

Sami Pöntynen

# LATEKSITEHTAAN TUOTANNON LÄMPÖ- JA VIRTAUSTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN OPTIMOINTI

Opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Marraskuu 2016



**KYAMK**  
University of Applied Sciences

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Sami Pöntynen	Insinööri AMK	Marraskuu 2016
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Lateksitehtaan Tuotannon Lämpö- ja Virtausteknisten Järjestelmien Optimointi		45 sivua 6 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Trinseo-Suomi Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Lehtori Hannu Sarvelainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lateksia tuottavan tehtaan lämmön tuoton ja jäähdetyksen energiatasetta sekä selvittää mahdollisia energiatehokkuustoimenpiteitä, jotka suorittamalla saadaan maakaasun ja sähköenergian kulutusta pienennettyä. Opinnäytetyö on osana Vähähiiliset satamatoiminnot –hanketta, jossa Kymenlaakson ammattikorkeakoulu on yhtenä toimijana.</p> <p>Työn pohjatiedoiksi selvitettiin aluksi sähkön ja maakaasun käytön kulutustrendi sekä nykytila keräämällä prosessista historiatietoja kolmelta viimeiseltä vuodelta. Tehtaalla viimeisen kolmen vuoden aikana tehdyt energiatehokkuustoimenpiteet listattiin ja lisättiin kulutustrendien diagrammeihin. Höyryn kokonaistuotto sekä käyttökohteiden käyttämät prosenttiosuudet selvitettiin yhdistämällä prosessista kerätty historiatieto eri lasentamalleihin.</p> <p>Prosessista peräisin oleva lämpöenergia siirretään erilaisten lämmönvaihtimien avulla jäähdytysvesiverkoston glykoliveteen ja jäähdytetään erillisillä jäähdytystorniyksiköillä. Megawattitasoa oleva lämpöenergia on peräisin prosessihöyrystä sekä reaktoreissa tapahtuvasta voimakkaasti lämpöä vapauttavasta reaktiosta. Lämmön tuoton ja jäähdetyksen energiatase saatiin selville vertaamalla kaikkien lämmöntuottajien jäähdytysveten aikaansaamaa lämpötehoa jäähdytystornien suorittamaan jäähdytystehoon. Tuotantoprosessin sähkön ja maakaasun kulutuksille mallinnettiin yhtälöt, joita voidaan hyödyntää havaitsemaan prosessissa vuorokausitasolla tapahtuneet epänormaalilla tasolla olleet sähkön ja höyryn kulutusmäärät. Tiedon perusteella voidaan tarkastella edellisen vuorokauden toimenpiteitä ja miettiä syytä poikkeamille. Jäähdytysvesiverkoston liittyviä virtausteknisiä ratkaisuja ja niiden energiatehokkuuden parantamista tutkittiin. Myös tehtaalle prosessihöyryä tuottavan höyrykattilan energiatehokkuutta sekä sen energiatehokkuuden parannustoimenpiteitä selvitettiin.</p> <p>Oppilastyönä tehdyn selvityksen perusteella löydettiin potentiaalisia energiatehokkuustoimenpiteitä, jotka suorittamalla sähkön ja maakaasun kulutuksia saadaan pienennettyä järkevillä takaisinmaksuajoilla.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
Lämmitys, jäähdytys, höyry, sähköenergia,		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Sami Pöntynen	Bachelor of Engineering	November 2016
<b>Thesis Title</b>		
Optimization of Thermic and Flow Technical Systems of the Latex Plant		45 pages 6 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Trinseo-Suomi Oy		
<b>Supervisor</b>		
Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
<b>Abstract</b>		
<p>The objective of this thesis was to study the cooling system of the process in the factory, which produces latex for the cardboard coating. In the study, attention is paid to the use of the energy, energy balance of the process heating and cooling and to the new opportunities to reduce energy consumption. Research is a part of the Vähähiliset Sattamatoiminnot -project in which KYAMK is working as one actor.</p>		
<p>As the source information of the study, the consumption as well as consumption trend of electricity and natural gas were first investigated by gathering historical data from the last three years about the process. The improvements that had been made to reduce energy consumption were added into the consumption trends. The gross production of steam and percentage values used by the individual devices were clarified by connecting the process historical data into different calculation models and using Excel spreadsheet.</p>		
<p>The process of thermal energy, which is a result of strongly exothermic chemical reaction of the reactors, and from the steam inner energy, is transferred into glycol water of the cooling system by using different types of heat exchangers, and is removed from the cooling water on separate cooling towers. The heat power accomplished by all the heat producers was compared to the cooling effect performed by the cooling towers. To the electricity and steam consumptions of the manufacturing process, the equations which can be utilized to perceive the consumption amounts of electricity and steam at an abnormal level were modelled. Based on this information, the measures of the previous day can be examined and a reason for the deviations can be evaluated. The flow technical solutions which are related to the cooling water piping and opportunities to improve their energy efficiency, were studied. Efficiency rate of the steam boiler which produces process steam and possibilities to improve its efficiency rate, was determined.</p>		
<p>In the study, potential targets for energy efficiency improvement with a reasonable repayment period, were found.</p>		
<b>Keywords</b>		
heating, cooling, steam, electric power		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	SÄHKÖN JA MAAKAASUN KÄYTÖN KULUTUSTRENDI JA NYKYTILA.....	7
2.1	Sähkönkulutuksen kehitys ja nykyinen taso.....	7
2.2	Maakaasunkulutuksen kehitys ja nykyinen taso .....	9
3	AIKAISEMMIN TEHDYT ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEET JA NIIDEN VAIKUTUKSET ENERGIANKULUTUKSEEN.....	11
3.1	Sähkönkulutukseen vaikuttavat tehdyt toimenpiteet .....	11
3.2	Maakaasunkulutukseen vaikuttavat tehdyt toimenpiteet.....	13
3.3	Maakaasunkulutukseen vaikuttavat suunnitellut toimenpiteet .....	15
4	LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN ENERGIATASE.....	16
4.1	Prosessin ja glykoliverkoston toimintaperiaate ja -kaavio .....	16
4.2	Prosessin lämmöntuotto .....	20
4.2.1	Reaktorit.....	20
4.2.2	Totalkondensori.....	22
4.2.3	FC kondensori.....	23
4.2.4	Post cooler .....	25
4.3	Jäähdytystornit.....	26
4.4	Lämmön tuoton ja jäähdytyksen energiatase .....	27
5	ENERGIANKULUTUKSEN SEURANTA TUOTANNON AIKANA.....	33
5.1	Sähkönkulutuksen seuranta .....	35
5.2	Höyrynkulutuksen seuranta .....	36
6	UUDET ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEET .....	38
6.1	Laattalämmityspumppu.....	38
6.2	Reaktorin jäähdytysvaippa.....	38
6.3	Glykoliverkoston paineenpitopumput.....	40
6.4	Höyrykattila .....	41
6.5	Jäähdytystornien glykoliveden lämpötila-asetusarvo .....	42
7	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT .....	42

LÄHTEET .....	45
LIITTEET .....	6

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan Trinseo-Suomi Oy lateksitehtaan prosessin lämmöntuottoa ja jäähdytysjärjestelmää sekä niiden energiatasetta vertaamalla prosessin eri kohteiden tuottamaa kokonaislämpötehoa jäähdytystornien jäähdytystehoon. Prosessin eri kohteissa jäähdytysglykoliverkostoon syntyvä lämpöteho selvitetään käyttäen erilaisia tehonlaskentoja. Jäähdytystornien jäähdytystehon laskentaan tarvittava glykolin kokonaisvirtaus määritetään vertaamalla johtavalle glykoliverkoston paineenpitopumpulle suoritettua tehonmittausta pumpun toimittajan antamaan pumppukäyrästä. Seuraavaksi jäähdytystehonlaskenta suoritetaan ajallisesti samalle jaksolle prosessissa syntyvän lämpötehon kanssa, jolloin voidaan vertailla tulosten luotettavuutta. Myös järjestelmään liittyviä virtausteknisiä ratkaisuja ja niiden kehittämistä energiatehokkaammiksi tutkitaan. Prosessihöyryä tuottavan höyrykattilan hyötysuhde sekä energiatehokkuustoimenpiteet selvitetään.

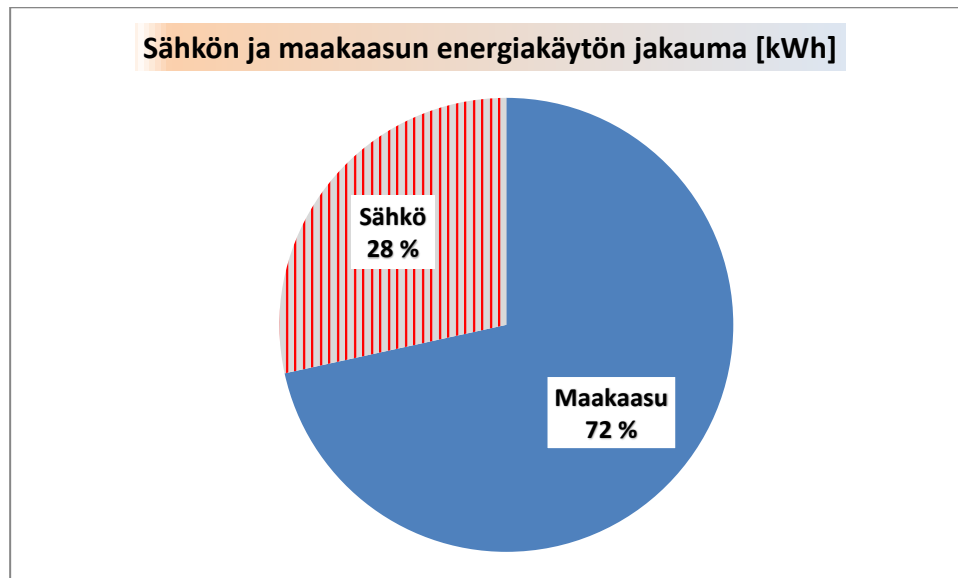
Työn tavoitteena on löytää potentiaalisia energiatehokkuustoimenpiteitä, jotka suorittamalla, saavutetaan merkittäviä taloudellisia säästöjä järkevällä takaisinmaksuajalla, sekä vähennetään ilmastokuormitusta.

Opinnäytetyö suoritetaan osana Vähähiiliset Satamatoiminnot hanketta, jossa Kymenlaakson ammattikorkeakoulu on yhtenä toimijana. (Vähähiiliset satamatoiminnot 2016.)

## 2 SÄHKÖN JA MAAKAASUN KÄYTÖN KULUTUSTRENDI JA NYKYTILA

Hyödykkeiden kuten sähkön ja maakaasun kulutus on tehtaalla pudonnut merkittävästi aikaisempiin huippukulutusvuosiin verrattuna. Hyödykkeiden kulutuksen vähenemiseen on vaikuttanut paperiteollisuuden tuotannon supistumisen aiheuttama kysynnän puute, jonka johdosta tehtaan tuotantokapasiteettia pienennettiin 22% vuoden 2013 huhtikuussa poistamalla yksi reaktori tuotannosta. Toisaalta hyödykkeiden kulutukseen on vaikuttanut tehtaalla tehdyt energiatehokkuuden tehostamistoimet.

Seuraavaksi tarkastellaan sähkön ja maakaasun kulutusta kuukausitasolla. Tässä selvityksessä tarkastelujaksoksi on valittu kolme viimeisintä vuotta alkaen vuoden 2013 tammikuusta ja päättyen vuoden 2015 joulukuun loppuun. Sähkön ja maakaasun energiakulutuksen jakauma viimeisen kolmen vuoden osalta on esitettyä kuvassa 1.

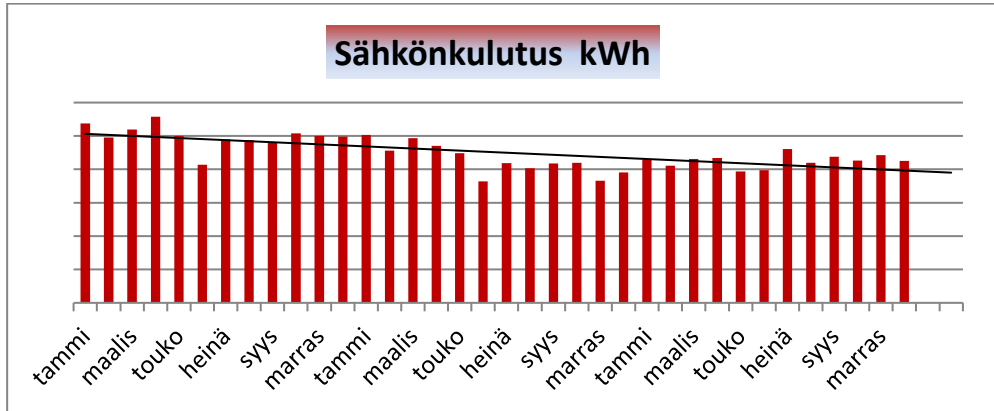


Kuva 1. Sähkön ja maakaasun kulutuksen jakauma viimeiseltä kolmelta vuodelta

### 2.1 Sähkökulutuksen kehitys ja nykyinen taso

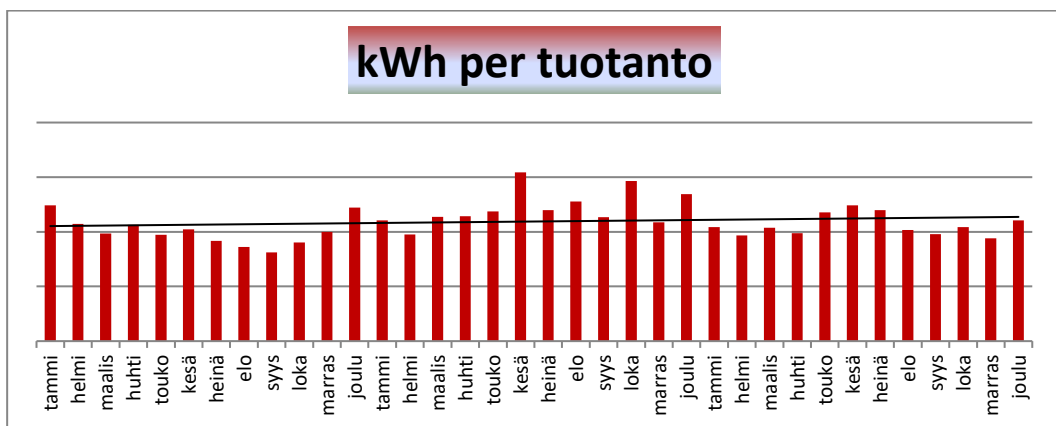
Tehtaan sähkökulutuksessa on selvästi laskeva trendi viimeisen kolmen vuoden ajalta. Laskuun on vaikuttanut moni yksittäinen asia. Yksi syy on tuotannon supistuminen mutta myös yksittäiset energiatehokkuustoimenpiteet ovat vaikuttaneet kehitykseen. Sähkön merkittäviä kuluttajia ovat esimerkiksi

lukuisat pumppujen sähkömoottorit, jäähdytystornien tuulettimien sähkömoottorit, ilmakompressori, reaktoreiden sekoittimien sähkömoottorit, sähkösaatot ja höyrykattilan puhallin. Kuva 2 esittää sähkönkulutuksen kehityksen viimeiseltä kolmelta vuodelta.



Kuva 2. Sähkönkulutuksen kehitys viimeiseltä kolmelta vuodelta

Tehtaalla kuluu sähköä riippumatta siitä, onko tuotanto käynnissä vai seis. Toukokuussa 2015 tehtaan huoltoseisakin aikana sähkönkulutus on ollut keskimäärin 250 kW. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa sähkönkulutus kasvaa tuotettua lateksimäärää kohden silloin, kun tehdasta ajetaan hidastetulla tuotantovauhdilla. Kuvasta 3 havaitaan sähkönkulutuksen kehitystrendin tuotettua lateksimäärää kohden nousevan kohtuullisesti viimeisen kolmen vuoden aikana, jona tuotantoa on leikattu.



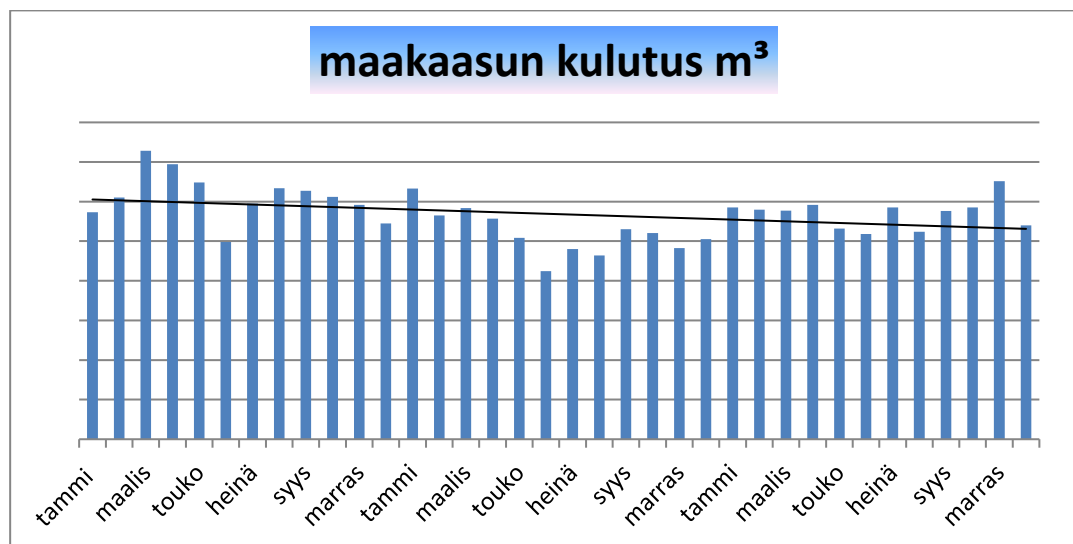
Kuva 3. Sähkönkulutuksen kehitystrendi tuotettua lateksimäärää kohden



Tehtaalla on 138 kpl sähkökäyttöistä pumppua, joiden nimellisteho on yhteensä 982 kW sekä niiden lisäksi 41 kpl muita sähkönkäyttäjiä yhteisellä nimellistehollaan 722 kW. Luettelo tehtaan sähkökäyttöisistä pumpuista ja muista sähkönkuluttajista on lisättyä raportin lopussa (liite 1)

## 2.2 Maakaasukulutuksen kehitys ja nykyinen taso

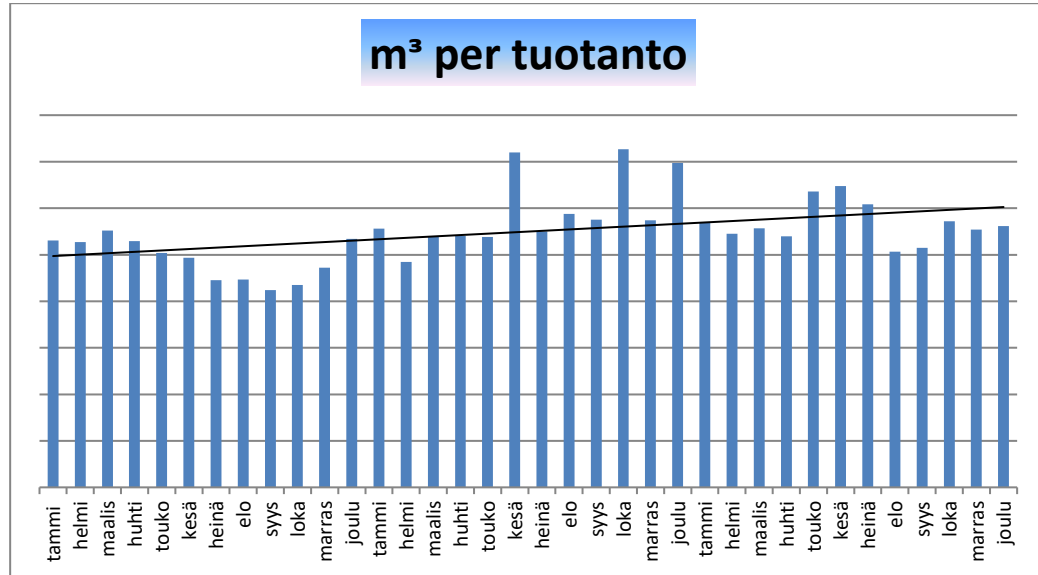
Myös maakaasun kulutuksessa on havaittavissa laskeva trendi. Prosentuaalinen muutos maakaasukulutuksessa ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin sähkönkulutuksessa. Kuvassa 4 esitetään kuukausittainen maakaasukulutus viimeiseltä kolmelta vuodelta.



