

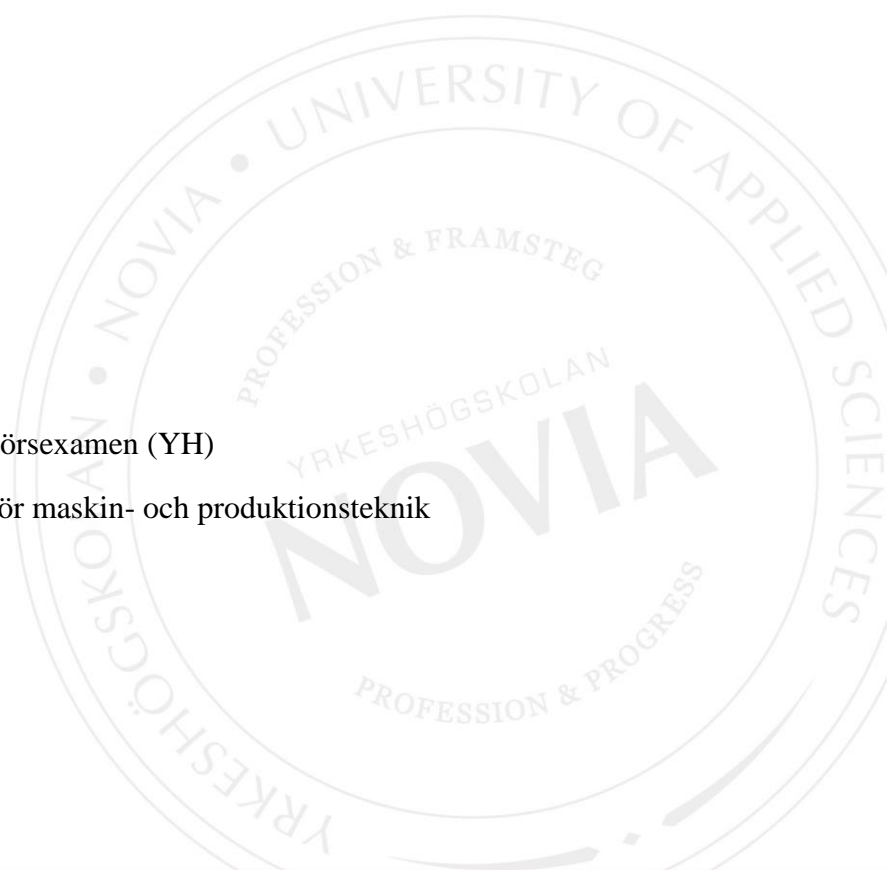
# Optimering av värmeåtervinning i rökgasskrubber

Max Uddström

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2017



## EXAMENSARBETE

Författare: Max Uddström  
Utbildningsprogram och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Drifts- och energiteknik  
Handledaren: Kaj Rintanen, Dick Grönqvist, Kaj Kulju

Titel: Optimering av värmeåtervinning i rökgasskrubber

---

Datum 17.3 2017

Sidantal 24

Bilagor 2

---

### Abstrakt

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Borgå Energi Ab som sköter om fjärrvärmeverksamheten i Borgå sedan 1972. Idag sker produktionen till största delen med inhemskt förnybart bränsle.

Syftet med examensarbetet var att optimera rökgasskrubbern som används vid bolagets största bioanläggning i Tolkis. Skrubbern som tvättar och samtidigt tar tillvara energi ur rökgaserna är av storleken 8 MW.

Metoden för optimeringsförsöken som använts går ut på att befukta rökgaserna innan de blåses in i skrubbern. Meningen var att få ut den effekt ur rökgasskrubbern som leverantören utlovat, alternativt komma fram med orsaker till nedsatt effekt. Omfattande underhållsåtgärder utfördes innan optimeringsförsöken påbörjades.

---

Språk: svenska      Nyckelord: kraftverk, rökgasskrubber, värmeåtervinning, optimering

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Max Uddström
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot:	Käyttö- ja energiatekniikka
Ohjaajat:	Kaj Rintanen, Dick Grönqvist Kaj Kulju

Nimike: Savukaasupesurin lämmöntalteenoton optimointi

---

Päivämäärä 17.3 2017

Sivumäärä 24

Liitteet 2

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Porvoon Energia Oy:n toimeksiannosta. Porvoon Energia Oy on huolehtinut kaukolämpötoiminnasta Porvoossa jo 1972- vuodesta alkaen. Nykyään tuotannossa käytetään suurimmaksi osaksi kotimaista uusiutuvaa polttoainetta.

Opinnäytetyöni tavoitteena on savukaasupesurin optimointi. Savukaasupesuri on käytössä Porvoon Energia Oy:n suurimmassa biolaitoksessa Tolkkisissa. Pesuri, mikä samanaikaisesti puhdistaa savukaasua ja ottaa talteen energiaa savukaasuista on kokoluokkaa 8MW.

Optimointitestauksessa on käytetty menetelmää, missä savukaasut kosteutetaan ennen, kun ne puhalletaan savukaasupesuriin. Tavoitteena on saada aikaan savukaasupesurin toimittajan lupaama vaikutus, tai vaihtoehtoisesti löytää syy savukaasupesurin heikentyneelle teholle. Kaiken kattavat kunnossapitotoimenpiteet on suoritettu savukaasupesurille ennen optimointitestauksen aloittamista.

---

Kieli: suomi Avainsanat: voimalaitos, savukaasupesuri, lämmöntalteenotto, optimointi

---

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Max Uddström  
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering  
Specialization: Operation and Energy Engineering  
Supervisors: Kaj Rintanen, Dick Grönqvist, Kaj Kulju

Title: Optimization Of Heat Recovery in Flue Gas Scrubber

---

Date March 17, 2017

Number of pages 24

Appendices 2

---

### **Abstract**

This Bachelor's Thesis is done of commission of Porvoon Energia Oy. Porvoon Energia Oy has cared for district heating activity in Porvoo from the year 1972. Nowadays, is the major part of the production using domestic renewable fuel.

The purpose of this graduation project is to execute an optimization of a flue gas scrubber. It is used in the company's biggest bio power plant in Tolkkinen. Flue gas scrubber cleans the flue gases and at the same time recovers heat from the hot gases. The flue gas scrubber is of size 8MW.

The method of the optimization testing is to humidify the flue gases before they reach the scrubber. The purpose is to accomplish the effectivity, which the supplier of the flue gas scrubber has promised, or to find out reasons for the reduced effectivity. Comprehensive maintenance actions have been done before starting the optimization testing.

