höyrynpaine laskee asiakkaalla ennen kuin voimalaitoksen prosessilaitteet ehtivät reagoimaan. Kaukolämpötehon rajoitus on sidottu tehdashöyryn paineen asetusarvoon siten, että tehoa rajoitetaan, jos mittaus on 0,1 baaria alempi kuin asetusarvo. Kartonkitehtaan katkon jälkeen voi tehdas ottaa höyryä useita tunteja noin 5 MW:n kuormalla. Käynnistysvaiheessa voimalaitokselle saadaan käyntitieto tehtaan massapumpusta, jolloin kaukolämpötehoa rajoitetaan säätövaraksi tehtaan käynnistyksestä johtuvaa kulutuspiikkiä varten, jotta turbiinin väliotto ei putoaisi pois ajosta.

6.2.3 Reduktioajo

Kaukolämmön kulutushuippujen aikana voi turbiinin ohittaminen muodostua kannattavaksi, mikäli tällä voidaan välttää kaas- ja öljykäyttöisten kaukolämpökeskusten käyttöönotto. Vastapainesäätöön tehtiin poikkeustilanteita varten kytkentä, jolla voidaan ohittaa turbiinin välioton putoamisesta ja tehdashöyryreduktion venttiilin avautumisesta johtuvat lukitukset. Turbiini voi periaatteessa pudota ajosta kokonaan, mutta tilanne ei ole suositeltava. Mikäli turbiini on huollossa tai esimerkiksi ylösajotilanteessa pois käytöstä, voidaan vastapainesäädön ominaisuuksia käyttää valitsemalla ohita turbiini.

6.3 Piirikohtainen toimintakuvaus

Piirikohtaiset toimintakuvaukset ovat sanallisesti selitetyjä kuvauksia piirien toiminnasta. Ne vastaavat kysymyksiin mitä, miksi ja milloin ja niiden tarkoituksena on tukea operaattoreiden päivittäistä työskentelyä. Toimintakuvaukset jaetaan otsakkeisiin, joita voivat olla toiminta, moodit, tiedot muihin piireihin ja lukitukset. Hyötyvoimalaitokseen ei ole projektivaiheessa hankittu piirikohtaisia toimintakuvauksia, mikä on osoittautunut virheeksi. Tämän työn yksi tavoite oli tuottaa mahdollinen formaatti tu-

levaisuuden piirikohtaisille toimintakuvauksille muutoksia ja uusia piirejä varten.

(10.)

Vastapainesäädön toimintakuvaus ja lukitukset laadittiin käyttöhenkilökunnan ideoiden ja kokemusten pohjalta ja annettiin ohjeeksi säädön ohjelmoineelle Pöyry Finland Oy:n edustajalle. Esilaadittu toimintakuvaus poisti ohjelmoijalta normaalisti suunniteltuun käytetyn ajan verran ja näin ollen laski hankintakustannuksia merkittävästi.

6.4 Toimintakaavio

2000-luvulla on alettu käyttää piirien toiminnan esittämiseen yksityiskohtaisia toimintakaavioita, jotka eivät ole järjestelmäriippuvaisia. Toimintakaaviot esittävät graafisesti piirissä olevan mittaus-, ohjaus ja säätötoiminnan sekä valvomon käyttöliittymätoiminnot mukaan lukien hälytykset. Toimintakaaviot johdattelevat suoraan graafiseen lohko-ohjelmointiin. (10.)

Tässä työssä toimintakaavio laadittiin ohjelmoijan luonnostelman pohjalta Microsoft Visio -ohjelmaa apuna käyttäen. Toimintakaavio on saatavilla suoraan järjestelmästä (Honeywell Experion PKS), mutta sen sisältämät lyhenteet sekä ulkoasu eivät ole sellaisia, joita voitaisiin käyttää operoinnin tukena tai yleisenä dokumenttina. Toimintakaavio on esitetty liitteessä 4.

Toimintakaavio koostuu toimintalohkoista. Lohkot voivat olla joko Boolean algebran laskutoimituksia sisältäviä tai järjestelmävalmistajan valmiiksi määrittelemiä monimutkaisempia lohkoja, kuten säätöpiireissä käytettävät PID-lohkot. Lohkoissa voi olla useita sisääntuloja sekä ulostuloja ja niihin tuotava tieto voi olla binäärinen (1 tai 0), esimerkiksi moottorin käyntitieto, tai analoginen (0 - 100 %), esimerkiksi venttiilin asento. Kappaleissa 5.4.1 ja 5.4.2 on esitetty vastapainesäädössä käytetyt toimintalohkot.

6.4.1 AND-, OR- ja NOT-lohkot

AND-lohko (suomeksi JA) on logiikkafunktio, jossa kaikki tulojen pitää olla vaikuttuneita, jotta lähtö olisi vaikuttunut. Lohkoa merkitään &-merkillä. OR-lohko (suomeksi TAI) merkitään \geq -merkillä ja siinä yhden tuloista pitää olla vaikuttuneena, jotta lähtö olisi vaikuttunut. Lohkojen toimintaa on verrattu taulukossa 3. NOT (suomeksi

EI) lohkon lähtö on vaikuttunut, jos lohkon tulo ei ole aktiivinen ja sitä merkitään numerolla yksi ja negaatiota ilmaisevalla pallolla lohkon jälkeen.

TULO 1	TULO 2	AND-LÄHTÖ	OR-LÄHTÖ
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

Taulukko 3 AND- ja OR-lohkojen toiminta.

6.4.2 Set/Reset-, Extrem- ja Switch-lohkot

Set/reset on yleisesti käytetty looginen kiikku. Jos tulo 1 (SET) asettuu aktiiviseksi, niin lähtö menee aktiiviseksi. Jos tulo 2 (RESET) asettuu aktiiviseksi, niin lähtö menee nolnaan. Jos tulot ovat yhtä aikaa aktiivisia, niin lähtö pysyy nolnaan.

TULO 1	TULO 2	LÄHTÖ
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	0

Taulukko 4 Set/Reset lohko.

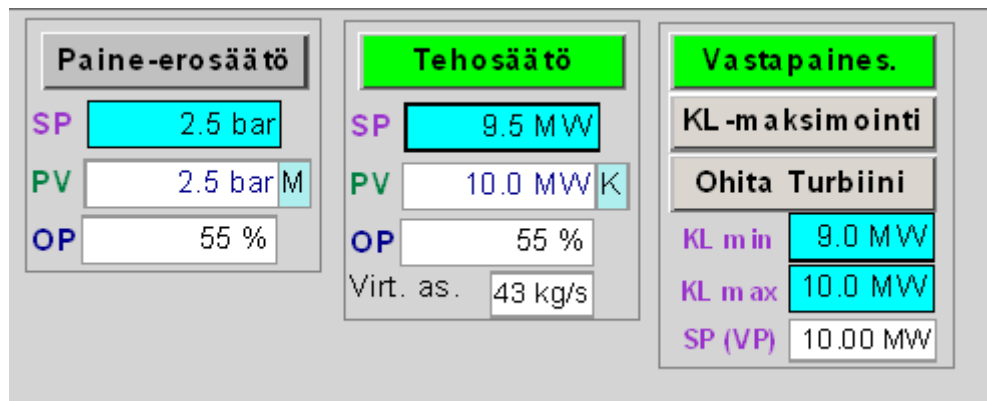
Extrem-lohko valitsee kahdesta tulosta suuremman arvon. Vastapainesäädössä sitä käytetään muuttamaan säädön toiminta-alueita, jos Hovinsaaren voimalaitoksen operaattorit pudottaisivat kaukolämpöpyynnin alemmaksi kuin alempi asetusarvo on.