Kuva 4. Kuukausittainen maakaasukulutus viimeiseltä kolmelta vuodelta

Maakaasun kulutuksen laskevasta trendistä huolimatta on kulutus tuotettua lateksimäärää kohden kasvanut huomattavasti enemmän kuin sähkön kulutuksen kohdalla on käynyt. Tämä johtuu tuotannon supistumisesta suunniteltuun tuotantokapasiteettiin verrattuna. Tehdas kuluttaa jonkin verran höyryä myös esimerkiksi säiliöiden lämmittämiseen silloin, kun tuotanto on seis. Sen lisäksi tuotannon panosuonteisuuden johdosta esiintyy hitaan tuotantovauhdin aikana strippauskolonnin alas- ja ylös ajoja, jolloin höyryä käytetään enemmän tuotettua yksikköä kohden, kuin ajettaessa lähellä täyttä tuotantokapasiteettia. Korkeammalla tuotantovauhdilla ajettaessa strippauskolonni pidetään ajovaiheessa jatkuvasti, kunnes lateksilaatu vaihtuu toiseen. Kuvassa 5 esitetään

maakaasun kulutuksen kehitys tuotantoyksikköä kohden viimeisen kolmen vuoden ajalta.



Kuva 5. Maakaasun kulutuksen kehitys per tuotantoyksikkö viimeisen kolmen vuoden ajalta

Kaikki maakaasu käytetään prosessihöyryä tuottavassa kattilassa. Suurin osa höyrystä kuluu lateksin puhdistukseen eräänlaisessa tislauskolonnissa, jota kutsutaan stripperiksi, ja jonka läpi lateksi kulkee saaden höyrypuhdistuksen. Höyryä kuluu myös degasseriksi kutsutussa säiliössä, jossa ensimmäinen lateksin höyrypesu suoritetaan panosluonteisesti. Toimenpiteiden tarkoituksena on puhdistaa lateksista sinne jääneet reagoimattomat raaka-aineiden osuudet. Taulukko 1 esittää kaikki höyrynkulutuskohteet sekä niiden käyttämät osuudet höyryn tuotannosta.

Taulukko 1. Höyrynkulutuskohdeet sekä niiden käyttämät osuudet

HÖYRYNKULUTUSKOHTEET		
KULUTUSKOHDE	OSUUS KÄYTÖSTÄ (%)	KÄYTETTY (tn)
Stripperi	75,9	55067,7
Degasseri	6,5	4715,9
Stank	3,9	2829,6
Osalauhdutin	0,1	72,6
D-325A	0,9	653,0
D-325C	0,5	362,8
R-315 lämmönvaihdin	2,0	1451,1
R-320 lämmönvaihdin	2,6	1885,4
R-400A lämmönvaihdin	2,6	1886,4
Reaktoreiden siirtohöyryt yhteensä	0,6	435,3
IAMB	0,4	290,2
E-1031	0,0	0,0
E-1011	0,0	0,0
ATM-venttiili (ulospuhallus)	0,5	362,8
Loput (DA-935 + lauhtuminen)	3,5	2539,4
YHTEENSÄ	100,0	72552,0
<b>HÖYRYÄ TUOTETTU (tn)</b>		<b>72553</b>

### 3 AIKAISEMMIN TEHDYT ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEET JA NIIDEN VAIKUTUKSET ENERGIANKULUTUKSEEN

Viimeisen kolmen vuoden aikana tehdyt energiatehokkuustoimenpiteet ovat tuoneet tuotantoyksikölle taloudellista hyötyä, sekä vahvistaneet yksikön asemaa monikansallisen yhtiön sisällä tuotantokustannuksia vertailtaessa. Seuraavaksi esitellään jo tehtyjä toimenpiteitä sekä niiden vaikutusta energiankulutukseen.

#### 3.1 Sähkönkulutukseen vaikuttavat tehdyt toimenpiteet

Sähkönkulutuksen minimoimiseksi on tehty seuraavia yksittäisiä taloudellisesti eri tasolla vaikuttavia muutoksia, joiden ajankohdat on esitetty kuvassa 6.

Jäähdytystornien toimintaa on ohjelmallisesti muokattu niin, että lämmönsiirtonesteen liiallista jäähdyttämistä on ehkäisty. Tämä näkyy säästönä sähkönkulutuksessa tuulettimien vähäisemmän käytön johdosta. Muutos otettiin käyt-

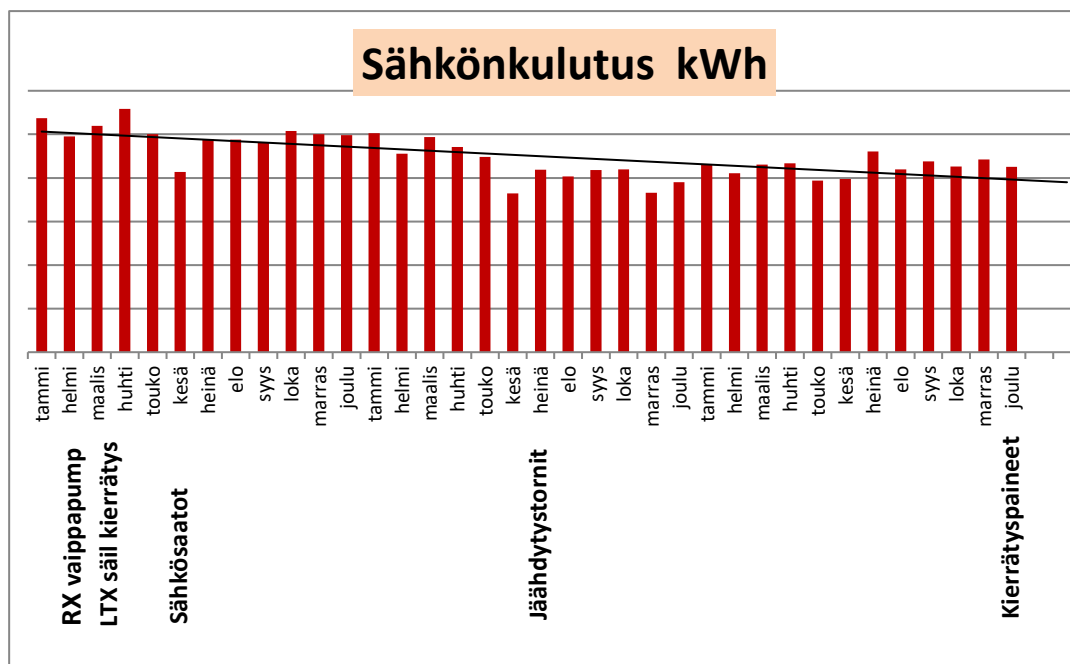
töön vuoden 2014 heinäkuussa, joskin asetusarvoa on jouduttu nostamaan hieman takaisin.

Myöskin reaktoreiden vaippapumput on uudelleenohjelmoitu pysähtymään silloin, kun se on jäähdytysteknisesti mahdollista. Muutos tehtiin vuoden 2013 helmikuussa.

Lateksisäiliöiden kierrätys on tarpeellista sisällön homogeenisuuden takaamiseksi, mutta kierrätysaikoja on optimoitu vuoden 2013 alussa vastaamaan säiliön sisältämää määrää sekä laatua.

Raaka-aineiden virtaus reaktoreille taataan riittävän suuren pane-eron avulla. Raaka-ainelinjassa on tällöin oltava halutun verran suurempi paine reaktorin sisätilaan verrattuna, että hallittu annostelu onnistuisi. Raaka-aineiden kierrätyslinjapaineita on pudotettu ohjelmallisesti riskinarvioinnin perusteella niin, että takaisinvirtausta ei reaktoreilta raaka-ainesäiliöihin päin pääse syntymään, ja pumpun nostama paine saadaan pidettyä järkevällä tasolla. Koska pumput ovat yksinopeuksisia ja massavirta vakio, saavutetaan paineenpudotuksella säästöä sähkönkulutuksessa. Muutokset on otettu osittain käyttöön vuoden 2016 alussa ja projekti on vielä kesken.

Tehtaalla on pakkaselle alttiita putkistoja, joita pidetään lämpiminä sähkösaatoilla. (Alardt 2015.) Sähkösaatoille on asetettu uudet asetusarvot ja niitä on otettu kokonaan pois päältä kesän ajaksi. Sähkösaattojen yhteen laskettu nimellisteho on 154 kW. Muutos otettiin käyttöön vuoden 2013 kesäkuun alussa.



Kuva 6. Sähkönkulutuksen minimoimiseksi tehtyjen muutosten ajankohdat

### 3.2 Maakaasunkulutukseen vaikuttavat tehdyt toimenpiteet

Maakaasun kulutusta on onnistuttu vähentämään eri toimenpiteillä. Vaikka kysynnän väheneminen on luonnollisesti vaikuttanut myös maakaasunkulutukseen, on tehdyillä energiatehokkuustoimenpiteillä huomattavia vaikutuksia. Maakaasun kulutukseen vaikuttavien tehostamistoimien ajankohdat viimeiseltä kolmelta vuodelta on esitetty kuvassa 7.

Kattilan syöttöveden esilämmittimen lisääminen laitteistoon. Lämmönvaihtimella siirrettävä lämpöenergia on peräisin kokonaislauhduttimesta, joka on suuri putkilämmönvaihdin ja jolla prosessihöyry kondensoidaan lauhteeksi ja uudelleen käytettäväksi prosessissa. Kokonaislauhduttimen vaippaan syötetään lämmönsiirtonesteinä käytettävä glykolin ja veden seos. Aikaisemmin tämä glykoliveteen siirtynyt lämpö täytyi jäähdyttää pois jäähdytystorneilla ja oli kustannuksia aiheuttava tekijä jäähdytystornien tehojen lisääntymisenä. Tällä hetkellä sillä saadaan noin 15 % säästö kattilaveden lämmityksen aiheuttamasta maakaasukustannuksesta. Säästö saadaan selville syötetyn kattilavesimäärän, sen lämmön nousun ja veden ominaislämpökapasiteetin tulona. Tulokseksi tulee energiamäärä (kJ) ja kun tulos jaetaan maakaasun tehollisella lämpöarvolla  $36 \text{ MJ/m}^3$ , saadaan kulunut maakaasun tilavuus. Saatu

kuutiomäärä jaetaan vielä höyrykattilan hyötysuhteella (90 %) jolloin saadaan todellinen maakaasun kuutiomäärä. Laskutoimitus on havainnollistettu kaavassa 1. Kuutiomäärä kerrotaan kaasun hinnalla ja tulosta verrataan vuosittaiseen kaasulaskuun. Esilämmitin otettiin käyttöön vuoden 2012 alussa ja lopulliseen muotoonsa systeemi saatettiin kesäkuussa 2015 siirtämällä korkeaa lämpöä kestävämmät vedenpehmentimet sijaitsemaan ennen esilämmitintä, jolloin lämmönvaihtimen koko kapasiteetti saatiin hyödynnettyä. Yhteisvaikutukseltaan muutoksella saavutetaan riippuen kokonaislauhduttimeen tulevan höyryn määrästä 60°C - 65°C lämpötilan nousu kattilan syöttövedeen.

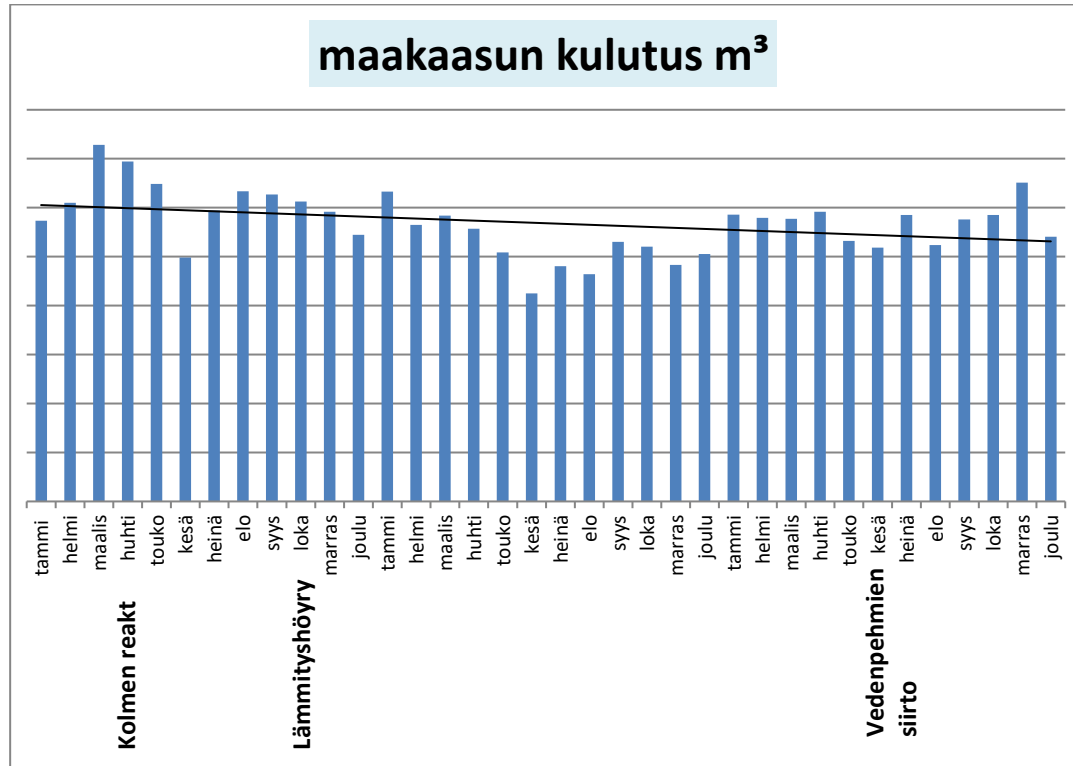
$$V_{NG} = \frac{m \cdot \Delta T \cdot c_p / H}{\eta} \quad (1)$$

jossa	$m$	syöttöveden massa	[kg]
	$\Delta T$	lämpötilan nousu	[°C]
	$C_p$	veden ominaislämpökapasiteetti	[kJ]/kg°C]
	$H$	maakaasun lämpöarvo	[MJ]/m <sup>3</sup> ]
	$\eta$	höyrykattilan hyötysuhde	[-]
	$V_{NG}$	maakaasun tilavuus	[m <sup>3</sup> ]

Kysynnän puutteen vuoksi yksi neljästä reaktorista päätettiin ottaa pois tuotannosta lopullisesti ja vähentää tuotantolinjat kahdesta yhteen. Aikaisemmin tehtaalla oli kaksi tuotantolinjaa kummankin sisältäessä kaksi reaktoria sekä viimeistelyosan jossa lateksi puhdistetaan, jäähdytetään, säädetään ja sille suoritetaan myyntihyväksyntä. Kun toisen tuotantolinjan toinen reaktori alas ajettiin lopullisesti kysynnän puutteen takia, kytkettiin sen jäljelle jäävä reaktori tehtaalla toisen tuotantolinjan yhteyteen vuoden 2013 huhtikuussa, jolloin tuloksena oli yksi tuotantolinja sisältäen kolme reaktoria sekä kaikille yhteisen viimeistelyosan. Muutos vaati hieman järjestelyjä mutta tuotantolinjan viimeistelyosan toimintaa onnistuttiin kehittämään niin, että se kykenee suoriutumaan kolmen reaktorin tuotantovauhdista.

Tehtaalla on joitakin suuria lämmityskoneita höyrypattereilla varustettuina. Nämä lämmityskoneet sisältävät myös glykolipatterit. Koska lämmityskoneet ovat iältään vanhoja ja niiden toiminta ei höyrynkäytön osalta ole optimaalista, on niiden höyrylinjojen käsisulkuventtiilit päätetty sulkea ja avata vasta kun

prosessista ei ole saatavilla riittävästi lämpöä lämmittimien glykolipattereihin. Tämän kaltainen tilanne esiintyy kaksi tai kolme kertaa talven aikana, kun tuotannossa on merkittävä katkos.



Kuva 7. Maakaasun kulutukseen tehtyjen tehostamistoimien ajankohdat

### 3.3 Maakaasunkulutukseen vaikuttavat suunnitellut toimenpiteet

Tehtaan höyrykattila on aikanaan rakennettu vastaamaan tuotantokapasiteetin lisäämistä ja on siksi huomattavan ylitehoinen poltintehon ollessa 11 MW kun tarve olisi vain 6 MW:lle. Lisäksi polttimessa on toiminnallinen ominaisuus, joka estää polttimen pysäyttämisen silloin, kun höyrynkulutusta ei ole. Koska kattilan polttoilmamittarit ja ilmakehänava ovat myös erittäin ylimitoitettuja ja polttimen rummun jäähtymisen kannalta alin ilmavirtausmäärä on  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ , johtaa tämä tilanteeseen jossa oikean polttoainesuhteen ylläpitämiseksi maakaasua kuluu  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  vaikka höyrylle ei olisi käyttöä. Ylimääräisen höyrymäärä on noin 0,5 % höyryn kokonaistuotannosta ja puhalletaan ulospuhalluslinjan kautta taivaalle. Kattilassa esiintyy myös ilmansäädöllisiä hankaluuksia ja koska savukaasuhäviö on tunnetusti suurin kattilan häviöistä (Törmänen 2013, 6–7) muodostuu se huomattavan suureksi. Kattila on polttoaineista joh-

tuen suunniteltu toimivan 6 % ylihapella. Kuitenkin savukaasu sisältää jatkuvasti 14 % jäännöshapetta ja minimiteholla toimiessaan jopa 16 %. Kun tyyppi lasketaan mukaan, on yli-ilmamäärästä tuleva häviö taloudellisesti merkittävä. Tilannetta pelastaa osaltaan savukanavassa sijaitseva ekonomaiseri, joka siirtää savukaasusta energiaa kattilan syöttöveteen keskimäärin 141 kW teholla, ja jonka ansiosta savukaasu jäähtyy noin 70°C poistuen piippuun kohtalaisen matalassa, noin 110°C lämpötilassa. (Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000.) Ylimääräisen palamisilman aiheuttaman savukaasuhäviön muodossa kuluu maakaasua 74 400 m<sup>3</sup>. Taivaalle puhallettu ylimääräishöyry aiheuttaa 7000 m<sup>3</sup> ylimääräisen kulutuksen. Maakaasun kulutuksessa säästetään siis 81 000 m<sup>3</sup> maakaasua uusimalla poltin sellaiseksi, joka toimii halutulla savupiipun jäännöshapella ja joka voidaan sammuttaa hetkellisesti, kun höyryn kulutusta ei ole. Laskennassa käytetty Excel -pohjainen palamistaulukko esitetty liitteenä (liite 3)

Kattilan poltin ilmamittauksineen tullaan uusimaan vuoden 2017 toukokuussa.

