

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Energiatekniikan koulutusohjelma/käyttö ja käynnissäpito

Virve Palovaara

VOIMALAITOKSEN ENERGIATALOUDEN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö 2012

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Energiatekniikan koulutusohjelma

VIRVE PALOVAARA	Voimalaitoksen energiatalouden optimointi
Opinnäytetyö	55 sivua + 3 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Risto Korhonen
Toimeksiantaja	KOTKAMILLS, Laminating Papers Oy
Maaliskuu 2012	
Avainsanat	energiatalous, taloudellisuus, soodakattila, mustalipeä, maakaasu, CHP

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida voimalaitoksen energiataloutta erityisesti kehittämällä voimalaitoksen ajotapaa taloudellisemmaksi. Työn tuloksena toivottiin maakaasun tilausteholle löytyvän optimiarvo.

Maakaasun käytön suuruuteen kombivoimalaitoksella vaikuttaa tehtaan höyryntarve sekä soodakattilalla poltettavan lipeän määrä. Opinnäytetyössä on selvitetty lipeän polton suuruuteen vaikuttavat tekijät sekä kaikki tehtaan höyryn kulutuskohteet. Lähemmin niistä on otettu tarkasteluun suurimmat ja eniten vaihtelevat kulutukset.

Voimalaitoksen ajotavan kehittämiseksi on työn alussa perehdytty nykyisiin ajotapoihin. Ajotapa ja osaaminen huomattiin operaattoreiden kesken olevan hyvin vaihtelevaa. Jokaisen operaattorin pyrkiessä ajamaan laitosta taloudellisesti sekä tehtaan suorittaessa tarvittaessa maakaasu kauppaa pörssissä, saadaan voimalaitoksen toiminta helposti kannattavammaksi. Opinnäytetyössä on käsitelty asiat, jotka voimalaitoksen operaattorin on otettava huomioon kannattavan toiminnan aikaansaamiseksi. Kannattavuutta saataisiin lisättyä myös parantamalla osastojen välistä yhteistyötä.

Tehtaan maakaasun käytön laskemiseksi on kehitetty laskentapohja exceliin. Laskentaohjelman toimivuutta on testattu ja se on osoittautunut melko tarkaksi. Ohjelmaa on käytetty hyväksi myös maakaasun tilaustehon optimoinnissa. Tilaustehon optimoimiseksi on kaikista höyrynkulutuksista selvitetty keskiarvot kesällä ja talvella.

Laskelmien ja edellisen vuoden trendien perusteella maakaasun tilaustehoa olisi mahdollisuus tiputtaa nykyisestä noin 5–6 MW. Talvella kulutus nousee kesän kulutukseen nähden useamman kymmenen MW riippuen pakkasasteista.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kymenlaakso University of Applied Sciences

Energy Engineering

PALOVAARA, VIRVE

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

March 2012

Keywords

Optimization of the Energy Economics of a Power Plant

55 pages + 3 pages of appendices

Risto Korhonen, Senior Lecture

KOTKAMILLS, Laminating Papers Oy

energy economics, efficiency, recovery boiler, black liquor, natural gas, CHP

The goal of the thesis work was to optimize the energy efficiency of the power plant by especially improving the way the power plant is run. The desired objective was to find out an optimal requested input power of natural gas.

At the plant the amount of needed natural gas depends on the demand of steam and on the amount of burned lye. All the factors that have an effect on the amount of burned lye and all the objects of steam usage have been explained in the thesis. The largest and the most fluctuating ones have gone through a closer analysis.

The thesis starts off with taking a look at the current ways of running the plant. The way the operators ran the plant was noticed to be very fluctuating. When each operator tries to run the plant efficiently, the cost-effectiveness of the plant is easily improved. The thesis goes through the matters that an operator needs to take into account to improve the efficiency.

The thesis includes an Excel-based computing program that was compiled to calculate different matters regarding natural gas. The program has gone through a testing phase and it turned out to be quite precise. The program has also been used to optimize the requested input power of natural gas. To optimize the requested input power, all the objects of steam use have gone through an analysis to clarify the averages of consumptions during summer and winter. Based on the calculations and on the trend of the previous year, the requested input power of natural gas could be reduced by approximately 5-6 MW. During winter, the consumption rises compared to the summer consumption by several dozen megawatts, depending on the temperature.

## ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli haastavuutensa vuoksi erittäin opettavaista. Tässä vaiheessa työtä onkin helppo sanoa, että olen kiitollinen Kotkamills Oy:lle, ja erityisesti Jani Haukalle, mielenkiintoisesta aiheesta.

Työn tekemisessä on tarvittu monien ihmisten apua ja paljon, joten kiitettävien lista on pitkä. Kaikkia en tässä kohtaa erikseen nimeltä mainitse, mutta yhteisesti iso kiitos kaikille, jotka ovat minun kysymyksiini suostuneet vastaamaan. Heistä erikseen on mainittava operaattori Kalle Kurvinen, vuoromestari Aki Korhonen, Pk1:n käyttöpäällikkö Teemu Ukkola ja kunnossapitomestari Mikko Suortti sekä tietenkin opinnäytetyön ohjaaja, energiapäällikkö, Ari Mikkela. Ilman teidän apua työn tekeminen olisi ollut paljon haastavampaa.

Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puolesta työtä ohjasi lehtori Risto Korhonen, jonka neuvot olivat korvaamattomia. Apua sain myös osaamisalapäälliköltä ja teknii-  
kan lisensiaatilta Markku Huhtiselta. Excel-osuudessa minua auttoi Veikko Vuoksio. Timo Lyytikäisen neuvot laskentakaavojen kehittämisessä jouduttivat myös työn valmistamista.

Lopuksi haluan kiittää vielä avopuolisoani Esa Hildeniä ja opiskelutovereitani taustatuesta.

Kotkassa 9.3.2012

Virve Palovaara

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

## ALKUSANAT

1	JOHDANTO	10
1.1	Kotkamills Oy	10
1.2	Voimalaitos	11
2	MAAKAASU POLTTOAINEENA	12
2.1	Koostumus	12
2.2	Ominaisuuksia	13
2.3	Maakaasun käyttö Kotkamillsillä	14
3	MUSTALIPEÄ POLTTOAINEENA	14
3.1	Kemiallinen koostumus	15
3.2	Ominaisuuksia	16
3.3	Mustalipeän käyttö Kotkamillsillä	16
4	LIPEÄHAIHDUTTAMO	17
5	SOODAKATTILA	18
5.1	Kemikaalien ja lämmön talteenotto	18
5.2	Syöttövesi ja höyrystys	18
5.3	Polttoilma	19
5.4	Savukaasut	19
5.5	Kotkamillsin soodakattila	20
6	KOTKAMILLSSIN LÄMMÖNTALTEENOTTOKATTILA	21
7	MUSTALIPEÄN POLTON SUURUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	22
7.1	Sellutehtaan tuotanto	22
7.2	Lipeähaihduttimien pesut	23
7.3	Suopaus	23
8	HÖYRYN TUOTANTO JA KULUTUSKOHTEET	24

8.1	12 baarin höyry	24
8.2	3 ja 5 baarin höyry	25
8.3	Höyrynkulutuksen vaihteluun vaikuttavat tekijät	26
9	TALOUDELLINEN AJOTAPA	29
10	MAAKAASUN TILAUSTEHON OPTIMOINTI	32
11	SÄHKÖTASE	35
12	EXCEL-LASKENTAOHJELMA	35
12.1	Höyryn kulutus tehtaalla	36
12.1.1	Sellutehdas	36
12.1.2	Paperikone 2 ja TMP	38
12.1.3	Nuohous ja ulospuhallukset	40
12.2	Soodakattila	40
12.3	Kaasuturbiini	43
12.4	Kombikattilan lisäpoltto	46
12.5	Höyryturbiini	49
12.6	Maakaasun kulutus tehtaalla	49
13	KEHITYSMAHDOLLISUUKSIA	50
13.1	Höyryakku	50
13.2	Soodakattilan nuohouksen optimointi	51
13.3	Paperikoneiden ajojen seuranta	51
13.4	Laskenta-ohjelman parantelu	51
14	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	
	Liite 1. Excel laskentaohjelma	
	Liite 2. Excel laskentaohjelma	
	Liite 3. Excel laskentaohjelma	

## MERKIT, LYHENTEET JA TERMIT

TMP	thermo mechanical pulp
PK	paperikone
KL	kuitulinja
M	mega
k	kilo
W	watti
MWh	megawattitunti
$Q$	maakaasun ostoteho [MW]
$t$	aika [min]
$\eta_{sooda}$	soodakattilan höyryntuotannon hyötysuhde
$\phi_{hyöty}$	soodakattilalta hyödyksi saatu lämpövirta [kW]
$\phi_{tuotu}$	soodakattilaan tuotu energiavirta [kW]
$m_1$	soodakattilan höyryn virtaus [kg/s]
$h_1$	soodakattilan tuorehöyryn entalpia [kJ/kg]
$h_2$	soodakattilan syöttöveden entalpia [kJ/kg]
$m_{11}$	polttolipeän virtaus kattilaan [l/s]
$\rho_1$	polttolipeän tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]
$H_{uml}$	polttolipeän lämpöarvo [MJ/kg]
$P_1$	Kaasuturbiinin polttoaineteho [MW]
$m_{12}$	maakaasun virtaus kaasuturbiinille [Nm <sup>3</sup> /s]
$H_{umk}$	maakaasun lämpöarvo [MJ/Nm <sup>3</sup> ]

$P_{11}$	kaasuturbiini sähköteho [MW]
$P_2$	korkeapainepiirin teho [kW]
$m_2$	korkeapainehöyryn virtaus [kg/s]
$h_3$	korkeapainehöyryn entalpia [kJ/kg]
$h_4$	korkeapaine syöttöveden entalpia [kJ/kg]
$P_3$	matalapainepiirin teho [kW]
$m_3$	matalapainehöyryn virtaus [kg/s]
$h_5$	matalapainehöyryn entalpia [kJ/kg]
$h_6$	matalapaine syöttöveden entalpia [kJ/kg]
$PK_\eta$	kaasuturbiini polttoainetehosta korkeapainepiiriin siirtyvä osuus
$PM_\eta$	kaasuturbiini polttoainetehosta matalapainepiiriin siirtyvä osuus
$P_4$	lisäpolton teho [MW]
$m_{tarve}$	lisäpoltolla tuotettavan höyryn määrä [kg/s]
$m_4$	matalapainehöyryn väheneminen maksimi lisäpoltolla [kg/s]
$m_5$	korkeapainehöyryn lisääntyminen maksimi lisäpoltolla [kg/s]
$m_{13}$	maakaasun virtaus lisäpolttimille [Nm <sup>3</sup> /s]
$m_6$	lisäpoltolla saatu muutos korkeapaine höyrystykseen [kg/s]
$m_7$	lisäpolton aiheuttama muutos matalapaine höyrystykseen [kg/s]
$P_{12}$	höyryturbiinin sähköteho [MW]
$m_{10}$	korkeapainehöyryn virtaus turbiinille [kg/s]
$h_7$	korkeapainehöyryn entalpia [kJ/kg]
$m_8$	väliottohöyryn virtaus [kg/s]



$h_8$	väliottohöyryn entalpia [kJ/kg]
$m_9$	vastapainehöyryn virtaus [kg/s]
$h_9$	vastapainehöyryn entalpia [kJ/kg]

## 1 JOHDANTO

Maakaasun verotuksen kiristyminen ja näin ollen hinnan nousu on aiheuttanut tehtailla entistä suuremman tarpeen optimoida maakaasun käyttöä. Kotkamills Oy:n Kotkan tehdas käyttää vuodessa yli 1000 GWh maakaasua. Tässä opinnäytetyössä on selvitetty keinoja maakaasun käytön vähentämiseksi.

Höyryn kulutus ja siitä aiheutuva maakaasun kulutus vaihtelee tehtaalla suuresti. Voimalaitoksen operaattori pystyy omalla toiminnallaan vaikuttamaan maakaasun käytön heilahduksiin. Tämän työn tavoitteena on selvittää keinot, joilla voimalaitoksen operaattorit pystyvät työssään vaikuttamaan tehtaan taloudelliseen toimintaan. Toinen päämäärä opinnäytetyössä on löytää optimaalinen arvo maakaasun tilausteholle.

### 1.1 Kotkamills Oy

Kotkamills Oy on suomalainen metsäteollisuusyhtiö, joka on erikoistunut laminaattipapereiden, päällystetyn painopaperin ja sahatuotteiden valmistukseen. Kotkamills Oy:llä on kaksi tuotantoyksikköä Suomessa toinen Kotkassa ja toinen Imatran Tainionkoskella. Lisäksi yrityksellä on tytäryhtiö L.P. Pacific Films Sdn. Bhd. Malesiasa. (1.)

Kotkansaaren tehtaalla toimii saha, paperitehdas ja jatkojalostuslaitokset. Kotkamills Oy:n yhteenlaskettu paperimassa kapasiteetti on noin 400 000 tonnia, josta Kotkassa valmistetaan noin 370 000 tonnia. Sahan sahauskapasiteetti on 230 000 m<sup>3</sup>/a. Kotkan tehdas on energiaomavarainen. Kotkamills Oy työllistää vakituisesti n. 550 henkilöä, joista n. 470 työskentelee Kotkassa. Loput 80 jakautuu tasan Tainionkosken ja Malesian tehtaalle. (2; 3.)

Kotkan sellutehdas käyttää raaka-aineena havupuun sahanpurua. Tuotantokapasiteettia sillä on 170 000 t/a. Valkaisemattomasta sahanpurusellusta paperikone 1:n valmistaa imukykyistä erikoisvoimapaperia, jonka tuotenimi on Absorbex. Paperikone 1 myyntikapasiteetti on 160 000 t/a. Absorbexin suurin käyttäjäryhmä on laminaattiteollisuus. Laminating Paperessin oma jatkojalostuslaitos, impregnointitehdas, kyllästää Absorbex-paperia fenolihartsilla. (2; 3.)

Paperikone 2 valmistaa päällystettyä Solaris painopaperia TMP-laitoksella jauhetusta hakkeesta. Paperikone 2:n tuotantokapasiteetti on 176 000 t/a ja TMP:n 120 000t/a.  
(2.)

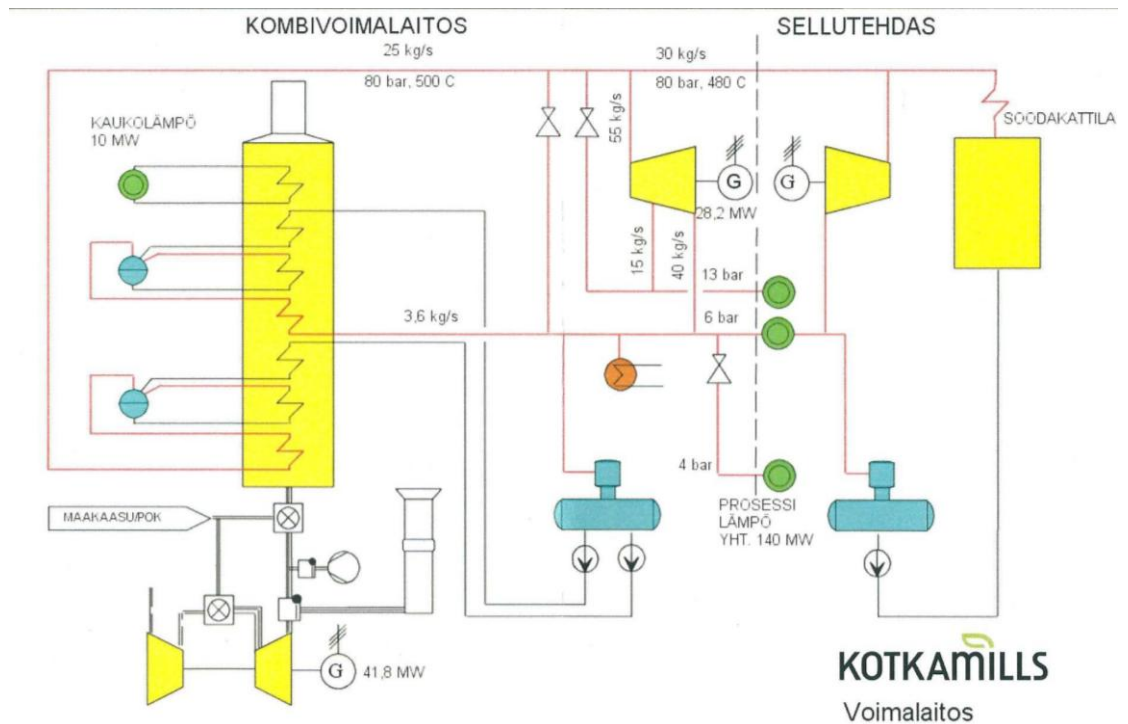
## 1.2 Voimalaitos

Kotkan tehdas tuottaa höyryä kombikattilalla sekä soodakattilalla. Polttoaineena käytetään pääasiassa mustalipeää ja maakaasua. Tarvittaessa tehtaalla voidaan käyttää myös kevyttä polttoöljyä. Tehdas tuottaa prosessihöyryä sekä sähköä ja on lämmön ja sähkön suhteen omavarainen. Voimalaitoksen maksimituorehöyryteho on 190 MW, josta kombikattilan korkeapainepiiri pystyy tuottamaan 98,3 MW, matalapainepiiri 6,3 MW ja soodakattila 85,4 MW. Maksimisähköteho puolestaan on 70 MW, josta kaasuturbiinin osuus on 41,8 MW. Loput 28,2 MW saadaan tuotettua höyryturbiinilla, josta lämmöntalteenottokattilalla tuotettu osuus on 15 MW ja soodakattilalla 13,2 MW. Lisäksi tehdas toimittaa kaukolämpöä Kotkan kaupungin kaukolämpöverkkoon. Kaukolämmön maksimiteho on 9 MW. (4.) Prosessin salliessa myydään sähköä myös ulkopuolisille.