Switch-lohko on valitsin, jossa on kolme sisääntuloa: Input 1, Input 2 ja Switch. Mikäli switch ei ole vaikuttunut, lähdeksi asettuu Input 1. Mikäli Switch vaikuttuu, asettuu Input 2 lähdeksi. Lohkoa käytetään säädössä muuttamaan kaukolämmön tehosäädön asetusarvoa ylempään tai alempaan asetusarvoon, jos jokin lukitus aktivoituu.

6.5 Muutokset näyttökuviin

Vastapainesäädön näyttökuvamuutokset haluttiin pitää minimaalisina ja noudattavan aikaisempaa tyyliä. Kontrollointiin tarkoitettut syöttöruudut ja painikkeet tehtiin kau-

kolämpökuvaan sekä laitoksen päänäyttöön. Hyötyvoimalaitoksella on ollut tapana tehdä erilliset syöttöruudut sinisellä pohjalla sellaisille arvoille, joiden muuttamista tarvitaan usein ja nopeasti. Syöttöruutujen avulla ei tarvitse avata erillistä piirikkunaa. Honeywellin järjestelmässä näyttöjen muokkaaminen käy helposti ja kuvat tallennetaan web-sivuina. Kun jokin ominaisuus on valittu, niin käytetään tehosteväriä vihreää. Kuvassa 7 on esitetty vastapainesäädön ohjauselementit kaukolämmön näyttökuvassa. Kuvassa käy operaattoreille ilmi sen liittyminen kaukolämmön tehosäätöön.



Kuva 7 Vastapainesäädön ohjauselementit kaukolämpökuvassa Hyötyvoimalaitoksen ohjausjärjestelmässä.

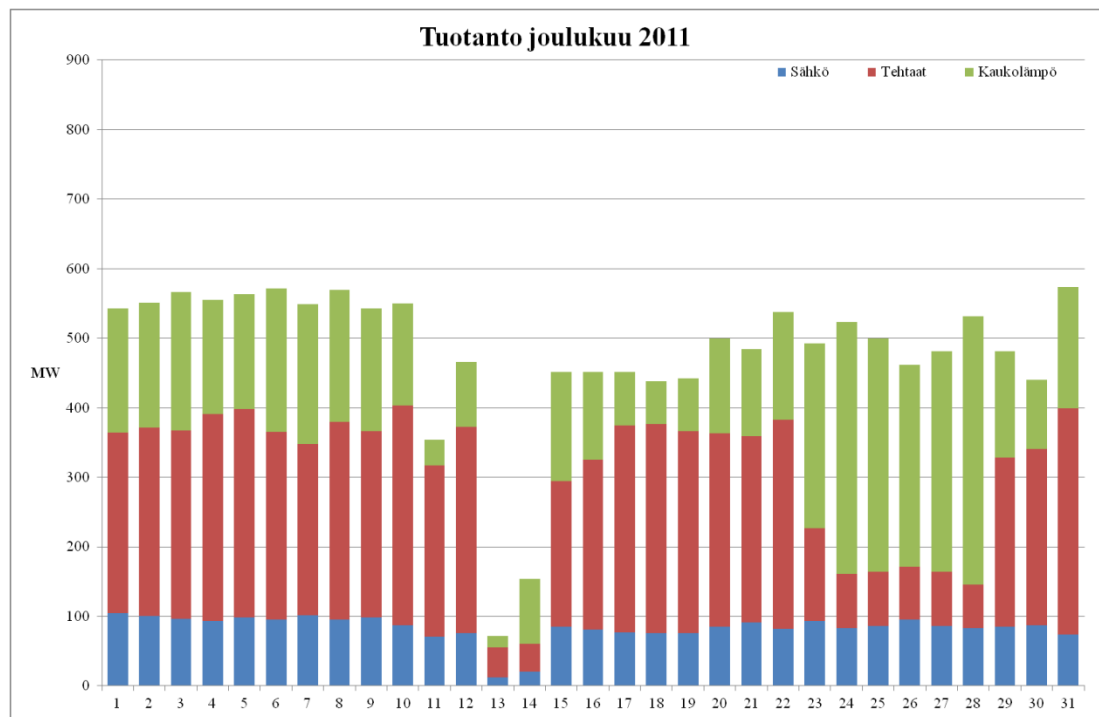
7 TULOKSET

Sonoco Alcore on tehostanut toimintaansa parissa vuodessa merkittävästi ja lauhteenkäsittelyn parantamisella on saatu merkittävästi säästöjä omakäyttöhöyryjen määrässä. Nämä ovat kuitenkin niin ikään pakollisia kulutuskohteita ja vastapainesäätö tehtiin optimoimaan ylijäävän höyryn jakoa. Sen vaikutukset höyrynjakoon nähtiin heti, kun säädin otettiin käyttöön maaliskuussa 2012. Tehollinen höyrynjako on esitetty liitteessä 5 tuntikeskiarvoina.

<i>Tuote</i>	<i>Keskiarvo ennen (MW)</i>	<i>Keskiarvo jälkeen (MW)</i>
<i>Tehdashöyry</i>	<i>12,1</i>	<i>11,4</i>
<i>Kaukolämpö</i>	<i>5,9</i>	<i>9,1</i>
<i>Sähkö</i>	<i>3,9</i>	<i>3,7</i>

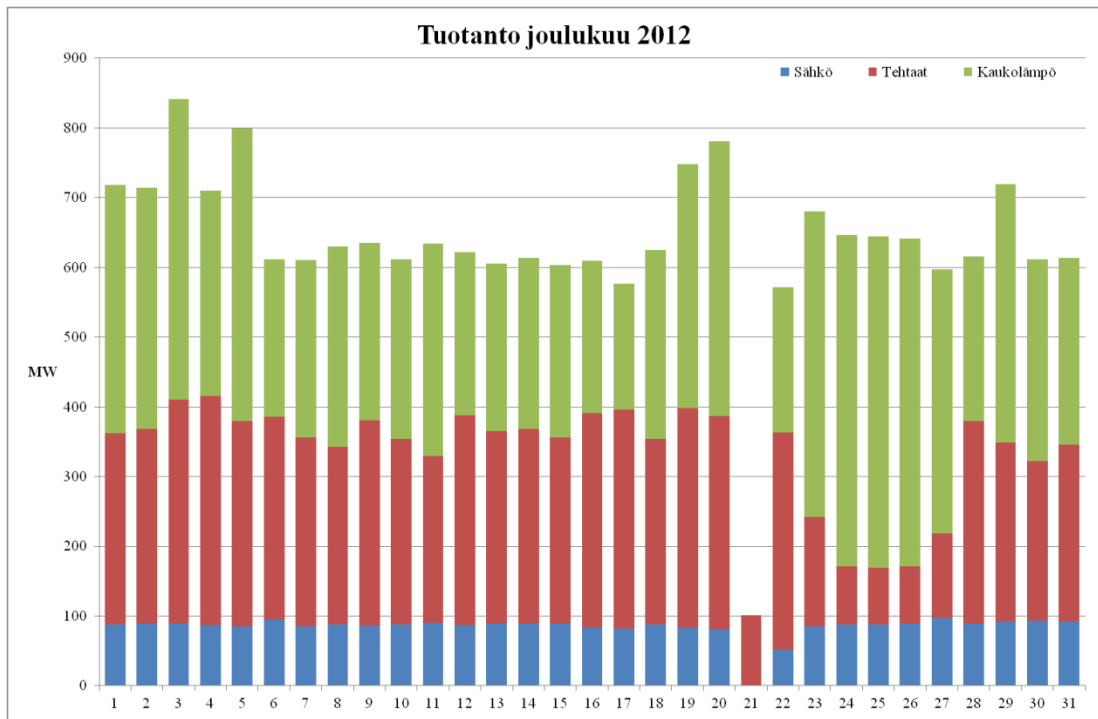
Taulukko 5 Keskiarvot ennen ja jälkeen vastapainesäädön käyttöönoton