#### 4 LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMIEN ENERGIATASE

Prosessissa syntyvä lämpö siirretään erilaisten lämmönvaihtimien avulla glykoliverkostossa kiertävään veteen ja etyleeniglykolin muodostamaan jäähdytysnesteeseen, jonka jälkeen se johtuu putkistoissa jäähdytystorneille uudelleen jäähdytettäväksi. Seuraavaksi tutkitaan prosessin eri kohteiden tuottama lämpötehoa sekä selvitetään jäähdytystornien suorittama jäähdytysteho ja verrataan tuloksia toisiinsa niiden luotettavuuden arvioimiseksi.

##### 4.1 Prosessin ja glykoliverkoston toimintaperiaate ja -kaavio

Jäähdytystornit on suunniteltu poistamaan lämmönsiirtonesteestä siihen kerääntynyt ylimääräinen lämpöenergia niin että glykoliveden lämpötila saadaan pysymään tavoiteltujen raja-arvojen sisällä. Lämpöä glykoliveteen tuottavat reaktorit, Flash coolerin kondensori, Post cooler sekä Totalkondensori.

Reaktorissa tapahtuva voimakkaasti eksoterminen polymerointireaktio tuottaa jäähdytysnesteeseen lämpöä riippuen reaktorista ja lateksilaadusta suurimmillaan 1,2 MW teholla. Reaktoreiden lämpötilaa säädetään reaktorin ulkoseinä-



mässä olevan glykolivaipan avulla, johon jäähdytystorneilta tulevaa kylmää glykolia annostellaan ja vastaava määrä palaa takaisin jäähdytystorneille.

Reaktoreista lateksi siirretään viimeistelyosan säiliöihin, joista se pumpataan Stripperiksi kutsutun höyrytislaukolonnin yläosaan. (Haikama 2013, 16.) Stripperin yläosasta lateksi virtaa alaspäin läpi erikoismuotoiltujen reikälevyjen ja höyryn tullessa vastaan alhaalta ylöspäin, tapahtuu lateksissa olevien reagoimattomien raaka-ainesosien höyrystyminen. Höyry johdetaan stripperin yläosasta tehokkaaseen putkilämmönvaihtimeen, Totalkondensoriin, jossa höyry lauhtuu ja lauhde jäähtyy noin 23 asteiseksi. Totalkondensatorissa lauhduttuun kaasu johdetaan putkistoa pitkin höyrykattilalle, jossa se käytetään lisäpolttoaineena. Höyrylauhde valuu Dekantteriin, jossa vedestä erotetaan dekanttoimalla siihen vielä jäänyt styreeni, joka poltetaan höyrykattilassa. Riittävän puhdas vesi käytetään lateksin valmistukseen. Lämpötehoa Totalkondensatori tuottaa keskimäärin 1,5 MW, josta hyötykäyttöön kattilaveden esilämmittimellä saadaan tilanteesta riippuen 150- 300 kW. Loppu lämpö palaa jäähdytystorneille.

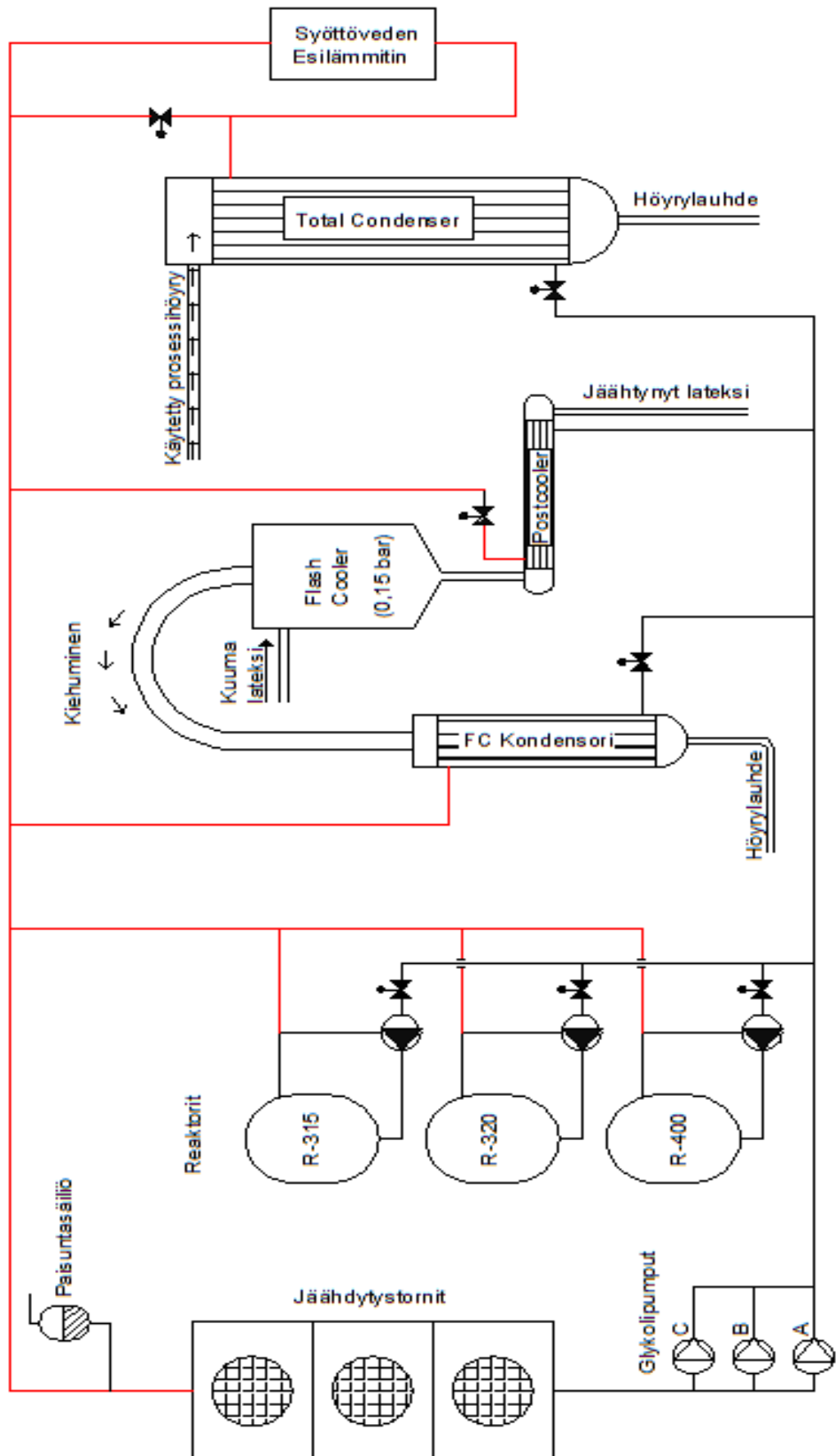
Stripperissä puhdistunut lateksi jatkaa matkaansa Flash cooleriin, jossa noin 117 asteinen lateksi jäähdytetään 55 °C lämpötilaan alipaineen avulla. Paine Flash coolerissa pidetään ~150 millibaarin tasolla, jossa vesi kiehuu 55 asteessa. Lateksista höyrystynyt vesi lauhtuu luovuttaen höyrystymislämmön mukaisen energiamäärän ja lopuksi jäähtyy haluttuun lämpötilaan. Flash cooleriin höyrystyy vähäinen määrä lauhdumatonta kaasua, joka imetään pois tehokkaalla vesirengaspumpulla samoin kuin siellä oleva ilma esimerkiksi Flash coolerin avauksen jälkeen. Pääosin alipaine pidetään kuitenkin yllä Flash coolerin kondensatorin putkilämmönvaihtimen avulla, johon annostellaan kylmää glykolivettä lateksin ulostulolämpötilan säätöpiirin ohjaamana. Kondensatorin lämmönvaihdin lauhduttaa höyrystyneen veden jatkuvana virtana ja koska siinä ei ole höyryn lisäksi muita kaasuja, pysyy paine halutulla tasolla. Kondensatorin lämpöteho on välillä 0,5 - 1,3 MW.

Flash coolerista 55 °C lämpötilaan jäähtynyt lateksi kulkeutuu Post cooleriin, jossa lateksi jäähtyy vielä 15-20 astetta. Post coolerin lämmöntuotto jäähdytystorneille on 200-400 kW.

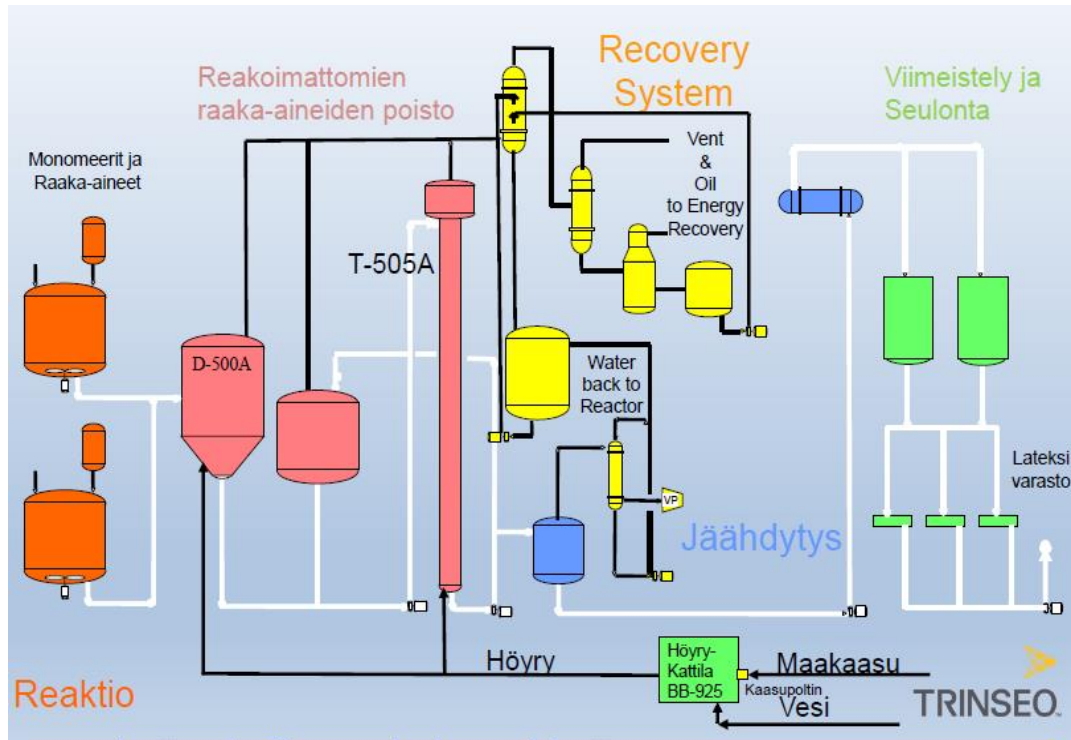
Laskuissa käytetty höyryn ja veden entalpiat on selvitetty käyttämällä internetissä saatavilla olevaa veden ja höyryn ominaisuuksien laskuria (Veden ja höyryn ominaisuuksien laskuri.)

Entalpiian käsitteeseen voi tutustua Helsingin yliopiston Pro gradu – tutkielmalla ”Lämpöenergian ymmärtämisen tukeminen mittausautomaation avulla lukion kemian opetuksessa” alkaen kohdasta 2.1.3 Lämpömäärä ja ominaislämpökapasiteetti. (Leskinen 2007, 11–13.)

Kuva 8 esittää tehtaan jäähdytysjärjestelmän periaatekuvan jossa punaiset linjat kuvaavat prosessista palaavaa lämmintä virtausta. Yksinkertaistettu prosessikaavio (kuva 9) selventää laitteiston sijaintia prosessissa.



Kuva 8. Tehtaan jäähdytysjärjestelmän periaatekuva



Kuva 9. Yksinkertaistettu prosessikaavio kuvaa laitteiston sijoittumisen prosessissa

## 4.2 Prosessin lämmöntuotto

Prosessista tuleva lämpöenergia saatiin selvitettyä keräämällä erilaista historiatietoa prosessinohjausjärjestelmään kytketyllä Aspen Tech Process Explorer -ohjelmalla ja siirtämällä se Excel taulukkolaskentaohjelmaan, jossa sitä voidaan käyttää halutulla tavalla. Tiedot kerättiin minuuttitasolla samalta ajankaksolta, jolla jäähdytysglykoliverkoston paineenpitopumpun teho mitattiin, jolloin prosessista tulevaa tehoa voidaan vertailla jäähdytystornien jäähdytystehoon. Glykoliverkoston paineenpitopumpun tehonmittauksen yhteys jäähdytystornien jäähdytystehoon on esitettyä omassa osiossaan kohdassa 4.4. Kuvaajissa X-akselilla on aikajana minuutteina sekä Y-akselilla vapautuva teho kilovatteina.

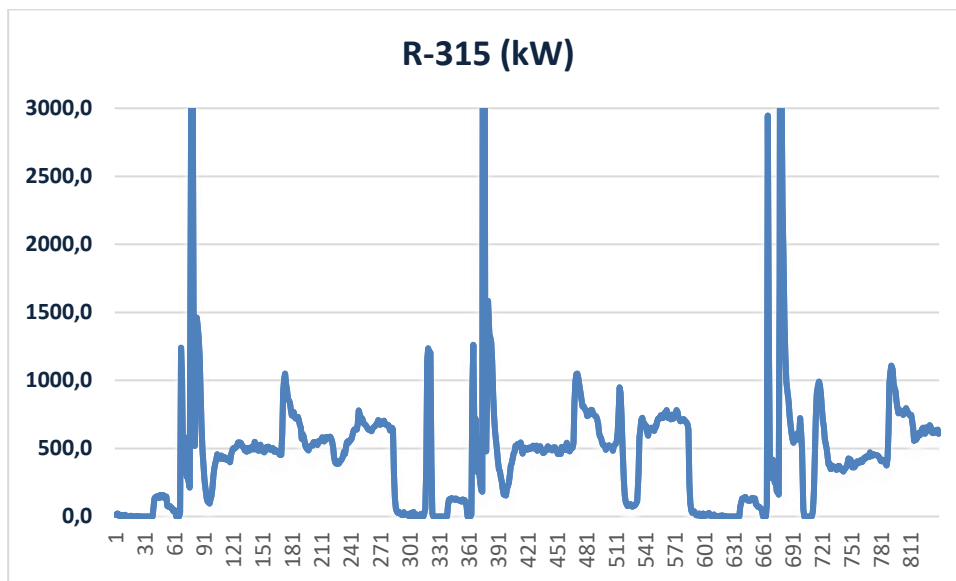
### 4.2.1 Reaktorit

Reaktoreissa tapahtuvan eksotermisen reaktion johdosta vapautuvan lämpöenergiatehon selvittämisessä käytettiin reaktorin jäähdytysvaippaan tulevan ja sieltä poistuvan jäähdytysglykoliveden lämpötilaeromittausta sekä glykolin massavirtamittausta. Tehon laskenta selviää yhtälöstä 2.

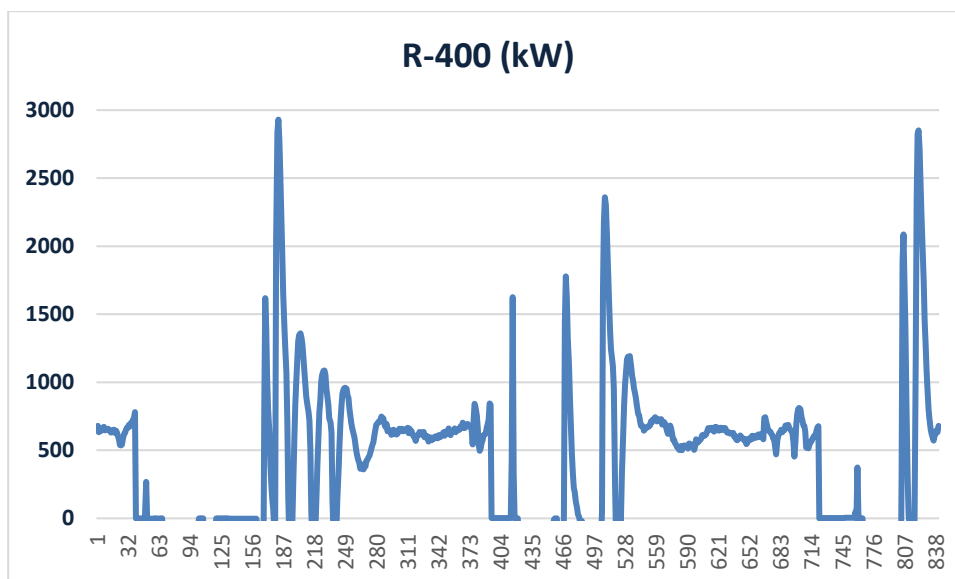
$$\Phi = q_m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

jossa	$\Phi$	reaktorista vapautunut lämpöteho	[kW]
	$q_m$	glykolin massavirta vaipassa	[kg/s]
	$c_p$	glykolin ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg°C]
	$\Delta T$	glykolin lämpötilan muutos	[°C]

Glykoliveden jäätympiste analysoidaan vuosittain ja on tällä hetkellä 19°C mikä vastaa ominaislämpökapasiteettia 3,6 kJ/kg°C tiheyden ollessa 1,03 kg/l. Kuvat 10 ja 11 ovat historiatrendit reaktoreiden R-315 ja R-400 luovuttamasta lämpötehosta kilowatteina. Kuvaajista huomaa reaktoreiden lämpötehon olevan eritasoisia mikä johtuu siitä, että R-400 on 25% suurempi ja muutenkin hieman erilainen reaktori R-315 verrattuna. Kyseisellä ajanjaksolla tehtaan kolmas reaktori (R-320) joka vastaa teholtaan R-400 ei ollut ajossa.