---

Language: Swedish

Key words: power plant, flue gas scrubber, heat recovery, optimization

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	2
1.2	Syfte.....	2
1.3	Avgränsning.....	2
1.4	Företaget.....	3
1.5	Tolkis bioanläggning.....	3
1.6	Disposition.....	4
2	Teori.....	5
2.1	Värmeåtervinning.....	5
2.2	Faktorer som påverkar effekten ur skrubbern.....	5
2.3	Effektberäkning.....	6
2.4	Uppbyggnad.....	8
2.5	Processbeskrivning.....	9
2.5.1	Tvättning.....	9
2.5.2	Reningsstation.....	10
2.5.3	Värmeåtervinning (VÅV).....	11
2.6	Fördelar.....	11
3	Metod.....	12
3.1	Underhåll.....	12
3.1.1	Upptäckta fel.....	12
3.1.2	Optimering.....	14
3.1.3	Optimeringsförsök 1.....	14
3.1.4	Optimeringsförsök 2.....	15
4	Resultat.....	15
4.1	Optimeringsförsök 1.....	16
4.2	Optimeringsförsök 2.....	17
4.3	Åtgärder till upptäckta fel.....	18
4.4	Övriga iakttagelser.....	23
5	Diskussion.....	24
	Källförteckning.....	25

Bilageförteckning:

Bilaga 1 Metso FbCAD funktionsblockdiagram

Bilaga 2 Processbild

# 1 Inledning

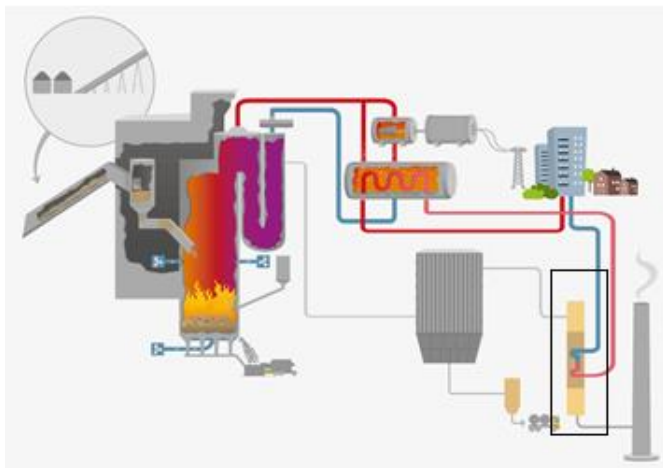
Examensarbetet utfördes vid Borgå Energi Ab:s anläggning i Tolkis. Anläggningen är en typisk fjärrvärmeanläggning där förbränningen sker med trädbränslen. Bränslet hämtas till anläggningen med lastbilar som lossar direkt i mottagningsstationerna eller på mottagningsplanen. Inkörningen av bränslet från mottagningsplanen till mottagningsstationerna sker med frontlastare.

Bränslet som förbränns vid anläggningen är skogsflis, tallbark, björknäver och spånor. Pannan producerar överhettad ånga som leds via turbinen till fjärrvärmeväxlarna. Från fjärrvärmeväxlarna leds energin ut till fjärrvärmenätet som är ca 145 km långt. Majoriteten av slutkunderna hittas nära intill Borgås stadskärna.

Fjärrvärme är ett bekymmersfritt uppvärmningssätt som endast kräver tillgång till fjärrvärmenätet. Generellt är uppvärmningsmetoden en säker och nästintill underhållsfri metod som hittas i tätorter. Investeringskostnaderna är låga såväl för privatkunder som husbolag. (Mattheiszen, 2017)

Mitt examensarbete har bestått av att se över värmeåtervinningen i rökgasskrubbern som används vid kraftverket. Rökgasskrubbern är den sista komponenten som rökgaserna blåses igenom före de leds ut via skorstenen.

Optimeringen av värmeåtervinningen i rökgasskrubbern bestod till stor del av effektnedsättande iakttagelser hos skrubbern, underhållsåtgärder samt testkörningar. En del forskning och beräkningar utfördes för att styrka konstateranden som gjorts angående skrubbers funktion.



Figur 1 Rökgasskrubbern inrutad. (Jönköping Energi (u.å.))

## **1.1 Bakgrund**

Bakgrunden till examensarbetet är iakttagelsen att rökgasskrubbern inte producerar den effekt som skrubberns leverantör utlovat. Denna iakttagelse har gjorts efter att rökgasskrubbern kopplats ihop med det nya kraftverket. Tidigare kördes skrubbern i kombination med det äldre kraftverket men eftersom driftstimmarna för det nya är avsevärt fler per år, gjordes omkopplingen i samband med att det nya kraftverket byggdes.

Nominella effekten för skrubbern är 8 MW, medan medeleffekten för skrubbern våren 2016 låg på ca 4–5 MW

## **1.2 Syfte**

Huvudsyftet med examensarbetet är att undersöka varför effekten av värmeåtervinningen inte når upp till det utlovade värdet på 8 MW. Delsyfte är att undersöka olika alternativ för optimering av värmeåtervinningen.

## **1.3 Avgränsning**

Arbetet har avgränsats till en delkomponent av en stor helhet, nämligen värmeåtervinningen av rökgasen som härstammar från förbränningsprocessen i kraftverket. Vidare har arbetet avgränsats till att inte beakta lönsamheten av rökgasskrubberns användning vid olika laster.

## 1.4 Företaget

Borgå Elektricitetsaktiebolag grundades år 1900 av Robert Eklom och Johan Askolin. Det var den lokala industrin som krävde allt mer energi vilket fick dessa två teknologiskt intresserade herrar att inleda verksamhet inom branschen för elproduktion.

Till början producerades el med diesel- och ångkraft. 1979 tog Tampella Oy och Syd-Finska Kraft Ab i bruk ett gemensamt ångkraftverk i Tolkis. Idag produceras nästintill 100 % förnybar el och värme. Företagets nya bioanläggningar i Tolkis och Lovisa producerar värme och el av lokalt skogsflis. Borgå Energi fick sitt nuvarande namn 1995 då verksamheten bolagiserades. (Borgå Energi Historia, 2014)

## 1.5 Tolkis bioanläggning

Examensarbetet har utförts vid Borgå Energis Bioanläggning i Tolkis som togs i bruk våren 2013. CHP (combined heat and power) anläggningen producerar 36 MW fjärrvärmeenergi och 12 MW elenergi och är avsedd för att fungera som baslastpanna.

Kraftverket levererades av MW POWER och bygger på tekniken fluidiserande bäddpanna. Ångproduktionen är vid max last 15,2 kg/s med trycket 62 bar och temperaturen 480 °C.

Rätt intill denna panna ligger det gamla ångkraftverket som numera körs under vinterhalvåret då energibehovet är större. (Elo, O. 2010, 1)



Figur 2 Bioanläggningen i Tolkis. (Oy Rakennuspartio (u.å.))



## **1.6 Disposition**

Kapitel 1 introducerar läsaren till arbetet. I kapitlet introduceras allmänt om fjärrvärme, bakgrunden, syftet samt den avgränsning som gjorts i arbetet. I slutet av kapitlet tas även upp en kort företagsbeskrivning samt information om bioanläggningen som berör detta arbete.

Kapitel 2 innehåller teoribiten till arbetet. Här tas upp teorin bakom värmeåtervinning, effektpåverkande faktorer, formler för effektberäkning, processbeskrivning samt skrubberns uppbyggnad.

Kapitel 3 lyfter fram metoderna som använts i detta arbete. Kapitlet tar också upp de observationer som gjorts angående underhållet samt optimeringsförsöken.

Kapitel 4 tar upp resultaten med arbetet. Här hittas resultaten av optimeringsförsöken samt resultaten av underhållsåtgärderna. I slutet av kapitlet berättas även om övriga iakttagelser.