Taulukossa viisi on havainnollistettu muutosta keskiarvoina. Sähkön tuotannon väheneminen ei ole nykyisellä hintatasolla eikä tehomäärillä merkittävä, sillä kokemuksen perusteella yksi megawatti lauhdesähköä vastaa noin kolmea megawattia kaukolämpöä.

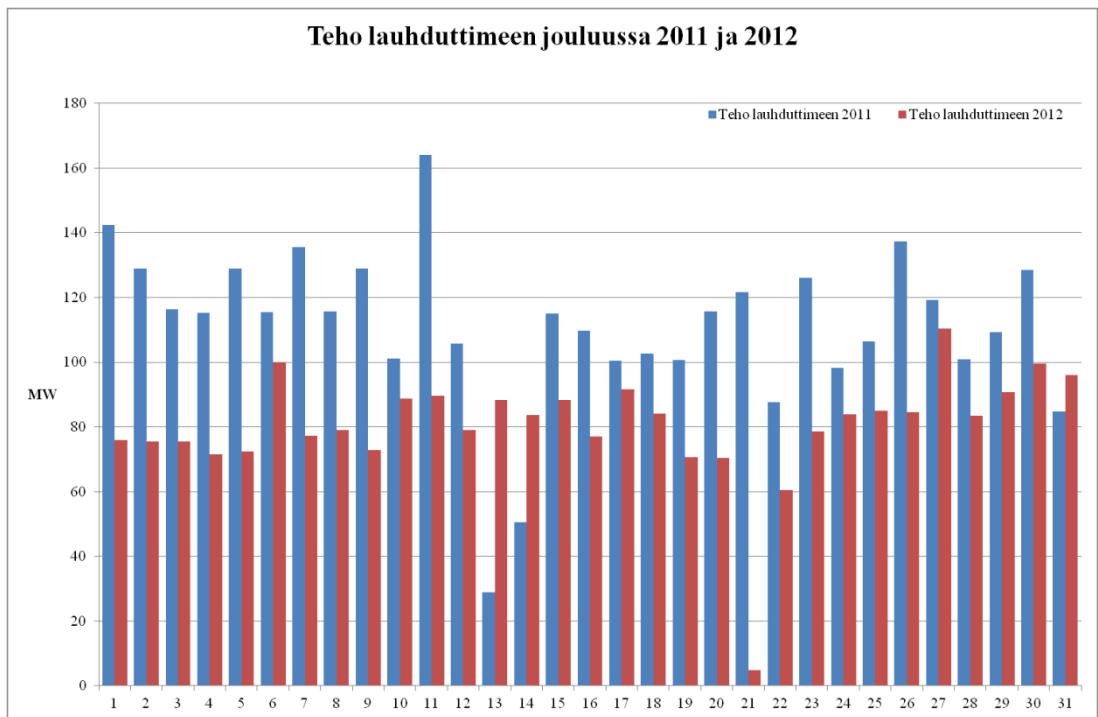


Kuva 8 Hyötyvoimalaitoksen tuotanto joulukuu 2011

Kuvissa 8 ja 9 on vertailtu Hyötyvoimalaitoksen tuotantoa joulukuussa 2011 ja 2012. Molempina vuosina voimalaitoksella sattui reilun vuorokauden mittainen häiriöseisäkki. Lisäksi tehdashöyryn tuotantoa on jouduttu tukemaan molempina vuosina jonkin verran apukattiloilla. Kaukolämmöntuotannon päiväkeskiarvo on kasvanut 166,9 MW:sta 295,6 MW:iin, mutta säätimen toiminnan kannalta oleellisempi mittari on lauhduttimeen ajetun tehon määrä, jonka päiväkeskiarvo on pudonnut 108,4 MW:sta 77,3 MW:iin, jolloin vähennystä on ollut lähes 29 %. Lauhduttimeen ajetun tehon kehitystä on havainnollistettu kuvassa 10.



Kuva 9 Hyötyvoimalaitoksen tuotanto joulukuussa 2012



Kuva 10 Lauhduttimeen ajettun tehon määrä joulukuussa 2011 ja 2012.

Vuosi 2012 oli Hyötyvoimalaitokselle erittäin hyvä. Kaukolämpöä voimalaitos tuotti yhteensä 61,6 GWh kun vuonna 2011 tuotettu määrä oli 37,3 GWh, jolloin tuotanto on kasvanut 24,3 GWh. Tällainen lisäys tarkoittaa satojen tuhansien eurojen lisäystä Hyötyvoimalaitoksen tuloksessa ja epäsuorasti kymmenien tuhansien eurojen säästöjä koko yhtiön polttoainekustannuksissa. Vastaavasti Kymijokeen ajettu lämpökuorma on vähentynyt: vuonna 2011 se oli 64,7 GWh ja vuonna 2012 48,7 GWh.

7.1 Vaikutukset prosesseihin

Vastapainesäätöä kehitettiin maaliskuusta 2012 aina joulukuulle asti, eikä kaikkia ominaisuuksia ehditty testaamaan tätä työtä varten venttiilirikon vuoksi. Valmis säädin on kuitenkin osa päivittäistä toimintaa ja käyttöhenkilöstö on omaksunut sen toiminnan hyvin. Kun tehoalueeksi on valittu tilanteeseen sopivaksi, ei säädön toimintaan tarvitse juurikaan puuttua. Säädin ei ole aiheuttanut prosessihäiriöitä kartonkitehtaalle.