Kuva 10. R-315 luovuttama lämpöteho (kW)



Kuva 11. R-400 luovuttama lämpöteho (kW)

#### 4.2.2 Totalkondensori

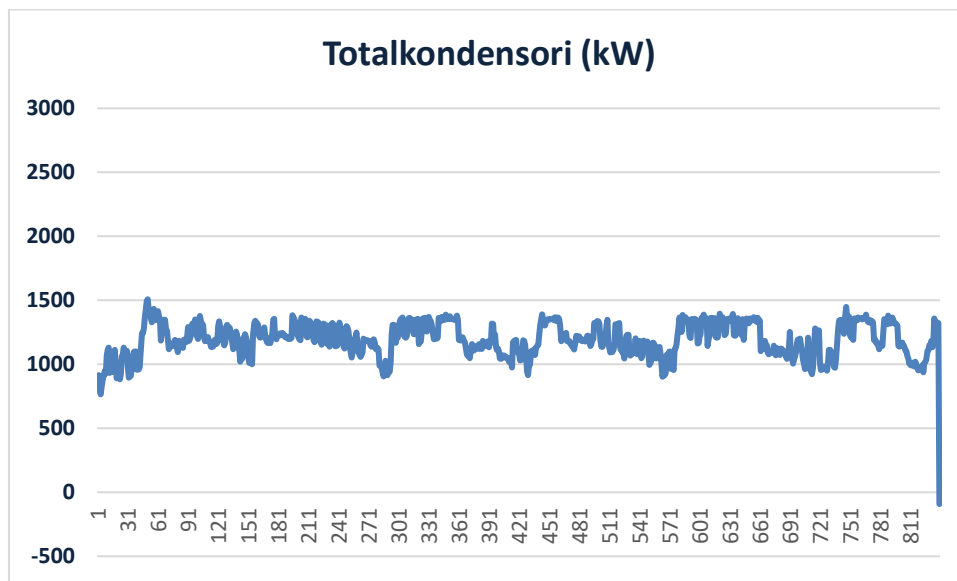
Totalkondensori on putkilämmönvaihdin, joka lauhduttaa pääosin stripperistä peräisin olevan höyryn glykolitoimisen jäähdytysvaipan avulla. Putkilämmönvaihtimen rakennetta voidaan kuvata niin, että se on suljettu rakenne, joka sisältää yleisimmin useita putkia, joita pitkin lämmönvaihtoon osallistuva toinen neste virtaa, toisen nesteen virratessa lämmönvaihtimen vaippaosassa. Näin saadaan aikaiseksi paljon lämpöä siirtävää pinta-alaa. Lämmönvaihtimen rakennetta ja toimintaideaa on esitelty laitteita toimittavan ViFlow yhtiön myyntiesitteessä (ViFlow putkilämmönsiirtimet Reaktorit, säiliöt.) Totalkondensorin jäähdytysvaipan glykolin tulo- sekä lähtölinjoissa on lämpötilamittaukset. Ulostulolinjassa on virtausmittaus. Analysoitaessa kondensoituvasta höyrystä vapautuvaa tehoa glykolin massavirran ja lämpötilaeron avulla, huomataan tehon olevan selvästi alhaisempi kuin stripperiin syötetyn höyryn teho. Syynä tehoeroon voidaan olettaa olevan kondensorin glykolin ulostulolinjan magneettiputkivirtausmittari, jota ei kalibroida koskaan. Tästä syystä kondensorista vapautuva energia tehona lasketaan stripperiin ja myöskin degasseriin syötetyn höyryn sisältämän energian ja massavirran mukaan. Tehot saadaan selville kummankin säiliön vortex -virtausmittareiden sekä matalapainehöyryn painetasoa vastaavan höyryn entalpien avulla käyttämällä yhtälöä 3. Osa vapautuvasta lämpötehosta saadaan hyödynnettyä kattilaveden esilämmittimessä. Vortex -virtausmittauksesta löytyy Keuda verkko-opiston sivuilta lyhyt ja yti-

mekäs Leila Frondeliuksen vuonna 2005 lisäämä esittely. (Keuda verkko-opisto. Vortex -virtauksen mittaus.)

$$\Phi = q_{m_{HÖYRY}} \cdot (h_{HÖYRY} - h_{LAUHDE}) \quad (3)$$

jossa	$\Phi$	höyrystä tuleva lämpöteho	[kW]
	$q_{m_{HÖYRY}}$	höyryn massavirta	[kg/s]
	$h_{HÖYRY}$	höyryn entalpia	[kJ/kg]
	$h_{LAUHDE}$	lauhteen entalpia	[kJ/kg]

Kuva 12 esittää Totalkondensorin jäähdytystorneille vapauttaman lämpötehon historiatrendin kattilaveden esilämmittimen jälkeen.

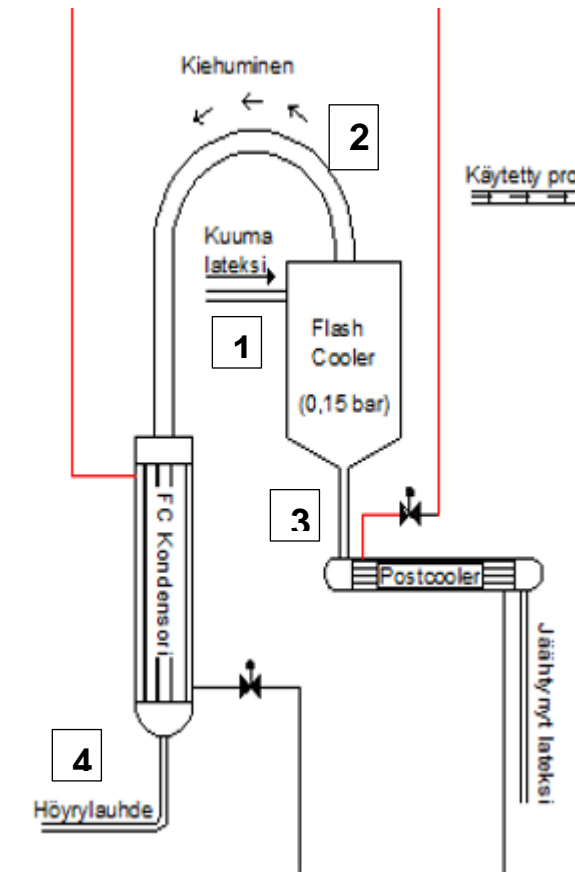


Kuva 12. Totalkondensorin lämpötehos kattilaveden esilämmittimen jälkeen

#### 4.2.3 FC kondensori

FC kondensori ylläpitää alipainejäähdyttimen (Flash cooler) painetasoa riittävän alhaisena lauhduttamalla matalassa 150 millibaarin paineessa olevan höyryn. Höyry syntyy kun 117°C lämpötilassa oleva lateksi saapuu stripperistä Flash cooleriin, ja osa lateksin vesimäärästä höyrystyy. Seurauksena on 55°C

lämpötilassa olevaa lateksia sekä 150 millibaarin paineessa olevaa höyryä. Selvittämällä systeemin massa – energiatase kuuman ja jäähtyneen lateksin sekä syntyneen höyryn määrällä, saadaan höyryn massavirta selvitettyä. Höyryn luovuttama teho selviää massavirran sekä höyryn ja jäähtyneen lauhteen entalpiaeron avulla.



Kuvassa olevat pisteet:

- 1) kuuma lateksi sisään
- 2) 150 mbar höyry
- 3) jäähtynyt lateksi ulos
- 4) höyrylauhde ulos

Jäähtyneen lateksin massavirta.

$$m_3 = \frac{m_1(h_1 - h_2)}{h_3 - h_2}$$

Syntyneen höyryn massavirta

$$m_2 = m_1 - m_3$$

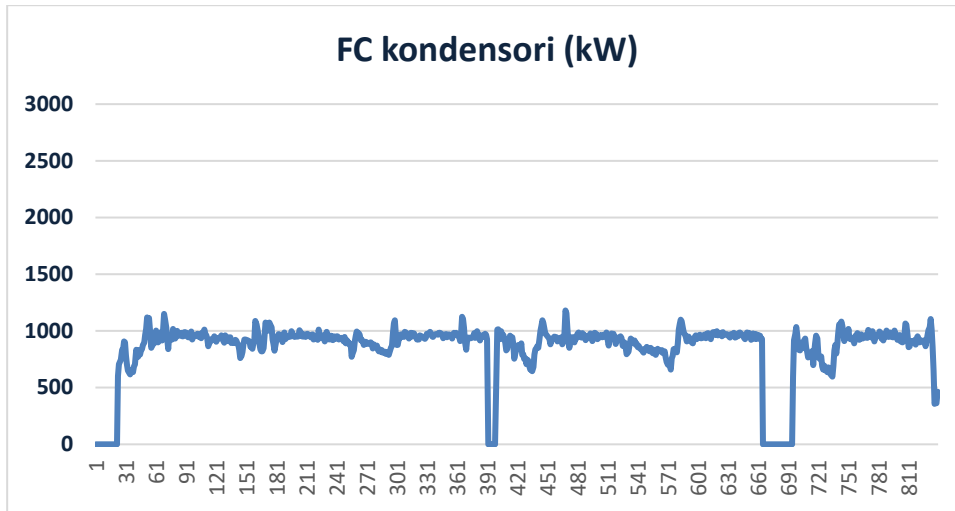
Teho höyryn muuttuessa lauhteeksi

$$\Phi = m_2(h_2 - h_4)$$

joissa	$m_{1,2,3}$	massavirta kunkin pisteen kohdalla	[kg/s]
	$h_{1,2,3,4}$	entalpia kunkin pisteen kohdalla	[kJ/kg]
	$\Phi$	lämpöteho höyryn lauhtumisesta	[kW]

Kuva 13 on historiatrendi FC kondensorilla vapautuvasta tehosta höyryn luovuttaessa höyrystymislämpönsä verran energiaa.

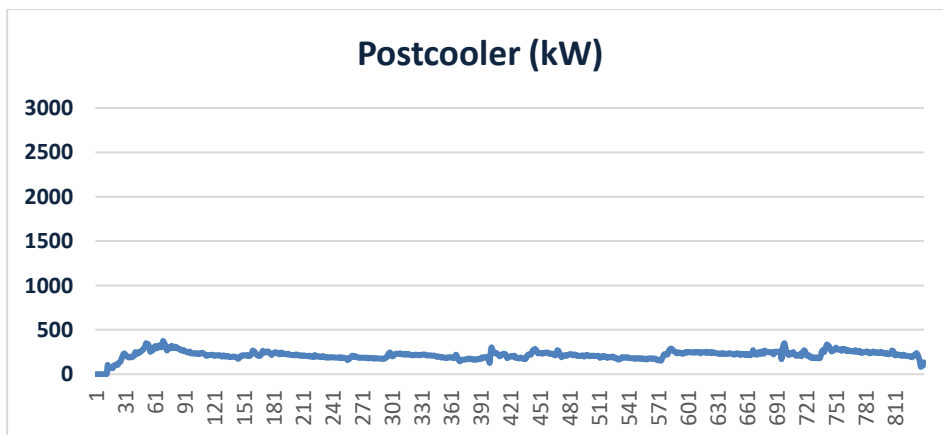




Kuva 13. Historiatrendikaappaus FC kondensorilla vapautuvasta tehosta (kW)

#### 4.2.4 Post cooler

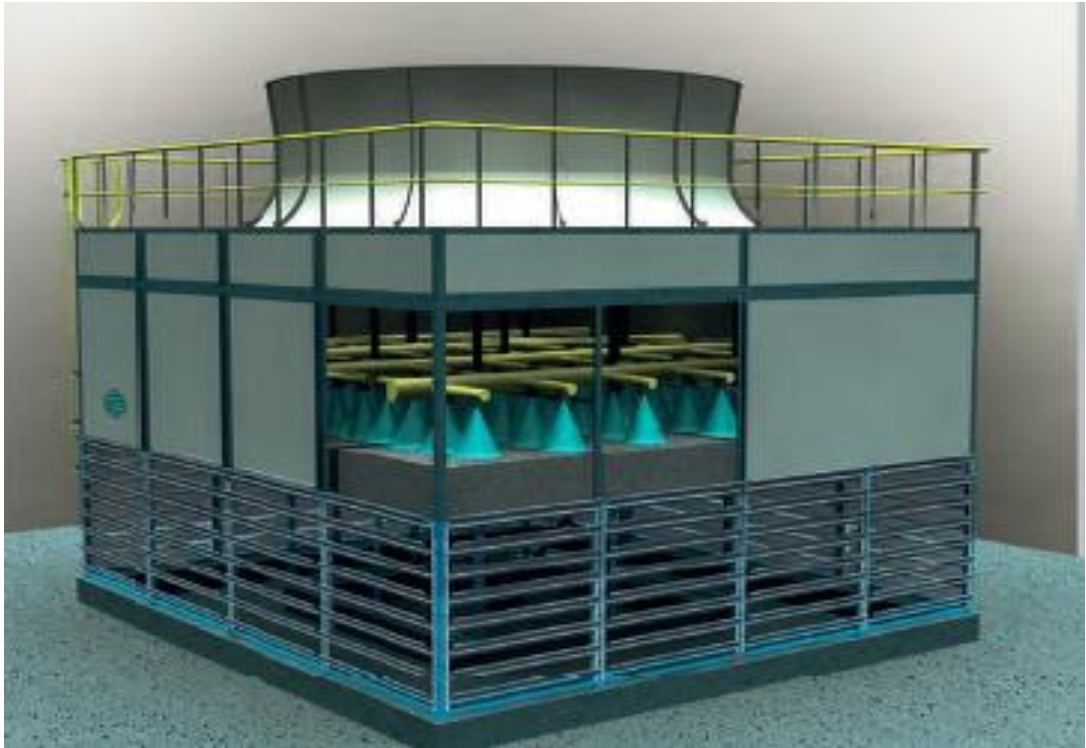
Post cooler on yksinkertainen putkilämmönvaihdin, joka sijaitsee linjastossa heti Flash coolerin jälkeen ja jossa  $55^{\circ}\text{C}$  lateksi jäähdytetään  $15 - 20^{\circ}\text{C}$  matalampaan lämpötilaan. Lateksilinjassa on lämpötilamittaukset sekä tulo- että lähtölinjoissa. Virtausmittaustietona käytetään FC virtausmittausta. Teho glykoliin on sama kuin lateksin luovuttama ja lasketaan kaavan 2 mukaan. Lateksista noin puolet on vettä ja puolet muovia. Ominaislämpökapasiteetiksi saadaan  $3,1 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ . Ominaislämpökapasiteetin määritelmään voi tutustua ammattikoreakouluissa käytettävän oppikirjan avulla. (Suvanto 2012, 422, 452.). Kuvasta 14 selviää Post coolerin luovuttama lämpöteho, joka on selvästi muita kohteita matalampi.



Kuva 14. Post coolerin luovuttama teho on selvästi muita kohteita alhaisempi

### 4.3 Jäähdytystornit

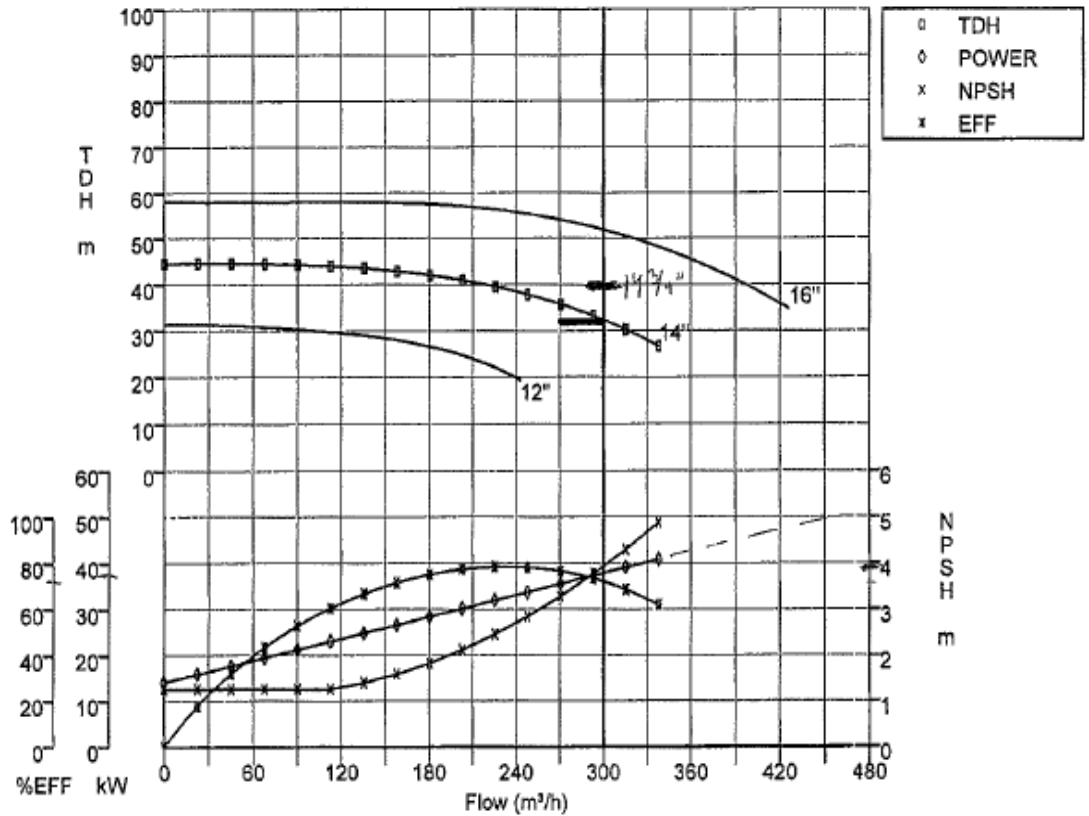
Jäähdytystornien tehtävänä on siirtää prosessissa syntyvä ylimääräinen lämpöenergia jäähdytysverkoston glykolista jäähdytystornien kennostojen läpi virtaavaan ulkoilmaan niin että jäähdytysglykolin lämpötila pysyttelee riittävän alhaisena kyetäkseen sitomaan lämpöä prosessista riittävästi. Glykoliveden halutaan olevan riittävän viileää, koska lämmönsiirtoteho lämmönvaihtimessa on suoraan verrannollinen jäähdytysnesteen ja jäähdytettävän nesteen lämpötilaeroon. Käytössä on kuusi identtistä jäähdytintorniyksikköä, jotka jäähdyttävät glykolivesiverkostossa kiertävää nestettä, sisältäen jäähdytinkennoston jossa glykoli kiertää ja jonka läpi ilma virtaa jäähdytystornin yläosassa olevan suuren ja tehokkaan tuulettimen imemänä. Kaikilla torneilla on myös vesivalelujärjestelmä, jolla sumutetaan vettä jäähdytyskennostojen päälle. Sprayvesi valuu kennostojen pintaa pitkin alaspäin vasten ilmavirtaa ja osa siitä höyrystyy vesihöyryksi, kulkeutuen ilman mukana pois kennoston pinnalta. Höyrystyminen sitoo vedestä energiaa saaden aikaan jäljelle jäävän veden jäähtymisen alle ympäröivän ilman lämpötilan, ja näin ollen parantaa huomattavasti jäähdytystornin kapasiteettia. Ilmiö on suoraan verrannollinen ympäröivän ilman suhteelliseen kosteuteen. (Holmberg 2015, 8–12.) Mitä matalampi suhteellinen ilmankosteus on, sitä parempi jäähdytysteho. Jäähdytystorneilla on kolme erilaista toimintamoodia. 1) Jäähdytystornien päällä olevat tuulettimet toimivat puolella nopeudella. 2) Kun jäähdytystehoa tarvitaan lisää siirtyvät tuulettimet pyörimään täydellä nopeudella. 3) Kun tarvitaan täysi jäähdytyskapasiteetti, otetaan sprayvesivalelu käyttöön ja tuulettimet siirtyvät puolelle nopeudelle. Täydellä nopeudella toimiessaan tuulettimet saisivat vesisumun poistumaan ilman mukana pois jäähdytyskennoilta. Talvisin kylmällä ilmalla on usein tilanne, ettei yksikään tuuletin ole toiminnassa koska glykoli jäähtyy riittävästi luonnollisella ilmanvirtauksella. Toukokuulta lokakuulle on vesivalelu käytössä yhtäjaksoisesti. Jäähdytystornien toimintaan voi perehtyä tutkimalla laitetoimittajan sivuja, joissa PPM -sarjan jäähdytystornit vastaavat tutkimuksen kohteena olevia yksiköitä (Jäähdytystornit. Sondex Tapiro Oy Ab.)  
Kuva 15 havainnollistaa jäähdytystornin yksikön periaatteen.