Voimalaitos koostuu soodakattilasta, lämmöntalteenottokattilasta, höyryturbiinista ja kaasuturbiinista. Kaasuturbiini käyttää maakaasua sähkön kehittämiseen ja lämmön tuottamiseen lämmöntalteenottokattilalla. Kattilan lämmöllä muodostetaan höyryä korkea- ja matalapaine lieriöillä. Korkeapainehöyry johdetaan 84 baarin höyrytukkiin, jonne myös soodakattilalla tuotettu höyry ohjataan. Kaasuturbiinin pakokaasuista ja soodakattilalta saadun lämpötehon ollessa riittämätön voidaan kombikattilan lisäpoltto käynnistää. Höyrytukilta höyry ohjataan höyryturbiinille sähköntuottamiseksi, ja sieltä edelleen tehtaalle prosessikäyttöön. Viiden baarin matalapainehöyry johdetaan vastapaineverkkoon. Vastapainehöyryturbiinissa on 12 baarin väliotto. 84 baarin korkeapaineverkon kahdella reduktioventtiilillä pystytään tarvittaessa pitämään 12 ja 5 baarin höyryverkkojen paineet säädetyissä arvoissa esim. höyryturbiinin ollessa pois verkosta. 5 baarin höyryä redusoidaan 3 baarin höyrytukkiin.

Soodakattilan polttoaineena on mustalipeä. Mustalipeä on sellunkeitosta ylijäänyt aine, joka sisältää kemikaaleja ja puun orgaanisia aineita. Lipeähaihduttamolle syötettävän lipeän kuiva-aine on noin 15 %. Haihdutuksen jälkeen lipeä on valmis poltettavaksi. Tällöin sen kuiva-aine on noin 70–72 %. Lipeän poltosta jääneet kemikaalit otetaan talteen sulakouruilla ja pumpataan sellutehtaalle keittolipeän valmistukseen. Soo-

lakattila käyttää polttoaineena lisäksi tarvittaessa maakaasua. Syntynyt höyry johdetaan 84 baarin tukkiin ja sähkökehitykseen höyryturbiinille, jonka jälkeen edelleen tehtaalle.



Kuva 1. Kotkamillsin voimalaitoksen pääkaavio.

## 2 MAAKAASU POLTTOAINEENA

### 2.1 Koostumus

Maakaasu on luonnonkaasua ja sen koostumus vaihtelee alkuperän mukaan. Suomeen maakaasu tulee Venäjältä ja sen metaanipitoisuus on noin 97,9 %. Loppuosa koostuu muista hiilivedyistä. Alla on taulukko tyypillisestä Venäjältä tuodun maakaasun koostumuksesta. (5, 117.)

KOMPONENTTI	VENÄJÄ, UREGOI %
Metaani, CH <sub>4</sub>	97,9
Etaani, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,8

Propani, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,2
Butaani, C <sub>3</sub> H <sub>10</sub>	0,1
Typpi, N <sub>2</sub>	0,9
Hiilidioksidi, CO <sub>2</sub>	0,1

Taulukko 1. Maakaasun koostumus.

## 2.2 Ominaisuuksia

Maakaasun siirtohäviöt ovat pienet ja sen sisältämä energia pystytään hyödyntämään tuotannossa lähes kokonaan. Maakaasun hyvä hyötysuhde johtuu säädön helppoudesta, täydellisestä palamisesta, puhtaista savukaasuista sekä lämmön talteenottomahdollisuuksista. (6.)

Ominaislämpö (0 °C)	$c_p=2,15\text{kJ/kg}^\circ\text{K}$ $c_v=1,63\text{kJ/kg}^\circ\text{K}$
Viskositeetti (20 °C)	dynaaminen $11,0 \cdot 10^{-6}\text{kg/ms}$ kinemaattinen $16,7 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$
Hapen teoreettinen tarve	$2\text{m}^3/\text{m}^3\text{CH}_4$
Ilman teoreettinen tarve	$9,5\text{m}^3/\text{m}^3\text{CH}_4$
Stökiometrinen polttoainesuhte	9,5 % kaasua ilmaseoksessa
Savukaasuja, kuiva	$8,5\text{m}^3/\text{m}^3\text{CH}_4$
kosteaa	$10,5\text{m}^3/\text{m}^3\text{CH}_4$
Maksimi CO <sub>2</sub> -pitoisuus, kuiva	11,7 til-%
Savukaasujen koostumus (kokonaismäärä)	CO <sub>2</sub> 9,5 til-% H <sub>2</sub> O 19,0 til-% O <sub>2</sub> 0,0 til-% N <sub>2</sub> 71,5 til-% (stökiöm. palam.)

Ylempi- eli bruttolämpöarvo, $H_s (H_0)$	$39,9\text{MJ/m}^3 (11,1\text{kWh/m}^3)$
Alempi- eli nettolämpöarvo, $H_j (H_u)$	$36 \text{ MJ/m}^3$
Wobbe-arvo ylempi, $W_0$ alempi, $W_u$	$53,45 \text{ MJ/m}^3$ $47,6\text{MJ/m}^3$
Teoreettinen liekin lämpötila ilmassa	$1920^\circ\text{C}$

Taulukko 2. Maakaasun ominaisuuksia. (7.)

### 2.3 Maakaasun käyttö Kotkamillsillä

Kotkan tehtaalla käytetään 3,5 baarin ja 22 baarin maakaasua. 22 baarin paineista maakaasua käyttää ainoastaan kaasuturbiini. 3,5 baarista maakaasua käyttää meesauuni, impregnointitehdas, soodakattilan neljä sytytyspoltinta ja kaksi kuormapoltinta, paperikone 2 ja lämmöntalteenottokattilan lisäpolttimet. (4.)

Vuonna 2010 kohteet kuluttivat maakaasua, MWh, seuraavasti (8):

- kaasuturbiini	1016785 MWh
- kombikattilan lisäpolttimet	215965 MWh
- soodakattila	19727 MWh
- paperikone 2	26867 MWh
- impregnointitehdas	21399 MWh
- meesauuni	62907 MWh

Maakaasun mitoitusvirtaukset kaasuturbiinille  $0^\circ\text{C}$ :ssa ovat  $2,7 \text{ kg/s}$  ( $-30^\circ\text{C}$ :ssa  $3,2 \text{ kg/s}$ ), kombikattilalle  $0,8 \text{ kg/s}$  ja  $2,5 \text{ kg/s}$  kombikattilan ollessa raitisilmapoltolla. (4.)

## 3 MUSTALIPEÄ POLTTOAINEENA

Kemiallisen massan valmistamisessa sulfaattimenetelmällä poistetaan epäorgaanisten keittokemikaalien avulla suurin osa raaka-ainepuun ligniinistä. Ligniini sitoo selluloosakuituja toisiinsa. Noin puolet puun kuivasta massasta liukenee kuitenkin keittoliemeen johtuen puun hiilihydraatteihin kohdistuvasta saantohäviöstä. Tätä keittolientä kutsutaan mustalipeäksi. (5, 137.) Mustalipeä poltetaan soodakattilassa toisaalta säh-

kön ja prosessihöyryn tuotannollisista syistä, mutta myös keittokemikaalien talteen ottamiseksi ja uudelleen käytettäväksi. (9, 44.)

### 3.1 Kemiallinen koostumus

Mustalipeän kemiallinen koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi. Niihin vaikuttavat muun muassa lipeän kuiva-aine, hakkeen laatu (havu- ja lehtipuuhiute), sovellettu keittomodifikaatio sekä tehtaan prosessivesien kierrätysaste. (5, 138.) Kattilan hoitaja ei pysty vaikuttamaan lipeän laatuun enää sen tullessa kattilalle poltettavaksi, mutta sen sijaan palamistapahtumaan pystytään vaikuttamaan lipeän lämpötilaa, ruiskutuspainetta ja suuntaa muuttamalla. Lämpötilan muutos vaikuttaa pisarakokoon ja palamisnopeuteen. (10; 11, 93.)

Mustalipeän kuiva-aineen muodostavat epäorgaaniseksi osaksi kutsutut kemikaalit, mitkä eivät ole osallistuneet reaktioihin, sekä puun orgaaninen osa. (9, 44.)

Aineosa	Mänty (p- %)	Koivu (p- %)
Orgaaninen aines	67	67
- Ligniini	31	25
- Alifaattiset karboksyylihapot	29	33
• Muurahais happo	6	4
• Etikkahappo	4	8
• Glycolihappo	2	2
• Maitohappo	3	3
• 2-hydroksivoihappo	1	5
• 3,4-dideoksipentonihappo	2	1
• 3-deoksipentonihappo	1	1
• Ksyloisosakkariinihappo	1	3
• Glukoisosakkariinihappo	6	3
• Muut	3	3
Muu orgaaninen aines	7	7
- Uuteaineet	4	3
- Poly- ja oligosakkaridit	2	5
- Muut	1	1
Epäorgaaninen aines	33	33
- Epäorgaaniset yhdisteet	22	22
- Org. sitoutunut natrium	11	11

Taulukko 3. Tyypillisen mänty- ja koivusulfaattimustalipeän kuiva-aineen kemiallinen koostumus. (5, 138)

## 3.2 Ominaisuuksia

### **Tiheys**

Mustalipeän tiheys riippuu sen kuiva-ainepitoisuudesta ja lämpötilasta sekä kuiva-aineen orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden suhteesta. Mustalipeän kiehumispiste on sitä alhaisempi mitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus sillä on. (12, 25.) Tehtaan lipeästä on syytä tehdä tarvittavat määritykset lipeän tiheyden ja kuiva-ainepitoisuuden selvittämiseksi, sillä niillä on suuri vaikutus kattilan hoidossa. (11, 27.)

### **Viskositeetti**

Lipeää käsiteltäessä on tärkeää tietää sen sisäinen kitka eli viskositeetti. Viskositeetillä on vaikutus lipeää pumpattaessa ja ruiskutettaessa tulipesään. Viskositeetti nousee lipeän kuiva-aineen noustessa. Tästä syystä saattaa lipeän käsittelyssä tulla ongelmia kuiva-aineprosentin ollessa korkea. Toisaalta lipeän lämpötilaa nostamalla pystytään vaikuttamaan viskositeettiin alentavasti. (11, 30.)

### **Suopapitoisuus**

Lipeän suopapitoisuus on haihduttamolle tulevasta lipeästä noin 1,5–2,0 %. Luku ilmoitetaan mäntyöljynä lipeän kuiva-aineesta. Suopa on poistettava mahdollisimman hyvin lipeästä, jotta se ei aiheuta haihduttamon likaantumista ja haittaa näin lipeän vahvistumista. Suopa pitää saada erotettua laihalipeä- ja välilipeäsäiliöiden pinnalle, jotta se pystytään poistamaan. Säiliöiden on siis oltava riittävän tilavia eikä siellä saa olla sekoitusvaikutusta, jotta suopa kerkeää erottua pintaan. Viipymän on oltava vähintään 6–8 tuntia. Syöttölipeäsäiliöstä suopaa saadaan erotettua niin paljon, että sen pitoisuus laskee noin 0,8–0,9 %:iin. Vahvalipeästä ei suopa enää erotu pinnalle, joten sieltä ei suopaa saada poistettua. (13, 90.)

## 3.3 Mustalipeän käyttö Kotkamillsillä

Sellutehtaalla käytetään raaka-aineena havupuun sahanpurua, joten poltettavan mustalipeän ominaisuudet ovat sen mukaiset. Mustalipeä vahvistetaan lipeähaihduttamalla ennen polttoa niin, että kuiva-ainetta siinä on noin 70–72 %. Kotkan voimalaitoksella polttolipeä esilämmitetään noin 135 °C:een, jonka jälkeen se ruiskutetaan soodakatti-

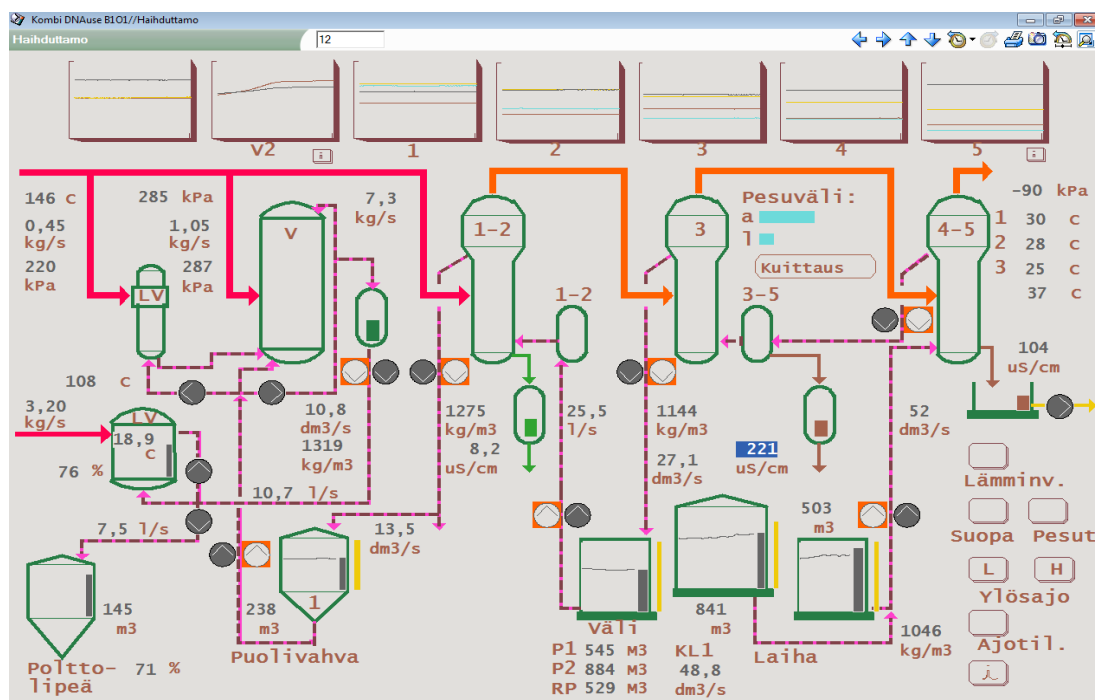


laan neljällä lusikka-mallisella ruiskulla. Pisarakokoa on mahdollisuus säätää lämpötilaa ja virtausnopeuksia säätämällä sekä ruiskujen venttiileitä kuristamalla. Polttoliipeä säiliöstä osa lipeästä kiertää jatkuvasti sekoitussäiliön kautta, jossa sekaan sekoitetaan sähkösuotimilta tuleva suola.

#### 4 LIPEÄHAIHDUTTAMO

Sellulta tuleva laihalipeä vahvistetaan haihduttamalla siitä vettä pois, jonka jälkeen kuiva-ainepitoisuus on noin 70–72 %. Kotkan voimalaitoksen lipeähaihduttamo koostuu viidestä sarjaan kytketystä haihduttimesta sekä kahdesta väkevöittäimestä. Näiden lisäksi lipeä kulkee haihduttimien välissä yhteensä kuuden lämmönvaihtimen läpi.

Laihalipeä pumpataan 4. haihduttimeen, josta se menee ylikaatona 5. haihduttimeen sieltä 3., 5. ja 4. lämmönvaihtimen kautta 3. haihduttimeen. Tämän jälkeen lipeästä käytetään nimitystä väliliipeä ja sen tiheys on noin  $1150 \text{ kg/m}^3$ . Väliliipeäsäiliöstä lipeä pumpataan 2. ja 1. lämmönvaihtimien läpi 1. haihduttimeen, josta se menee ylikaatona 2. haihduttimeen. 2. haihduttimen jälkeen lipeän tiheys on noin  $1280 \text{ kg/m}^3$  ja siitä kutsutaan nimitystä puolivahvalipeä. Puolivahvalipeäsäiliöstä lipeä ajetaan lämmönvaihtimen kautta väkevöittäimeen, sieltä loppuväkevöittäimeen ja polttoliipeäsäiliöön. Polttoliipeän tiheys on noin  $1360 \text{ kg/m}^3$ .



Kuva 2. Lipeähaihduttamo. (14.)

## 5 SOODAKATTILA

### 5.1 Kemikaalien ja lämmön talteenotto

Soodakattilaprosessin yksi tehtävä on saada natrium ja rikki erotettua lipeän muista osista ja saada ne sellaiseen muotoon, että niitä voidaan käyttää uudelleen sellunkeittonesteen valmistuksessa. Parantamalla tulipesäprosessia niin, että primääripäästöt pienenevät, saadaan mahdollisimman paljon natriumia ja rikkiä talteen. Häviöitä saadaan pienennettyä myös tehostamalla lisälaitteiden, kuten suotimien ja pesureiden tehokkuutta. Näin saadaan aikaan määrällisesti mahdollisimman hyvä talteenotto. (11, 1.)

Soodakattilan tärkein tehtävä on hyvän reduktion omaavan sulan tuottaminen. Reduktio-aste kuvaa kuinka paljon kokonaisrikistä saadaan muutettua sulfidiksi. Rikkiä, joka ei muutu sulfidi-muotoon, ei pystytä hyödyntämään ja se aiheuttaa kustannuksia sekä vaikeuksia suljetussa kierrossa. (11, 2.)