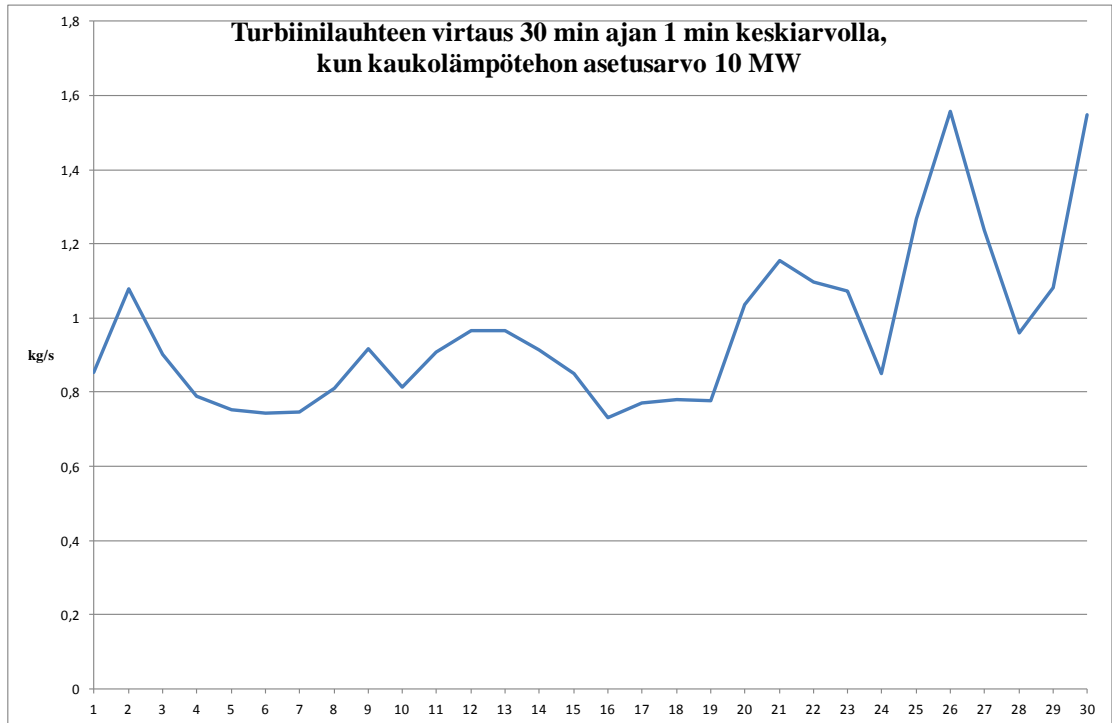
Hyötyvoimalaitoksen kaukolämpötehon nousu on vähentänyt polttoainekustannuksia niin Hovinsaaren voimalaitoksella kuin kaukolämpökeskuksilla, kun taas toisaalta vastapainesäädön aiheuttama virtausten muuttuminen tarvitsee Hovinsaaren voimalaitoksen operaattoreilta enemmän huomiota. Ajomallien selvitystä ja tuotannon kehittämistä tullaan jatkamaan Karhulan biolämpökeskuksen käyttöönoton myötä ja Hyötyvoimalaitoksen merkitys kaukolämpöverkolle tulee kasvamaan tulevaisuudessa kun kaukolämpöverkkoa aiotaan laajentaa Ristinkallion alueelle.

7.2 Kaukolämpöakun konsepti

Vastapainesäädöllä ajettaessa kaukolämpöveden virtaus heittelee verkon lämpötiloista riippuen noin 10 kg/s. Joissakin tilanteissa virtaus vähenee äkillisesti siten, että Hovinsaaren lauhduttimen paine saattaa nousta ja voimalaitos joutuu ottamaan kaukolämpöveden lisäjähdytyksen käyttöön. Ideaalinen tilanne olisi, että Hyötyvoimalaitos pystyisi tasaiseen kaukolämpötuotantoon puhtaassa vastapaineajossa, mutta se ei ole jätteenpolttolaitokselle mahdollista. Kuorma täytyy tasata ja tähän mennessä tasauksen on hoitanut matalapaineturbiini ja jokivesilauhdutin.

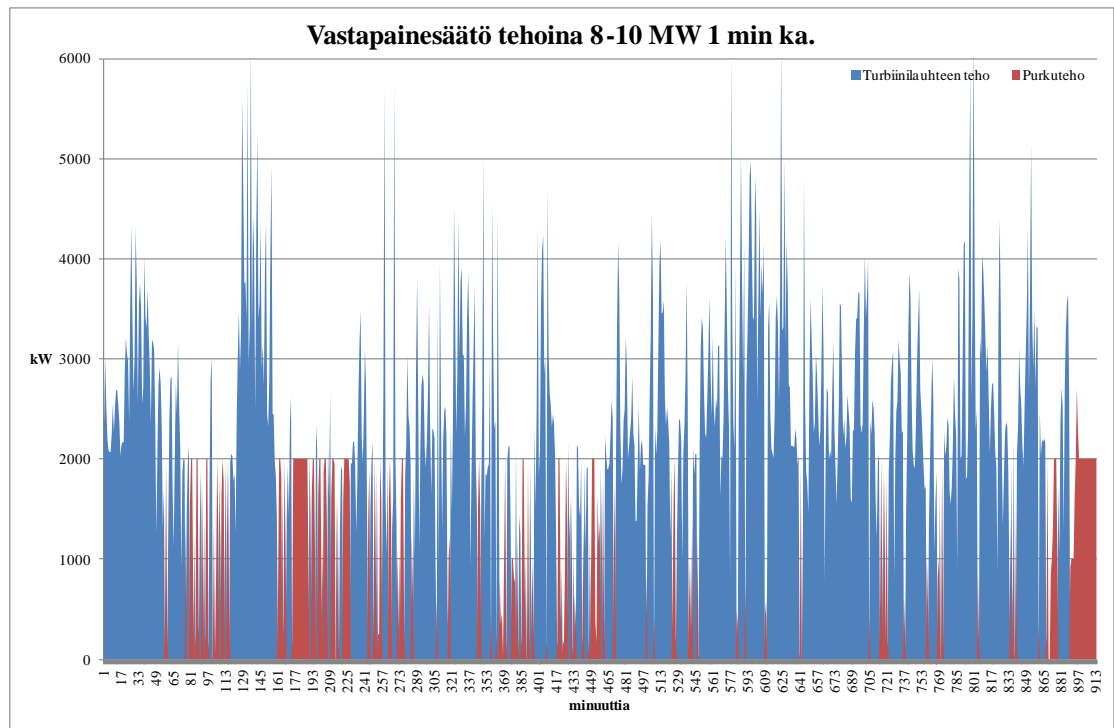
Hyötyvoimalaitoksen kattilan tuottaessa hyvin ja kaukolämpötehon ollessa ylemmässä asetusarvossaan ajetaan pieniä määriä matalapainehöyryä matalapaineturbiiniin, jolla

ei ole sähköntuotannon kannalta merkittävää vaikutusta. Vastapainesäätöä testattiin marraskuussa 2012 tehoalueella 8-10 MW, joka on sopiva tehoalue, kun kartonkitehdas käy täydellä teholla ja kattilan höyryvirtaus huojuu normaalilla alueella. Turbiinilauhteen virtauksesta otettiin 30 minuutin otanta, milloin kaukolämpöteho on ollut ylempässä asetusarvossaan eli 10 MW. 30 minuutin jaksolla virtauksen keskiarvo on 0,97 kg/s. Tarkastelujakso on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Turbiinilauhteen virtaus kaukolämpötehon asetusarvon ollessa 10 MW.