Kapitel 5 består av en sammanfattande diskussion.

## 2 Teori

Detta kapitel behandlar teorin gällande rökgasskrubbern, till teorin hör bl.a. värmeåtervinning, effektberäkning, uppbyggnad samt skrubbers processbeskrivning.

### 2.1 Värmeåtervinning

Värmeåtervinning ur rökgaserna sker genom att man kyler ner rökgaserna till den grad att det börjar kondenceras vatten ur dem. Vattnet som kondenceras ur rökgaserna härstammar från det bränsle som bränns i pannan.

Då bränslet matas in i pannan förångas det vatten som finns i bränslet. Eftersom rökgasernas temperatur alltid är över 100 °C i anläggningen går det förångade vattnet inte att utnyttjas på något vis i själva pannan. Däremot går det ypperligt att ta till vara energin i rökgasskrubbern där nedkylning av rökgaserna sker under dess daggpunkt. (EHOX TUOTE OY u.å)

Vattnets ångbildningsentalpi vid 100 °C är 2257 kJ/kg vilket innebär att det går åt 2257kJ energi till att förånga 1 kg vatten från vätske form till gas form under konstant temperatur. (Valtanen, E. 2013, 256)

### 2.2 Faktorer som påverkar effekten ur skrubbern

De huvudsakliga faktorerna som påverkar skrubbers effekt är temperaturen på fjärrvärmenätets returvatten samt fukten i rökgaserna som härstammar från hur fuktigt bränslet är.

Returvattnets temperatur påverkar i stor grad hur mycket effekt man får ut ur värmexlaren. Lägre temperatur på returvattnet resulterar i ett större värde på  $\Delta t$  över värmexlaren, vilket i sin tur direkt ger en högre värmeåtervinningseffekt hos skrubbern.

Körs det onödigt varmt vatten ut i fjärrvärmenätet resulterar det i att kunderna inte åstadkommer en tillräcklig nedkylning av vattnet vilket i sin tur leder till att effekten ur skrubbern minskar.

Bränslets fuktighet påverkar också en hel del på effekten hos skrubbern. Ju fuktigare bränsle vi kör in desto mer effekt fås ur skrubbern. Detta eftersom daggpunkten stiger i rökgaserna då fuktigare bränsle matas in. Dock bör man komma ihåg att pannans verkningsgrad

försämras vid körning med fuktigare bränsle. I resultatdelen av arbetet hittas en månatlig översyn över bränslets fuktighet år 2016.

## 2.3 Effektberäkning

Beräkningen av effekten ur värmeåtervinningen i rökgasskrubbern sker med programmet Metso FbCAD (Function Block Computer Aided Design). FbCAD är ett underprogram till Metsos automationssystem. Med FbCAD kan man grafiskt rita och planera upp funktionsblockdiagram som används för styrning och reglering av processen. FbCAD är byggt och baserar sig på Auto CAD:s effektiva planeringsegenskaper. (METSO Oyj, 2006)

Som bilaga 1 hittas FbCAD funktionsblockdiagram för skrubberns effektberäkning. Ur bilagan ses driftdata i blått vilket fås fram genom att klicka på ett block. Vidare hittas från diagrammet formeln som programmet använder för att räkna ut effekten.

Systemet använder sig av följande formel vid beräkning av skrubberns effekt.

$$P = d * a * (b - c) * e * 0,000001 [MW] \quad (\text{METSO Oyj, 2006, ekvation 1})$$

$$d = \text{fjärrvärme flöde} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$a = \text{vattnets densitet enligt temp. från fjärrvärmväxlaren} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$(b - c) = \text{temperaturskillnad över värmväxlaren} [^{\circ}C]$$

$$e = \text{vattnets specifika värmekapacitet} \left[ \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right]$$

$$0,000001 = \text{koeficient för att erhålla svaret i MW}$$

Formeln som används i FbCAD härstammar från termodynamikens formel för värmemängd, Q

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta t \text{ [kW]} \quad \text{(ekvation 2)}$$

$$\dot{m} = \text{massflöde} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$C_p = \text{vattnets specifika värmekapacitet} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$$

$$\Delta t = \text{temperaturskillnad} [^\circ\text{C}]$$

Beräkning av effekten enligt driftdata från 19.1.2017 (bilaga 1)

$$o6 = d * a * (b - c) * e * 0,000001$$

$$o6 = 241,55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 987,70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (50,818 - 46,764)^\circ\text{C} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 0,000001 = \mathbf{4,052\text{MW}}$$

För att påvisa betydelsen av fjärrvärmenätets returvatten temperatur kan man simulera detta genom att höja returtemperaturen i effektberäkningen. Nedan beräknat enligt samma driftsdata som ovan, hurdan förändring som fås på effekten ur skrubbern ifall returtemperaturen stiger med 1 °C, dvs. från 46,764 °C → 47,764 °C

$$o6 = 241,55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 987,70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (50,818 - 47,764)^\circ\text{C} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 0,000001 = \mathbf{3,052\text{MW}}$$

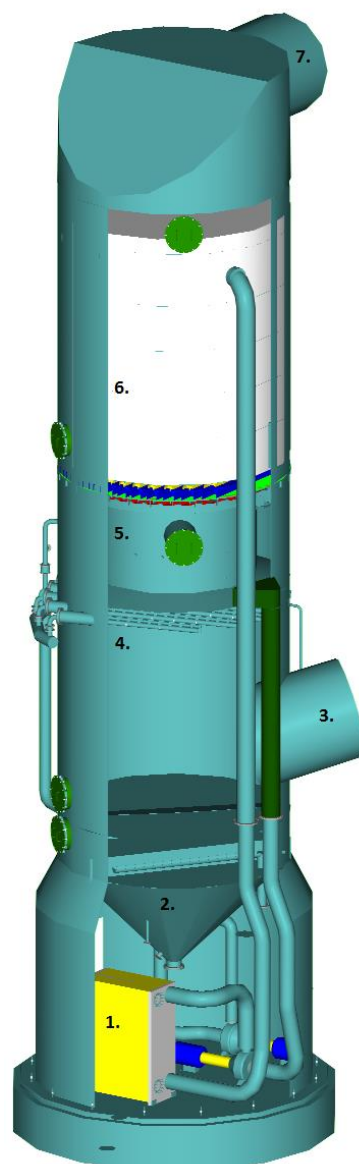
Ur beräkningarna kan ses att effektminskningen är ~1 MW då temperaturen stiger med 1 °C. Alltså har returvattnets temperatur stor påverkan i hur hög effekt som fås ur skrubbern.

## 2.4 Uppbyggnad

Rökgasskrubbern som används vid Borgå Energis anläggning är byggd i glasfiber. Det cirkulära tornet är ca 23 m högt med en varierande diameter mellan 5–6 m. Tornet är isolerat och beklätt med plåtar.

Längs med skrubbern utsidor går trappor med vilka man kommer åt manluckorna till de olika utrymmena i skrubbern. Längst ner hittas pumparna, värmeväxlaren samt diverse mätutrustning. Dessa kommer man åt genom en stor dörr vilket underlättar underhållsjobb.