Keittoneesteeseen liuenneen orgaanisen aineen lämpöarvo vastaa suunnilleen puun lämpöarvoa. Soodakattilan toinen tärkeä tehtävä, kemikaalien talteenoton lisäksi, on tämän lämpöenergian talteenotto. (11, 2–3.)

### 5.2 Syöttövesi ja höyrystys

Syöttöveden lämpötila on pidettävä noin 110–140°C:ssa. Alhaisempi lämpötila aiheuttaisi savukaasupuoleista korroosiovaaraa, lämpötilan nosto puolestaan vaatisi korkeampaa savukaasun loppulämpötilaa, mikä tarkoittaisi suurempia savukaasuhäviöitä. (11, 36.) Syöttövesi syötetään syvesäiliöstä esilämmittimien kautta lieriöön. Syöttöveden esilämmitys parantaa kattilan hyötysuhdetta käyttämällä savukaasujen lämpöä hyväksi. Ekonomaisereille savukaasut virtaavat tulistimien jälkeen.

Kattilan nousuputkia pitkin höyrystyvä vesi nousee lieriöön, jossa höyry erottuu lieriön yläpinnalle. Lieriöstä kylläinen höyry johdetaan tulistimille, jotka sijaitsevat tulipesän yläpuolella. Tulistimet tulistavat höyryn haluttuun lämpötilaan. Soodakattilan tuorehöyryn paine on tyypillisesti 85 baaria ja lämpötila 480 °C. Korkeimmissa arvoissa saattaa kattilaan tulla korroosiovaurioita. (15, 74.)

### 5.3 Polttoilma

Lipeän palaminen on tärkeää hallita hyvin, sillä kattilan käytettävyys, kemikaalien talteenotto, päästöt ja korroosio ovat siitä riippuvaisia. Palamisen hallitsemiseksi on ilmansyöttöjärjestelmän pystyttävä mukautuman kulloisenkin lipeän tarpeisiin. Palamisilman tarve on noin  $4\text{ m}^3\text{ n/kg}$  kuiva-aine. (11, 39–40.)

Paremmen palamisen ja reduktion aikaansaamiseksi palamisilma esilämmitetään noin  $150\text{ }^\circ\text{C}$ :een. Soodakattilassa ei tukkeutumisvaikeuksien vuoksi käytetä suoria savukaasulämmittäviä ilmanesilämmittäjiä. Sen sijaan käytetään höyrylämmittäviä esilämmittäjiä. (15, 74.)

**Primääri-ilmalla** halutaan ylläpitää palamista ja riittävää keon lämpötilaa, joka on  $1000\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$ . Primääri-ilman määrä riippuu lipeän ominaisuuksista ja lämpöarvosta niin, että alhainen lämpöarvo johtaa suureen primääri-ilmamäärään, koska palaminen halutaan keskittää alas. Primääri-ilmamäärä on noin  $30\text{--}60\%$  kokonaisilmamäärästä. Ilmamäärän ollessa liian suuri huononee reduktioaste. Liian alhaisella primääri-ilmamäärällä on myös omat huonot puolensa. Samoin kuin liian suuri ilmamäärä myös se johtaa huonoon reduktioasteeseen. Lisäksi suurenevät rikkidioksidipäästöt, keko kasvaa ja pahimmassa tapauksessa jopa sammuu. (11, 41.)

**Sekundääri-ilma** estää kekoa kasvamasta liikaa sekä huolehtii keon alueelta nousevien palamattomien kaasujen poltosta. Sekundääri-ilman määrä on noin  $20\text{--}30\%$  kokonaisilmamäärästä ja se jaetaan tulipesään tasaisesti. (11, 41.)

**Tertiääri-ilma** jälkipolttaa palamatta jääneet kaasut mahdollisimman pienellä ilmaylimäärällä. (11, 41.) Kotkan tehtaalla kaasut pestään hajukaasupesurissa ennen polttoa.

### 5.4 Savukaasut

Soodakattilan savukaasuista  $57\%$  on typpeä,  $26\%$  vesihöyryä,  $13\%$  hiilidioksidia,  $2\%$  happea ja alle  $1\%$  muita kaasuja. Muut kaasut koostuvat mm. palamattomista kaasuista, rikkidioksidista, rikkitrioksidista, rikkivedystä ja merkaptaneista sekä typen oksideista. (11, 43–44.)

Tulipesän jälkeen olisi pyrittävä 1,5–2,5 % happipitoisuuteen, mikäli rikkivety- ja hiimonoksidipitoisuudet savukaasuissa sen sallivat. Suuresta happiylimäärästä seuraa (11, 41.):

- vaikeasti nuohottavat kerrostumat lämpöpinnoille
- suuri savukaasuhäviö
- korroosiovaara muodostuvan rikkiatrioksidin vuoksi
- savukaasupuhaltimien suuri tehonkulutus

Liian vähäinen ilmamäärä puolestaan vaikuttaa palamattomien kaasujen määrään voimakkaasti, esimerkiksi hapen määrän ollessa 1 % savukaasuista merkitsee se 1–3 % palamattomia kaasuja ja korkeaa, 10–25 ppm, rikkivetymäärää. (11, 43.)

Palamisprosessin hallitseminen vaikuttaa lentotuhkan käyttäytymiseen ja sitä kautta nuohoustarpeeseen ja sen onnistumiseen. Tulistimien alueella lämpötilat eivät saa nousta yli 850 °C:n, sillä silloin lentotuhka alkaa muodostaa vaikeasti nuohottavia kerrostumia tulistimien pinnoille. (11, 46.)

## 5.5 Kotkamillsin soodakattila

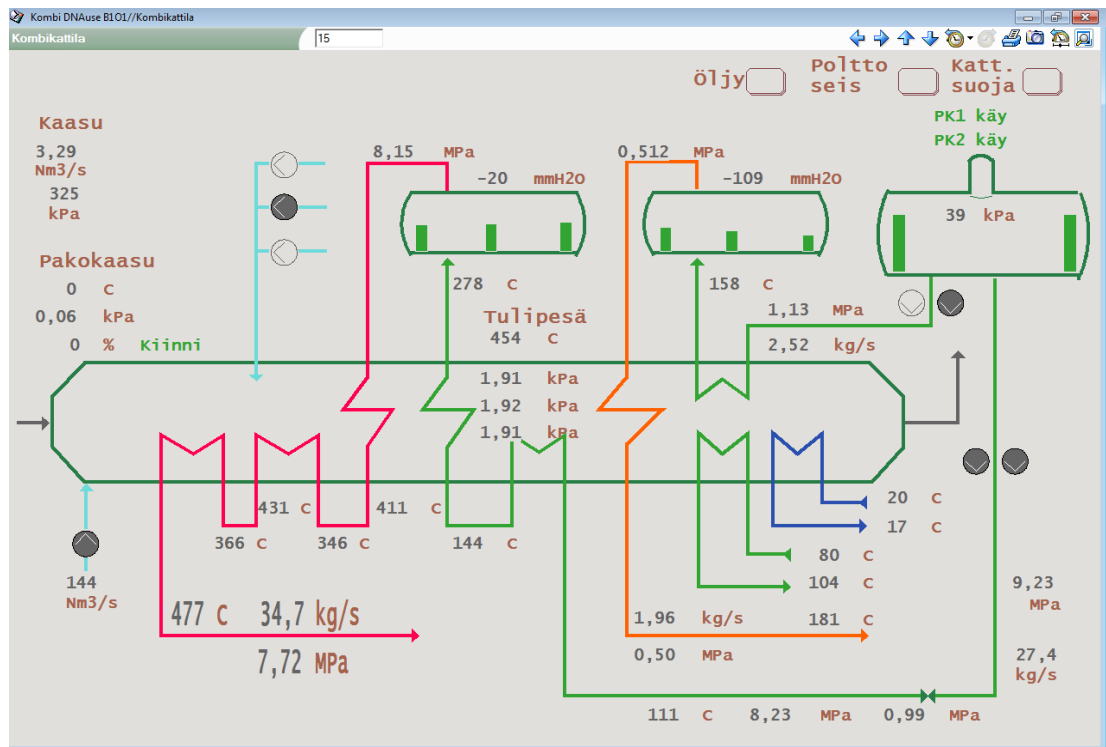
Soodakattilaan lipeä ruiskutetaan neljällä lusikkamallisella lipeäruiskulla, jotka sijaitsevat kattilan sivuilla. Soodakattilassa on myös neljä käynnistyspoltinta. Käynnistyspolttimissa voidaan polttoaineena käyttää joko maakaasua tai kevytpolttoöljyä. Käynnistyspolttimia käytetään kattilan ylös- ja alasajossa sekä tarvittaessa lipeän polton tukena. Lisäksi kattilassa on kaksi kuormapoltinta, joissa voidaan polttaa maakaasua höyryn tuotannon lisäämiseksi. Soodakattilalla on mahdollisuus polttaa myös suopaa ajamalla sitä polttolipeän sekaan noin 0.3 kg/s.

Kattilan syöttövesi on noin 110 °C ja se lämmitetään syöttöveden esilämmittimillä 290 °C:een. Soodakattilan tulistetun höyryn paine on noin 80 baaria ja lämpötila 470 °C. Polttoilma esilämmitetään 12 baarin höyryllä noin 150 °C:een.

Soodakattila nuohotaan pyörivillä ulosvedettävillä höyrynuohoimilla. Nuohous voidaan tehdä valitsemalla jokin ryhmänuohous-ohjelma tai ajamalla nuohoimia yksitellen.

## 6 KOTKAMILSSIN LÄMMÖNTALTEENOTTOKATTILA

Voimalaitoksen kombikattila on makaava, kaksipaineinen luonnonkiertokattila. Ensimmäisenä savukaasukanavassa on korkeapaineisiin tulistin. Tulistimen jälkeen tulee korkeapaineisiin höyrystin, jonka jälkeen piirin jälkimmäinen syöttöveden esilämmitin. Kp-eko 2:n jälkeen tulee matalapaineisiin osat samassa järjestyksessä. Matalapaineisiin syöttöveden esilämmittimen kanssa lomittain on sijoitettu myös korkeapaineisiin ensimmäinen syöttöveden esilämmitin. Viimeisinä pintoina kattilassa on kaukolämpö- ja glykolipiirin lämmönvaihtimet. (4.)



Kuva 3. Lämmöntalteenottokattilan piirit. (14)

Normaalijotilanteessa kaasuturbiinilla poltetaan maakaasua sähkön kehittämiseksi. Syntyvät pakokaasut ohjataan kombikattilalle höyryn ja lämmön tuottamiseksi. Kattilan seinämateriaali rajoittaa savukaasujen lämpötilan 750 °C:een. Lisähöyryn tuottamiseen kattilassa on neljä kappaletta lisäpolttimia, joiden mitoitusteho on kaasuturbiinin base load -ajossa lisäpoltolla 42 MW ja raitisilmapoltossa 120 MW. (4.)

	MP-höyrystys kg/s	KP-höyrystys kg/s	KI-teho MW
0°C ei lisäpolttoa	4,2	17,8	10,6
0°C täysi lisäpoltto	2,6	33,4	9,5
- 20°C ei lisäpolttoa	4,8	18,3	12,8
-20°C täysi lisäpoltto	3,0	33,4	11,7
+25°C raitisilmapoltto	2,9	30,8	9,5

Taulukko 4. Kombikattilan höyryntuotanto eri ajotilanteissa. (4.)

Normaalikäytössä korkeapaineisiin höyrystys on välillä 18–25 kg/s ja matalapaineisiin 3–4 kg/s. Maksimihöyrystys arvot syöttöveden ollessa 110 °C ovat korkeapaineella 33,4 kg/s ja matalapaineella 4,8 kg/s. (4.)

## 7 MUSTALIPEÄN POLTON SUURUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 7.1 Sellutehtaan tuotanto

Sellun valmistuksessa syntyy mustalipeää, joka ajetaan voimalaitoksella lipeähaihduttamon kautta polttoon. Se, kuinka paljon mustalipeää voidaan soodakattilalla energian tuottamiseksi polttaa, riippuu siitä, kuinka paljon sellutehtaalta saadaan laihamustalipeää polttolipeän valmistamiseksi. Voidaan siis todeta, että sellunkeiton ollessa vähäistä pienenee myös soodakattilalla tuotetun energian määrä ja tämä energia joudutaan korvaamaan kombikattilalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että maakaasun käyttö lisääntyy. Laihalipeän virtaus keittimiltä haihduttamolle vaihtelee normaaliarvoissa noin 20 litrasta 65 litraan/s. Keskimäärin laihalipeän virtaus on 45–50 l/s.

Sellutehdas valmistaa valkaisuainetta sahanpurusellua paperikone ykköselle. Sellutehtaan valmistaman massan lisäksi paperikone ykkösellä paperia valmistetaan keräyspahvista. Keräyspahvista massan valmistaa keväästä 2011 tehtaalla toiminut RCF-laitos. Lisäksi paperin valmistuksesta tuleva hylky pulperoidaan uudelleen käytettä-

väksi. Sellun tuotannon tarve määräytyy siis siitä, kuinka paljon sellumassaa paperikone ykkönen tarvitsee RCF-laitoksen tuottaman massan ja hylkypaperista tuotetun massan lisäksi paperin valmistamiseen.

## 7.2 Lipeähaihduttimien pesut

Osalle lipeähaihduttimista on tarpeen tehdä laihalipeäpesu, jotta niiden haihdutusteho säilyisi.

1. ja 2. haihduttimet on kytketty sarjaan, joten niiden pesukin suoritetaan samanaikaisesti. Normaaliajossa haihduttimet vahvistavat välilipeän puolivahvalipeän tiheyteen. Pesussa haihduttimiin syötetään välilipeän sijasta laihalipeää, joten haihduttimista ulos tulevan lipeän tiheys laskee eikä sitä voida pumpata puolivahvalipeäsäiliöön. Ennen pesun aloittamista on siis puolivahvalipeäsäiliössä oltava tarpeeksi lipeää, jotta lipeää riittää pumpattavaksi säiliöstä eteenpäin koko pesun ajan.

Puolivahvalipeä pumpataan säiliöltä väkevoittimen kautta loppuväkevoittimeen ja sieltä polttolipeäsäiliöön. Väkevoittimen ollessa pesussa puolivahvalipeä syötetään suoraan loppuväkevoittimeen. Loppuväkevoitin ei yksin pysty tarpeeksi vahvistamaan samaa määrää lipeää, joten virtausta on pienennettävä. Tämä siis tarkoittaa sitä, että polttolipeää kertyy vähemmän.

Myös loppuväkevoitin vaatii aika ajoin laihalipeäpesun. Loppuväkevoitinta pestäessä väkevoittimeen ajettava puolivahvalipeä kiertää takaisin puolivahvalipeäsäiliöön, joten polttolipeää ei tällöin kerry ollenkaan.

Lipeän määrän ollessa vähäistä joudutaan säiliöihin keräämään pesuvarat ennen kuin haihduttimet voidaan pestä. Koska säiliöihin ajettavan lipeän määrän täytyy tällöin olla suurempi kuin sieltä lähtevän, saadaan myös polttolipeää vähemmän. Suurin vaikutus poltettavissa olevan lipeänmäärään on loppuväkevoittimen pesussa, sillä sen aikana ei polttolipeäsäiliöön kerry lipeää ollenkaan.

## 7.3 Suopaus

Laihalipeä- ja välilipeäsäiliöstä joudutaan säännöllisesti poistamaan pinnalle erottunut suopa. Suovan poisto tapahtuu nostamalla hitaasti säiliön pintaa niin ylös, että suopa

tulee ylikaatona putkea pitkin omaan säiliöön. Säiliöön virtaavan lipeän määrä tulee siis olla suurempi kuin sieltä poistuvan, joten säiliöltä lähtevän lipeän määrää saataan joutua pienentämään. Tämä taas tarkoittaa sitä, että haihduttamon loppupäähän virtaavan lipeän määrä vähentyy, jolloin myös polttovalmista lipeää kertyy vähemmän. Lipeän syöttövirtausta soodakattilalle saatetaan näin ollen joutua pienentämään.

Suovan poiston vaikutus lipeäpolttoon riippuu siitä, mikä on lipeän kokonaismäärä suovan poistoa aloitettaessa.

## 8 HÖYRYN TUOTANTO JA KULUTUSKOHTEET

Voimalaitos tuottaa höyryä tehtaan tarpeiden mukaan. Soodakattilalla tuotetaan höyryä korkeapainetukkiin, josta höyry ohjataan höyryturbiinille. Samaan tukkiin ajetaan myös lämmöntalteenottokattilan korkeapainepiirin tuottama höyry. Lämmöntalteenottokattilassa on myös matalapainepuoli, jonka kehittämä höyry ohjataan 5 baarin tukkiin. Lämmöntalteenottokattila kehittää höyryä kaasuturbiinista tulevilla pakokaasuilla. Soodakattilalla ja kaasuturbiinin pakokaasuilla tuotetun höyryn ollessa riittämätön tehtaan tarpeisiin nähden, täytyy lämmöntalteenottokattilaan lisätä tehoja lisäpolttimilla. Tehtaalla käytetään 12, 5 ja 3 baarin höyryä.