Matalapainehöyryn ollessa paineen 6,8 baaria ja lämpötilan 173 °C, saadaan höyryn entalpiaksi eli lämpösisällöksi 2784 kJ/kg. Tällöin 1 kg/s matalapainehöyryä vastaa 2785 kilowattia. Vastapainesäädön käyttäytymistä tarkasteltiin olettamuksella, että turbiinilauhteen virtaus on sama kuin matalapaineturbiinille menevän höyryn virtaus ja höyry voitaisiin ottaa samana määränä matalapainepuolelle samalla entalpialla. Testiajasta otettiin pisin otanta, jolloin tehoalueena on käytetty 8-10 MW:n tehoa. Jakson pituus oli 914 minuuttia ja säädön käyttäytymistä on havainnollistettu kuvassa 11. Kuvassa purkuteholla tarkoitetaan sitä tehoa, mikä olisi vaadittu kaukolämpötehon ylempään asetusarvoon pääsemiseksi.



Kuva 12 Vastapainesäädön käyttäytyminen 8-10 MW:n tehoilla.

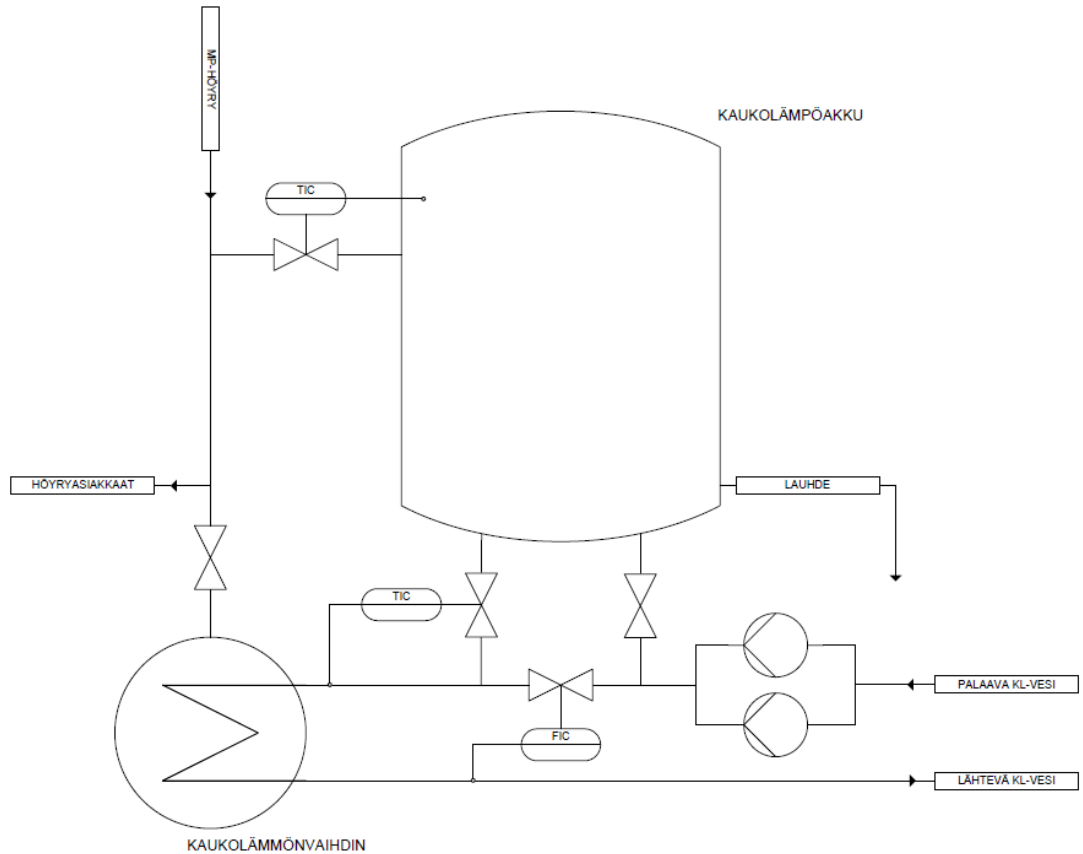
Turbiinilauhteen tehon summaksi ajanjaksolla tuli 29 217 kW ja purkutehon vastaavasti 4196 kW. Lauheajoa esiintyi 678 minuuttia ja purkuaikaa vastaavasti 237 minuuttia. Hyötyvoimalaitokseen voitaisiinkin harkita eräänlaista prosessin sisäistä lämpövarastoa, jonka tarkoituksena olisi tasata kaukolämmön tehon vaihtelut. Tällaiseksi varastoksi sopisi kaukolämpöakku.

Suomessa kaukolämpövarastot ovat pääasiassa maanpinnalle rakennettuja terässäiliöitä. Akkujen tilavuus vaihtelee suuresti: pienin kaukolämpöakku on tilavuudeltaan 200 m³ ja kapasiteetti 9 MWh, kun taas suurimman tilavuus on 26 000 m³ ja kapasiteetti 1400 MWh. Kaukolämpöakkuja käytetään lämmön varastointiin silloin, kun sähkön hinta on korkealla ja kaukolämmön kulutus heikkoa. Tällainen kytkentä soveltuu esimerkiksi kaasuturbiinin kanssa käytettäväksi. (11.)

7.2.1 Toimintaperiaate

Hyötyvoimalaitoksen kaukolämpöakku eroaisi Suomeen rakennetuista erityisesti erittäin pienen kokonsa vuoksi, sillä sen tarkoitus olisi purkaa lyhyitä aikoja pienellä teholla. Toisekseen sitä ei ladattaisi kerralla täyteen, vaan latausaika ja teho riippuisi voimalaitoksen muusta prosessista. Akku kytkettäisiin kaukolämmön paluulinjaan jos-

sa lämmitettäisiin aikaisemmin matalapaineturbiiniin menneellä matalapainehöyryllä menoveden lämpöiseksi. Jos matalapainehöyryn paine tehtaalla putoaa, purettaisiin akusta lämmitettyä vettä. Paineen palautuessa asetusrvoonsa kierrätettäisiin kaukolämpövettä normaalia reittiä pitkin kaukolämmönvaihtimelle ja akkua aletaan ladataan. Havainnollistava PI-kaavio eli prosessi- ja instrumentointikaavio on esitetty kuvassa 12.



Kuva 13 Hahmotelma kaukolämpöakun kytkennästä

7.2.2 Akun mitoitus

Kaukolämpöakun koko voidaan laskea kaavasta

$$E = m \cdot c_p \cdot \Delta T \Leftrightarrow m = \frac{E}{c_p \cdot \Delta T} \quad (2)$$

$E = \text{Varastoitu energia [MWh]}$

$$m = \text{Varaajan vesimäärä [kg]}$$

$$\Delta T = \text{Palaavan ja lähtevän KL-veden lämpötilaero [°C]}$$

$$c_p = \text{veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/kg°C}$$

(12, 58)

Palaavan ja lähtevän kaukolämpöveden lämpötilaero lämmityskaudella on maksimissaan noin 60 °C. Vastapainesäätöä on suunniteltu käytettäväksi siten, että kaukolämpötehon asetusarvo heiluu kahden megawatin verran. Akulla on kuitenkin hyvä olla hieman ylikapasiteettia, joten varaudutaan kolmen megawatin heittelyihin. Kaukolämpöakku halutaan purkaa vain lyhyitä aikoja, joten akku voidaan mitoittaa tunnin purkuajalle. Akun kapasiteetiksi valitaan:

$$E = P \cdot t = 3 \text{ MW} \cdot 1 \text{ h} = 3 \text{ MWh}$$

Näin ollen tarvittava vesimäärä on:

$$m = \frac{3 \text{ MWh} \cdot 1000 \text{ kW/MW} \cdot 3600 \text{ s/h}}{4,2 \text{ kJ/kg°C} \cdot 60 \text{ °C}} = 42\,857 \text{ kg} = 43 \text{ m}^3$$

7.2.3 Investoinnin kannattavuus

Kaukolämpöakku ajateltaessa investointina mahdollinen saatu tehomäärä 2 - 3 MW kuulostaa pieneltä. Toisaalta voimalaitoksen höyrytehoon 34 MW nähden se on jo 8 % kokonaistehosta. Kaukolämpöakun tuomasta tehon stabiloinnista saattaa olla merkittäviäkin hyötyjä tilanteessa, jossa maakaasu- tai öljykäyttöisen lämpökeskuksen käyttöönoton välttäminen tarvitsisi vain vakaan virtauksen.