1. Utrymmet för värmeväxlaren, pumparna samt mätutrustning.
2. Uppsamlingssträtt för tvättvattnet.
3. Inlopp för rökgaser.
4. Utrymmet där tvätt av rökgasen sker. Fördelningsrören leder vattnet till tvättmunstyckena (124st). Intill tvättmunstyckena ligger även hälften av säkerhets vattnets munstycken . Resten är belägna högst uppe i skrubbern (inte synliga på figuren).
5. Värmeåtervinnings bassäng. Innerom bassängen finns droppavskiljaren.
6. Fyllnadsstycken (~60 m<sup>3</sup>/4 m).
7. Utlopp för rökgaserna.



**Figur 3 Uppbyggnad.**

(Ehox Tuote Oy, 2006, 12)

## 2.5 Processbeskrivning

Rökgasskrubbern består av två faser, tvättning av rökgaserna och återvinning av värme ur dem. De slutprodukter som kvarstår efter tvättningen sköter reningsstationen om.

### 2.5.1 Tvättning

Rökgaserna blåses in med rökgasfläkten till skrubbern genom rökgaskanalen som kommer från el filtret. Dess temperatur ligger mellan 110–170 °C under normal drift. I inloppskanalen (nr.3) finns fyra munstycken vars avsikt är att befukta rökgaserna till dess daggpunkt (ca 0.5l/s). Efter inloppet möts rökgaserna av duschande vatten som kommer från tvätt munstycken (nr.4). Dess uppgift är att tvätta fasta partiklar ur rökgaserna och på så vis hindra dem från att transporteras med rökgaserna genom droppavskiljaren. Rören som munstyckena är in gängade i går mekaniskt att montera loss för rengöring under drift. (Ehox Tuote Oy, 2006, 24)

Vattnet till munstyckena pumpas från uppsamlingstratten (nr.2) upp till munstyckena. Det finns även munstycken över om droppavskiljaren vars uppgift är att hålla avskiljaren våt. Tvättvattnet duschas kontinuerligt med samma pumpeffekt. Det fasta partiklar som tvättas ur rökgaserna hamnar i botten av uppsamlingstratten (nr.2) varifrån det pumpas vidare till reningsstationen med en slampump.

Droppavskiljaren har som uppgift att hindra vattendroppar från att transporteras mellan faserna där tvättning och värmeåtervinning sker, vilket förbättrar graden av värmeåtervinning. Utöver detta förhindrar de frätande ämnen från att komma i kontakt med VÅV-fasen. Droppavskiljarna består av element tillverkade av polypropen. Elementen är ca 610 mm breda, 170 mm tjocka och tål ca 90 °C. De är belägna som block över om fördelningsrören för tvättvattnet. För att hålla droppavskiljaren ren tvättas den med jämna tidsintervall genom att tvätt sekvensen duchar extra mycket vatten från munstyckena belägna ovanom avskiljaren. Droppavskiljaren är övergångskomponenten mellan skrubberns två olika faser. (Ehox Tuote Oy, 2006, 24)

Vid tvättning av rökgaserna kondenseras en del av fukten från rökgaserna. Detta medför att nivån i tvättprocessen ständigt stiger. Det kondensat som flödar över leds också till reningsstationen.



**Figur 4** Block av droppavskiljaren, vid installation bör observeras att pilen ska peka uppåt. (Ehox Tuote Oy, 2006, 11)

### 2.5.2 Reningsstation

Reningsstationen har som uppgift att rena det kondensat som rinner över från skrubberns tvätt fas samt det slam som samlas i botten av uppsamlingstratten. Kondensatet som överflödar från tvätten rinner till en lamellavskiljare vars uppgift är att avskilja våt aska. Lamellavskiljaren är dimensionerad för 16 m<sup>3</sup>/h. Från lamellavskiljaren rinner kondensatet vidare till en tank varifrån det pumpas till ett av sandfiltren som är i bruk. (Ehox Tuote Oy, 2015, 23–26)

I sandfiltren används kvartssand av storleken 0,7–1,2 mm för att samla upp de kvarstående fasta partiklarna ur kondensatet. Efter att kondensatet passerat sandfiltret regleras pH värdet med hjälp av natriumhydroxid (natronlut NaOH). Härefter tas den återstående värmeenergin till godo genom att leda kondensatet via en plattvärmväxlare ut till avloppet. (Ehox Tuote Oy, 2015, 7)

Eftersom det finns två sandfilter enheter används dessa tur vist. Då ena är igång livas den andra upp genom att blåsa vatten och luft bakvägen genom enheten. De fasta partiklar som lösgörs från filtren hamnar då i en tank som samlar den våta askan.

Till samma tank leds även de fasta partiklar som kommer från lamellavskiljaren. Från tanken pumpas slammet vidare för att slutligen blåsas med hjälp av tryckluft in till pannans inmatningsskruvar. (Ehox Tuote Oy, 2015, 9)

### 2.5.3 Värmeåtervinning (VÅV)

Värmeåtervinningen sker i den övre delen av skrubbern efter att rökgasen passerat tvätten. Vattnet sprids med hjälp av fördelningsrännor uppifrån över en bädd med utfyllnadsstycken och rökgasen passerar denna bädd nerifrån upp på väg ut från tvätten. Då vattnet och den heta rökgasen passerar varandra sker värmeöverföringen genom direktkontakt. Utfyllnadsstyckena gör att värmeöverföringsytan blir större. (Ehox Tuote Oy, 2006, 24)

Efter att vattnet värmts upp då det runnit genom utfyllnadsstyckena leds det med hjälp av botten för utfyllnadsstyckena till VÅV-bassängen. Från bassängen pumpas det genom värmeväxlaren för att överge den uppsamlade värmen till fjärrvärmenätets returvatten. Efter värmeväxlaren leds vattnet igen upp till fördelningsrännorna. (Ehox Tuote Oy, 2006, 24)

Det är samma vatten som cirkulerar i systemet men eftersom el filtret och rökgasskrubbern tillsammans renar rökgaserna före dem når VÅV-fasen, krävs endast en pH-reglering av vattnet i VÅV-fasen för att hålla det neutralt.

VÅV-pumpen styrs automatiskt enligt fjärrvärmefflödet som mäts på sekundärsidan i värmeväxlaren. Värmeenergin som vi på det här sättet får till godo ur rökgaserna varierar beroende på pannlasten, fuktigheten i bränslet samt returtemperaturen. Normalt ökar fjärrvärmenätets returvatten med ca 4–5 °C. (Ehox Tuote Oy, 2006, 24)

## 2.6 Fördelar

Största fördelen med rökgasskrubbern är att man får tillvara energi ur rökgaserna samtidigt som rökgaserna rengörs. Utsläppen av bl.a. dammpartiklar, sot, svavel och klor minskar medan man också har möjligheten att rena ur tungmetaller. Ur rökgasen kan utsläppen av fasta partiklar minskas med 70–90 %, svavelutsläppen med >90 % och klorutsläppen med >98 %. (Sairanen, M. & Ehox Tuote Oy, 2016)

Den energi vi får till godo ur skrubbern resulterar i att vi med samma mängd bränsle får ut mer energi än om vi körde utan skrubber. Värmeåtervinningen uppgår till 15–35 % av panneffekten. En annan fördel med skrubbern är möjligheten att förbränna fuktigare bränslen i allt större grad ur ekonomisk synvinkel. Ur samma synvinkel är också den låga egenförbrukningen av energi en fördel. (Sairanen, M. & Ehox Tuote Oy, 2016)



## 3 Metod

Här framkommer information kring underhåll samt de fel som upptäckts. I slutet av kapitlet presenteras optimeringsförsöken.