### 8.1 12 baarin höyry

12 baarin höyry otetaan tukkiin höyryturbiinin väliotosta tai suoraan 84 baarin korkeapaineverkosta reduktioventtiilin avulla. Vuonna 2010 12 baarin höyryn kokonaistuotanto oli 259381 MWh, josta höyryturbiinin, ABB:n, välioton osuus on 244081 MWh. Loput 15301 MWh tuotettiin reduktioventtiilin avulla. (8.)

12 baarin höyryn käyttökohteet ja osuudet kokonaiskulutuksesta (8.):

- kuitulinja 1	32,5 %
- kuitulinja 2	51,8 %
- meesauuni	1,1 %
- pastakeittiö	1,5 %
- Soodakattilan ilmanesilämmittimet	6,1 %
- Soodakattilan sulakourujen hajotushöyry	1,0 %
- Tase-ero	6,0 %



12 baarin höyryä pystytään käyttämään myös haihduttamon loppuväkevöittämissä, mutta tällä hetkellä näin ei kuitenkaan tehdä.

12 baarin höyryn kulutus vaihtelee normaaliajotilanteessa välillä 8–13kg/s. Keskimäärin kulutuksen voidaan trendien perusteella todeta olevan noin 10–11kg/s.

## 8.2 3 ja 5 baarin höyry

3/5 baarin höyry tuotetaan ABB:n vastapaineesta, reduktioventtiilin avulla suoraan korkeapaineverkosta ja lämmöntalteenottokattilan matalapaineosasta. Tuotantoa yhteensä vuonna 2010 oli 943585 MWh, josta ABB:n välioton osuus oli 893065 MWh. Matalapainelieriöllä tuotettiin 42938 MWh ja reduktioventtiilin kautta 7582 MWh.

(8.)

Omakäyttöhöyryä kului 55484 MWh ja apulauhduttimeen ajettun höyryn osuus oli 17308 MWh. Prosessiin jäi näin ollen 870793 MWh, josta 5 baarin osuus oli 500015 MWh. Alla on lueteltu 5 baarin höyryn kulutuskohteet ja niiden osuus kokonaiskulutuksesta. (8.)

- Paperikone 2	25,4 %
- Pulpperit	1,2 %
- Paperikone 1	46,3 %
- Sj-säiliöiden lämmitys	1,6 %
- Soodakattilan syöttöveden lämmitys	4,0 %
- Haihduttamon loppuväkevöitin	14,4 %
- Soodakattilan lämmitys	0,8 %
- TMP	6,4 %

5 baarin kulutuksen vaihtelu on suurta johtuen paperikoneiden käyttökatoista.

Seuraavassa 3 baarin kulutuskohteet ja niiden osuus kokonaiskulutuksesta 355345 MWh/a. (8.)

- kaustistamo	15,8 %
- syöttöveden käsittely	1,5 %
- sellun lämmitys	1,9 %

- sellun purun- ja valkolipeänlämmitys	4,5 %
- impregnointi	3,3 %
- ruokalan lämmitykset	2,1 %
- paperitehdas	12,9 %
- saha, kuivaamo	6,2 %
- haihduttamo	51,7 %
- 3/5 baarin tase-ero	1,8 %

Soodakattilan nuohoukseen käytetään tulistuksen välistä otettua höyryä, joten se ei ole mukana edellä esitetyissä höyryn kulutuskohteissa.

### 8.3 Höyrynkulutuksen vaihteluun vaikuttavat tekijät

#### **Sellutehdas**

Edellä mainituista 12 baarin höyryn kulutuksen prosenttiosuuksista käy ilmi, että lähes 85 % höyrystä kuluttaa sellutehdas. Suurimmat muutokset 12 baarin höyryn kulutuksessa aiheutuvat siis sellun kulutustarpeen muutoksista. Sellutehtaalla on kaksi keitintä, joiden höyrynkulutus vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon sellua keitetään. Lisäksi höyryn kulutukseen vaikuttaa purun lämpötila. Talvella lämpötilan laskiessa keittämiin joudutaan siis ajamaan enemmän höyryä. Keitinten tehoa lisätään ja vähennetään yleensä aina prosentuaalisesti saman verran molemmista keittimistä, joten myös niiden höyrynkulutuskasvu kasvaa ja vähenee prosentuaalisesti saman verran. Höyrynkulutus 1. keittimellä vaihtelee välillä 3,3–4,5 kg/s ja 2. keittimellä 4,8–6 kg/s.

#### **Paperikone 1**

Paperikone 1:n tarvitsema höyry tuotetaan kombivoimalaitoksella. Paperikoneen höyryn tarpeen suuruuteen vaikuttaa valmistettavan paperin paksuus ja ajonopeudet. Pk 1:llä valmistettavan paperin paksuus vaihtelee välillä 120–350 g/m<sup>2</sup>. Paperikone 1:stä pyritään aina ajamaan lähes maksimi höyryillä. Tämä tarkoittaa sitä, että pienillä paperinpaksuuksilla koneen nopeutta lisätään ja ajettaessa paksuja paperilaatuja nopeutta pienennetään. Tästä johtuu koneen melko tasainen höyryn kulutus. Koneen ollessa normaaliajossa höyrynkulutus vaihtelee välillä 8–13 kg/s.

## Paperikone 2 ja hiertämö

Paperikone 2:n ajotapa on erilainen, kuin paperikone 1:n ja höyrynkulutuskin vaihtelee huomattavasti enemmän.

Kuumahiertämöllä on kolme hierreparia, jotka jauhavat hakkeen käyttökelpoiseen muotoon. Jauhinten käyttämästä mekaanisesta energiasta voidaan saada höyrynä talteen jopa 80 %. (16, 28.) Höyry ohjataan lämmönvaihtimeen, missä sillä höyrystetään puhdasta vettä. (16, 29.) Tämä höyry käytetään paperikone 2:lla kuivauksessa. Hiertämö tuottaa höyryä sitä enemmän mitä useammalla parilla se jauhaa. Kaikkea hiertämön kehittämää höyryä ei kuitenkaan välttämättä pystytä paperikoneella käyttämään, koska sen paine on niin alhainen. Se, kuinka paljon höyryä pystytään hyödyntämään, riippuu ajettavan paperin laadusta. Pienillä paperin painoilla matalapaineista TMP höyryä pystytään käyttämään paremmin kuin ajettaessa paksumpia paperilaatuja. Loppuosa pk 2:n tarvitsemasta höyrystä tuotetaan kombivoimalaitoksella.

Paperikone 2:n valmistama paperi painaa 45–75 g/m<sup>2</sup>. Pk 2:n höyryn tarve riippuu koneen nopeudesta ja ajettavan paperin paksuudesta sekä laadusta. Kombilla tuotettuun osuuteen vaikuttaa lisäksi hiertämöltä paperikoneelle menevän höyrynmäärä. Kombilta paperikone 2:lle menevän höyryn määrä vaihtelee 2–12 kg/s. Useimmiten höyrynkulutus on 5–8 kg/s välillä.

## Lipeähaihduttimien pesut

Sarjaan kytketyistä haihduttimista tuorehöyry syötetään ainoastaan 1. haihduttimeen. Syötetyn höyryn määrä vaihtelee normaaliajossa 7–8 kg/s. 1. haihduttimesta lähtevät kuumat höyryt kulkevat järjestyksessä 2–5 haihduttimien läpi. Tuorehöyryä syötetään lisäksi 1. lämmönvaihtimeen noin 1,2 kg/s, väkevöittimen lämmönvaihtimeen noin 0,5 kg/s, väkevöittimeen 1,0–1,5 kg/s ja loppuväkevöittimeen 3,0–3,5 kg/s. Väkevöittimen kuumat höngät ohjataan 2. ja 3. haihduttimien väliin, jolloin ne parantavat kolmoshaihduttimen haihdutustehoa. Loppuväkevöittimen höngät on mahdollista ohjata joko 1. ja 2.- tai 2. ja 3.-haihduttimien väliin. Normaalitilanteessa ne menevät 2. haihduttimeen lisäämään lämpöä.

Alkupään haihduttimiin pumpattava lipeä on tiheydeltään niin alhainen, että se ei likaa haihduttimia eikä niitä näin ollen ole tarvetta pestä. Sen sijaan 1. ja 2. haihduttimiin

ajettava välilipeä likaa jo haihduttimia, jolloin lämmönsiirtokyky heikkenee eikä lipeä enää vahvistu yhtä tehokkaasti. Tästä syystä 1.- ja 2. haihduttimet pestään vähintään viiden vuorokauden välein. Pesu tapahtuu pumpaamalla haihduttimiin välilipeän sijasta laihalipeää. Ennen laihalipeän ajoa haihduttimiin pitää niitä jäähdyttää. Jäähdytys tapahtuu pienentämällä tasaisesti tunnin ajan 1. haihduttimelle ajettavan höyryvirtausta niin, että ennen laihalipeän syöttöä haihduttimiin höyryn virtaus on laskettu 3,5 kg/s. Jäähdytyksen ja pesun aikana höyryn ajo ykköslämmönvaihtimeen lopetetaan kokonaan. Jäähdytyksestä siihen, kun haihdutin saadaan normaaliajoon ja normaalille höyrynkulutukselle kuluu noin 3 tuntia. Varsinaisen laihalipeäpesun aikana 3 baarin höyrynkulutus pienenee 1,5–2 tunnin ajaksi 4,7–5,7 kg/s.

Myös molemmat väkevöittimet vaativat pesua laihalipeällä tiettyinä väliaikoina säilyttääkseen höyrystystehonsa. Pesuväli väkevöittimellä ja loppuväkevöitimellä on 5 vuorokautta. Sekä väkevöittimen että loppuväkevöittimen pesusekvenssi kestää tunnin, mutta trendejä seuraamalla huomataan väkevöittimen höyryn kulutuksen olevan 0 kg/s 1–1,5 tunnin ajan. Vastaavasti loppuväkevöittimen höyryn virtaus on 0 kg/s 1,5–2 tunnin ajan. Ennen pesusekvenssin käynnistämistä tulee haihduttimia jäähdyttää tiputtamalla höyryn virtausta vähitellen. Kokonaisuudessaan pesut vaikuttavat höyrynkulutukseen noin 2,5–3 tunnin ajan.

Väkevöitintä pestäessä laihalipeällä lopetetaan höyryn ajo sekä väkevöittimen lämmönvaihtimeen, että väkevöitimeen. Tämä pienentää höyryn kulutusta 1,5–2 kg/s.

Laihalipeää ajettaessa loppuväkevöitimeen asetetaan sen höyryn virtaus nolnaan. Tämä pienentää 5 baarin höyryn kulutusta 2–3 kg/s.

## **Nuohous**

Suuria vaihteluja höyryn kulutukseen aiheuttaa myös soodakattilan nuohous. Nuohoimet käyttävät höyryä 1,63–2,5 kg/s ja nuohottaessa ryhmäohjelmalla kesto vaihtelee valitusta ohjelmasta riippuen noin 35 minuutista 2 tuntiin 53 minuuttiin.

## Apulauhdutin

Kombivoimalaitos on varustettu apulauhduttimella, joka lauhduttaa tarvittaessa 5 baarin höyryä meriveden avulla. Sen maksimihöyryvirtaus on 12,6 kg/s ja mitoitusteho 30 MW. (4.)

Apulauhduttimen tehtävänä on (4.):

- Toimia höyryverkon tasaajana paperikoneiden ylös- ja alasajoissa sekä häiriötilanteissa.
- Toimia höyrykuormavarastona ennen paperikoneen käynnistystä
- Toimia lisähöyrykuormana, jottei kaasuturbiinilla jouduta osakuormille
- Sähkötehon huipunleikkaus.

## 9 TALOUDELLINEN AJOTAPA

Taloudellinen ajotapa vaatii höyryn kulutuksessa tapahtuvien muutosten ennakoimisesta. Onnistuneen ennakoimisen edellytyksenä on tehtaan osastojen välinen yhteistyö. Tehtaalla on jokaisessa vuorossa oma vuoromestari, joka vastaa koko tehtaasta ja näin ollen tietää eri osastojen tapahtumat. Tiedotus osastojen välillä on helppoa vuoromestarin kautta, mutta siitäkin huolimatta se on todettava puutteelliseksi.

Voimalaitoksen operaattoria tulisi tiedottaa tulevasta höyryn kulutukseen vaikuttavista muutoksista jo heti hänen töihin tultuaan. Saatujen tietojen avulla operaattori voi suunnitella operointi tehtävät pitkälläkin aikavälillä energiatalouden huomioiden. Ajosuunnitelmaa tehtäessä operaattorin tulee ottaa huomioon:

- Paperikoneilla valmistettavan paperinlaatu
- Paperikoneiden ajonopeus
- TMP laitoksella ajossa olevien hierreparien määrä
- Soodakattilan nuohouksen tarve
- Lipeähaihduttimien pesut
- Kuitulinjojen syöttöruuvien kierrosnopeudet
- Sellutehtaalta lipeähaihduttamolle virtaavan laihalipeän suuruus
- Laiha- ja välilipeäsäiliöiden suopaus

- Tiedossa olevat tavallisesta poikkeavat tapahtumat tehtaalla

Paperikoneiden ja sellutehtaan ajo muutoksista tulisi operaattorin saada tieto vuoromestarilta. Paperikoneidenhoitajien tai vuoromestarin olisi hyvä tiedottaa voimalaitoksen operaattoria yllättävien paperikonekatkojen sattuessa mm. katkon pituudesta, jotta voimalaitoksella operaattori osaa toimia tilanteen vaatimalla tavalla.

TMP-laitoksen työntekijät täyttävät päivittäin kello 8.00 mennessä excel-taulukon, jossa näkyy tunneittain ajossa olevien hierreparien määrä. Tämä taulukko tallentuu myös kombivoimalaitoksen valvomon koneelle, josta operaattori pystyy TMP:n ajoja seuraamaan. Excel-taulukon tiedot ovat kuitenkin vain ennustus vuorokauden ajon tarpeesta, mahdollisista muutoksista on TMP-laitoksen raportoitava voimalaitoksen operaattorille mahdollisimman pian. Sekä taulukon täyttäminen, että muu tiedotus on kuitenkin ollut ajoittain puutteellista.

Operaattorin tulee arvioida muiden osastojen ajojen vaikutus voimalaitoksella ja ottaa ne huomioon omassa operoinnissaan. Mikäli on tarvetta soodakattilan nuohoukseen, lipeähaihduttimien pesuun tai lipeäsäiliöiden suopaukseen on operaattorin mietittävä miten ne olisi hyvä ajoittaa myös energiatalouden huomioiden. Operaattorin tulee ajatella tapahtumia mahdollisimman pitkälle eteenpäin.

Maakaasun tilausteho ja osto näkyy operaattorin näytöllä reaaliajassa. Tehtaalla käytetyn maakaasun määrää mitataan kumulatiivisesti niin, että tasatunnein käytetyn maakaasun määrä ratkaisee. Tasatunnein käytetyn maakaasun määrän tulisi siis olla mahdollisimman lähellä tilaustehoa.

Esimerkki 1. Maakaasun tilausteho on 157 MWh. Maakaasua käytetään tehtaalla tasaisesti kello 13.00–13.50 159 MWh. Kello 13.50 höyryn kulutus laskee yllättäen johtuen paperikoneenkatkosta. Paperikoneen katko jatkuu 10 minuuttia aiheuttaen 12 MW:n pudotuksen maakaasun käytössä. Maakaasun kumulatiivinen käyttö välillä 13.00–14.00 on näin ollen 157 MWh eli tilaustehon verran. Vaikka tilausteho ylitettiin 50 minuutin ajan, ei siitä jouduttu maksamaan ylimääräistä johtuen paperikoneen katkosta. Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että operaattori ei aja ylimääräistä höyry apulauhduttimeen.

Esimerkki 2. Paperikoneen katko alkaa klo 14.00 ja sen tiedetään kestävän 40 minuuttia. Tällöin maakaasun kulutus tippuu 147 MW:iin. Paperikone lähtee käyntiin 14.40, jolloin maakaasun kulutus nousee 157 MW:iin, joka on sama kuin tilausteho. Maakaasua käytetään 157 MW koko lopputunnin ajan. Tunnilla 14.00–15.00 maakaasua käytetään näin ollen keskimäärin 150 MW. Tämä tarkoittaa sitä, että tilausteho on 7 MW enemmän kuin maakaasun käyttö tällä tunnilla. Operaattori voi hyödyntää tämän tilanteen esimerkiksi käynnistämällä soodakattilan nuohouksen, jolloin maakaasun kulutus kasvaa noin 7 MW. Edellyttäen tietenkin, että nuohoukseen on tarvetta ja se tehtäisiin joka tapauksessa lähiaikoina.

Esimerkit on laskettu käyttäen kaavaa:

$$\frac{Q_1 * t_1 + Q_2 * t_2}{60}$$

$Q_1$  maakaasun osto [MW]

$t_1$  aika, jonka maakaasun ostosteho pysyy arvossa  $Q_1$  [min]

$Q_2$  maakaasun osto [MW]

$t_2$  aika, jonka maakaasun ostosteho pysyy arvossa  $Q_2$  [min]

Soodakattilalla poltettavan lipeän määrän määrittää operaattori lipeäsäiliöiden pintojen ja sellulta virtaavan laihalipeän suuruuden perusteella. Soodakattilan polttoa voisi mahdollisuuksien mukaan säätää myös perustuen höyryn tarpeen muutoksiin. Maakaasun tilaustehon ollessa suurempi kuin oston voi operaattori pienentää soodakattilan polttoa, jolloin polttolipeää kertyy säiliöön ja sitä voidaan tarpeen vaatiessa polttaa enemmän. Jos höyryn kulutuksen tiedetään hetkellisesti nousevan, mutta maakaasua käytetään jo tilaustehon verran, operaattorin tulee miettiä pystyykö tarvittavan höyryn tuottamaan soodakattilalla. Tällainen tilanne on esimerkiksi soodakattilan nuohous.