Kaukolämpöakun koko on pieni, joten säiliö itsessään ei olisi kovinkaan kallis, mutta automaatio, putkistot ja venttiilit tuovat lisää kustannuksia. Sen lisäksi säiliön perusteiden rakentaminen saattaa muodostua kalliiksi, koska voimalaitosalue on pääasiassa savimaata. Näin pienen kaukolämpöakun sijasta voitaisiin harkita myös höyryakku. Höyryakun etu on, että ylimääräinen energia voidaan varastoida sellaisenaan matalapainehöyryinä. Haittana on kuitenkin hankalat mitoitusperusteet, sillä höyryakun olles-

sa paineastia ja kokoon nähden kaukolämpöäkkua kalliimpi, ei ylikapasiteettia voida juuri rakentaa. Kattilan tuottaessa hyvin pitkiä aikoja ei siis saataisiinkaan tuotettua energiaa talteen. Kaukolämpökalla ongelma voitaisiin kompensoida varaamalla ylikapasiteettia joko säiliön tilavuudella tai veden lämpötilan nostolla.

8 YHTEENVETO

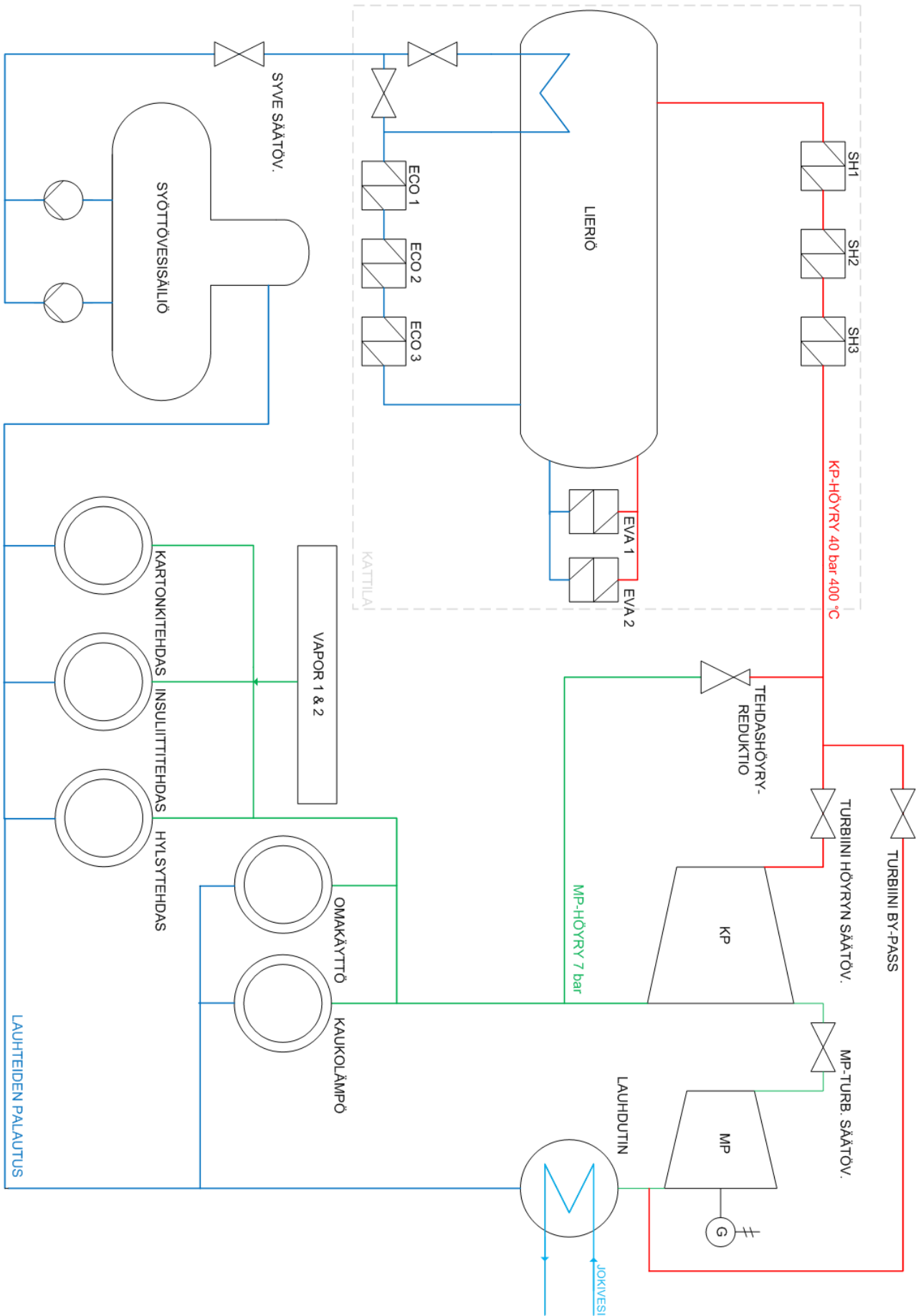
Opinnäytetyöni tarkoituksena oli kehittää Hyötyvoimalaitoksen höyrynjakoa muodostamalla jätteenpolttoprosessia seuraava kaukolämmön tehosäätö. Työhön kuului säädön suunnittelu, dokumentointi ja tulosten raportoiminen. Tärkeimpänä tavoitteena oli lauhdesähkön ajamisen vähentäminen ja kaukolämpötehon maksimointi.