Kuva 15. Jäähdytystornien toimintaperiaate. Ilma pääsee jäähdytyskennojen alapuolelta tornin sisään ja imetään kennojen läpi samalla kun kennoille voidaan sumuttaa vettä jäähdytystehon lisäämiseksi.

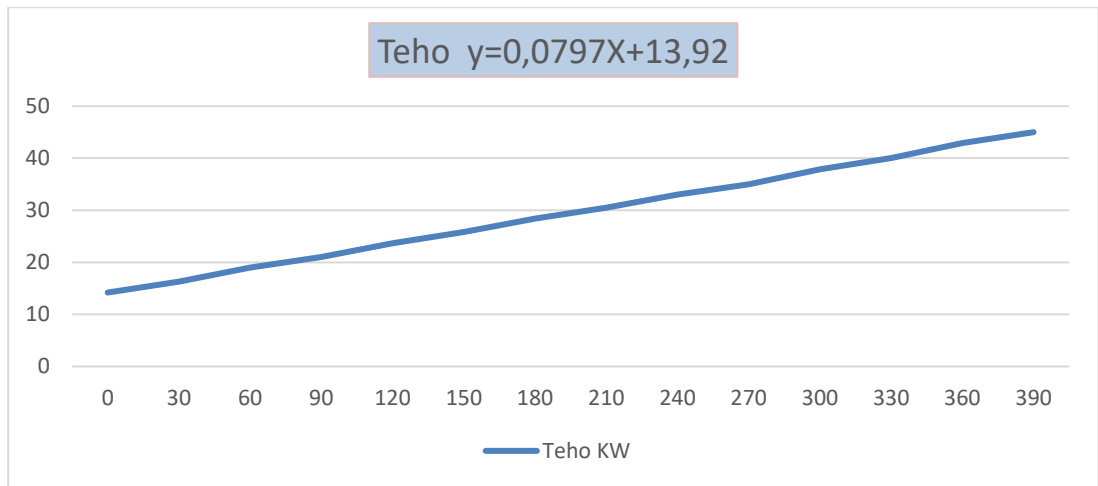
#### 4.4 Lämmön tuoton ja jäähdytyksen energiatase

Jäähdytystornien jäähdytysteho määritettiin torneille prosessista palaavan ja torneilta prosessiin lähtevän lämmönsiirtonesteen lämpötilaeron sekä massavirran avulla. Jäähdytystornien läpi virtaavasta glykolivedestä ei ole olemassa virtausmittaustietoa. Glykoliveden virtaama eri tilanteissa selvitettiin käytettävän glykolipumpun toimittajan määrittämän pumpun käyrästä sekä pumpulle P-920 suoritettujen tehomittauksien perusteella. Glykolipumpun käyrästä liitteenä (Liite 2) Kuvassa 16 glykoliverkoston pumpun P-920 käyrästä



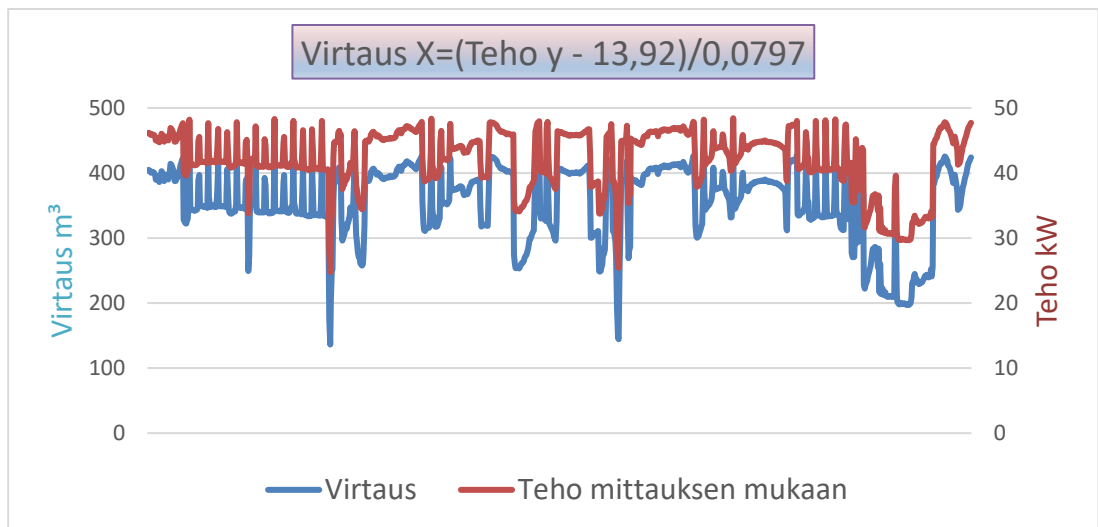
Kuva 16. Glykolipumpun toimittajan laatima pumpun käyrästä

Pumpun käyrästä käytetään glykoliveden virtausmäärien määrittämiseen, jotta jäähdytystornien jäähdytysteho saadaan selville. Yllä olevasta kuvasta 14 käy ilmi, että pumpun ottama sähköteho lisääntyy lineaarisesti virtausmäärään verrattuna. Pumpun käyrästä apuna käyttäen saadaan muodostettua suoran yhtälö, jota muokkaamalla voidaan Excel taulukkolaskennalla laskea jokaisen mittauspisteen kohdalla vallinnut tilavuusvirtavirta. Verkoston glykolin tiheys on 1,03 kg/l jota käyttämällä tilavuusvirta muutetaan lämpötehon laskutoimittuksessa massavirtaukseksi (kg/s). Sähkötehon ja virtausmäärän välisestä riippuvuussuhteesta muodostettiin kuvassa 17 esitetty suoran yhtälö.



Kuva 17. Sähkötalon ja virtauksen välinen riippuvuussuhde suoran yhtälönä

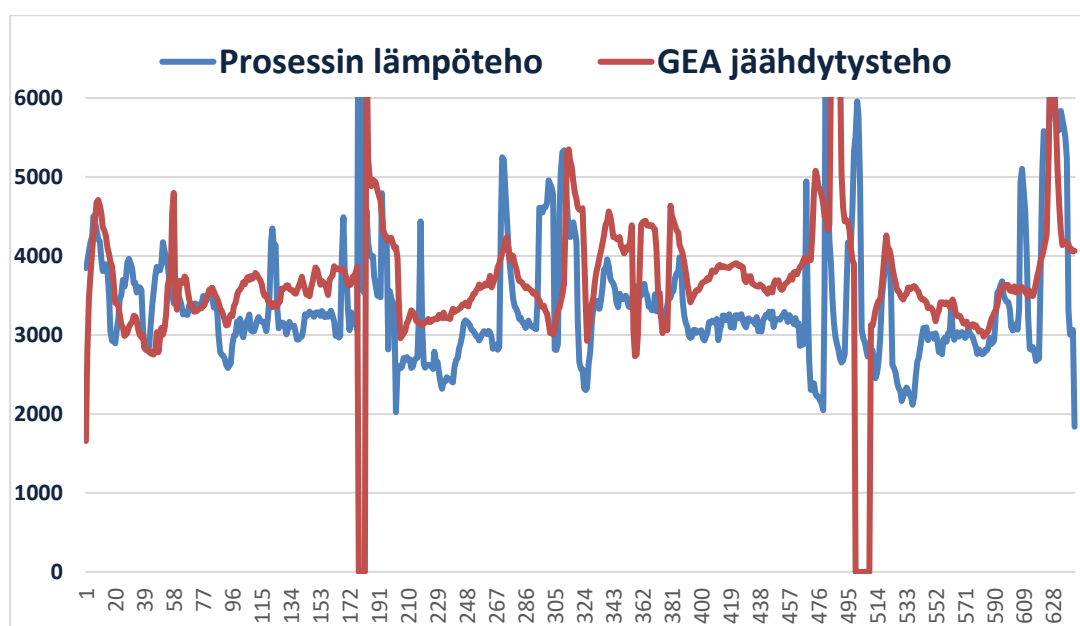
Suoran yhtälöä muokkaamalla saatiin tilavuusvirta selville syöttämällä kuvassa 18 esitetty kaava Excel taulukkolaskentaan tehon mittauksien yhteyteen.



Kuva 18. Yhtälö, jolla jokaisen mittauspisteen virtaus saatiin sähkötehon mittauksen avulla

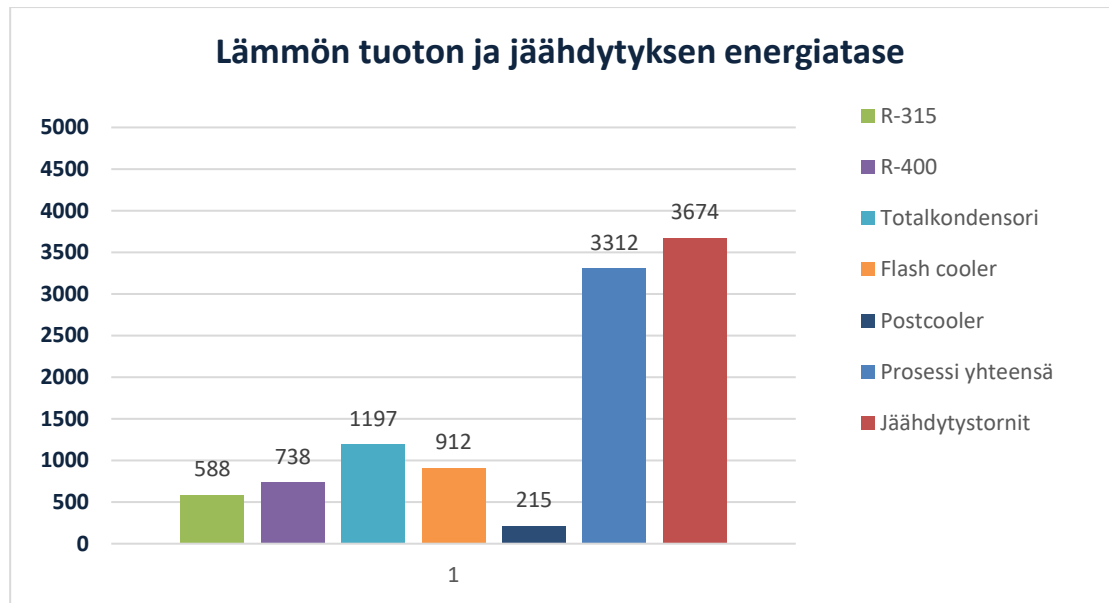
Järjestelmässä on käytettävissä yhteensä kolme glykolipumppua joita automaattikka ottaa käyttöön glykoliverkoston paineensäätöpiiriin ohjaamana. Suurimman osan ajasta selvittää käyttämällä ainoastaan johtavaa pumppua P-920. Tilanteissa joissa prosessin automaattikka ohjaa runsaasti glykolia samaan aikaan useaan käyttökohteeseen, laskee verkoston paine ja automaattikka ottaa toisenkin pumpun käyttöön (P-921). Kolmas pumppu (P-922) on varalla ja ote-

taan käyttöön, kun muuta pumppua huolletaan. Tehtaalla suoritettiin pumpun tehonmittaus ajanjaksolla 29.6 – 1.7.2016. Tehonmittaus suoritettiin vain johdavalle pumpulle P-920. Prosessista tallennettu historiatieto erilaisia laskentoja varten on otettu minuutin tarkkuudella samalta ajalta. Analysoitaessa tietoja mittausjakso jaettiin kahteen erilaiseen jaksoon. Toisessa jaksossa käytössä on ollut vain johtava pumppu (P-920) jonka käyttämää sähkötehoa mitattiin Fluke 731 analyysoitsimella. Verkoston virtaus saatiin selvitettyä kohtalaisen luotettavasti. Tätä jaksoa on käytetty esitettäessä data kohdasta ”4.2 Prosessin lämmöntuotto” lähtien. Toinen jakso, jossa on ollut ajoittain käytössä kaksi pumppua, esitellään vertailuna koska kyseisen jakson glykolin virtausnopeus on osoittautunut vaikeaksi määrittää ja siksi tätä mittausjaksoa ei käytetä täsmällisiin laskentoihin. Prosessista jäähdytystorneille tuleva teho on mittausjaksolla 360 kW pienempi kuin jäähdytystornien jäähdyttämä lämpöteho tarkoittaen noin 10% virhettä. Todellisuudessa prosessista tuleva teho on vuorokauditasolla tarkalleen sama kuin jäähdytystornien jäähdyttämä teho. Ellei näin olisi, alkaisi glykoliverkoston lämpötila muuttua johonkin suuntaa. Glykoliverkoston lämpötila kylläkin tuntitasolla hieman ”seilaa” edestakaisin joitakin asteita, mikä voi osaltaan selittää virhettä. Kuvasta 19 nähdään 29.6 klo 19:00 – 30.6 klo 9:00 välisen ajanjakson energiatase lämmön tuoton ja jäähdytyksen välillä.



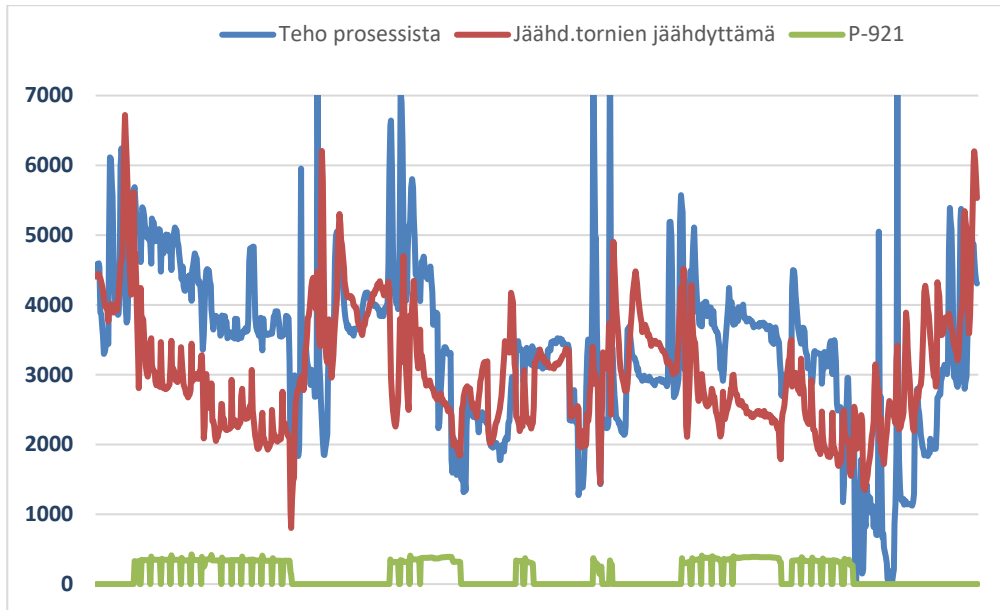
Kuva 19. Lämpöenergiatase lämmön tuoton ja jäähdytyksen välillä 29.6 klo19:00 - 30.6 klo9:00

Edellä esitetty kuvan 19 grafiikka on kerätty laskemalla yhteen minuuttitasolla prosessissa syntyvä lämpö sekä samaan aikaan tapahtuva jäädytystornien jäädyttämä teho kilovatteina ja näistä on muodostettu 841 minuutin pituinen jakso. Alla olevassa kuvassa 20 on sama asia esitetty erilaisena grafiikkana, jossa jokaisen lämmöntuottokohteen sekä prosessin yhteen lasketun, että jäädytystornien jäädyttämän tehon keskiarvot on esitetty.



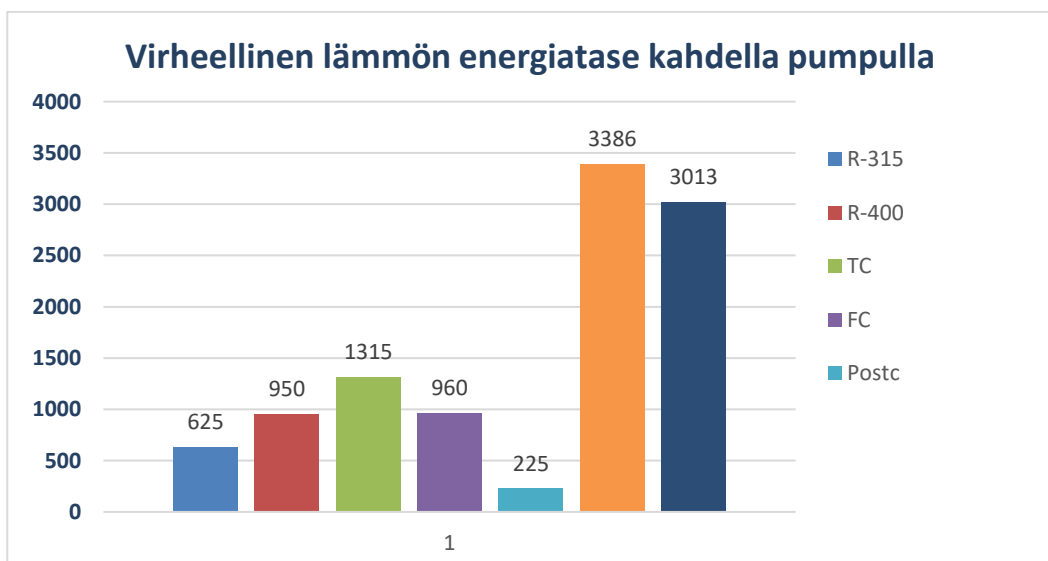
Kuva 20. Prosessin lämmöntuoton sekä jäädytyksen tehojen keskiarvot

Alla vertailun vuoksi esitettynä 30.6 – 1.7.2016 tehdyn tiedonkeruun tulokset. Prosessista tulevassa ja jäädytystornien jäädyttämässä tehossa esiintyy suuria poikkeamia silloin, kun järjestelmä ottaa lisäpumpun käyttöön pitääkseen glykoliverkoston paineen riittävän korkealla. Kuvasta 21 nähdään että tehopoikkeama kasvaa suureksi, kun lisäpumppu käynnistyy, koska virtaus lisääntyy ja jäädytysteho näyttäisi jäävän todellisuutta pienemmäksi. Lisäpumpun käyntitieto näkyy kuvassa alimmaisena matalana historiakäyränä.