Voimalaitosta ajetaan tehtaan höyryn tarpeen mukaan, joten höyryn ajoa apulauhduttimeen tulisi lähes aina välttää. Poikkeuksena voidaan todeta erittäin korkea sähkön-hinta.

Höyryn kulutuksen äkillisesti pienentyessä purkautuu ylimääräinen höyry 5 baarin tu-  
kin kautta apulauhduttimeen. Tähän tulisi operaattorin reagoida ja pienentää höyryn  
tuottoa esimerkiksi sammuttamalla kombikattilan lisäpoltto.

Normaalitilanteessa paperikoneiden ennakot ovat päällä, jolloin paperikoneen katkois-  
sa apulauhduttimeen ajetaan ennakon vaatima höyrymäärä. Ennakon tarkoituksena on  
pitää höyryverkko tasaisena paperikoneen ylösajossa. Todellisuudessa kuitenkin pape-  
rikoneen ylösajossa kombikattilan lisäpoltto kerkeää nostamaan höyryverkon painetta  
vaaditulla nopeudella, jotta höyryverkko ei romahda. Paperikoneiden ennakot on siis  
syytä lähes aina ottaa pois päältä, jolloin apulauhduttimeen ei turhaan ajeta höyryä.

## 10 MAAKAASUN TILAUSTEHON OPTIMOINTI

Maakaasun tilausteho on pyrittävä pitämään mahdollisimman lähellä oikeaa kulutusta,  
sillä muuten kustannukset kasvavat. Tehdas maksaa tilaustehosta aina vaikka se ei  
käyttäisi maakaasua todellisuudessa niin paljoa. Jos taas tilausteho on arvioitu liian  
pieneksi, tehtaan todelliseen maakaasun käyttöön nähden, joudutaan ylimenevästä  
osasta maksamaan korotettu hinta. Tehdas määrittää tilaustehon koko vuodelle. Tätä  
tilaustehoa on mahdollista nostaa aina yhdelle kuukaudelle kerrallaan. Lisäksi maa-  
kaasusta voidaan tehdä kauppaa pörssissä.

Tilaustehon optimointi on vaikeaa, johtuen erityisesti ulkolämpötilan muutoksista ja  
paperikoneiden vaihtelevasta höyryn kulutuksesta. Lyhyetkin katkot koneilla vaikut-  
tavat merkittävästi maakaasun kulutukseen. Paperikoneen katkon ajoituksesta riippuen  
saattaa se vaikuttaa maakaasun kulutukseen useamman tunnin, johtuen kumulatiivi-  
sista mittauksesta. (ks. kappaleen 10 esimerkit).

Maakaasun tilaustehon optimiarvon löytämiseksi on kaikista tehtaan höyrynkulutuk-  
sista pyritty löytämään keskiarvot. Höyrynkulutuksia on tarkasteltu vuoden 2011 ja  
2010 trendeistä. Talvella tehtaan höyrynkulutus nousee noin 10 kg/s kesään nähden.  
Lisäksi talvella on huomioitava lisääntynyt maakaasun käyttö kaasuturbiinilla, joka  
riippuu ulkolämpötilasta. Keskiarvot on pyritty löytämään myös meesan, paperikone  
2:n ja impregnointitehtaan maakaasunkulutuksista.

Syöttämällä kesän keskiarvot höyryn kulutuksista ja maakaasun kulutuksista excel-  
laskentaohjelmaan saadaan koko tehtaan maakaasun kulutukseksi laskentaohjelmalla



noin 154 MW. Arvo on laskettu ulkolämpötilan ollessa 20 °C ja lipeän polton 7,5 l/s. Ohjelmaa testattaessa on huomattu sen näyttävän noin 2–3 MW todellista kulutusta enemmän, joten todellisen maakaasun tarpeen voisi olettaa olevan noin 151–152 MW. Tarkasteltaessa vuoden 2011 koko tehtaan maakaasunkäyttöä kesällä näyttää excelin avulla arvioitu maakaasun käyttö melko oikealta. Tämä tarkoittaa sitä, että maakaasuntilaustehoa olisi mahdollisuus tiputtaa nykyisestä 157 MW:sta. Alla on kuvat laskentaohjelmasta, josta selviää millä arvoilla laskelmat on tehty.

HÖYRYN KULUTUS [kg/s]					
12 bar		5 bar		3 bar	
P-ilma	0,6	CE omakäyttö	0,1	Haihduuttamo	8,4
Sula	0,1	TMP	1,5	KL puru	1,3
Pasta	0,2	Klvesi	0,0	PT	1,4
KL1	3,6	CE syve	0,9	Kuiv	0,8
KL2	5,0	PK2 pulp	0,2	Ruok	0,1
KL2 pohja	0,0	PK1 kok	11,0	Impr	0,0
Loppuväkevitin	0,0	PK2 kok	6,0	Sellu	0,1
		Loppuväkevitin	3,3	Vesil	0,4
		Apulauhde	0,0	Kaus ym.	1,9
		Ksyve	1,4	KL vl	1,0
<b>Yhteensä</b>	<b>9,50</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>24,40</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>15,40</b>
<b>Höyryn kulutus yhteensä</b>					<b>49,3</b>

Kuva 4. Höyrynkulutukset kesällä.

MAAKAASUN KULUTUS	Nm <sup>3</sup> /s	MWh
Kaasuturbiini	3,258	117,3
Kombin lisäpoltto	0,635	22,8
Impregnointi	0,077	2,8
SJ	0,000	0,0
PK2	0,120	4,3
CE2 käynnistyspolttimet	0,000	0,0
CE2 kuormuri	0,000	0,0
Meesa	0,200	7,2
<b>Yhteensä</b>	<b>4,290</b>	<b>154,4</b>

Kuva 5. Maakaasunkulutus kesällä.

Talvella tilaustehoa on vaikea arvioida, koska ulkolämpötila vaikuttaa siihen suuresti. Maakaasun kulutus lisääntyy joka tapauksessa useamman kymmenen MW. Alla on laskettu tehtaan maakaasun kulutusta, talven höyrynkulutusten keskiarvon mukaan, ulkolämpötilan ollessa -15 ja lipeän polton 7,5 kg/s.

HÖYRYN KULUTUS [kg/s]					
12 bar		5 bar		3 bar	
P-ilma	0,8	CE omakäyttö	0,2	Haihduttamo	8,4
Sula	0,1	TMP	1,8	KL puru	3,0
Pasta	0,2	KLvesi	0,0	PT	2,7
KL1	3,9	CE syve	0,9	Kuiv	1,0
KL2	5,4	PK2 pulp	0,3	Ruok	0,7
KL2 pohja	0,5	PK1 kok	11,0	Impr	1,0
Loppuväkeväitin	0,0	PK2 kok	6,0	Sellu	0,4
		Loppuväkeväitin	3,3	Vesil	0,4
		Apulauhde	0,0	Kaus ym.	2,8
		Ksyve	3,0	KL vl	1,0
<b>Yhteensä</b>	<b>10,90</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>26,50</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>21,40</b>
<b>Höyryn kulutus yhteensä</b>					<b>58,8</b>

Kuva 6. Höyrynkulutukset talvella.

MAAKAASUN KULUTUS	Nm <sup>3</sup> /s	MWh
Kaasuturbiini	3,839	138,2
Kombin lisäpoltto	1,120	40,3
Impregnointi	0,077	2,8
SJ	0,000	0,0
PK2	0,120	4,3
CE2 käynnistyspolttimet	0,000	0,0
CE2 kuormuri	0,000	0,0
Meesa	0,200	7,2
<b>Yhteensä</b>	<b>5,356</b>	<b>192,8</b>

Kuva 7. Maakaasunkulutus talvella.

Talvella on syytä kiinnittää maakaasun käyttöön entistä enemmän huomiota ja tehdä maakaasukauppaa aina tilanteen mukaan. Lipeän polton suuruus sekä suovan poltto on muistettava huomioida maakaasun kulutusta arvioitaessa.

Ostetun maakaasumäärän poiketessa suuresti tilaustehosta on tämän taloudellista vaikutusta pyritty lieventämään ostamalla ja myymällä kaasua pörssissä. Tähän asti kaupankäynnin on kuitenkin hoitanut päivätyöntekijä, joka ei pysty tarkkaan ennustamaan tehtaan tapahtumia iltaisin, öisin tai viikonloppuisin.

Sopivampi henkilö pörssissä tehtävien ostojen ja myyntien toteuttamiseen olisi vuoromestari. Vuoromestarin tulisi keskustella yhdessä voimalaitoksen operaattorin kanssa höyryn tarpeesta ottaen huomioon kaikki luvussa 10 mainitut seikat. Höyryn tarpeeseen perustuen vuoromestari pystyy tekemään pörssikauppaa ja on myös aina paikalla, jos yllättävien tilanteiden takia kauppoja on syytä muuttaa tai perua.

Ostoja ja myyntejä tehtäessä on niistä aina kerrottava operaattorille, jotta hän osaa omalla toiminnallaan vaikuttamaan kauppojen kannattavuuteen.

## 11 SÄHKÖTASE

Voimalaitoksen operaattorin tehtäviin on vuoden 2011 alusta lähtien kuulunut sähkön tuotannon ja kulutuksen ennustaminen Empowerille. Sähkötase tulee ennustaa joka päivä kello 10.00 mennessä vuorokausi kerrallaan alkaen seuraavan vuorokauden kello 01.00:sta. Ennustus tehdään jokaiselle tasatunnille mahdollisimman tarkasti ja sitä on syytä muuttaa päivän kuluessa, jos tilanne niin vaatii. Muutokset pitää syöttää järjestelmään viimeistään tunti 15 minuuttia aikaisemmin, jotta ne pystytään huomioimaan Empowerilla. Muutoksia tehtäessä tulee operaattorin aina myös soittaa Empowerille. Sähkötaseen päivitys on usein ollut puutteellista.

Sähköä myydään ja ostetaan sen mukaan, mitä operaattori on järjestelmään syöttänyt. Jos sähköntuotanto ennustetaan suuremmaksi kuin se todellisuudessa on, joudutaan loppuosa luvatussa tuotannosta ostamaan. Jos taas sähkönkulutus ennustetaan todellista kulutusta suuremmaksi, pienenee myytävän sähkön määrä tai sitä saatetaan jopa joutua ostamaan vaikka todellista tarvetta tähän ei olisi.

## 12 EXCEL-LASKENTAOHJELMA

Excel-laskentapohja kehitettiin helpottamaan työntekijöiden työtä heidän arvioidessa muuttuvan höyryn kulutuksen vaikutusta maakaasun käyttöön ja sähkön tuotantoon sekä helpottamaan omaa työtäni maakaasuntilaustehon optimoinnissa. Alkuperäisessä

työnannossa tarkoituksena ei ollut excel-ohjelman luominen. Huomasin tämän kuitenkin lähes välttämättömäksi, jotta maakaasun käyttöä tehtaalla pystytään ennustamaan.

Kombivoimalaitoksen tuotannon tarve määräytyy tehtaan tarvitseman höyryn mukaan. Samalla tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä. Ohjelma laskee syötettyjen tietojen perusteella tehtaalla käytettävän höyryn määrän ja vähentää tästä määrästä soodakattilalla tuotetun ja kaasuturbiinin pakokaasuilla tuotetun höyryn määrään. Jäljelle jäävä höyrymäärä tuotetaan lämmöntalteenottokattilalla lisäpoltolla. Ohjelma laskee lisäpoltton suuruuden. Ohjelmassa on laskettuna myös koko tehtaan maakaasun käyttö MWh sekä sähkön tuotanto kaasu- ja höyryturbiineilla.

Kaikkiin persikan värillä maalattuihin soluihin voi käyttäjä syöttää vaaditun arvon sellaisenaan. Ilman täyttöä oleviin soluihin ei arvoja tarvitse muuttaa. Kaikki solut, joihin muutoksia ei ole tarkoitus tehdä on suojattu, jotta käytettyjä kaavoja ei voitaisi vahingossa muuttaa tai poistaa.

## 12.1 Höyryn kulutus tehtaalla

12, 5 ja 3 baarin höyryn kulutus kohteet on eritelty samalla tavalla, kuin valvomon kuvassa 16.6. Kaikki nämä höyryn kulutukset tulee ohjelman käyttäjän syöttää exceliin, kg/s. Luvussa yhdeksän on kerrottu suurimmat syyt höyryn kulutuksen vaihteluun. Nämä seikat tulee huomioida höyrymääriä syötettäessä ohjelmaan.

Erillisille välilehdille on kerätty tietoja sellutehtaan ja paperikone 2:n höyryn kulutukseen vaikuttavista tekijöistä, joiden avulla voidaan höyryn kulutusta kohteissa ennustaa. Paperikone 1:stä ei saatu tehtyä samanlaista kaaviota, koska järjestelmän on kerätty osa vaadituista tiedoista vasta 24.1.2012 alkaen.

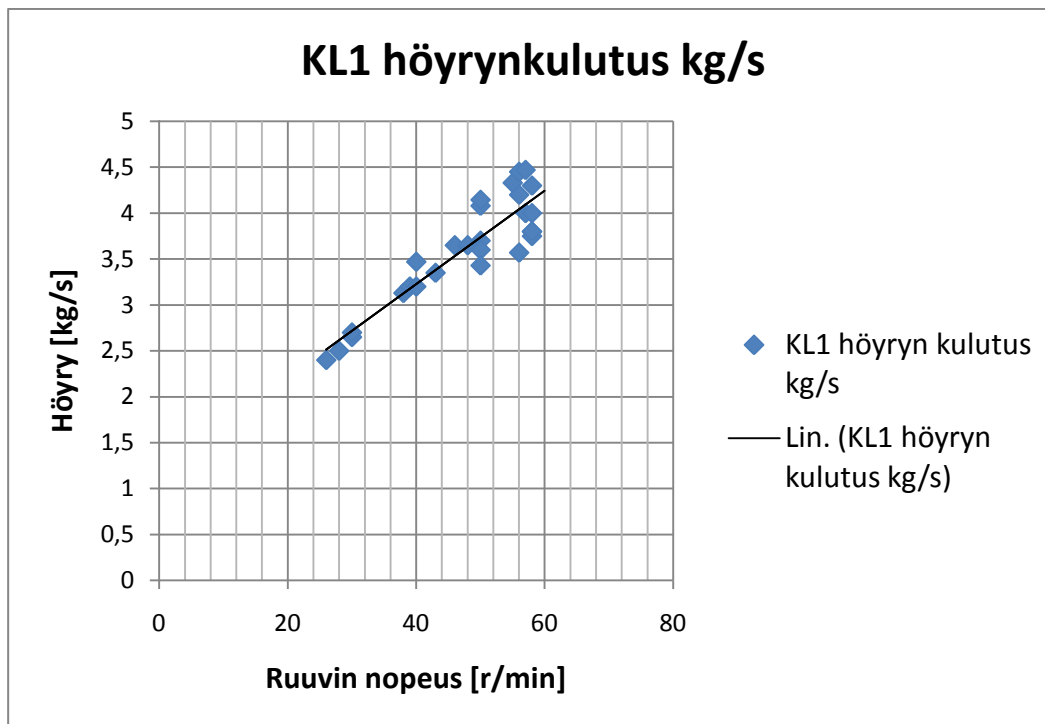


Kuva 8. Excelin välilehdet.

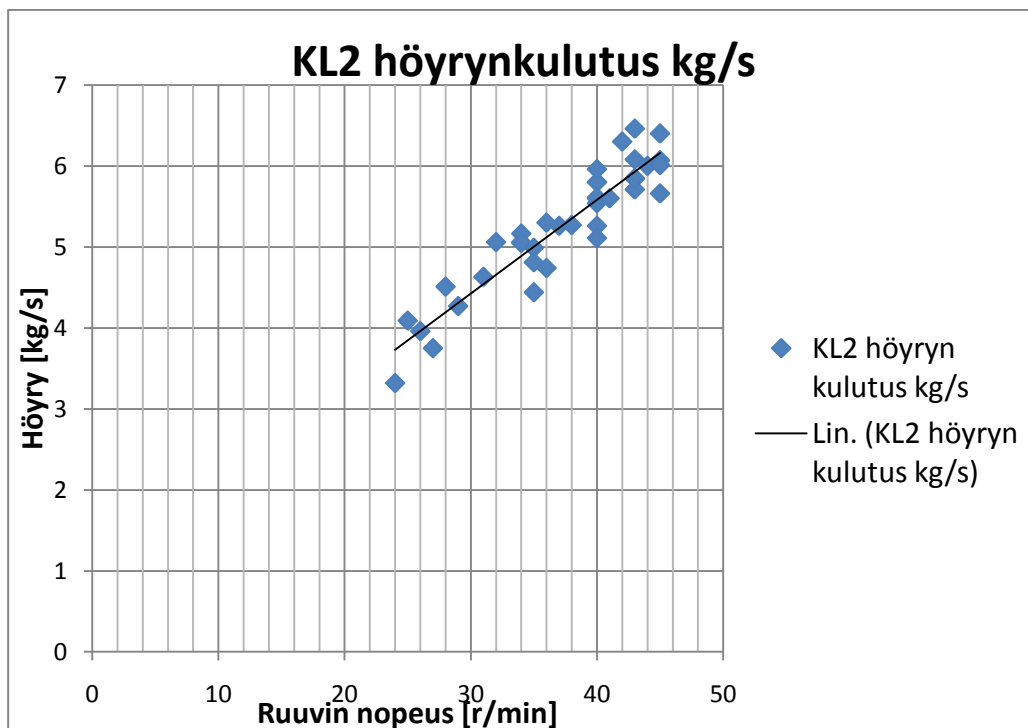
### 12.1.1 Sellutehdas

Sellutehtaan keittimien syöttöä lisätään ja vähennetään ruuvin kierroksia muuttamalla. Seuraaviin kaavioihin on kerätty satunnaisesti tietoja vuoden 2010 ajalta. Kaavioita on

tarkoitus käyttää arvioidessa muutosta höyryn kulutuksessa, kun ruuvien nopeuksia muutetaan. Tämä edellyttää sitä, että voimalaitoksen operaattorit saavat tiedon sellutehtaan ajomuutoksista riittävän ajoissa.