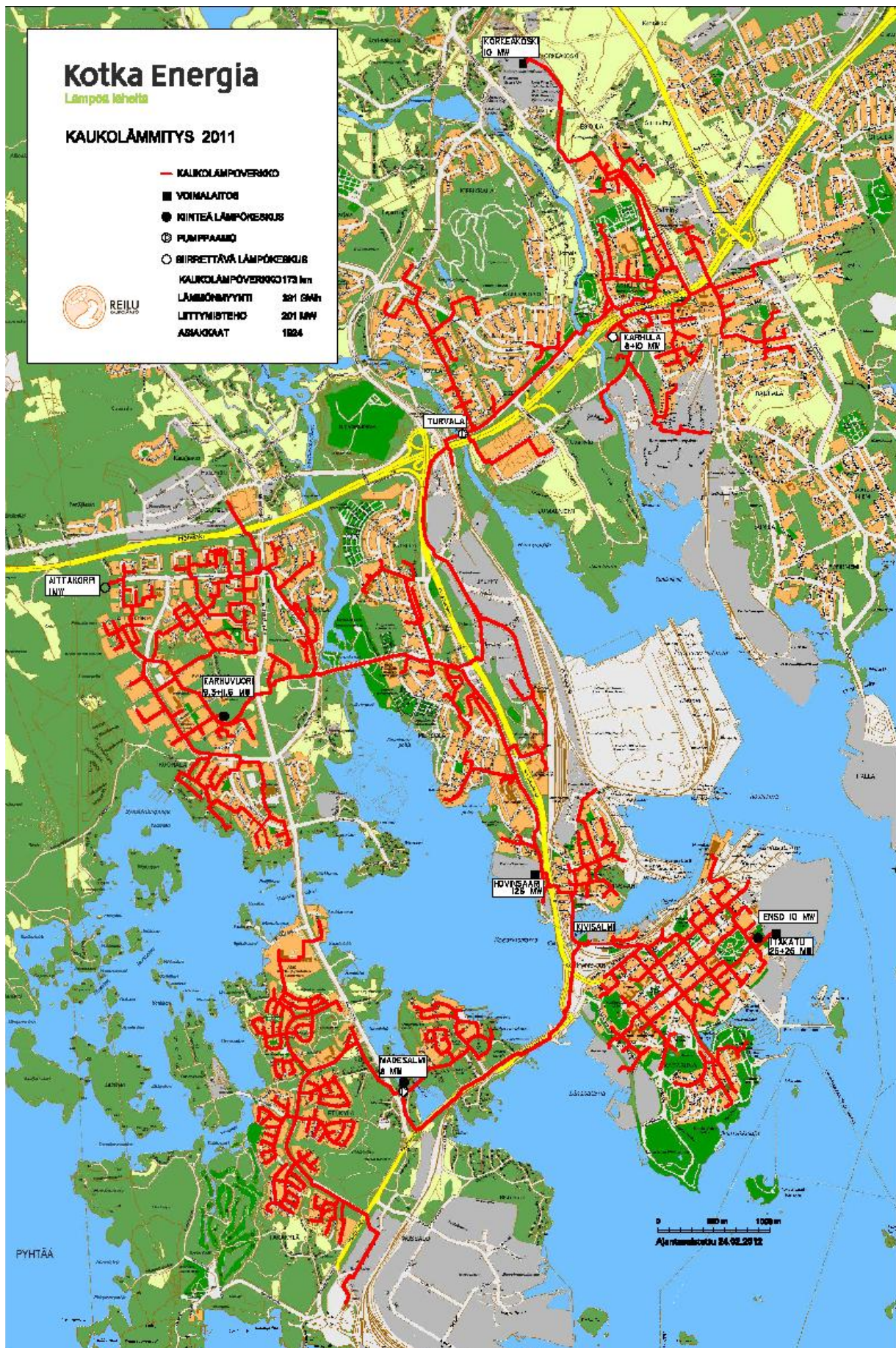
Työn aikana perehdyin Hyötyvoimalaitoksen höyrynjaon ja kaukolämpöverkon toimintaan sekä Hovinsaaren voimalaitoksen prosessiin. Säädin suunniteltiin seuraamaan Hyötyvoimalaitoksen jätteenpolttoprosessia ja turvaamaan katkeamaton höyryn toimitus Sonoco-Alcore Oy:n kartonkitehtaan prosessiin. Säädön myötä kaukolämpötehoilla on tullut kasvua noin 40 %, joka vaikuttaa suoraan Hyötyvoimalaitoksen tuottavuuteen ja epäsuorasti koko kaukolämpötuotannon kustannuksiin vähentäen polttoainekustannuksia niin Hovinsaaren voimalaitoksella kuin kaukolämpökeskuksilla.

Työ saavutti sille asetetut tavoitteet ja kehitti oleellisesti ammatillista osaamistani sekä voimalaitoskäyttäjän tehtävissä että projektityöskentelyssä, sillä lähes vuoden mittainen kehitystyö on nyt osa Hyötyvoimalaitoksen arkipäivää ja ideat ovat muuttuneet toimivaksi kokonaisuudeksi.

LÄHTEET

1. Kotkan Energia Oy. Verkkosivut. Saatavissa:
<http://www.kotkanenergia.fi> [luettu 5.10.2012]
2. Kotkan Energia Oy. 2012. Esittelykalvot. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei saatavissa.
3. Kotkan Energia Oy. 2012. Hyötyvoimalaitoksen ympäristöraportti 2011. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei saatavissa.
4. Keppel Seghers. 2008. Hyötyvoimalaitoksen käyttäjien koulutusmateriaali. Kotkan Energian sisäinen materiaali, ei saatavissa.
5. Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P. ja Pakkanen H. 1994. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Painatuskeskus Oy
6. ÅF-Enprima Oy. 2008. Hyötyvoimalaitoksen ajotapakuvaus. Tekninen dokumentti, ei saatavissa.
7. Energiateollisuus Ry. Verkkosivut. Kaukolämmityksen esittely. Saatavissa:
<http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys> [luettu 18.10.2012]
8. ÅF-Enprima Oy. 2008. Hyötyvoimalaitoksen kaukolämpöjärjestelmän kuvaus. Tekninen dokumentti, ei saatavissa.
9. Kotkan Energia Oy. 2006. Ympäristölupa Nro A 1146
10. Mäkelä, Merja. 2011. Ohjelmoitavat logiikkajärjestelmät. Opintomateriaali. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. [Viitattu 15.11.2012]
11. Alanen, Koljonen, Hukari, Saari. 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf> [Luettu 14.12.2012]
12. Huhtinen M., Korhonen R., Pimiä T. ja Urpalainen S. 2008. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.





VASTAPAINESÄÄTÖ 10NDA10DQ002

Toiminta ja tarkoitus

Säätimen tarkoituksena on minimoida laitoksen lauhdeajoa ja pakottaa tuotettu höyry kaukolämmöksi pitämällä matalapaineturbiinin säätöventtiili kiinni. Säätö on tarkoitettu talvikaudelle, kun kaukolämmöllä on kulutusta tai Hovinsaaren voimalaitos ei ole käytössä.

Kun vastapaineajo valitaan, niin kaukolämmön tehosäätö 10NDA10DQ001 menee kaskadille. Vastapainesäädöllä on ylempi ja alempi asetusarvo, joista ylempi tuodaan Hovinsaarelta. Kaukolämpötehon muutos tulee kuitata, jotta säädin ottaa sen asetusarvokseen. Jos jokin lukitus aktivoituu, niin säätö valitsee kaukolämpötehon asetusarvoksi alemman asetusarvon. Jos lukituksia ei ole vaikuttuneina niin säätö nostaa kaukolämpöä ylempään asetusarvoon asti. Tämän jälkeen höyryä aletaan ajamaan matalapaineturbiiniin. Kaukolämpötehon asetusarvojen välinä tulee pitää korkeintaan 2 MW jotta virtaus ei heittele liiaksi. Jos välioton sulkuventtiili menee kiinni, kytkeytyy vastapainesäätö pois päältä.