Kuva 21. Lisäpumpun käyntitieto alalaidassa. Käynnistyminen johtaa kuvassa ilmenevään tehonmäärityksen virheeseen.

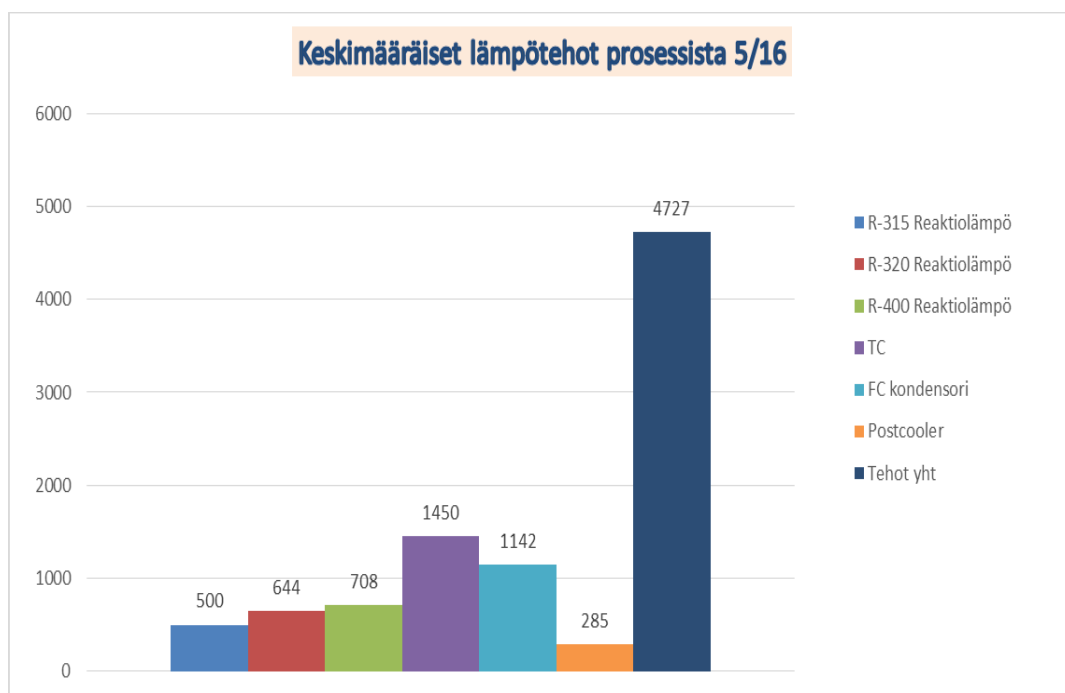
Kuva 22 esittää yllä olevan tiedon tehojen keskiarvona aivan samoin kuin sivulla 27 tehtiin 29 – 30.6 tapahtuneen mittausanalyysin kanssa. Tehoista huomataan, että lisäpumpun käynnistymisen aiheuttama virtausmittausvirhe näyttäisi johtavan tilanteeseen jossa prosessista tulee 10% enemmän energiaa kuin jäähdytystornit jäähdyttävät. Pumpun käynnistyminen aiheuttaa siis noin 20% poikkeaman tehonmääritykseen.



Kuva 22. Virtausmittauksen virhe johtaa tilanteeseen jossa prosessista näyttäisi tulevan 10% enemmän tehoa kuin jäähdytystornit jäähdyttävät.



Kun vertaillaan prosessista tulevaa tehoa ja jäähdytystornien jäähdytystehoja ajanjaksolla, jolloin vain pumppu jolle tehonmittaus suoritettiin, on ollut käytössä, todetaan mittausten asettuvan keskenään 10% virhemarginaaliin. Prosessista tulevaa lämpötehoa joka on siis 10% tarkkuudella sama kuin jäähdytystornien jäähdytysteho, voidaan nyt tarkastella ulkopuolelta mittausjakson tarkastelemalla ainoastaan prosessista vapautuvan lämpötehon määrää. Seuraavaksi esitellään tilanne toukokuulta, jolloin tehtaalla kaikki kolme reaktoria ovat olleet tuotannossa, joskin tuotantovauhdin ollessa rajoitettuna. Kuva 23 kertoo prosessin lämmöntuoton tehon olleen toukokuussa 2016 keskimäärin 4,7 MW.



Kuva 23. Prosessin lämmöntuotto toukokuussa 2016 kolmella reaktorilla on ollut noin 4,7MW

## 5 ENERGIANKULUTUKSEN SEURANTA TUOTANNON AIKANA

Tehtaalla energiankulutusta ja hyödykkeiden käyttöä seurataan kuukausitasolla muodostamalla historiatietoa toteutuneen tilanteen mukaan. Energiankulutusta voitaisiin seurata vuorokausitasolla ja verrata kuinka paljon sähköä sekä maakaasua on kulutettu verrattuna tuotantomäärään. Näin poikkeustilanteet saataisiin paremmin analysoitua ja vastaavat tuotantotilanteet hoidettua tulevaisuudessa vähemmällä energialla. Tuotannosta kerätään automaattisesti

vastaavaa tietoa esimerkiksi logistiikkaosaston käyttöön. Samalla metodilla voitaisiin kerätä prosessin toiminnasta vastaavan henkilön käyttöön edellisen vuorokauden kulutetut sähkön ja maakaasun määrät sekä tuotantomäärä. Lisäämällä nämä tiedot valmiiseen Excel taulukkolaskentaohjelmalla tehtyyn kaavakkeeseen, saadaan normaalista poikkeavat energiankulutuksen määrät helposti selville. Vaihtoehtoisesti nämä laskutoimitukset voitaisiin laskea prosessinohjausjärjestelmässä ja siirtää valmis vertailuarvo vastuuhenkilön käyttöön. Käymällä läpi edellisen vuorokauden tapahtumat ja tuotantotilanteet, voidaan poikkeavalle energiankulutukselle etsiä selitystä.

Energianseurannan mahdollistamiseksi täytyy energiankulutukselle määrittää tuotantomäärää vastaava normikulutus. Keräämällä riittävästi historiatietoa vuorokausitasolla toteutuneesta sähkön ja maakaasun kulutuksesta verrattuna tuotantomäärään, saadaan mittauspisteiden mukaan muodostettua pisteille parhaiten sovitettu suoran yhtälö, jota tässä työssä kutsutaan normisuoraksi. Kun mittauspisteitä joista normisuora muodostetaan, on tarpeeksi, esimerkiksi 50 kpl, ei yksittäinen kulutuspoikkeama aiheuta merkittävää virhettä tulokseen. Suoran yhtälö voidaan muodostaa mittauspisteistä pienimmän neliösumman periaatteella kaavan 4 mukaan.

$$\frac{dv}{da} = (a_1 + b - c)^2 + (a_2 + b - c)^2 + (a_n + b - c)^2 \quad (4)$$

$$\rightarrow 2a_1(a_1 + b - c) + 2a_2(a_2 + b - c) + 2a_n(a_n + b - c)$$

$$\frac{dv}{db} = (a_1 + b - c)^2 + (a_2 + b - c)^2 + (a_n + b - c)^2$$

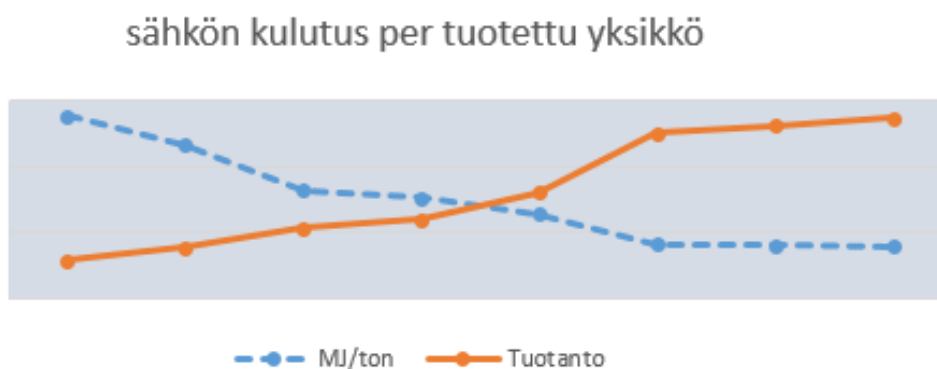
$$\rightarrow 2(a_1 + b - c) + 2(a_2 + b - c) + 2(a_n + b - c)$$

jossa	$a$	vuorokaudessa toteutunut tuotanto	[tn]
	$b$	vakiotermi	[-]
	$c$	toteutunut energian kulutus	[tn / kW]

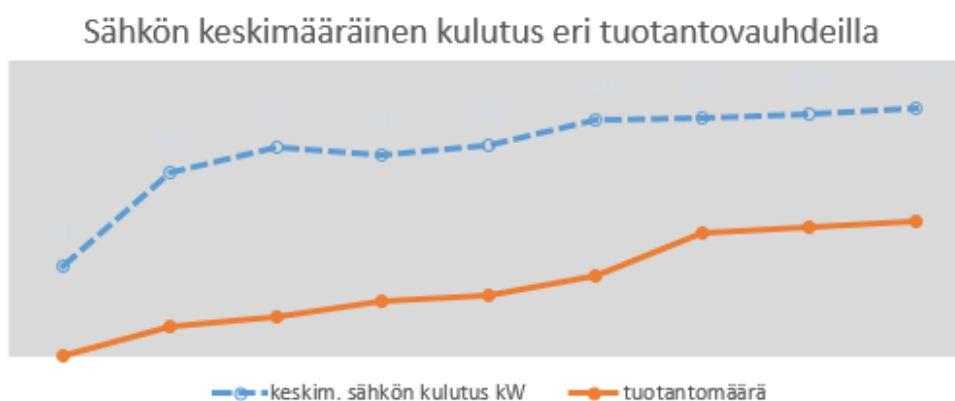
Muodostuu yhtälöpari ja ratkaisemalla  $a$  ja  $b$  arvot, voidaan suoran yhtälö muodostaa.  $y(\text{energian normikulutus}) = a \cdot \text{tuotantomäärä} + b$

## 5.1 Sähkönkulutuksen seuranta

Sähkönkulutuksen seurantaan tehtiin testimalli 8 vrk datan perusteella, joiden vuorokautiset kulutukset otettiin historiadatasta koemielessä talteen. Samoin taltioitiin vastaavan vuorokauden tuotantomäärä. Lukuarvot laitettiin järjestykseen vuorokautisen tuotantomäärän mukaan pienimmästä suurimpaan. Tehtaan ollessa seis huomataan kulutuksen olevan keskimäärin 240 kW josta vuorokautiseksi energiamääräksi saadaan noin 5800 kWh. Seisakkivuorokautta ei sisällytetä suoran yhtälön muodostamiseen. Normisuoran yhtälö muodostettiin kahdeksan erisuuruisen vuorokautisen tuotantomäärän mukaan. Kuva 24 esittää tuotantomäärän ja sitä vastaavan sähkönkulutuksen tuotettua määrää kohden. Kuvaajasta huomataan, että erittäin alhaisella tuotantovauhdilla sähköä kuluu tuotettua yksikköä kohti moninkertainen määrä. Kuvasta 25 nähdään tuotantovauhtia vastaava keskimääräinen sähköteho. Ensimmäisen pisteen kohdalla tuotanto on ollut seis.

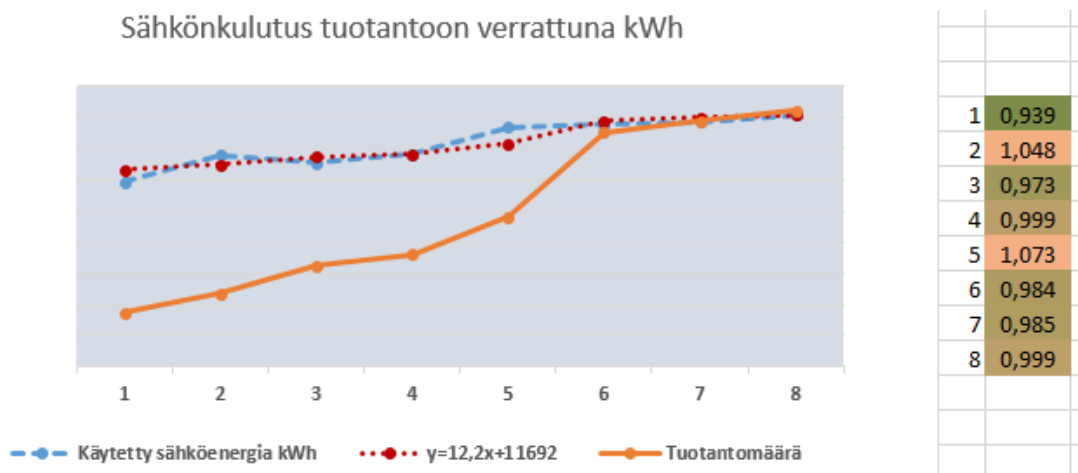


Kuva 24. Sähkönkulutus tuotettua lateksimäärää kohden laskee merkittävästi tuotantovauhdin kasvaessa



Kuva 25. Tuotantovauhtia vastaava keskimääräinen sähköteho.

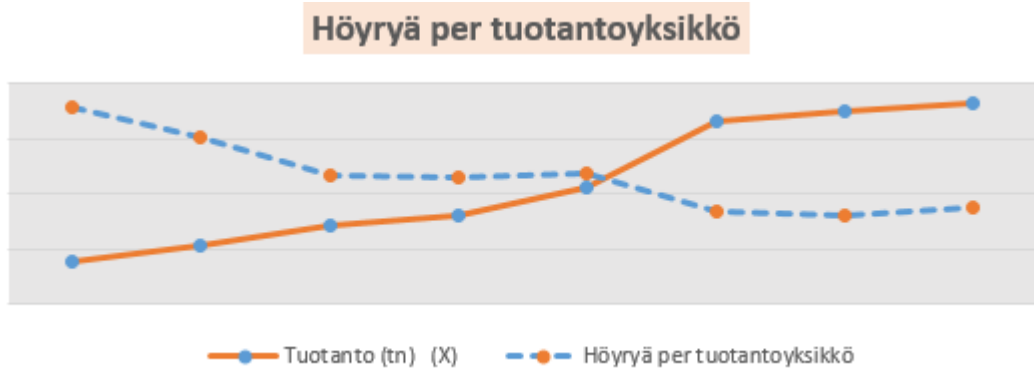
Sähkönkulutuksen seurantaan varten kehitetty normisuora ( $y=12,2X + 11692$ ) on lisättyä kuvaan 26 yhdessä tuotantomäärän ja käytetyn sähköenergian kanssa. Kuvan oikeassa reunassa olevat numerot 1 - 8 vastaavat kuvaajassa X –akselilla olevia vuorokautisia tilanteita. Mitä vihreämpi vuorokautta vastaa lukuarvo on, sitä vähemmän sähköä on käytetty verrattuna normisuoran antamaan standardiarvoon. Esimerkiksi pistettä 5 vastaavana vuorokautena on käytetty noin 7,3% enemmän sähköä kuin normisuora antaisi normaaliksi ohjeavoksi.



Kuva 26. Normisuora ( $y=12,2X+11692$ ) sisällytettyä samaan kuvaan tuotantomäärän ja käytetyn sähköenergian määrän kanssa. Vuorokausia vastaavat lukuarvot näkyvät oikealla.

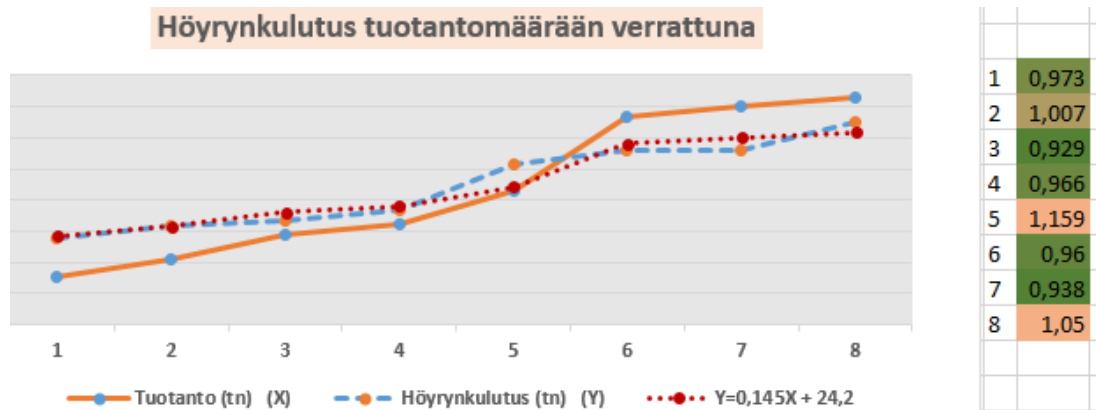
## 5.2 Höyrynkulutuksen seuranta

Höyrynkulutusta voi seurata aivan samalla tavalla kuin sähkönkulutuksen kohdalla tehtiin. Kuvasta 27 nähdään höyrynkulutus tuotettua lateksimäärää kohden. Erittäin hitaalla tuotantovauhdilla höyryä kuluu kaksinkertainen määrä verrattuna korkeaan tuotantoasteeseen.



Kuva 27. Tuotettua lateksimäärää vastaava höyrynkulutus muodostuu kaksinkertaiseksi erittäin matalalla tuotantovauhdilla verrattuna korkeaan käyttöasteeseen.

Kuvaan 28 lisättyä höyrynkulutuksen normisuora samaan tapaan kuin sähkönkulutuksen seurannan kohdalla. Pisteet eli vuorokaudet ovat samat kuin sähkönkulutuksen seurannassa. Piste 5 kohdalla näyttää höyryä kuluneen lähes 16% normisuoran antamaa standardiarvoa enemmän. Myös sähköä kului samana vuorokautena epänormaalin paljon. Kyseisenä vuorokautena on tuotannossa esiintynyt jokin kulutuksia nostava poikkeama.



Kuva 28. Piste 5 kohdalla on höyryä kulutettu lähes 16% normisuoran antamaa ohjeellista arvoa enemmän. Samana päivänä kului myös epänormaalin paljon sähköä.