Kuva 9. Sellutehtaan ykköskeittimen höyrynkulutus.

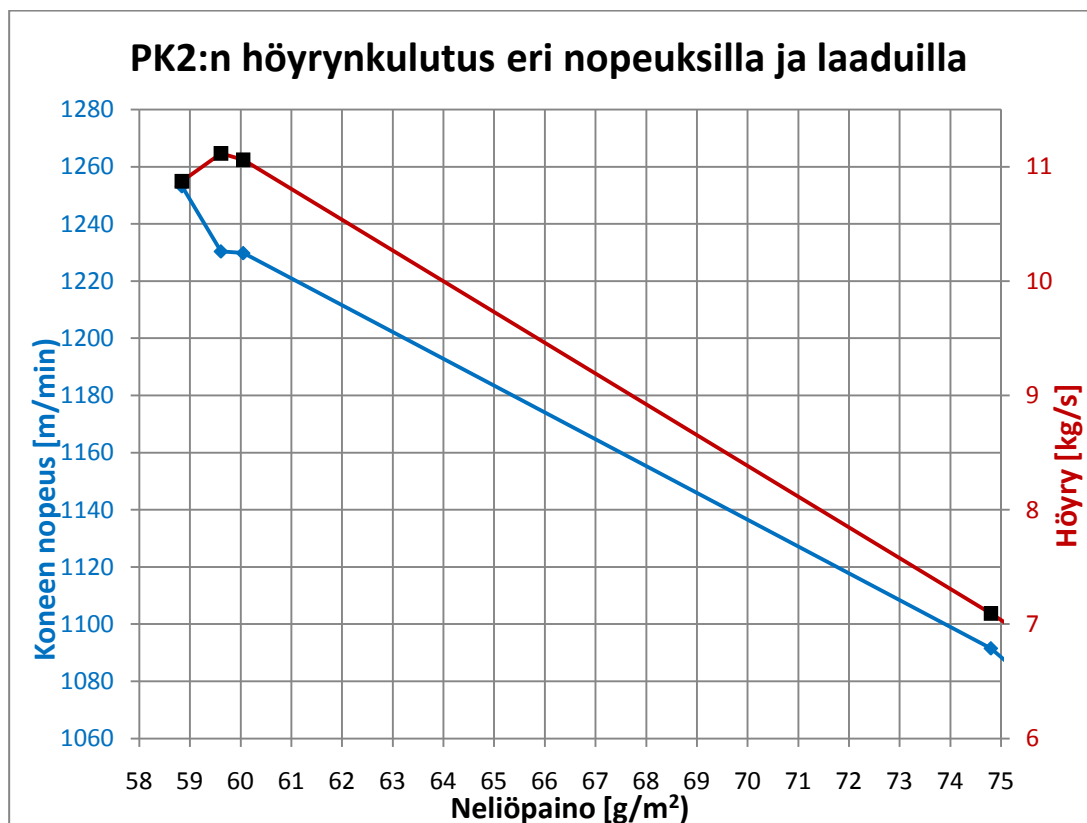


Kuva 10. Sellutehtaan kakkoskeittimen höyrynkulutus.

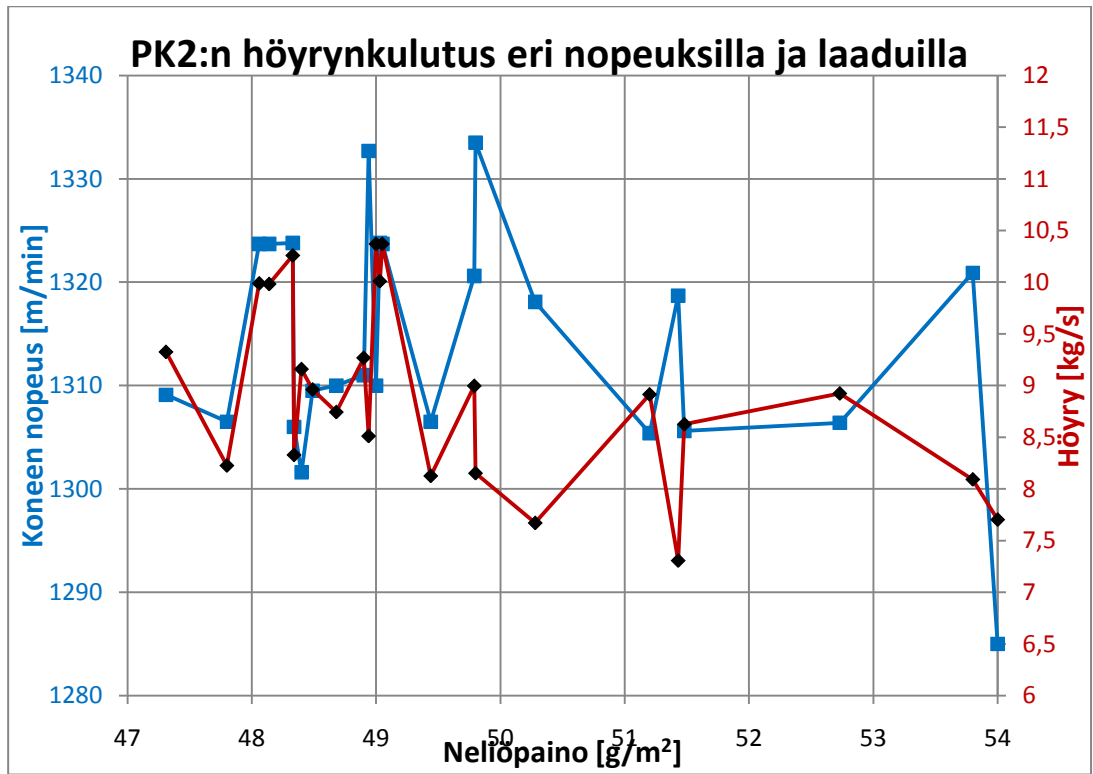
Kuitulinja2:n keittimeen ajetaan pieni määrä höyryä myös keittimen pohjalle. Tämä höyry on laskettu mukaan edelliseen kaavioon. Kaavioon kerätyt tiedot on taulukoitu samalle välilehdelle exceliin. Taulukosta selviää eriteltynä myös pohjahöyrynmäärä, mikäli sitä halutaan erikseen tarkastella.

### 12.1.2 Paperikone 2 ja TMP

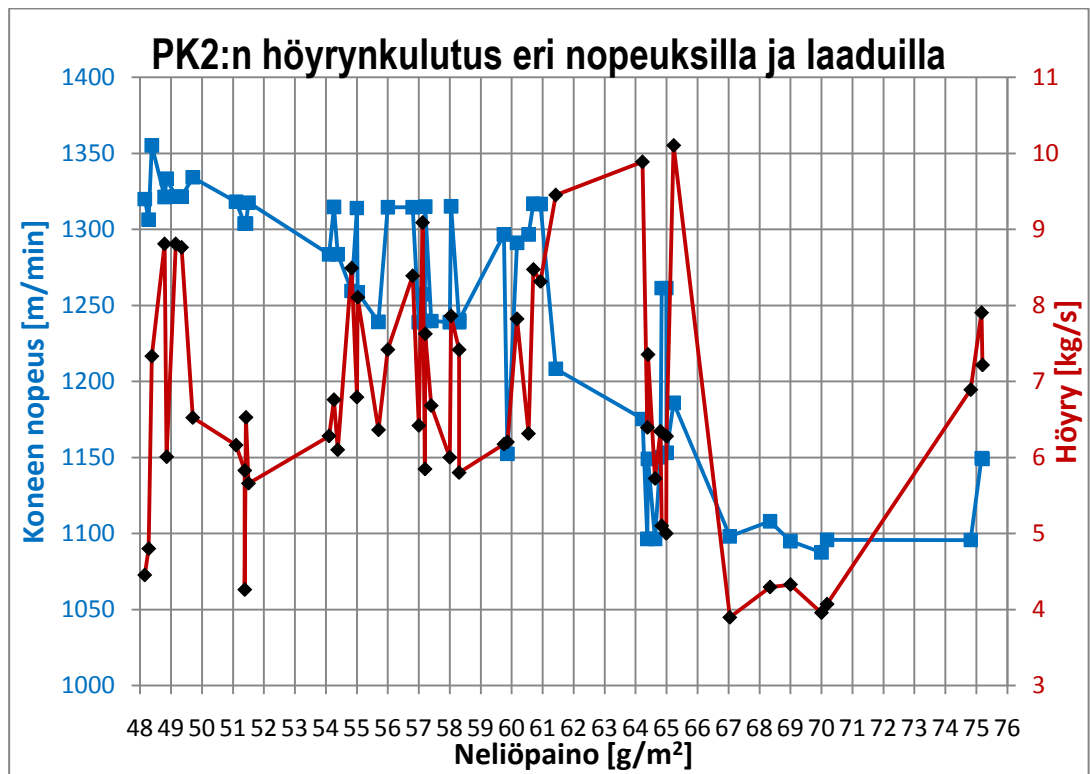
Paperikone 2:n höyryn kulutusta on tarkoitus ennustaa käyttäen apuna alla olevia kaavioita. Kaavioita on neljä kappaletta, joihin kaikkiin on kerätty tiedot paperikoneen neliöpainosta rullaimella ja rullaimen nopeudesta sekä voimalaitokselta koneelle menevän höyryn määrästä. Kuvat 1–4 kuvaavat hiertämöllä ajossa olevien parien määrää 0–3. Tiedot kaavioihin on kerätty kahdesta eri järjestelmästä joista toinen on niin uusi, että tietoja on tallentunut järjestelmään vasta 19.9.2011 alkaen. Tästä syystä näiden kaavioiden tiedot on kerätty vajaan kolmen kuukauden ajalta. Useimmiten hiertäjä ajaa kahdella parilla, joten tästä tilanteesta on kerätty eniten tietoja. Vastaavasti harvoin on tilanne, ettei hiertäjän pareista olisi yhtään ajossa, joten tästä tilanteesta on onnistuttu keräämään vain muutama esimerkki.



Kuva 11. PK2:n höyrynkulutus eri nopeuksilla ja laaduilla TMP:n ollessa alhaalla.



Kuva 12. PK2:n höyrynkulutus eri nopeuksilla ja laaduilla TMP:n ajaessa yhdellä parilla.



Kuva 13. PK 2:n höyrynkulutus eri nopeuksilla ja laaduilla TMP:n ajaessa kahdella parilla.





$$\eta_{sooda} = \frac{\phi_{hyöty}}{\phi_{tuotu}}$$

$\eta_{sooda}$  soodakattilan höyryntuotannon hyötysuhde

$\phi_{hyöty}$  soodakattilalta hyödyksi saatu lämpövirta [kW]

$\phi_{tuotu}$  soodakattilaan tuotu energiavirta [kW]

Soodakattilalta hyödyksi saatu lämpövirta lasketaan kaavalla:

$$\phi_{hyöty} = m_1 * (h_1 - h_2)$$

$m_1$  soodakattilan höyryn virtaus [kg/s]

$h_1$  soodakattilan tuorehöyryn entalpia [kJ/kg]

$h_2$  soodakattilan syöttöveden entalpia [kJ/kg]

Soodakattilaan tuotu energiavirta lasketaan käyttäen kaavaa:

$$\phi_{tuotu} = m_{11} * \frac{\rho_1}{1000} * H_{uml} * 1000$$

$m_{11}$  polttolipeän virtaus kattilaan [l/s]

$\rho_1$  polttolipeän tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$H_{uml}$  polttolipeän lämpöarvo [MJ/kg]

Yhdistämällä kaavat saadaan hyötysuhteenlaskentakaava muotoon:

$$\eta = \frac{m_1 * (h_1 - h_2)}{m_{11} * \rho_1 * H_{uml} * 1000}$$

Totuudenmukaisen tuloksen saamiseksi laskelmat on tehty kolmesta eri ajotilanteesta, joiden lähtötiedot on taulukoitu alla. Polttolipeän lämpöarvo käy ilmi 5.10.2011 tehdystä mustalipeäanalyyysistä.

	1 25.9.2011	2 23.10.2011	3 23.11.2011
Lipeän lämpöarvo MJ/kg	7,3	7,3	7,3
Polttoliipeän virta l/s	7,6	7,4	7,0
Polttoliipeän tiheys kg/l	1,363	1,363	1,359
Polttoliipeän massavirta kg/s	10,36	10,09	9,51
Tuorehöyryn massavirta kg/s	22,18	22,86	19,47
Syöttöveden lämpötila °C	114	111	112
Syöttöveden paine MPa	10,7	10,3	10,1
Syöttöveden entalpia kJ/kg	486	473	477
Tuorehöyryn lämpötila °C	437	475	478
Tuorehöyryn paine MPa	7,84	7,85	7,93
Tuorehöyryn entalpia kJ/kg	3335	3338	3346
Soodakattilan lämmön- tuotannon hyötysuhde	0,8355	0,8893	0,8046

Taulukko 5. Soodakattilan hyötysuhteen laskennassa käytetyt arvot.

Soodakattilan hyötysuhteenä on käytetty edellisten tulosten keskiarvoa, joka lasketaan käyttämällä kaavaa:

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3}$$

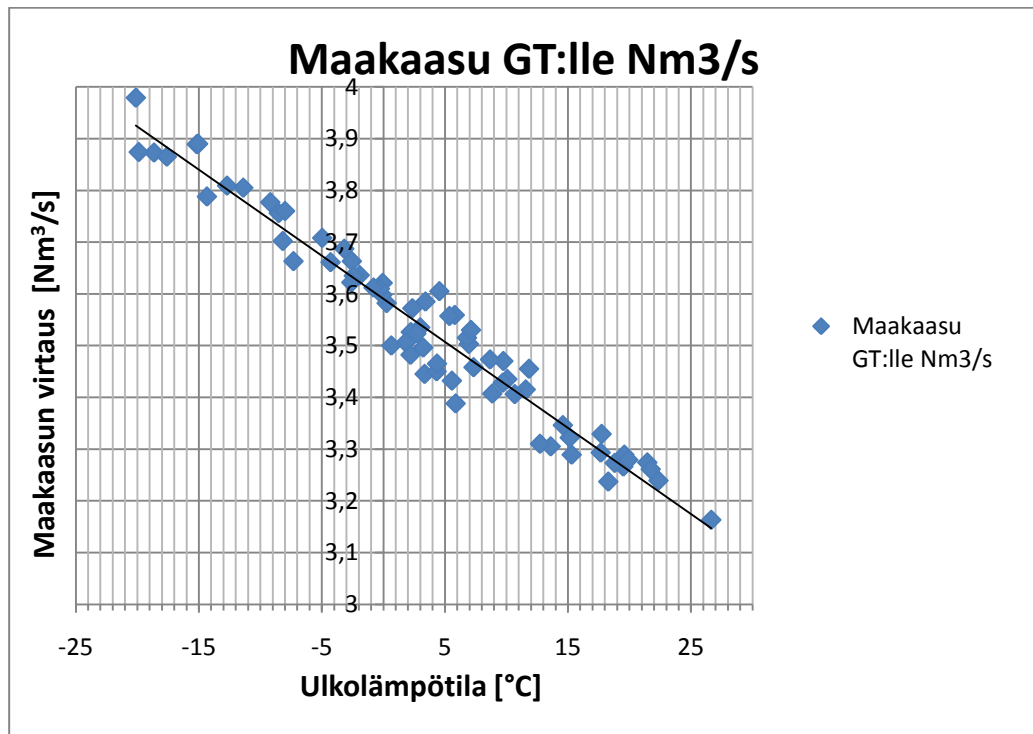
$$\eta = \frac{0,8355 + 0,8893 + 0,8046}{3} = 0,8431$$

Excel laskentapohjaan syötetään polttoliipeän tiheys kg/m<sup>3</sup> ja polton suuruus l/s. Lisäksi suovan ollessa poltossa syötetään polttoon menevän suovan suuruus kg/s. Ohjelma huomioi myös soodakattilassa poltettavan maakaasun määrän. Syötettyjen tietojen perusteella ohjelma laskee soodakattilalla tuotetun höyryn määrän kg/s ja vähentää siitä ulospuhallukseen menevän höyryn.

### 12.3 Kaasuturbiini

Kaasuturbiinia ajetaan base-ajotavalla, jolloin turbiinista saadaan mahdollisimman suuri teho. Tässä työssä tehon suuruuteen on huomioitu vaikuttavan ulkolämpötila. Kylmällä ilmalla ilman tiheys on suurempi, jolloin ilmaa virtaa kiloina sekunnissa enemmän turbiini läpi antaen näin suuremman tehon. Tämä tarkoittaa samalla myös sitä, että kylmällä ilmalla maakaasun virtaus turbiinille kasvaa. Turbiinin tehoa ei ole voitu laskea savukaasujen entalpioiden avulla, sillä laitoksella ei ole savukaasun virtaus- eikä lämpötilamittareita. Turbiinin sähköntuotannon hyötysuhteen on oletettu pysyvän samana lämpötilasta riippumatta.