### 3.1 Underhåll

Underhållet av rökgasskrubbern har skett enligt behov. Huvudsakligen är det kraftverkets operatörer som dagligen ser över skrubbern. Fel upptäcks antingen via alarm ur processtyrningen eller visuellt vid rundvandring. Då examensarbetet påbörjades var skrubbern inte med i processen och jag hade möjligheten att utföra diverse testkörningar som visade sig ge en hel del oväntade resultat.

#### 3.1.1 Upptäckta fel

Nedan listat de fel och möjliga brister som upptäckts:

- Plattvärmväxlaren inte putsad på flera år, konditionen oklar.
- Fördelningen av vattnet i värmeåtervinningen.
- Säkerhetsvattnet fungerar inte högst uppe i skrubbern.
- Läckage i pumpen som sköter om tvättvattnet för rökgaserna.
- Fyllnadsstyckenas nivå har sjunkit.
- Smuts i VÅV-bassängen.

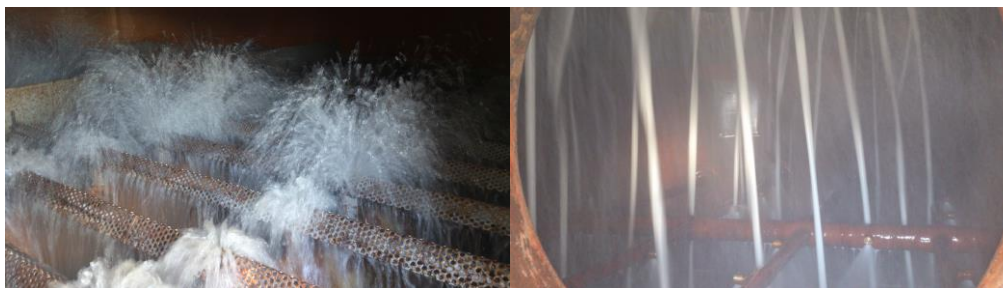
Av ovannämnda brister är det främst fördelningen av vattnet i VÅV, fyllnadsstyckenas nivå samt eventuellt smuts i värmväxlaren som påverkar effekten.

#### Plattvärmväxlaren

Då projektet påbörjades var det redan från företagets sida bestämt att värmväxlaren skall öppnas och tvättas vilket aldrig förr var gjort. Värmväxlaren av modell Alfa Laval MX25-BFGS hade dock för flera år sedan genomgått en CIP (Cleaning In Place) rengöring där en yttre tvätt enhet kopplats till och utvalt tvättmedel körts igenom värmväxlaren. Dock var det redan ett faktum att växlaren läcker utåt och beslutet att öppna den och byta packningar på samma gång hade fastställts som ett kommande underhållsprojekt.

## Fördelning av vattnet i VÅV

Då jag bekantade mig med skrubberns funktionsprincip utförde jag en del testkörningar. Vid testkörning av VÅV-pumpen konstaterade jag att vattnet inte fördelas längs med fördelningsrännorna enligt föreskrifterna. De 12 rännornas funktion uppfylldes helt enkelt inte enligt mina förväntningar.



**Figur 5 Fördelning av vattnet i rännorna.**

**Figur 6 Problem med genomrinning.**

Figur 5 påvisar problemet med hur dåligt vattnet fördelas över om utfyllnadsstyckena. Detta resulterar till att vattnet inte sprids ut över/i utfyllnadsstyckena utan rinner rakt igenom. Eftersom botten som bär fyllnadsstyckena inte hinner leda ut vattnet som forcerar ner som strålar, rinner det över istället för att ledas till VÅV bassängen (figur 6). Bilderna är tagna då VÅV-pumpen kördes på 60 %.

Detta problem medför självklart en förminskad effekt ur skrubbern eftersom uppvärmt vatten går till spillo då det rinner rakt ner genom droppavskiljarna till tvätt fasen i skrubbern.

## Fyllnadsstyckenas nivå

I slutrapporten över skrubbern tog Ehox upp problemet med att fyllnadsstyckena satt sig ca 1 m från den ursprungliga höjden. De har helt enkelt packats ihop under drift och delvis gått sönder. Då växlaren öppnades kunde man hitta en hel del små plastbitar som härstammar från fyllnadsstyckena vilket påvisar att en del gått sönder. (Sairanen, M. 2016, 7)

Detta påverkar effekten som värmeväxlaren ger ut eftersom vi då får en mindre yta som bidrar till överföringen av energi från de heta rökgaserna till vattnet.

### **Säkerhetsvattnets funktion**

Vid testkörning av säkerhetsfunktionerna på skrubbern konstaterade jag att säkerhetsvattnet som är avsett för att kyla ner hela skrubbern vid behov inte fungerar enligt föreskrifterna. Ifall medeltemperaturen i rökgasskrubbern uppmätt från tre olika ställen överskrider 85 °C skall säkerhetsvattnet automatiskt slå på och kyla ner processen.

Det finns två ställen i skrubbern var vattnet fördelas från huvudlinjen med rör till munstycken avsedda för nedkylning. En högst uppe i skrubbern och en nedan om droppavskiljaren. Vattnet till detta system kommer från kommunal vattnet med ca 6 bars tryck. Problemet som konstaterades var att vattnet når halvvägs men inte upptill.

#### **3.1.2 Optimering**

Efter att de omfattande underhållsåtgärderna stod klara påbörjades försöken till optimering av värmeåtervinningen i rökgasskrubbern. Två olika system utvecklades och provkördes för att försöka befukta rökgaserna före skrubbern.

Idén med befuktning av rökgaserna är att öka värmeåtervinningen vid användning av torra bränslen samt då returvattnets temperatur är hög. Leverantören Enox Oy tillverkar även värdefulla befuktningssystem som befuktar luften före den blåses in i pannan. På så vis är all luft som pannan använder sig av befuktad. (EHOX TUOTE OY u.å)

Befuktad primär, sekundär och tertiärluft ställer vidare krav på alla komponenter som används i anläggningen. Inom Borgå Energi valde vi att försöka åstadkomma befuktad rökgas och på så vis simulera upp ett enklare befuktningssystem.

#### **3.1.3 Optimeringsförsök 1**

Första försöket till optimering utfördes 21.10 2016. Då testades det hur effekten ur skrubbern påverkas ifall man befuktar rökgasen med hjälp av vatten som duschas in i rökgaskanalen före skrubbern. För att möjliggöra försöket tillverkades ett uttag i rökgaskanalen.

Figur 7 visar röret i vilket jag borrade 33 hål med diametern 1,5 mm. Ändan på röret klämdes ihop och svetsades. Vattenflödet kunde sedan regleras med en bollventil.