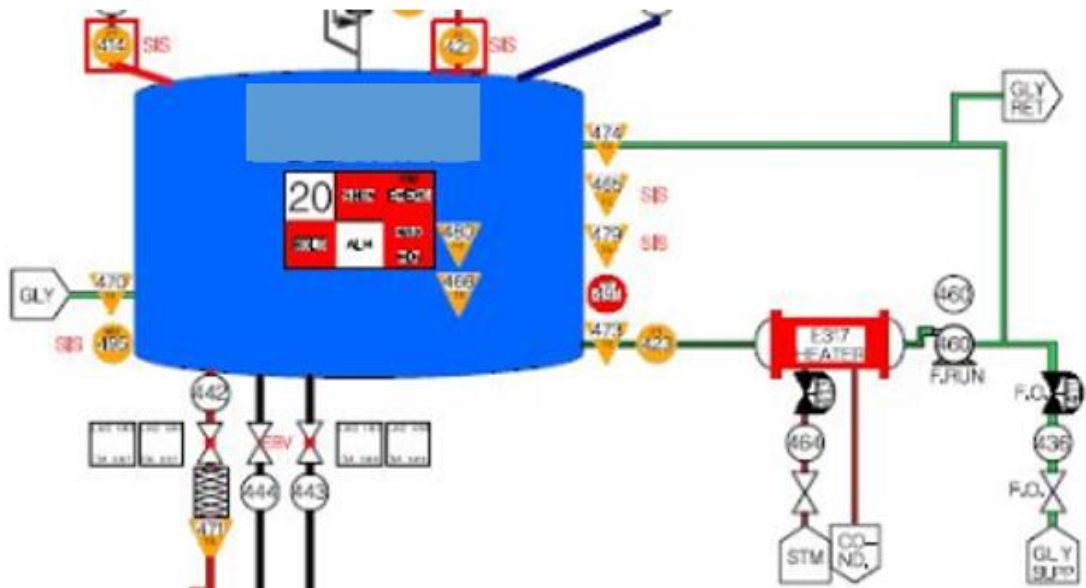
## 6 UUDET ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEET

### 6.1 Laattalämmityspumppu

Ulkona sijaitsevia tuotantotilojen maatasoja pidetään talvisin sulana kierrättämällä jäähdytystorneilta prosessiin tulevaa glykolivettä betonilaattoihin upotetuissa laattalämmityspotkistoissa. Laattalämmityspotkistoissa pidetään tasainen virtaus erillisellä pumpulla, jonka sähkömoottorin nimellisteho on 22 kW. Glykolikierrätys laatussa on ollut käytössä ympäri vuoden. Moottorikeskuksen lähdöstä suoritettun mittauksen perusteella pumpun käyttämä virta on 26 A, joka tarkoittaa 10,5 kW ottotehoa. Pitämällä pumppu seis huhtikuun alusta marraskuun alkuun, säästetään sähkön kulutuksessa vuodessa 53000 kWh. Tämä muutos ohjeistettiin ja otettiin käyttöön välittömästi.

### 6.2 Reaktorin jäähdytysvaippa

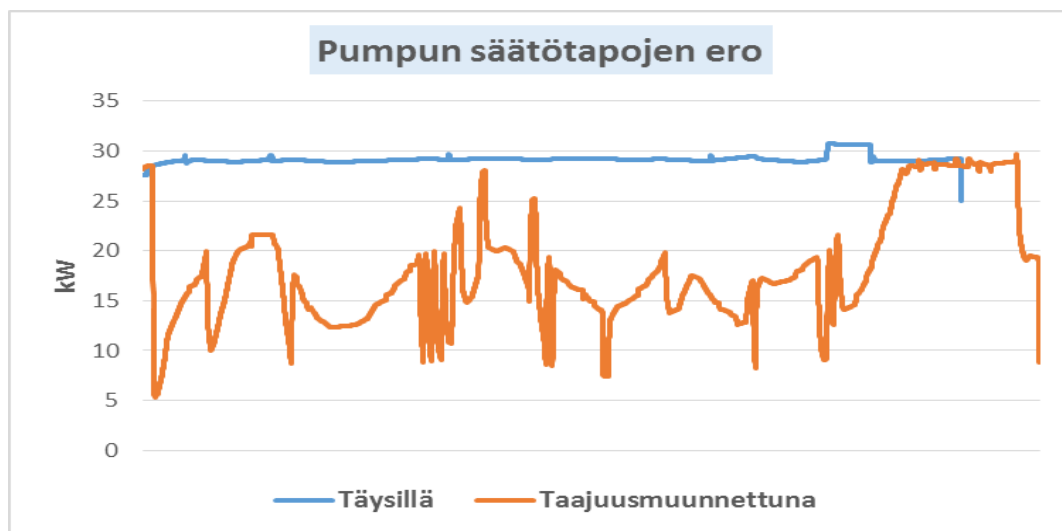
Reaktorin jäähdytysvaipassa kierrätetään glykolivettä omassa luopissaan yksinopeuksisen pumpun avulla. Glykolin virtaus vaipassa on noin  $220 \text{ m}^3/\text{h}$  suurimman osan aikaa. Kun tarvitaan lisjäähdytystä, avautuu pumpun imu-puolella oleva tuoreglykoliventtiili päästään kylmää glykolia jäähdytysluoppiin. Vastaava määrä lämmennyttä glykolia poistuu kierrätysluupista paluuvirtaan, joka menee jäähdytystorneille. Reaktorin vaipan tilavuus on  $1,75 \text{ m}^3$  ja paksuus 43 mm. Glykolipumpun nimellisteho on 30 kW ja pumput toimivat keskimäärin 29 kW teholla. Vuonna 2013 järjestelmää muutettiin niin että vaippapumput pysähtyvät, jos jäähdytykselle tai lämmitykselle ei ole tarvetta. Reaktorin aikana pumput kuitenkin käyvät pääosin kaiken aikaa. Kuva 29 havainnollistaa yksinkertaistetusti laitteiston rakenteen josta toimintaperiaate käy selville.



Kuva 29. Reaktorin jäähdytysluopin rakenteen kuva. Pumppu 460 toimii suoravetoisena ja kierrättää glykolia reaktorin vaipan lävitse. Kylmä glykoli otetaan jäähdytysluoppiin kuvan oikeassa alakulmassa olevasta linjasta (GLY SUPP) ja lämmin glykoli palautuu takaisin jäähdytystorneille kuvan oikeassa yläkulmassa olevan linjan kautta (GLY RET)

Yhdelle reaktoreiden vaippapumpuista on koemielessä asennettu taajuusmuunnin, jota käytetään portaittaiseen virtauksensäätöön. Tietyissä vaiheissa virtaus pidetään matalampana ja paljon jäähdytystehoa tarvittaessa pumppu käy täysillä. Pumppua testattiin myös niin, että jäähdytysluopin tuoreglykoli-venttiili pidettiin täysin auki ja jäähdytyksen säätöpiiri ohjasi pumpun nopeutta. Tällöin Glykoli ei kiertänyt enää vaipassa vaan se meni hitaammalla nopeudella kerralla vaipan läpi ja siitä paluulinjaan jäähdytystorneille. Tässä tilanteessa vaipassa virtaava jäähdytysglykoli on huomattavan paljon kylmempää kuin pumpun täysillä kierroksilla ajettaessa, jolloin osa glykolia palaa uudelleen pumpun imupuolelle. Erinäisistä syistä johtuen säätötapaa ei otettu käyttöön, mutta asia otetaan uudelleen harkintaan. Kun tilannetta verrataan myöhemmin samaa laatua olevaan lateksisatsiin, jolloin jäähdytystehot ovat identtiset ja vaippapumppu on toiminut koko reaktion ajan täydellä nopeudella, huomataan suuri ero pumpun virrankulutuksessa. Täydellä nopeudella ajettaessa pumppu toimii 29 kW teholla ja taajuusmuunnettuna keskimäärin 18 kW teholla. Tavanomaisella tuotantovauhdilla, jos pumpeissa käytettäisiin taajuusmuunninta, säästyisi vuodessa 140 000 kWh. Kuvassa 30 on historiatietoa pumpun ottamasta sähkötehosta. Alempi käyrä kuvaa pumpun käyttämää

sähkötehoa, kun pumppua on ohjattu taajuusmuuntimen avulla ja ylempi käyrä kuvaa tilannetta jossa pumppu on toiminut täysillä kierroksilla.



Kuva 30. Historiatietoa pumpun sähkönkulutuksesta erilaisilla ajotavoilla. Alempi käyrä kuvaa tilannetta, jossa pumppua on ajettu säätämällä kierrosnopeutta. Sähkönkulutus on huomattavasti alhaisempi kuin ylemmässä käyrässä pumpun toimiessa täysillä kierroksilla. Käyrien väliin jäävä pinta-ala kuvaa säästyneen sähköenergian määrää.

### 6.3 Glykoliverkoston paineenpitopumput.

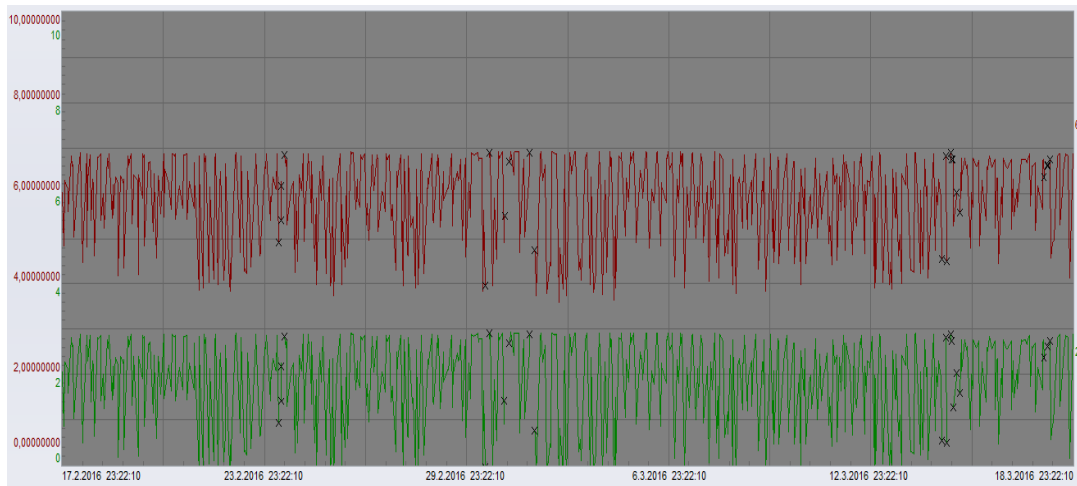
Glykoliverkostossa pidetään minimissään 4 bar painetta riittävän glykolivirtauksen takaamiseksi kohteisiin, jossa ei ole omaa pumppua. Suuren osan aikaa vuodesta verkoston paine ylittää minimiasetusarvon 4 bar, mitä voitaisiin pitää asetusarvona taajuusmuunnellulla pumpulla. Vuonna 2015 verkoston paine oli keskimäärin 1,4 bar yli asetusarvon. Tässä tutkimuksessa johtavan pumpun ottotehoa mitattiin ja sen perusteella määritettiin glykoliverkoston virtaukset. Talvisin glykoli on useita asteita kylmempää kuin kesällä, mikä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi glykoliverkon virtaukseen. Ero virtauksessa kesän ja talven välillä on noin 3%. Ylimääräisestä paineesta aiheutuva sähkönkulutus on laskettu vuoden keskimääräisellä ylipaineen määrällä sekä touko-kuussa 2016 tapahtuneen mittausjakson keskimääräisillä virtauksilla. Tuloksena on kaavassa 5 esitetty teoreettinen tehontarve ylipaineen tuotolle.



$$\Phi = q_v \cdot \Delta p \cdot 100 \text{ kPa}/\text{bar} \quad (5)$$

jossa	$\Phi$	teoreettinen tehontarve ylipaineelle	[kW]
	$q_v$	glykolin tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$\Delta p$	ylipaine glykoliverkostossa	[bar]
	100 kPa	kerroin (100 kPa / bar)	[-]

Kuva 31 esittää tyypillisen tilanteen verkoston ylipaineesta. Ylempi käyrä esittää todellisen paineen ja alempi käyrä verkoston liikapaineen, joka saataisiin poistettua taajuusmuuntamalla pumppu.



Kuva 31. Ylempi käyrä esittää verkoston- ja alempi ylipaineen. Y-akselilla paine (bar)

Historiatiedoista Excel taulukkolaskentaan kaapatun vuoden 2015 tiedon perusteella sähköä säästyisi 124 000 kW

## 6.4 Höyrykattila

Höyrykattilan energiatehokkuus ja hyötysuhde sekä niihin vaikuttavat osatekijät on esiteltyä kohdassa 3.3 (Maakaasunkulutukseen vaikuttavat suunnitellut toimenpiteet) Asiaa on selvitetty aiemmin vuonna 2015 Energiatehokkuusmoduuliiin kuuluvalla Energiatehokkuusprojekti -kurssilla. Kattilan poltin ja ilmanmittaus niihin liittyvine kanavineen ja puhaltimineen on päätetty uusien vuoden

2017 toukokuussa. Muutoksella säästetään vuosittain noin 81 000 m<sup>3</sup> kulutus maakaasussa.

## 6.5 Jäähdytystornien glykoliveden lämpötila-asetusarvo

Jäähdytystornien glykolin jäähdytystason lämpötilan asetusarvoa nostettiin vuonna 2014, mutta muutosta jouduttiin uudelleen muuttamaan takaisin niin, että jäähdytystorneilta odotetaan suurempaa jäähdytystehoa ja näin ollen tuuletinpyörivät enemmän, mikä johtaa suurempaan sähkönkulutukseen. Syynä lämpötilan asetusarvon uudelleen laskemiseen on erään reaktorin heikompi reaktiolämpötilan säätökyky. Jäähdytysvaippa ei toimi riittävän tehokkaasti. Asia johtuu reaktoriin tehdystä muutoksesta, joka on vaikuttanut jäähdytysvaipan lämmönsiirron tehokkuuteen. Asiaa kannattaa tutkia lisää ja ongelma olisi yritettävä poistaa, jolloin glykolin lämpötilan asetusarvo voitaisiin nostaa uudelleen järkevämmälle tasolle, ja reaktoria ajaa lisäksi korkeammalla täyttöasteella. Asia ei liity pelkästään energiansäästöön, vaan se poistaisi joillakin laaduilla esiintyvän lämmönsäädöllisen ongelman. Samankaltaisia muutoksia reaktoreihin on tehty myös muillakin yhtiön tehtailla, joten on todennäköistä, että niilläkin esiintyy samaa ongelmaa. Ellei näin ole, on omalla tehtaalamme olevan reaktorin tai siihen liittyvien putkistojen rakenteessa jotain vialla.

## 7 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Työssä selvitettiin sähkön ja maakaasun kulutustrendi ja nykyinen tilanne. Sekä sähkön- että maakaasunkulutuksessa on laskeva trendi, mikä osaltaan johtuu tuotannon supistumisesta, mutta myös jo tehtyjen energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksista. Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia kulutusten laskevaan trendiin ei selvitetty muulta osin, kuin total kondensatorin lämpövirran hyödyntämistä kattilan syöttöveden esilämmityksessä.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan vain prosessin jäähdytysjärjestelmää ja prosessihöyryn käyttöä sekä höyryä tuottavaa kattilaa.

Prosessin lämmöntuottokohteista tuleva lämpöteho laskettiin. Samoin määritettiin samalla ajanjaksolla tapahtunut jäähdytystornien suorittama jäähdytys-

teho. Lämmöntuoton ja jäähdytyksen tehot asettuvat 10% virhemarginaalin sisään. Yksi varma virheen lähde on glykoliverkoston jäähdytysnesteen ajoittainen tuntitasolla tapahtuva lämpötilamuutos esimerkiksi silloin, kun jäähdytystornien jäähdytysteho on hetkellisesti pienempi kuin prosessin tuottama lämpöteho, ja glykoliveden lämpötila hetkellisesti nousee. Toisaalta kun jäähdytystornit jälleen saavuttavat asetusarvon, on jäähdytysteho ollut hetkellisesti suurempi, kuin mitä prosessista on torneille tullut. Toinen varteenotettava syy jota ei ole tutkittu, on laattalämmitysverkoston tuottama lämpöteho. Mittausjakson aikana laattalämmitysverkoston pumppu kierrätti glykolia tehtaan piha-alueiden asfalttikentissä. Laattalämmityksessä virtaava glykoliveden massavirta on noin 10% glykolin kokonaisvirtauksesta. Aurinkoisena päivänä asfaltit saattavat tuottaa lämpöenergiaa suuren määrän, johtuen asfaltin lämpöä sitovasta ominaisuudesta ja isosta pinta-alasta.

Tuotannon aikaista energiankulutusta seurataan tehtaalla kuukausitasolla. Energiankulutusta ei seurata vuorokausitasolla, mikä voi johtaa tilanteeseen, jossa vuorokautiset heilahtelut jotka vaikuttavat kuukausitasolla tapahtuvaan kulutukseen, jäävät huomiotta. Edellä mainitusta syystä mallinnettiin yhtälöt, joita käyttämällä huomataan vuorokautiset sähkön- ja höyrynkulutusten epänormaalit käyttömäärät ja näin ollen voidaan tarkastella syytä kulutukselle. Laskenta voidaan sisällyttää joko suoraan prosessinohjausjärjestelmään tai tuoda päivittäin tuotannosta vastaavan henkilön käyttöön, joka syöttää luke-man Excel taulukkolaskelmalla tehtyyn kaavaan.

Työn tavoitteena oli löytää energiatehokkuutta lisääviä ratkaisuja, joita löytyi seuraavista kohteista:

Laattalämmityspumpun vuosittainen käyttö on ollut kontrolloimatonta. Pitämällä pumppu seis ajat, jolloin maatasen pinnat eivät ulkolämpötilan johdosta ole vaarassa jäätyä, säästetään 53 MWh sähköenergiaa vuosittain.

Varustamalla myös toisen ison reaktorin vaippapumppu taajuusmuuttajalla, ja käyttämällä taajuusmuunnettua ohjaustapaa jäähdytysvaippojen pumpuilla sekä tuoreglykoliventtiileillä, säästetään 140 MWh sähköenergiaa vuosittain.

Glykoliverkoston paineenpitopumput ovat suoravetoisia ja paineensäätö tapahtuu ottamalla lisää tai poistamalla pumppuja käytöstä paineensäätöpiiriin ohjaamana. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa glykoliverkoston paine ylittää

asetusarvon lähes jatkuvasti. Vuoden 2015 aikana glykoliverkostossa vallitsi keskimäärin 1,4 bar ylipaine. Asentamalla taajuusmuuttaja johtavalle glykolin paineenpitopumpulle, säästetään vuosittain 124 MWh sähköä.

Höyrykattila toimii 90% hyötysuhteella. Tämä johtuu suurimmalta osin savukaasun suuresta yli-ilmamäärästä, joka on pysyvästi 14% tasolla ja kattilan käydessä matalalla teholla jopa 16%. Lisäksi kattilan toiminnasta johtuen tai-vaalle puhallettava ylimääräinen höyrymäärä on 0,5% höyryn kokonaistuotannosta. Uusimalla kattilan poltin ilmamittauksineen ja niihin liittyvine kanavineen säästetään 81 000  $m^3$  maakaasua vuodessa.

Suorittamalla yllä mainitut energiatehokkuustoimet, saavutetaan vuosittain 1127 MWh säästö energiankulutuksessa.