Maakaasun kulutuksesta suhteessa lämpötilaan on kerätty tietoja satunnaisista pisteistä vuoden 2010 ajalta. Kerättyjä tietoja on käytetty seuraavan kuvaajan piirtämiseen:



Kuva 15. Maakaasun virtaus kaasuturbiinille.

Excel-ohjelmaan syötetään ulkolämpötila, jolloin ohjelma laskee edellisen kuvaajan suoraan perustuen maakaasun virtauksen kaasuturbiinille. Ohjelma hyväksyy ulkolämpötilaksi syötettävän kokonaisluvun väliltä +26...-20 °C. Virtauksen mukaan lasketaan polttoaineteho käyttäen kaavaa:

$$P_1 = m_{12} * H_{umk}$$

$P_1$  Kaasuturbiinin polttoainetehto [MW]

$m_{12}$  maakaasun virtaus kaasuturbiinille [Nm<sup>3</sup>/s]

$H_{umk}$  maakaasun lämpöarvo [MJ/Nm<sup>3</sup>]

Kaasuturbiinin sähköntuotanto lasketaan vuoden 2010 energiataseista saadulla hyötysuhteella, joka on 30,5 %. Kaasuturbiinin sähköteho on siis:

$$P_{11} = P_1 * 0,305$$

$P_{11}$  kaasuturbiini sähköteho [MW]

0,305 kaasuturbiinin sähköntuotannon hyötysuhde

Korkea- ja matalapaineipiireihin siirtyvä osuus kaasuturbiinilla poltetun maakaasun tehoista on laskettu käyttäen taulukossa 4 esiintyviä arvoja sekä kuvan 10 kuvaajaa. Ulkolämpötilan ollessa 0 °C kuvaajan perusteella voidaan todeta, että kaasuturbiini polttaa maakaasua 3,59Nm<sup>3</sup>/s. Maakaasun lämpöarvo on 36 MJ/Nm<sup>3</sup>, joten polttoaineen tehoksi saadaan

$$P_1 = 3,59 * 36 = 129,24MW$$

Korkeapaineipiiri höyrystää ilman lisäpoltoa on 17,8kg/s ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Matalapaineipiirin höyrystys on tällöin 4,2 kg/s. Korkeapaineipiirin syöttöveden entalpia on 482 kJ/kg ja höyryn 3440kJ/kg. Matalapainepuolen syöttövesi on entalpiaaltaan 482 kJ/kg ja höyryn entalpia on 2840kJ/kg. Näillä arvoilla voidaan laskea korkea- ja matalapaineipiirien käyttämät tehot seuraavilla kaavoilla:

$$P_2 = m_2 * (h_3 - h_4)$$

$$= 17,8 * (3440 - 482) = 52652kW = 52,652MW$$

$P_2$  korkeapaineipiirin teho [kW]

$m_2$	korkeapainehöyryn virtaus [kg/s]
$h_3$	korkeapainehöyryn entalpia [kJ/kg]
$h_4$	korkeapaine syöttöveden entalpia [kJ/kg]

$$P_3 = m_3 * (h_5 - h_6)$$

$$= 4,2 * (2840 - 482) = 9903,6kW = 9,904MW$$

$P_3$	matalapainepiirin teho [kW]
$m_3$	matalapainehöyryn virtaus [kg/s]
$h_5$	matalapainehöyryn entalpia [kJ/kg]
$h_6$	matalapaine syöttöveden entalpia [kJ/kg]

Vertaamalla korkea- ja matalapainepiirien käyttämiä tehoja kaasuturbiinin käyttämään polttoainetehoon saadaan laskettua, paljonko kaasuturbiinilta saadaan tehoja höyryn tuottamiseen. Korkeapainepiiriin siirtyvän tehon osuuden laskemiseen käytetään kaavaa:

$$PK_\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$= \frac{52,652}{129,24} = 0,4074$$

$PK_\eta$  kaasuturbiinin polttoainetehosta korkeapainepiiriin siirtyvä osuus

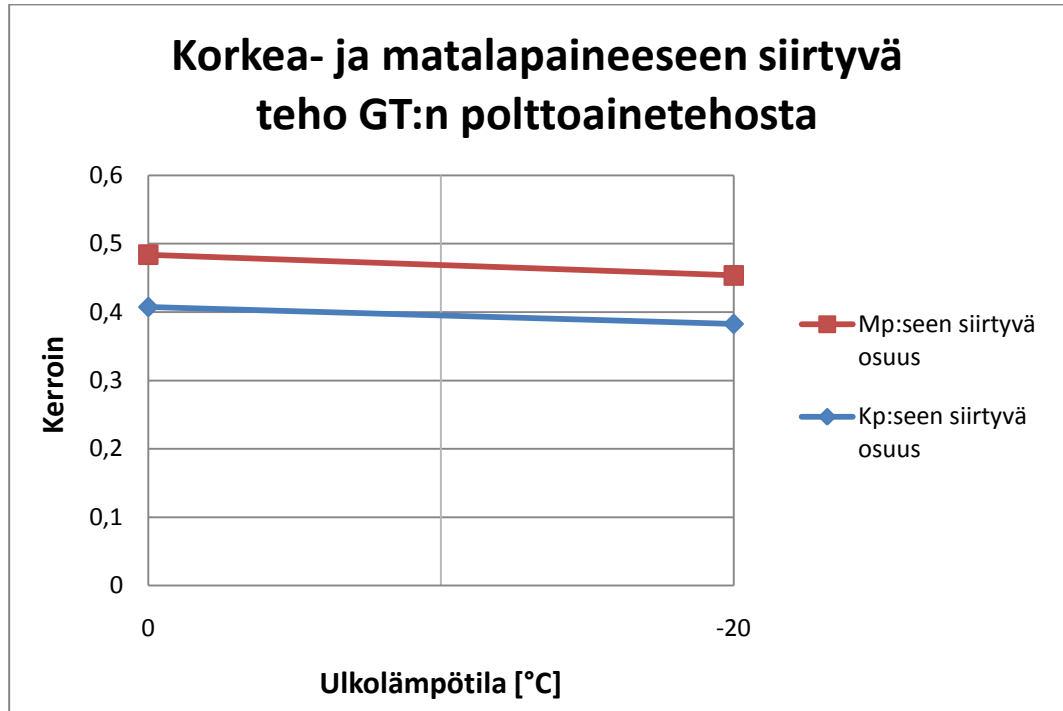
Matalapainepiirin osuus lasketaan kaavalla:

$$PM_\eta = \frac{P_3}{P_1}$$

$$= \frac{9,904}{129,24} = 0,0766$$

$PM_{\eta}$  kaasuturbiinin polttoainetehosta matalapainepiiriin siirtyvä osuus

Edellä lasketut arvot on saatu taulukosta ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Samat laskutoimitukset on suoritettu olettaen ulkolämpötilan olevan -20 °C. Seuraava kaavio on piirretty saatujen tulosten perusteella:



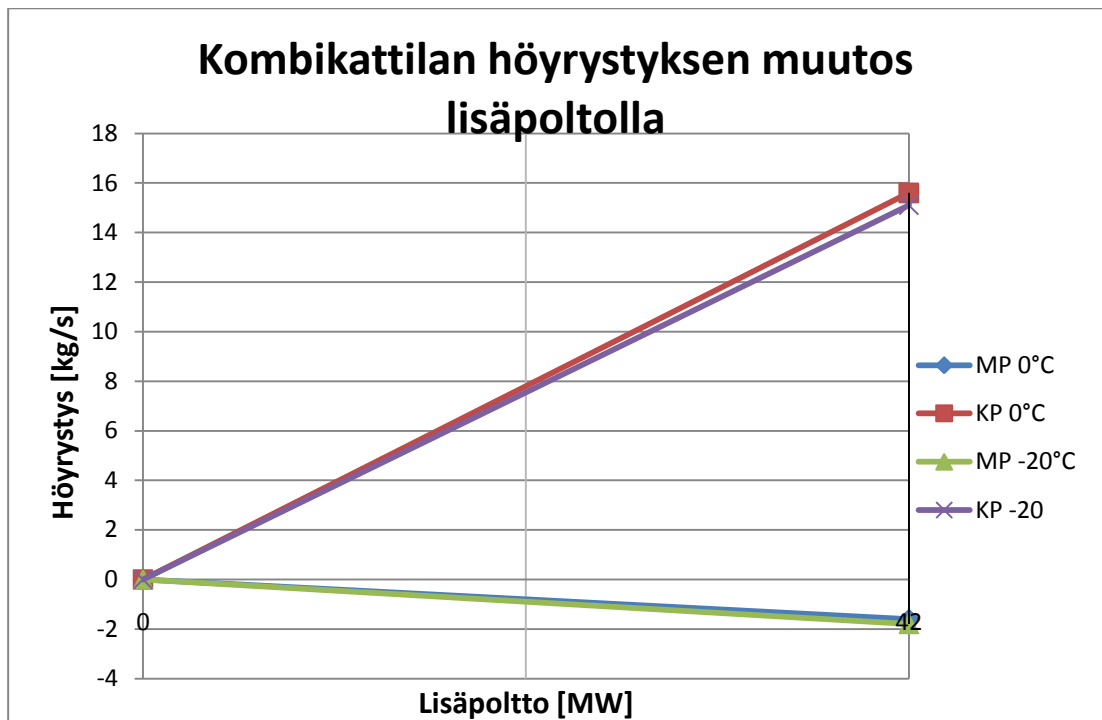
Kuva 16. Korkea- ja matalapaineeseen siirtyvä teho.

Kuvaajasta huomataan, ettei muutos ole kovin suuri. Ohjelma käyttää oletuksena kertoimia, jotka on laskettu 0 °C:n mukaan. Tarvittaessa kertoimia pääsee muuttamaan kuvaajan avulla, joka löytyy excelistä erilliseltä välilehdeltä. Kertoimien avulla ohjelma laskee korkea- ja matalapainepiireihin siirtyvät tehot sekä höyryn tuoton kg/s. Tuotetusta höyrymäärästä vähennetään ulospuhallukseen menevä osuus.

#### 12.4 Kombikattilan lisäpoltto

Korkeapainehöyrystyksen on oletettu nousevan lineaarisesti lisäpoltton tehoihin nähden. Matalapainehöyrystys on vastaavasti katsottu laskevan lineaarisesti. Lisäpoltton maksimiteho on 42 MW. Taulukosta 4 saatujen tietojen perusteella on piirretty kuvaaja, joka kuvaa lisäpoltton vaikutusta korkea- ja matalapainehöyrystykseen kaasuturbiinin ollessa base load -ajolla. Suoria kuvassa on neljä. Kaksi suorista kuvaa korkea- ja

matalapaine höyrystyksen muutosta lisäpoltton tehoon nähden ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Toiset kaksi kuvaavat piirien höyrystyksen muutosta ulkolämpötilan ollessa -20 °C.



Kuva 17. Korkea- ja matalapaine höyrystyksen muutos lisäpoltolla.

Laskentaohjelma laskee, paljonko tehdas tarvitsee höyryä soodakattilan tuottaman ja kaasuturbiinin pakokaasuilla tuotetun höyryn lisäksi. Edellisen kuvaajan suoriin, lämpötilan ollessa 0 °C, perustuen ohjelma ilmoittaa, kuinka paljon lisäpolttimilla täytyy polttaa maakaasua, jotta höyryn tuotantotarve saadaan täytettyä. Lisäpoltton laskennassa käytettyihin kaavoihin on tehty tarvittavat rajaukset, jotta ohjelma laskee maakaasun määrän oikein siinäkin tapauksessa, että lisäpolttoa ei tarvita tai sen tarve on vähäisempi kuin lisäpoltton minimi teho. Lisäpoltton maksimi teho on rajattu 42 MW:iin.

Kuvaajan mukaan korkeapainehöyryn tuotto täydellä lisäpoltolla laskee 0,5 kg ja matalapaineen 0,2 kg, kun ulkolämpötila laskee 0 °C:sta -20 °C:een. Vaikutus ei siis ole kovin suuri, joten sitä ei ole laskentaohjelmassa huomioitu. Ohjelmaan pystyy kuitenkin vaihtamaan korkeapainehöyryn tuoton maksimi lisäyksen lisäpoltolla sekä matalapainehöyryn maksimi vähenemisen. Apuna voidaan käyttää edellistä kuvaajaa, joka löytyy erilliseltä välilehdeltä.

Höyryntarpeen mukaan lasketaan lisäpolton teho kaavalla:

$$P_4 = \frac{m_{tarve} * 42}{m_5 + m_4}$$

$P_4$  lisäpolton teho [MW]

$m_{tarve}$  lisäpoltolla tuotettavan höyryn määrä [kg/s]

$m_4$  matalapainehöyryn vähentyminen maksimi lisäpoltolla [kg/s]

$m_5$  korkeapainehöyryn lisääntyminen maksimi lisäpoltolla

42 Lisäpolton maksimi teho kaasuturbiini ollessa base load -ajossa [MW]

Megawattit muutetaan kuutioiksi sekunnissa käyttäen kaavaa:

$$m_{13} = P_4 * H_{umk}$$

$m_{13}$  maakaasun virtaus lisäpolttimille [Nm<sup>3</sup>/s]

Lisäpolton vaikutus korkea- ja matalapaine höyrystykseen on eritelty, jotta höyryturbiini sähköntuotanto pystytään ennustamaan mahdollisimman tarkasti. Vaikutus korkeapainehöyrystykseen on laskettu kaavalla:

$$m_6 = \frac{m_5}{42} * P_4$$

$m_6$  lisäpoltolla saatu muutos korkeapaine höyrystykseen [kg/s]

Lisäpolton vaikutus matalapainehöyrystykseen saadaan kaavalla:

$$m_7 = \frac{m_4}{42} * P_4$$

$m_7$  lisäpoltosta aiheutuva muutos matalapainehöyrystykseen [kg/s]



## 12.5 Höryturbiini

ABB höryturbiiniin virtaa soodakattilan tuottama höyry sekä kombikattilan korkeapainepiirillä tuotettu höyry. Turbiinissa on 12 baarin väliotto. Loppu höyry ajetaan turbiini jälkeen 5 baarin vastapaineverkkoon.

Ohjelma laskee höryturbiinin sähkötehon käyttäen kaavaa:

$$P_{12} = \frac{m_{10} * h_7 - m_8 * h_8 - m_9 * h_9}{1000}$$

$P_{12}$  höryturbiinin sähköteho [MW]

$m_{10}$  korkeapainehöyryn virtaus turbiinille [kg/s]

$h_7$  korkeapainehöyryn entalpia [kJ/kg]

$m_8$  väliottohöyryn virtaus [kg/s]

$h_8$  väliottohöyryn entalpia [kJ/kg]

$m_9$  vastapainehöyryn virtaus [kg/s]

$h_9$  vastapainehöyryn entalpia [kJ/kg]

## 12.6 Maakaasun kulutus tehtaalla

Kaasuturbiinin ja kombikattilan käyttämää maakaasua lukuun ottamatta täytyy kaikki kulutukset syöttää ohjelmaan, Nm<sup>3</sup>/s. Kulutukset näkyvät valvomossa kuvasta 15.21. Lopputuloksena ohjelma laskee koko tehtaan maakaasunkulutuksen MWh.

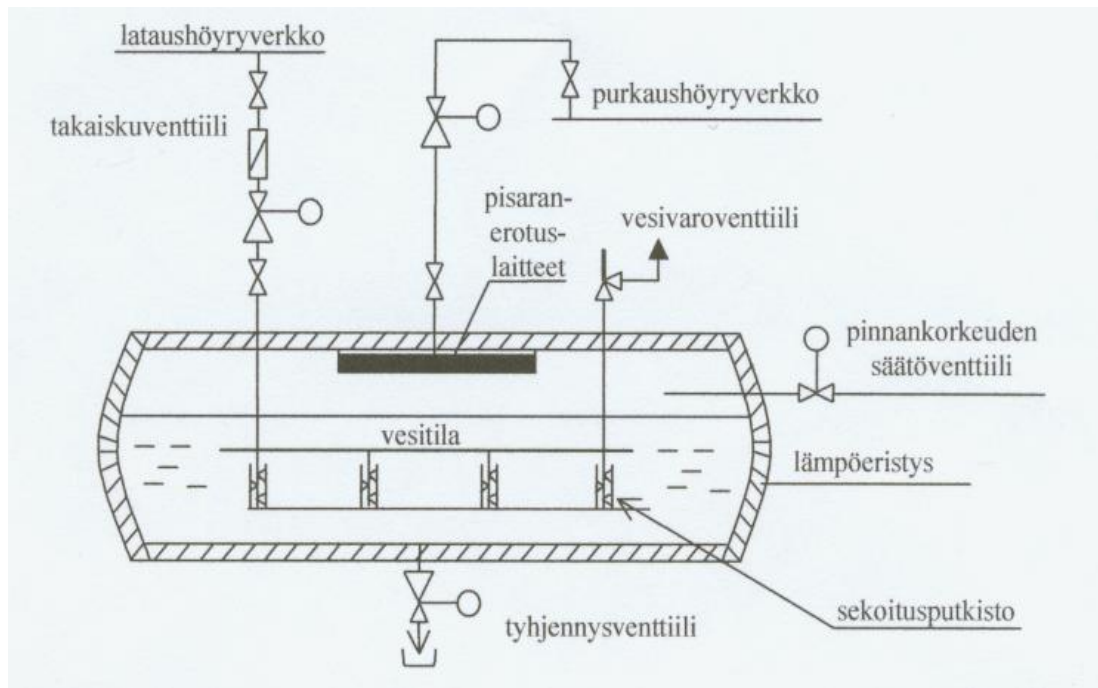
## 13 KEHITYSMAHDOLLISUUKSIA

### 13.1 Höryakku

Kotkamillsin tehtaalla ei ole höryakkuja, mutta sen hankinnan kannattavuutta kannattaisi tutkia. Höryakun ansiosta maakaasun kulutus pysyisi tasaisempänä ja tilausteho saataisiin paremmin optimoitua.