**Figur 7 Munstycksrör.**

### **3.1.4 Optimeringsförsök 2**

Det andra optimeringsförsöket gjordes efter att den äldre pannan vid kraftverket körts upp. Försöket gick ut på att simulera körning av utblåsningsånga in till skrubbern vilket förväntades ge en effektökning. Utblåsningsånga är ånga som normalt leds ut i luften. Här går en liten andel processånga alltid till spillo.

För att utföra detta försök drog jag en ångslang med diametern 40 mm från gamla kraftverkets 1.5 bars ånglinje till rökgaskanalen. Ångan valdes att tas från det äldre kraftverket eftersom dess ångrör låg lättillgängligt från rökgaskanalen och det enda som krävdes var en slangdragning på ca 10 m. 1.2 bars ånga med temperaturen 150 °C kördes sedan in i rökgaskanalen. Avsikten var att öka daggpunkten på rökgasen och på så vis få rökgasen att kondensera vid ett tidigare skede under nedkyllning.

Jag utförde några olika försök som alla varade minst 120 min. Försöken gjordes på förmiddagar vid jämn last före pannan sotades.

## **4 Resultat**

Här presenteras optimeringsförsökens resultat samt hur på vis optimeringsförsöken kunde ha genomförts bättre.

## 4.1 Optimeringsförsök 1

Resultatet av första optimeringsförsöket var inte märkbart ur trendlinjerna som styrprogrammet för pannan samlar in. Av försöket att bedöma hann vattnet inte förångas och således rann det bara in i skrubbern utan att blanda sig med rökgaserna. Man kunde se att en hel del vatten började rinna vid bälgen som ansluter rökgaskanalen till skrubberns inlopp. Detta p.g.a. hål i bälgen, men duschandet av vatten i rökgasen gjorde att det rann allt mer vatten genom hålen.

För att få det första optimeringsförsöket att lyckas skulle det antagligen krävas ytterst fina munstycken som fördelar vattnet jämnt som en fin dusch i rökgaskanalen. Även en förvärmning av vattnet skulle krävas så vattnet inte är kallt då det möter rökgaserna. Detta eftersom kallt vatten kräver mycket energi för att värmas upp till den grad så det förångas och blandas med rökgaserna. Sträckan för att detta ska hinna ske är för kort och vattnet hinner inte ändra fas förrän det når skrubbern. Rökgastemperaturen är troligtvis för låg för att fasövergången av vattnet ska ske.

Vattnets ångbildningsentalpi är 2257 kJ/kg (100°C). Denna energi krävs för att förånga vattendimman som sprutas in i kanalen om vattnet skulle vara 100 °C då det sprutas ur munstycken. Energin tas från rökgaserna vilket resulterar i att rökgastemperaturen sjunker.

Ovannämnda energi krävs alltså för att förånga 1 kg vatten. Samtidigt måste man se över den energi som åtgår till att värma upp vattnet till den grad att fasövergången börjar. Här beaktas vattnets specifika värmekapacitet som är 4,18 kJ/kg°C.

Den specifika värmekapaciteten berättar hur mycket energi som krävs för att höja temperaturen hos 1 kg vatten med 1 °C. I vårt fall höjs vattnet från 5–100°C, således åtgår det per kg vatten:  $4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 95^\circ\text{C} = 397 \text{ kJ/kg}$  energi för att värma upp vattnet.

Den totala energi som fordras för att värma upp och bilda ånga av 1 kg vatten är:  $2257 + 397 = 2654 \text{ kJ}$ .

Munstycksröret var inte kopplat till någon vattenmätare vilket resulterar i att jag inte har möjlighet att beräkna ut den totala energin som krävts för att få vattendimman att blandas med rökgaserna.

## 4.2 Optimeringsförsök 2

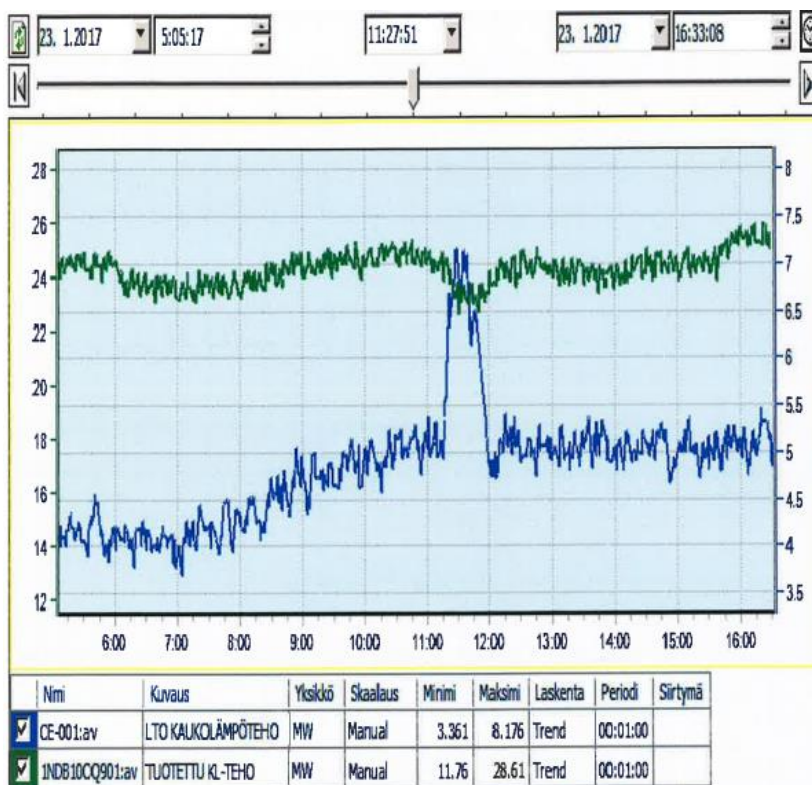
Det andra optimeringsförsöket resulterade i en temperaturökning på ca 1 °C i toppen av skrubbern där rökgaserna värmer upp vattnet som leds till värmeväxlaren.

En tidigare observering var att effekten hos växlaren stiger avsevärt vid sotning av pannan. Då blåses ~30 bars ånga med en temperatur på ~325 °C in i pannan vilket ger en effekttökning på 2-2,5 MW hos skrubbern.

Vårt försök med ånga på 1.2 bar/150 °C innehåller avsevärt mindre energi och ger därpå en mycket liten effektförändring hos skrubbern. Men vi måste komma ihåg att iden var att höja på daggpunkten och inte köra in direkt energi i skrubbern.

Resultatet av detta försök var allt för litet för att kunna avläsas med hjälp av befintlig mätutrustning och troligtvis krävs en större mängd ånga för att påverka daggpunkten tillräckligt för att hela processens resultat ska stiga.

Nedan bild på driftdata vid sotning. Ur grafen ses tydligt hur effekten ur rökgasskrubbern stiger då sotningssekvensen kör igång. Samtidigt som effekten ur rökgasskrubbern stiger bör poängteras att den producerade fjärrvärme effekten sjunker som ett resultat av att processånga används till sotningen.



Figur 8 Effekttökning vid sotning.

### 4.3 Åtgärder till upptäckta fel

Här framkommer de åtgärder som gjorts gällande de fel som upptäckts under arbetets gång.