## LÄHTEET

- Alardt, M. 2015. Sähkösaattojen suunnittelu teollisuudessa. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99079/alardt\\_markus.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99079/alardt_markus.pdf?sequence=1) [Viitattu 23.11.2016].
- Haikama, J. 2013. Täytekappalekolonnin likaantumisen syyt ja likaantumisen vähentämisen menetelmiä. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/92225> [Viitattu 17.11.2016].
- Holmberg, H. 2015. Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa. Saatavissa: [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/118088/mod\\_resource/content/1/Ene59.4140%20moniste%202015.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/118088/mod_resource/content/1/Ene59.4140%20moniste%202015.pdf) [Viitattu 24.11.2016].
- Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. 1.-5. Painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Jäähdytystornit. Sondex Tapiro Oy AB. Saatavissa: <http://www.sondextapiro.fi/fi/tuotteet/jaahdytystornit/pmm-sarja> [Viitattu 17.11.2016].
- Keuda verkko-opisto. Vortex -virtauksen mittaaminen. Saatavissa: <http://moodle.keuda.fi/kansiot/kao-lf/MITTAUS/VORTEX/vortex-mittaus.htm> [Viitattu 22.11.2016].
- Leskinen, H. 2007. Lämpöenergian ymmärtämisen tukeminen mittausautomaation avulla lukion kemian opetuksessa. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/leskinen-h-2007.pdf> [Viitattu 24.11.2016].
- Suvanto, K. 2012. Tekniikan fysiikka 1. 1.-5. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Törmänen, A. 2013. Hyötysuhdelaskenta Keravan Energian biovoimalaitokselle. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58018/Valmis%20oppari.pdf?sequence=1> [Viitattu 24.11.2016].
- Veden ja höyryn ominaisuuksien laskuri s.a. Saatavissa: [http://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser\\_dampf\\_e.html](http://www.peacesoftware.de/einigewerte/wasser_dampf_e.html) [Viitattu 14.7.2016].
- ViFlow putkilämmönsiirtimet Reaktorit, säiliöt. Saatavissa: <http://www.viflow.fi/uploads/putki.pdf> [Viitattu 23.11.2016].
- Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. 22.4.2016. Vähähiiliset satamatoiminnot. Saatavissa: <http://www.kyamk.fi/Ty%C3%B6el%C3%A4m%C3%A4lle/Projektit/NELI/Hankkeet/V%C3%A4h%C3%A4hiiliset%20satamatoiminnot/> [Viitattu 25.11.2016].

# LIITTEET

## Liite 1/1

Joko varapumppu tai ei käytössä					Nimellisteho yhteensä kW			982
AOD=painellimakäyttöinen					kW	rpm		Käytössä %
1	P-108	Butadieeni Booster	Dickow		15	1500	VFD	90
2	P-110	Siemenlateksi	Wanner		4			4
3	P-120	Akryylihapo DF	Lewa		5,5		VFD	100
6	P-121	Akryylihapo Purkup.	Dickow		4	3000		1
7	P-130	20% CAU -> AMX ja FFT	Dickow		5,5	1500	VFD	15
8	P-132	20% CAU -> RX	Dickow		15	1500		5
9	P-135	50% CAU Purkup.	Dickow		4	1500		10
10	P-140	Disponil AFX Purkup.	Warren Rupp	AOD	0			
11	P-141	Disponil AFX	Wanner		4			0,3
12	P-144	SLS Purkup.	Warren Rupp	AOD	0			
13	P-145	SLS	Selwood		4			2
14	P-149	Dowfax Purkup.	Warren Rupp	AOD	0			
15	P-150	Dowfax	Wanner		4			2
16	P-159	Disponil FES993 Purkup.	Warren Rupp	AOD	0			
17	P-160	Disponil FES993	Warren Rupp	AOD	0			
18	P-165	TDDM Purkupumppu	Dickow		7,5	3000		0,3
19	P-166A	TDDM DF A	Dickow		7,5	1500		39
20	P-166B	TDDM DF B	Dickow		7,5	1500		61
23	P-175	Kathon annostelu	Dosapro		0,37			4
24	P-176	Kathon sekoitus	Warren Rupp	AOD	0			
25	P-177	Preventol annostelu	Lewa		1,5			3
26	P-178	Preventol sekoitus	Warren Rupp	AOD	0			
29	P-186A	Styreeni DF A	Dickow		11	1500		37
30	P-186B	Styreeni DF B	Dickow		11	1500		22
31	P-186C	Styreeni DF C	Dickow		11	1500		41
32	P-190	Butyyliakrylaatti Purkup.	Dickow		7,5	3000		0,4
33	P-191A	Butyyliakrylaatti DF A	Dickow		15	1500		5
34	P-191B	Butyyliakrylaatti DF B	Dickow		15	1500		5
35	P-193	Butadieeni Siirto FGG	Dickow		10	1500		100
36	P-195	Akryliiniiriili Purkup.	Dickow		7,5	3000		0,7
37	P-196A	Akryliiniiriili DF A	Dickow		7,5	1500		51
38	P-196B	Akryliiniiriili DF B	Dickow		7,5	1500		7,5
41	P-240	Versenol	Dosapro		5,5			
42	P-245	AMX II	Dosapro		5,5		VFD	63
43	P-247	AMX III	Dosapro		5,5		VFD	75
45	P-250	Microvaha	Johnson		1,1			100
46	P-250A	IAMB	Dickow		4	3000		100
47	P-265A	FAMB Step	Allweiler		4			100
48	P-270	FAMB	Allweiler		4			99

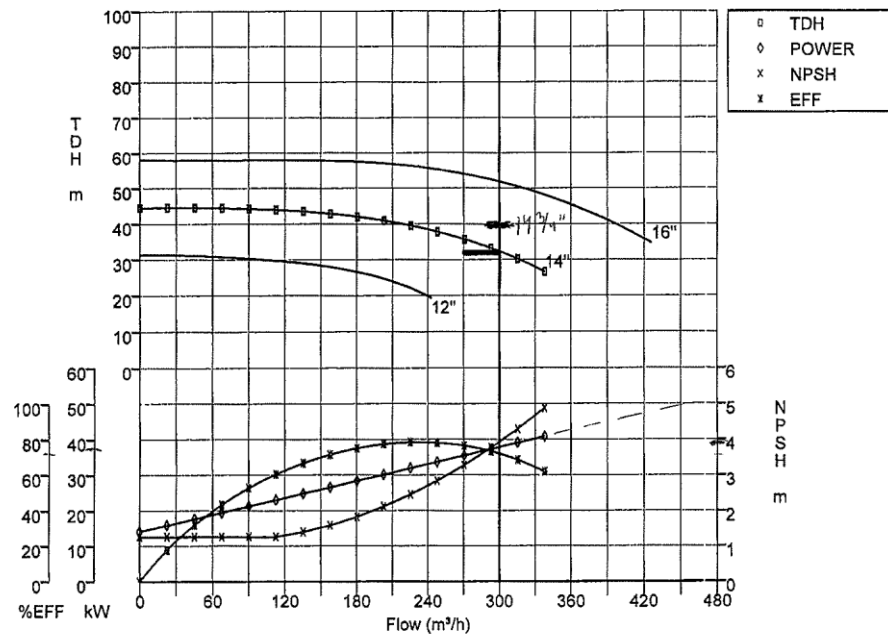
50	P-290	NAPSMB	Dickow		3	1500		5
51	P-295	AMPSMB	Dickow		4	1500		0,6
55	P-310A	AMX IV	Lewa		5,5		VFD	75
56	P-315	BERTAN vaippapumppu	Dickow		30	3000		14
58	P-320	CINDY vaippapumppu	Dickow		30	1500		20
59	P-323	CINDY tiivistevesi	Bran&Luebbe		0,75			94
60	P-325	Cindy tiivisteöljy	Woerner		0,3			100
62	P-410A	DIANA vaippapumppu	Dickow		30			21
63	P-415A	DIANA tiivisteöljy	Woerner		0,34			100
64	P-417A	DIANA tiivistevesi	Bran&Luebbe		0,55			93
66	P-431A	Tiivistevesi	Dickow		1,5	1500		100
68	P-505A	TR 2 Jauhinpumppu DEG->STR	Cavitron		28			84
69	P-506A	TR 2 Jauhinpumppu STR->FC	Cavitron		28			82
70	P-521A	Con Add Water	Goulds		30		VFD	95
71	P-530A	Kuumavesi A	Dickow		18,5	3000	VFD	97
76	P-541	Inhibiittori	Warren Rupp	AOD	0			
77	P-550	Rag Layer	Lewa		2,2		VFD	18
78	P-565-1A	TR 2 FC Itäinen	Warren Rupp	AOD	0			
79	P-565-2A	TR 2 FC Läntinen	Warren Rupp	AOD	0			
80	P-566A	TR Harmaavesi	KSB		3			93
81	P-570	Raakavesi	Dickow		11	1500	VFD	97
86	P-595	Light Oil Siirtop.	Dickow		3	1500		0
87	P-596	Öljy polttimelle	Lewa		0,37		VFD	70
93	P-615A	FC Tyhjäpumppu Läntinen	Hedrich/Robush		11			0
94	P-615B	FC Tyhjäpumppu Itäinen	Sihi		10			100
101	P-630	V-630 Pumppu	Bredel		15		VFD	8
103	P-640	V-640 Pumppu	Bredel		15		VFD	8
104	P-644	Siirrettävä 2" Sandpiper	Warren Rupp	AOD	0			
105	P-645A	Siirrettävä 1" Sandpiper	Warren Rupp	AOD	0			
106	P-645B	Siirrettävä 1" Sandpiper	Warren Rupp	AOD	0			
107	P-645C	Siirrettävä 1" Sandpiper	Warren Rupp	AOD	0			
108	P-646	TR 1 FFT sumppupumppu	Warren Rupp	AOD	0			
109	P-650	Puhdas Valkovesi	Selwood		4			11
110	P-660	Pesuvesipumppu	Warren Rupp	AOD	0			
111	P-700	V-700 Pumppu	Selwood		5,5	1000		6
112	P-705	V-705 Pumppu	Bredel		18,5		VFD	4
113	P-710	V-710 Pumppu	Selwood		5,5	1000		6
114	P-715	V-715 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4
115	P-720	V-720 Pumppu	Selwood		5,5	1000		6
116	P-720A	TR 2 Seulapumppu	Warren Rupp	AOD	0			
117	P-720B	TR 2 Seulapumppu	Warren Rupp	AOD	0			
118	P-721A	TR 2 seulojen sumppupumppu	Warren Rupp	AOD	0			
119	P-725	V-725 Pumppu	Selwood		5,5	1000		3
120	P-730	V-730 Pumppu	Selwood		5,5	1000		6
121	P-735	V-735 Pumppu	Selwood		5,5	1000		2
122	P-740	V-740 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4
123	P-745	V-745 Pumppu	Selwood		5,5	1000		1

124	P-750	V-750 Pumppu	Selwood		5,5	1000		7
125	P-752A	DBNPA	Lewa		1,5		VFD	0,4
126	P-755	V-755 Pumppu	Selwood		5,5	1000		5,5
127	P-760	V-760 Pumppu	Selwood		5,5	1000		0,35
128	P-765	V-765 Pumppu	Selwood		5,5	1000		0,35
129	P-770	V-770 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4
130	P-775	V-775 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4,5
131	P-780	V-780 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4
132	P-785	V-785 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4,5
133	P-790	V-790 Pumppu	Selwood		5,5	1000		4
134	P-795	V-795 Pumppu	Selwood		5,5	1000		7
136	P-800	Lateksin purkupumppu	Warren Rupp	AOD	0			
137	P-801	Lastaussillan lattiakaivopumppu	Warren Rupp	AOD	0			
138	P-820	V-820 Pumppu	Selwood		5,5	1000		7,5
139	P-825	V-825 Pumppu	Selwood		5,5	1000		5,5
140	P-830	V-830 Pumppu	Selwood		5,5	1000		10
141	P-835	V-835 Pumppu	Selwood		5,5	1000		8,5
142	P-840	V-840 Pumppu	Selwood		5,5	1000		9,5
143	P-845	V-845 Pumppu	Selwood		5,5	1000		8
144	P-920	GEA Glykolipumppu pohjoinen	Durco		55			96,5
145	P-921	GEA Glykolipumppu keskimmäinen	Durco		55			21
146	P-922	GEA Glykolipumppu eteläinen	Durco		55			1
147	P-923	Laattalämmityksen glykolipumppu	Dickow		22	3000		100
148	P-925	GEA Sprayvesipumppu	Dickow		22	3000	VFD	15
149	P-930A	Prosessivesi A	Dickow		15	3000		99,5
153	P-935A	Syöttövesipumppu itäinen	Durco		37			1
154	P-936B	Syöttövesipumppu läntinen	Durco		37			99,5
155	P-941	Lauhdekemikaaliannostelu	Prominent		0,023			11
156	P-970	Hätäsuihkuvesipumppu	Dickow		4	3000		99,5
158	P-985A	Kattilan Sumppupumppu	Allweiler		11			0
159	P-991	Paloveden paineenpitopumppu	Grundfos		4			99,5
					Nimellistehot yhteensä		981,5	



MUUT KUIN PUMPUT					kW	½ teho kW	Käyntiaika %
1	MA-315	R-315 sekoittimen moottori			37	VFD	79,5
2	MA-320	R-320 sekoittimen moottori			55	VFD	91
3	MA-400	R-400 sekoittimen moottori			55	VFD	90,5
4	F-923 A1	CT-923A 1-tuulettimen moottori			34	16	19,5
5	F-923 A2	CT-923A 2-tuulettimen moottori			34	16	19,5
6	F-923 B1	CT-923B 1-tuulettimen moottori			34	16	14
7	F-923 B2	CT-923B 2-tuulettimen moottori			34	16	14,5
8	F-923 C1	CT-923C 1-tuulettimen moottori			34	16	14
9	F-923 C2	CT-923C 2-tuulettimen moottori			34	16	13,5
10	MC-960	Ilmakompressorin moottori			90	VFD	100
11		Sähkösaatot yhteensä			154		
12	F-920	Kattilan puhallin			55	VFD	99,5
13	M-720A	Täryseulan moottori			1,85		53,5
14	M-720B	Täryseulan moottori			1,85		50
15	M-720C	Täryseulan moottori			1,85		50
16	VU-820	IV-kone kulj. Taukotupa	1,5 + 2,1	3,6			100
17	VU-1000	IV-kone LTX varasto sisään	22 + 7,5	29,5	4 + 2,2		100
18	VU-1010	IV-kone toimisto	4 + 0,37	4,37			100
19	VU-1020	IV-kone RM -varasto	1,1 + 1,1	2,2			100
20	VU-1030	IV-kone Dekantterialue		5,5	0,75		100
21	VU-1040	IV-kone Kunnossapito	1,1 + 1,1	2,2			100
22	VU-1050	Jäähdytyskone KUPI -toimisto		0			100
23	VU-1060	Jäähdytyskone E-SYS MOD huone		0			100
24	VU-1070	Jäähdytyskone ristikytkentä		0			100
25	VU-1080	IV-kone MCC-5		5,5			100
26	VU-1090	IV-kone Uusi toimisto		0			100
27		Dekantterialueen ilmanvaihtimet yht.		1,1			100
28	MX-135	Säiliösekoitin		1,1			24
29	MX-140	Säiliösekoitin		1,5			3
31	MX-245	Säiliösekoitin		0,75			1
32	MX-247	Säiliösekoitin		0,75			1,5
33	MX-310A	Säiliösekoitin		0,75			1,5
34	MX-250A	Säiliösekoitin		0			11
35	MX-265	Säiliösekoitin		1,5			100
36	MX-270	Säiliösekoitin		1,5			100
37	MX-290	Säiliösekoitin		0,75			6,5
38	MX-295	Säiliösekoitin		1,1			1
40	MX-700A	Säiliösekoitin		1,5			23,5
41	MX-700B	Säiliösekoitin		1,5			23
				Yhteensä	722		

<b>FLOWERVE</b>		<b>FLOWERVE CORPORATION</b>		9 February, 1999	
		Durco Pumps		Page 1 of 1	
Project : FINLAND		City :			
Tag : P-920/921/922 DMS		State :			
Customer :		Zip Code :			
Address :		Country :			
Service : GLYCOL WATE					
Flow Req: 300.0 m <sup>3</sup> /h	Viscosity : 2.00 cP	Specific Heat : N/A			
TDH Req: 32.0 m	Vapor Press.: N/A bar Abs.	Solids Description :			
NPSHA : 6.0 m	Suction Press. N/A bar Abs.	% Solids :			
SPGR : 1.03	Fluid Temp. : 73.0 °C	% Concentration :			
<b>PUMP AS ORIGINALLY SELECTED</b>			<b>INITIAL</b>		<b>CURRENT</b>
Pump Line : MARK III (REV. VANE)	RPM : 1450	1450	DATA AS PLOTTED		
Pump Size : 3K6X4-16	Imp. Trim: 14	14 in	Viscous Correction Factors		
Trim : 14"	Flow: 300.0	300.0 m <sup>3</sup> /h	CQ : N/A		
Frequency : 50 Hz	TDH: 32.3	32.3 m	CH : N/A		
RPM : 1450	Power: 37.8	37.8 kW	CW : N/A		
Containment : N/A	End Power: 40.8	40.8 kW	CH at Operating : N/A		
Curve#: 8411CV	Efficiency: 71.9	71.9 %	Min. Cont. Flow : 96.1 m <sup>3</sup> /h		
Orifice : N/A mm	NPSHR: 3.9	3.9 m	Pwr @ Min. Flow : 21.7 kW		



- For guaranteed NPSHR, add 0.2 m to reported values. See the online manual for details.

Kattilan savukaasuhäviö 14% ylihapella 156 m <sup>3</sup> /h maakaasuvirtauksella 8760 h/vuosi			
<b>LÄHTÖTIEDOT</b>		<b>V 2015 tiedoilla</b>	
maakaasun lämpöarvo	10 kWh/m <sup>3</sup>	Maakaasua kulunut vuodessa	1 369 160 m <sup>3</sup>
maakaasun hinta	0,46 €/m <sup>3</sup>	Maakaasun kulutus tunnissa	156 m <sup>3</sup>
maakaasun minimikulutus	156 m <sup>3</sup> /h		
maakaasun tiheys	0,73 kg/m <sup>3</sup>		
Minimitehoaika vuodessa	8760 h		
mitattu jäännöshappi ennen	14 %		
mitattu jäännöshappi jälkeen	6 %		
mitattu sk-lämpötila	110 °C		
vertailulämpötila	30 °C		
savukaasun cp	1,2 kJ/kg°C		
savukaasumäärä (0 % jäännöshappi)	18,2 kg/kgpa		
<b>TILANNE 156m<sup>3</sup>/h ja 14% hapella</b>		<b>TILANNE 6% ylihapella</b>	
maakaasun massavirta	0,0316 kg/s	kattilan hyötäteho	1399 kW
kattilan polttoaineteho	1560 kW	ilmakerroin	1,40
ilmakerroin	3,03	savukaasujen todellinen määrä	25,1 kg/kgpa
savukaasujen todellinen määrä	53,1 kg/kgpa	savukaasuhäviö	76 kW
savukaasun massavirta	1,68 kg/s	kattilan polttoaineteho	1475 kW
savukaasuhäviö	161 kW	kattilan hyötysuhde	94,8 %
kattilan hyötäteho	1399 kW	maakaasun kulutus	147,5 m <sup>3</sup> /h
kattilan hyötysuhde	89,7 %	vuotuinen polttoaine-energia	12921469 kWh
vuotuinen polttoaine-energia	13665600 kWh	vuotuinen polttoainekustannus	594388 €
vuotuinen polttoainekustannus	628618 €		
<b>Kustannus yli-ilmasta 156 m<sup>3</sup>/h maakaasun virtauksella</b>		<b>34230 €</b>	
<b>Kustannus ylimääräisestä höyryn tuotosta (0,5% kokonaistuotann)</b>		<b>3150 €</b>	
<b>Säästö yhteensä</b>		<b>37380 €</b>	