Kaukolämmön huipputehon aikana voidaan kaukolämpöä tuottaa ohi turbiinin ohittamalla tehdashöyryreduktion ja turbiinivälioton lukitukset valitsemalla KL-maksimointi. KL-maksimointi sallii tehdashöyryreduktion avautumisen ja tehoa rajoitetaan jos tehdashöyryn paine putoaa tai turbiinin höyrynsäätöventtiili on 50 % auki. Säätö jää voimaan, jos turbiinivälioton sulkuventtiili menee kiinni.

Jos turbiini ei ole käytössä, niin vastapainesäädön ominaisuuksia voidaan käyttää valitsemalla Ohita turbiini. KL-tehoa kasvatetaan ylempään asetusarvoon asti ja rajoiteitaan, jos tehdashöyryn paine putoaa.

Lukitukset

- Säädintä ei voi valita, mikäli turbiinivälioton sulkuventtiili 10LBD20AA101 on kiinni
- Jos välioton sulkuventtiili 10LBD20AA101 menee kiinni, niin vastapainesäädin kytkeytyy pois (KL-maksimointi ja Ohita turbiini ohittaa tämän lukituksen)

- Kaukolämpötehon rajoitus, kun vastapainesäätö valittu
 - turbiinin höyrynsäätöventtiilin 10MAA20AA001 asento 50 %
 - Hovinsaaren lauhduttimen paine 3MAG10CP010 on 0,98 bar
 - Tehdashöyryn paine 10LBF20CP003
 - Tehdashöyryreduktioventtiili 10LBF10AA001 on yli 1 % auki

- Kaukolämpötehon rajoitus, kun KL-maksimointi valittu
 - turbiinin höyrynsäätöventtiilin 10MAA20AA001 asento 50 %
 - Hovinsaaren lauhduttimen paine 3MAG10CP010 on 0,98 bar
 - Tehdashöyryn paine 10LBF20CP003

- Kaukolämpötehon rajoitus, kun Ohita turbiini valittu
 - Tehdashöyryn paine 10LBF20CP003
 - Hovinsaaren lauhduttimen paine 3MAG10CP010 on 0,98 bar

- KL-teho jäädytetään sen hetkiseen tilaan, jos
 - Häiriö Hovinsaaren linkissä
 - Turbomach OPC-yhteysvika TM_WD

Mittaukset ja tiedot (Nimi, normaali arvo, positio)

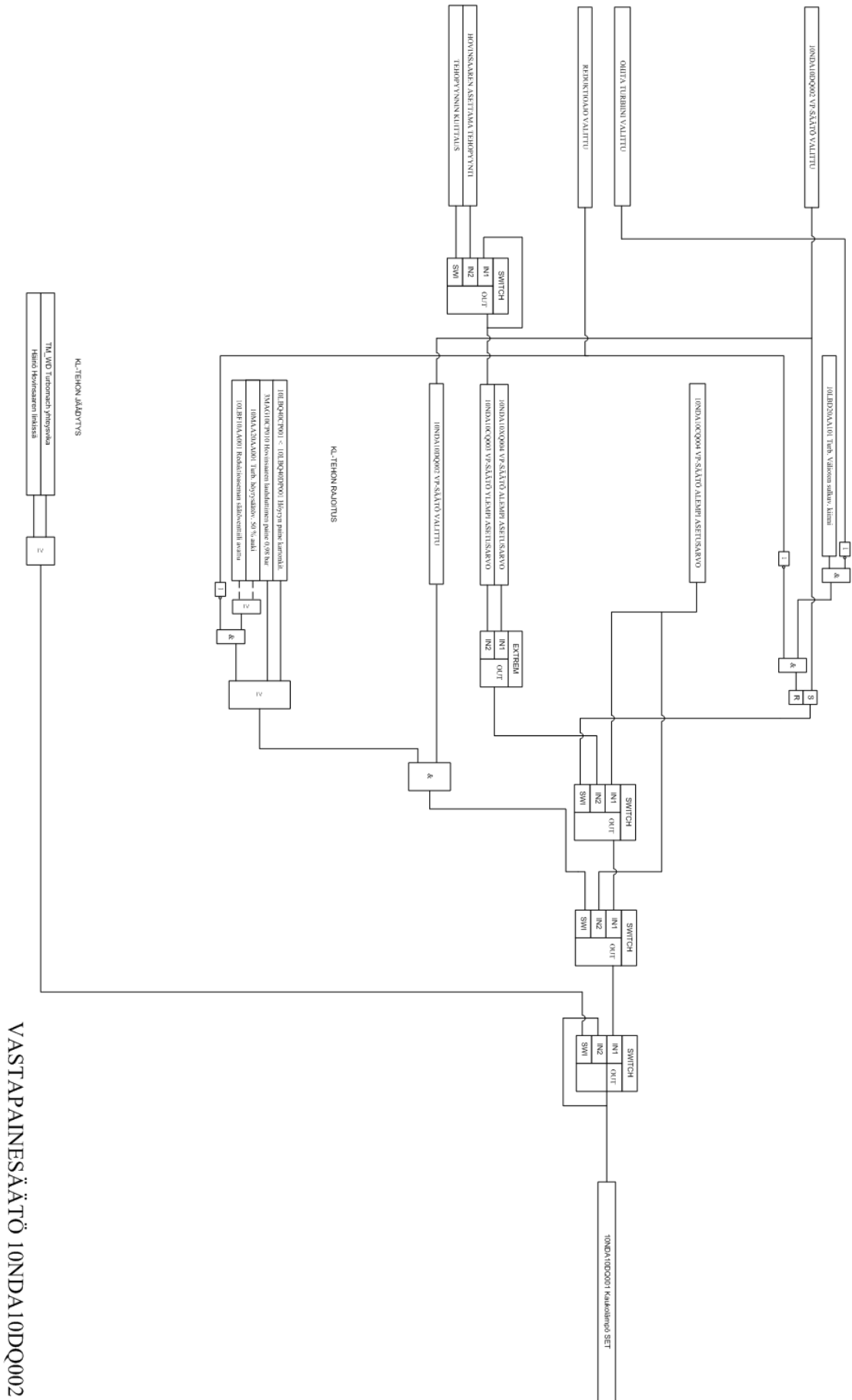
Turbiinivälioton sulkuventtiili	auki	10LBD20AA101
Tehdashöyryn paine	6,5 bar	10LBQ40CP001
Turbiinin höyrynsäätöventtiilin asento	min 50 %	10MAA20CG003
MP-turbiinin säätöventtiilin asento	0 %	10MAA30CG001
Hovinsaari KL-pyynti	2-20MW	10NDA10CQ003
KL-teho (mittaus)	0-20 MW	10NDA10CQ902
KL-teho asetusarvo	2-20MW	10NDA10DQ001
Hovinsaari lauhduttimen paine	max 0,98 bar	3MAG10CP010
Kartonkitehdas Massapumppu käy	-	10XS-0657
Häiriö Hovinsaaren linkissä -		
Turbomach OPC-yhteysvika -	TM_WD	

Liittyvät piirit ja linkit

Näyttö D1 Kattila

Näyttö D2 Turbiini

Näyttö D3 Kaukolämpö



VASTAPAINESÄÄTÖ 10NDA10DQ002