#### Plattvärmväxlaren

Jag medverkade själv i tvättningen av värmväxlarens plattor som till antalet var 545. Arbetet var tidskrävande och krävde noggrannhet samt specialverktyg. Underhållsföreskrifter från Alfa Laval följdes under demontering, tvätt och montering. Vi använde oss av borste och vatten eftersom smutsen lossnade rätt så bra.

Plattorna var belagda av ett tunt skikt med smuts och en del fasta partiklar hade fastnat mellan dem vilket tillsammans påverkat effekten ur växlaren. En överraskning var att fjärrvärmesidan var aningen smutsigare än VÅV-sidan i värmväxlaren.

I och med att värmväxlaren skiljdes åt krävde detta att man på samma gång bytte ut packningarna till nya. Nedan fem bilder på arbetsförloppet.

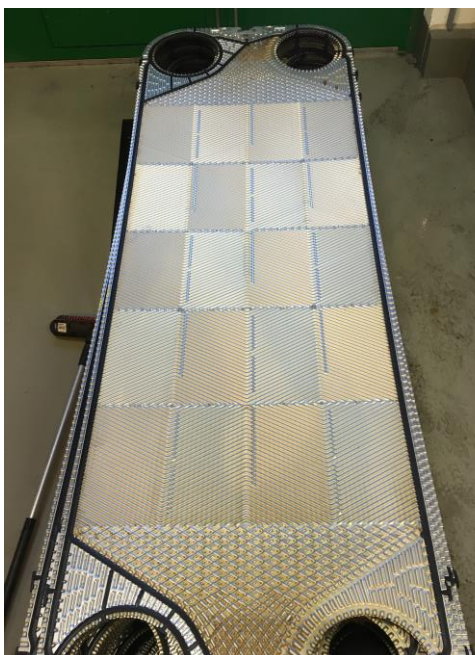


Figur 9 Delvis ännu isolerad.

Figur 10 Läckage.

Figur 11 Tvättning.





**Figur 12 Packning monterad**



**Figur 13 Montering på gang**

### **Fördelning av vattnet i VÅV**

Problemet med fördelningen av vattnet löstes genom att man tillverkade 60st syrafasta plåtar som svetsades direkt över om mynningarna där VÅV-vattnet kommer in till fördelningsrännorna.



**Figur 14 Plåtarna installerade.**

Resultatet av detta ingrepp var en avsevärt bättre fördelning av vattnet i hela VÅV-systemet, både före fyllnadsstyckena samt efter. Enligt Sairanen är numera vattenfördelningsrännorna omkonstruerade på nyare modeller.

Då rökgaserna blåses in i skrubbern kan det till viss mån påverka positivt fördelningen av vattnet. Detta var dock omöjligt att påvisa med bildbevis av säkerhetsskäl.





**Figur 15 Fördelning av vattnet**

**Figur 16 Vattnet leds ut till sidorna och rinner ner i bassängen.**

På figur 16 inrutat vattnet som numera leds fullständigt ut till sidorna av skrubbern varifrån det rinner ner i VÅV-bassängen. Klar förbättring då bottnen för utfyllnadsstyckena klarar av att leda ut vattnet.

### **Fyllnadsstyckenas nivå**

Inom företaget beslöt man att bytet av utfyllnadsstyckena sker sommaren 2017.

Eftersom det går att köra rökgaserna förbi rökgasskrubbern kräver bytet av fyllnadsstyckena inget produktionsstopp för resten av anläggningen. Samtidigt som bytet sker passar man på att öka nivån av fyllnadsstyckena med 1 meter över ursprunglig nivå. Detta förväntas ge en bättre effekt eftersom värmeöverföringsytan blir större än vad det varit.

Både rökgasskrubbarnas konstruktion samt rökgasfläkten tillåter denna förändring. Man måste komma ihåg att fler fyllnadsstycken ökar mottrycket som uppstår för rökgasfläkten att blåsa ut rökgaserna. Fläktens driftsdata i dagsläge tillåter detta.

### Säkerhetsvattnets funktion

Till en början fungerade inte solenoid ventilen som öppnar säkerhetsvattnet. Efter att jag putsat ventilens membran och ventilboet från smuts var ventilen funktionsduglig igen. Problemet var inte löst i och med detta utan vattnet sprutade fortsättningsvis bara ur de rören som är belägna nedan om droppavskiljaren.

Från Ehox Oy föreslogs att vi pluggar hälften av munstycken som befinner sig där vattnet fördelas under droppavskiljaren, d.v.s. ungefär vid halva höjden av skrubbern. Enligt Sairanen räcker hälften av munstyckena bra till att kyla ner processen eftersom rökgasernas temperatur inte överskrider 180 °C.

Resultatet av detta var att vattnet ändå inte når enda upp till och vi konstaterade från företagets sida att säkerhetsvattnet bör kopplas till brandvattensystemet som har ett högre tryck för att få ett fungerande system alternativt byta ut munstycken till mindre.



Figur 17 Säkerhetsvattnets solenoid venti och dess smutsiga membran (Sirai L280)

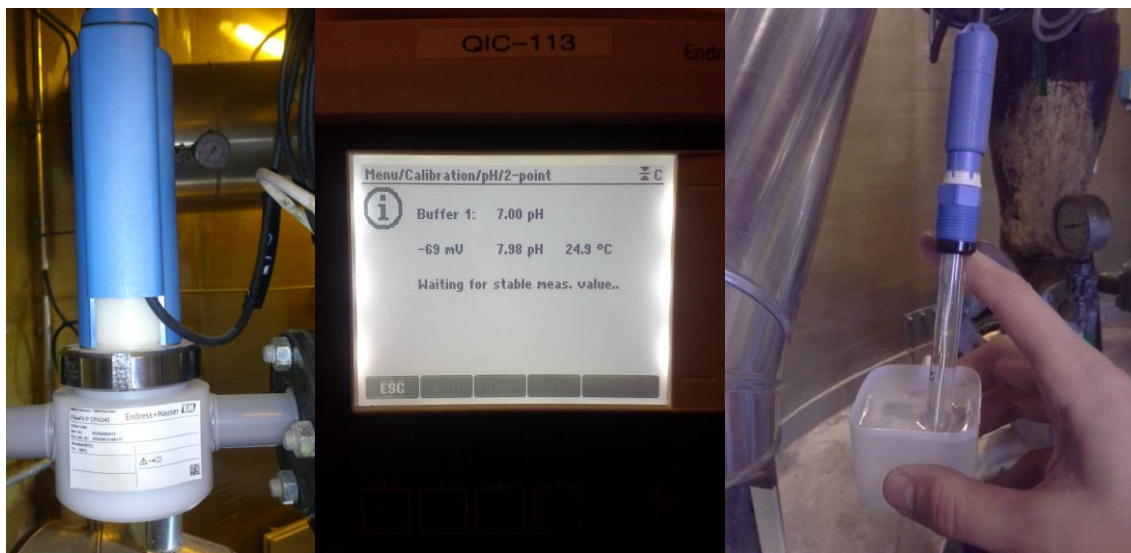
## Pumpläckage, VÅV-bassäng, Ph-kalibrering

Utöver dessa åtgärder åtgärdades även läckaget i skrubberns tvätt pump genom att byta ut den till en ny som fanns i lager. Pumpen av typen Sulzer A31-150, läckte från tätningssboxen och det visade sig att slangen för tätningssboxen var sprucken vid kopplingen vilket medfört en otillräcklig tillförsel av vatten till tätningssboxen. Problemet åtgärdades genom att förnya slangens ända.