Höryakku varastoi tarvittaessa ylijäämähöyryn tai lisää höyryn määrää verkostossa. Sen avulla voidaan tasata höyryntuotantoa ja kompensoida prosessin kuormitusvaihtelut sekä yllättävät häiriötilanteet. Tarvittaessa akku toimii myös lyhytaikaisena varavoimana, jos höyryntuotanto keskeytyy. (17.)

Höryakun varastoivana väliaineena toimii vesi. Varaajana käytetään yleensä makuu-vaava painesäiliötä. Varaajan ollessa täydessä latauksessa sen tilavuudesta noin 90 % on kylläistä vettä. Vesimäärä pienenee noin 20 %, kun varaaja puretaan. (18.)



Kuva 18. Höryakku. (18.)

Höryakku tulee olla kytkettynä sekä lataus- että purkaushöyryverkkoon. Jos turbiinilta tulevaa höyryä on liikaa prosessin höyryntarpeeseen nähden, voidaan lataushöyryverkon kautta akkuun varastoida ylimääräinen höyry. Purkaushöyryverkkoon voidaan

syöttää varastoitunut lämpöteho silloin, kun höyryn tuotannossa ilmenee vajausta tai höyryn kulutus on huipussaan. (18.)

### 13.2 Soodakattilan nuohouksen optimointi

Liiallinen nuohous kuluttaa turhaan kallista nuohoushöyryä. Nuohous vaikuttaa myös kattilan lämpötilaan laskevasti, joten se huonontaa merkittävästi kattilan hyötysuhdetta. Lisäksi osa nuohoimista päästää nuohouksesta syntyvää lauhdetta vuotamaan höyrytukkiin, jolloin myös tukissa olevan höyryn lämpötila laskee. Liian vähäinen nuohous johtaa kattilan tukkeutumiseen ja aiheuttaa näin suuria ongelmia.

Jotta soodakattilaa voitaisiin nuohota tarpeen mukaan vaaditusta paikasta, täytyy kattilassa olla paine- ja lämpötilamittauksia. Kotkamillssin soodakattilassa näitä mittareita ei ole tarpeeksi, jotta pystyttäisiin tarkkaan määrittämään nuohousta vaativaa paikkaa kattilassa. Lisäämällä mittareita saataisiin nuohouksen tarve optimoitua ja säästyttyisiin turhilta nuohouksilta. Toisaalta kattilan nuohous ei myöskään jäisi liian vähälle, jolloin säästytään sen aiheuttamilta haittavaikutuksilta. Nykyisiä nuohoustarpeesta kertovia mittauksia kannattaisi myös hyödyntää entistä tehokkaammin.

### 13.3 Paperikoneiden ajojen seuranta

Voimalaitoksen operaattori pystyy ajamaan laitosta taloudellisesti vain, jos hänellä on riittävästi tietoa tehtaan muiden osastojen toiminnasta. Paperikoneet kuluttavat suuren osan voimalaitoksella tuotetusta höyrystä, joten niiden ajomuutokset huomataan voimalaitoksella. Paperikoneiden höyrynkulutukseen vaikuttavat eniten ajettavan paperin laatu ja rullaimen nopeus. Operaattoreilla on mahdollisuus käyttää kotti-ohjelmaa, josta selviää koneiden ajosuunnitelma. Ajosuunnitelmasta näkee ajettavan paperinlaadun. Kotti-ohjelman käyttöä voisi voimalaitoksella lisätä. Lisäksi voimalaitoksen valvomon näytölle 16.1 voisi lisätä paperikoneiden ajonopeudet, jolloin molemmat höyryn kulutukseen suuresti vaikuttavat suureet olisi nähtävillä. Tämä ei kuitenkaan auta ennalta koimaan höyrynkulutusta, jos osastojen välinen yhteistyö ei toimi.

### 13.4 Laskenta-ohjelman parantelu

Laskentaohjelmassa on tietoisesti jätetty joitakin seikkoja huomioimatta, kuten esimerkiksi ilman kosteus. Tarpeen vaatiessa voi ohjelman laskentatarkkuutta parantaa.

Kaasuturbiinin sähköntuotannon hyötysuhde on ohjelmassa asetettu vakioksi vaikka todellisuudessa se kasvaa hieman kylmällä ilmalla. Myös soodakattilan hyötysuhde pysyy samana riippumatta siitä poltetaanko kattilassa pelkkää lipeää vai lipeän lisäksi myös suopaa, kaasua tai öljyä. Ohjelmaa käytettäessä saatetaan huomata myös muita epäkohtia, joita ei ohjelman teko vaiheessa ole osattu ottaa huomioon.

Osa höyryn kulutuksista on tällä hetkellä vaikea ennustaa, koska siihen ei aikaisemmin ole kiinnitetty huomiota. Jatkossa mm. paperikoneiden höyrynkulusta ja siihen vaikuttavia seikkoja olisi tarpeen seurata, jotta höyrynkulutusta olisi jatkossa helpompi ennustaa. Seurausta voisi edellisessä kohdassa 14.3 mainittujen toimien toteutuessa tehdä paperikoneiden hoitajien lisäksi myös voimalaitoksen operaattorit. E erityisen tärkeää on saada muiden osastojen työntekijät ymmärtämään oman toiminnan vaikutus voimalaitoksella. Näin vuoromestari ja voimalaitoksen operaattori voi saada tarvittavat tiedot höyrynkulutuksesta ja excel-ohjelmaa apuna käyttäen ennustaa maakaasun kulutuksen tehtaalla.

Excel-ohjelmaa pystyy käyttämään vain jos tehdas on ns. normaalitilassa eli kaasuturbiini on base load -ajolla. Jos ohjelma koetaan hyödylliseksi voi sen käytettävyyttä parantaa lisäämällä vaihtoehtoisia ajotapoja, kuten kombikattilan raitisilmapoltto ja kaasuturbiini ajo osakuormalla.

Käyttäjä joutuu syöttämään ohjelmaan joka kerta erikseen höyryn kulutukset ja osan maakaasun kulutuksista. Ohjelman käyttö helpottuisi ja nopeutuisi, jos osa näistä mitaustiedoista saataisiin kerättyä valvomojärjestelmästä exceliin. Kaikkia tietoja ei kannata reaaliaikaiseen keruuseen ottaa, sillä ohjelman tarkoitus ei ole laskea kyseisen hetken maakaasunkulutusta, vaan ennustaa se tulevaisuudessa.

## 14 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin suuria eroja voimalaitoksen ajotavoissa operaattoreiden välillä. Osalla operaattoreista ei ole tarvittavaa tietoa taloudellisesta ajotavasta sen toteuttamiseksi. Osa taas ei tiedosta huolimatta kiinnitä siihen huomiota.

Energiataloutta on mahdollisuus optimoida, mutta se vaatii työntekijöiden sitoutumista, työnjohdon ohjeistusta sekä yhteistyötä osastojen, työnjohdon ja työntekijöiden vä-

lillä. Maakaasun tilausteho on kesällä ollut selvästi turhan korkea. Talvella tilaustehon nostotarpeeseen vaikuttaa suuresti pakkasasteet.

Tekemällä kaasukauppaa pörssissä saadaan tehtaan maakaasun kustannuksia laskettua. Onnistuneiden kauppojen saamiseksi täytyy kaupan tekijän olla tietoinen tehtaan tapahtumista ja pystyttävä tekemään muutoksia järjestelmään vuorokauden kaikkina aikoina. Ennen kaasukauppojen tekoa on keskusteltava aina voimalaitoksen operaattorin kanssa, jotta voidaan ottaa kaikki tarvittavat seikat huomioon. Excel-laskentaohjelmaa voidaan käyttää apuna tehtaan kaasun tarpeen arvioimisessa. Sitä varten on tiedettävä tehtaan höyryn kulutukset. Jos höyryn kulutuksen tiedetään muuttuvan, pystyy ohjelmalla laskemaan sen vaikutuksen maakaasuun. Excel on vain apuväline ja siitä saatuja arvoja on hyvä verrata nykyhetkeen ja näin arvioida todenmukaisuus.

Excel-ohjelmaa ehdittiin testaamaan muutamaan otteeseen ennen opinnäytetyön valmistumista ja se näytti maakaasun kulutuksen noin 2–3 MW:n tarkkuudella. Myös sähköntuotanto kaasu- ja höyryturbiinilla oli melko lähellä todellista arvoa. Ohjelma vaatii kuitenkin vielä useamman testi kerran ja sitä saatetaan joutua parantamaan ennen kuin siihen voi täysin luottaa. Näyttää kuitenkin siltä, että se on hyvä apuväline maakaasun kulutuksen ja sähköntuotannon arvioimisessa.

## LÄHTEET

1. GUT-saitti kotisivut. Sisäinen materiaali.  
<http://intra.kotkamills.com/Sivut/default.aspx>  
[viitattu 26.3.2012]
2. Ruohonen, T. 2011. Kotkamills Oy esittelyaineisto. Sisäinen materiaali.  
<http://intra.kotkamills.com/kotkamills/organisaatio-ja-esittely/Sivut/default.aspx>  
[viitattu 26.3.2012]
3. Media Center. Laminating Papers Oy esittelyohjelma. Sisäinen materiaali.
4. Energia-ekono. 1993. Enso-Gutzeit Oy, kotkan tehtaat toimintakuvaus. Sisäinen materiaali.
5. Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M., Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapainon Oy.
6. Energiateollisuus. Maakaasu. Saatavissa:  
<http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/maakaasu>  
[viitattu 31.1.2012]
7. Gasum. Tuotetiedote. Saatavissa:  
[http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Documents/Maakaasun\\_tuotetiedote.pdf](http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Documents/Maakaasun_tuotetiedote.pdf)  
[viitattu 31.1.2012]
8. Kotkamills Oy. 2010. Energiatase. Sisäinen materiaali.
9. Hupa, M., 1994. Liekki. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
10. Alen, R., Noopila, T., Hupa, M. 1989. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. National government publication.
11. Puusta paperiin M-412. 1979. Metsäteollisuuden työnantajaliitto. Joensuu: Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy.
12. Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy.

13. Puusta paperiin M413. 1979. Metsäteollisuuden työnantajaliitto. Joensuu: Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy.
14. Kombi DNAuse B101. Kotkamills prosessitietojärjestelmä.
15. Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
16. Puusta Paperiin M-302. 1981. Metsäteollisuuden työnantajaliitto. Lappeenranta: Etelä-Saimaan Kustannus Oy.
17. Sahala Works. Höryakut. Saatavissa:  
[http://www.sahala.fi/sahala\\_works/default.asp?siteid=fi&id=Hoyryakut\\_sellu](http://www.sahala.fi/sahala_works/default.asp?siteid=fi&id=Hoyryakut_sellu)  
[viitattu 31.1.2012]
18. Kainulainen, K. 2001. Teollisuussähköverkon stabiilisuus saarekekäyttöön siirryttäessä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Saatavissa:  
[http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical\\_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6/dtyo-kainulainen.pdf](http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6/dtyo-kainulainen.pdf)  
[viitattu 31.1.2012]

MAAKAASUN KULUTUS		Nm <sup>3</sup> /s	MWh	SÄHKÖNTUOTANTO [MWh]	
Kaasuturbiini		3,258	117,3	Kaasuturbiini	35,8
Kombin lisäpoltto		0,628	22,6	Höyryturbiini	23,5
Impregnointi		0,077	2,8	<b>Yhteensä</b>	<b>59,3</b>
SJ		0,000	0,0		
PK2		0,120	4,3		
CE2 käynnistyspolttimet		0,000	0,0		
CE2 kuormuri		0,000	0,0		
Meesa		0,200	7,2		
<b>Yhteensä</b>		<b>4,283</b>	<b>154,2</b>		

HÖYRYN KULUTUS [kg/s]							
12 bar		5 bar		3 bar		Nuohous	
P-ilma	0,6	CE omakäyttö	0,1	Haihduttamo	8,4	CE2	0,5
Sula	0,1	TMP	1,5	KL puru	1,3	Kp	0,4
Pasta	0,2	Klivesi	0,0	PT	1,4	Mp	0,0
KL1	3,6	CE syve	0,9	Kuiv	0,8		
KL2	5,0	PK2 pulp	0,2	Ruok	0,1		
KL2 pohja	0,0	PK1 kok	11,0	Impr	0,0		
Loppuväkevöitin	0,0	PK2 kok	6,0	Sellu	0,1		
		Loppuväkevöitin	3,3	Vesil	0,4		
		Apulauhde	0,0	Kaus ym.	1,9		
		Ksyve	1,4	KL VI	1,0		
<b>Yhteensä</b>	<b>9,53</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>24,35</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>15,35</b>		
				<b>Höyryn kulutus yhteensä</b>		<b>UP Yhteensä</b>	<b>0,9</b>
						<b>49,22</b>	



HÖYRYN TUOTANTO					
Soodakattila	Kombikattila/pakokaasut		Lisäpoltto		
Liipeäpoltto [l/s]	7,5	Ulkolämpötila [°C]	20	Höyryä tarvitaan lisää [kg/s]	7,535
Polttolipeän tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	1360	Maakaasun virtaus [Nm <sup>3</sup> /s]	3,26	Kp höyryn maximi lisäys lisäpoltolla [kg/s]	15,6
Polttolipeän paino [kg/l]	1,36	Maakaasun lämpöarvo [MJ/Nm <sup>3</sup> ]	36	Mp höyry vähenee lisäpoltolla maximissaan [kg/s]	-1,6
Poltto [kg/s]	10,20	GT:n polttoaineteho [MW]	117,30	Lisäpoltton max. Teho [MW]	42
Liipeän lämpöarvo [MJ/kg]	7,3	Sähköntuotannon hyötysuhde	0,305		
		Sähköä [MW]	35,78	Maakaasun lämpöarvo [MJ/m <sup>3</sup> ]	36
Käynnistyspolttimien teho [MW]	0,000	Kp:seen siirtyvä osuus	0,4074	Lisäpoltton tarve [MW]	22,61
Kuormapolttimien teho [MW]	0,000	Kp höyryteho [MW]	47,79	Lisäpoltton tarve [Nm <sup>3</sup> /s]	0,63
		Mp:seen siirtyvä osuus	0,0766		
Suovan poltto [kg/s]	0,00	Mp höyryteho [MW]	8,99	Lisäpoltolla kp höyry lisääntyy [kg/s]	8,396
Suovan lämpöarvo [MJ/kg]	23			Lisäpoltolla mp höyry vähenee [kg/s]	-0,861
		Kp syöttöveden lämpötila [°C]	115		
Kattilaan tuotu energia [kW]	74460	Kp syöttöveden paine [bar]	82		
Hyötysuhde	0,84	Kp syöttöveden entalpia [kJ/kg]	488		
Tuotettu höyryteho [kW]	62777	Kp höyryn lämpötila [°C]	475		
		Kp höyryn paine [bar]	79,5		
Syöttöveden lämpötila [°C]	110	Kp höyryn entalpia [kJ/kg]	3338		
Syöttöveden paine [bar]	105				
Syöttöveden entalpia [kJ/kg]	477	Mp syöttöveden lämpötila [°C]	114		
Höyryn lämpötila [°C]	473	Mp syöttöveden paine [bar]	5,4		
Höyryn paine [bar]	78	Mp syöttöveden entalpia [kJ/kg]	479		
Höyryn entalpia [kJ/kg]	3335	Mp höyryn lämpötila [°C]	180		
		Mp höyryn paine [bar]	5,2		
		Mp höyryn entalpia [kJ/kg]	2812		
Saatu höyry [kg/s]	21,47	Saatu kp höyry [kg/s]	16,37		
		Saatu mp höyry [kg/s]	3,85		
Höyryn kokonaistuotto soodakattilalla ja GT:n pakokaasuilla [kg/s]			41,68		

Höyryturbiinin sähköteho	
Turbiinille virtaavan höyryn paine [bar]	78
Turbiinille virtaavan höyryn lämpötila [°C]	477
Turbiinille virtaavan höyryn entalpia [kJ/kg]	3340
Höyryn virtaus soodakattilalta [kg/s]	21,47
Höyryn virtaus kombikattilalta [kg/s]	24,76
Höyryn virtaus turbiinille yhteensä [kg/s]	46,23
Välioton paine [bar]	12
Välioton lämpötila [°C]	265
Välioton entalpia	2969
Välioton virtaus [kg/s]	11,1
Turbiinista poistuvan höyryn paine [bar]	5
Turbiinista poistuvan höyryn lämpötila [°C]	169
Turbiinista poistuvan höyryn entalpia [kJ/kg]	2787
Turbiinista poistuvan höyryn virtaus [kg/s]	35,13
Höyryturbiinin sähköntuotanto [MWh]	23,54