Vid den visuella granskningen av skrubbern som Sairanen utförde under sommaren hittades en del smuts liggande i botten av VÅV-bassängen. Smutsen avlägsnades genom att spola vatten och tömma ur bassängen.

Den sista åtgärden som gjordes före själva optimeringsförsöken utfördes var kalibrering av pH mätaarna. Det finns två mätaren, en för VÅV-sidan och en för tvätt sidan. Den förstnämnda kan försämra effekten som fås ur skrubbern eftersom för högt eller lågt pH kan påverka hur lätt smuts fäster sig i värmväxlaren. Felaktig pH förkortar även komponenternas livslängd.

Kalibreringen utfördes enligt instruktioner från Endress + Houser, tillverkare av pH mätaren.



Figur 18 pH mätare

Figur 19 Stabiliseringsskede

Figur 20 Kontrastvätska

Jag utförde en 2-punkts kalibrering. Som kontrastvätska användes pH 4.01 och pH 7. Av kalibreringen kunde konstateras att båda givarna visade ca 1 pH för mycket vid pH 7 och 0,5 pH för mycket vid pH 4.01.

## 4.4 Övriga iakttagelser

Personalen på kraftverket har även undersökt huruvida kunderna åstadkommer den nedkylning som man räknat med. Undersökning har visat att bl.a. fjärrvärmenätets största kund (10MW) inte konsumerar i den utsträckning man räknat med ifall inte flödet är större än planerat.

Som tidigare nämnt har bränslets fuktighet påverkan i rökgasens sammansättning och på så vis är fuktigheten relaterad till skrubberns effekt. Nedan en sammansatt tabell över fuktighetsanalysen för år 2016.

Tabellen baserar sig på bränsleprov som bearbetats i laboratorium för att erhålla bränslets fuktighet. Bränsleproven tas före slussmatarna in till pannan. Proven tas tre gånger i dygnet.

**Tabell 1 Bränslets fuktighet**

Fuktighetsuppföljning av inmatat bränsle 2016, medletal veckovis									
Vecka	Fukt [%]	Vecka	Fukt [%]	Vecka	Fukt [%]	Vecka	Fukt [%]	Vecka	Fukt [%]
1	44,4	11	53,1	21	49,7	31	serv. stopp	42	46,2
2	44,2	12	52,2	22	45,4	32	serv. stopp	43	43
3	46,6	13	50,6	23	42	33	serv. stopp	44	43,6
4	48,8	14	52,2	24	37,7	34	47,5	45	47,7
5	48,7	15	50,2	25	44,2	35	49,1	46	43,9
6	46	16	47,3	26	46,7	36	48,5	47	49
7	51	17	49,2	27	serv. stopp	37	46,9	48	50,5
8	52,5	18	45,2	28	serv. stopp	38	46,9	49	46,9
9	40,8	19	48,2	29	serv. stopp	39	46,3	50	45,5
10	54	20	49,1	30	serv. stopp	40	54,6	51	46,5
<b>Medeltal för år 2016</b>		<b>47,3 %</b>				41	42,3	52	45,8

## 5 Diskussion

Syftet med examensarbetet var alltså att göra ett optimeringsförsök på rökgasskrubbern, alternativt hitta orsak/orsaker till nedsatt effekt. Själva optimeringen gav inte något genombrytande resultat medan själva felsökningen lyfte upp en hel del aspekter som påverkar effekten.

Vid eventuell fortsatt forskning skulle det krävas mätutrustning för att mäta fuktigheten i rökgasen och få ett samband mellan fukten i rökgasen samt effekten ur rökgasskrubbern. Detta genom att mera närmare gå in på rökgasens sammansättning samt se i vilken grad daggpunkten i rökgasen påverkar effekten.

Arbetet blev mer fysiskt i och med de omfattande underhållsåtgärderna som utfördes före jag kom igång med själva undersökningarna och optimeringsförsöken. Från Borgå Energi var de dock mycket villiga och gav mig möjligheten att pröva mig fram med optimeringen utan att direkta beräkningar fanns att tillgå över tänkbart resultat. Endast aspekten över effektförändring vid sotning fanns att se över samt uttalande från leverantören Ehox Oy.

Det mest betydande skedet i detta arbete var nog vid konstaterande av den dåliga vattenfördelningen i skrubbern. Bilderna jag tog reagerades starkt på både från företagets sida samt från Ehox Oy.

Under arbetets gång blev det mer och mer klart hur viktigt underhåll som i fortsättningen bör tillämpas på rökgasskrubbern eftersom alla de svaga punkterna lyftes fram. Arbetet har både gett mer information åt Borgå Energi och personligen utvecklat min förståelse av rökgasskrubbernens betydelse i en anläggning.

## Källförteckning

Borgå Energi Historia 6.4.2014. [Online]

<https://porvoonenergia.fi/sv/om-oss/historia/> [hämtat: 5.10.2016]

EHOX TUOTE OY (u.å). *Kostutus savukaasujen lauhdutusprosessissa*. [Online]

[http://www.ehox.fi/lauhdutus\\_kos.htm](http://www.ehox.fi/lauhdutus_kos.htm) [hämtat: 7.12.2016]

EHOX TUOTE OY (u.å). *Lämmöntalteenotto savukaasuista*. [Online]

<http://www.ehox.fi/lammontalteenotto-savukaasuista.htm> [hämtat: 30.11.2016]

Ehox Tuote Oy, 2015. *Porvoon Energia OY, Tolkkisten voimalaitos, Savukaasupesurin lauhteen käsittely, Laitoksen käyttö- ja huolto-ohjeet*

Tillgänglig: Borgå Energi

Ehox Tuote Oy, 2006. *Porvoon Energia OY, Savukaasujen pesu ja lämmön talteenotto, Laitoksen käyttö- ja huolto-ohjeet*

Tillgänglig: Borgå Energi

Elo, O. 29.12.2010 *Tekninen Erittely Porvoon Energia Oy Hörykattilalaitos*

Tillgänglig: Borgå Energi

Mattheiszen, C. 12.1.2017. *Inte vilken fjärrvärme som helst*[Online]

<https://porvoonenergia.fi/sv/inte-vilken-fjarrvarme-som-helst/> [hämtat: 16.3.2017]

METSO Oyj, 2006. *metsoDNA CR Manuals-FbCAD-suunnittelutyökalu*

Tillgänglig: Borgå Energi

Sairanen, M. & Ehox Tuote Oy, 2016. *Lauhduuslaitokset*. [PowerPoint-presentation]

Borgå 23.09.2016. Tillgänglig: Borgå Energi

Sairanen, M. 30.8 2016. *Raportti Tolkkisten Pesurista*

Tillgänglig: Borgå Energi

Valtanen, E. 2013. *Tekniikan taulukkokirja*. Mikkeli: St Michel Print Oy

### Bildkällor:

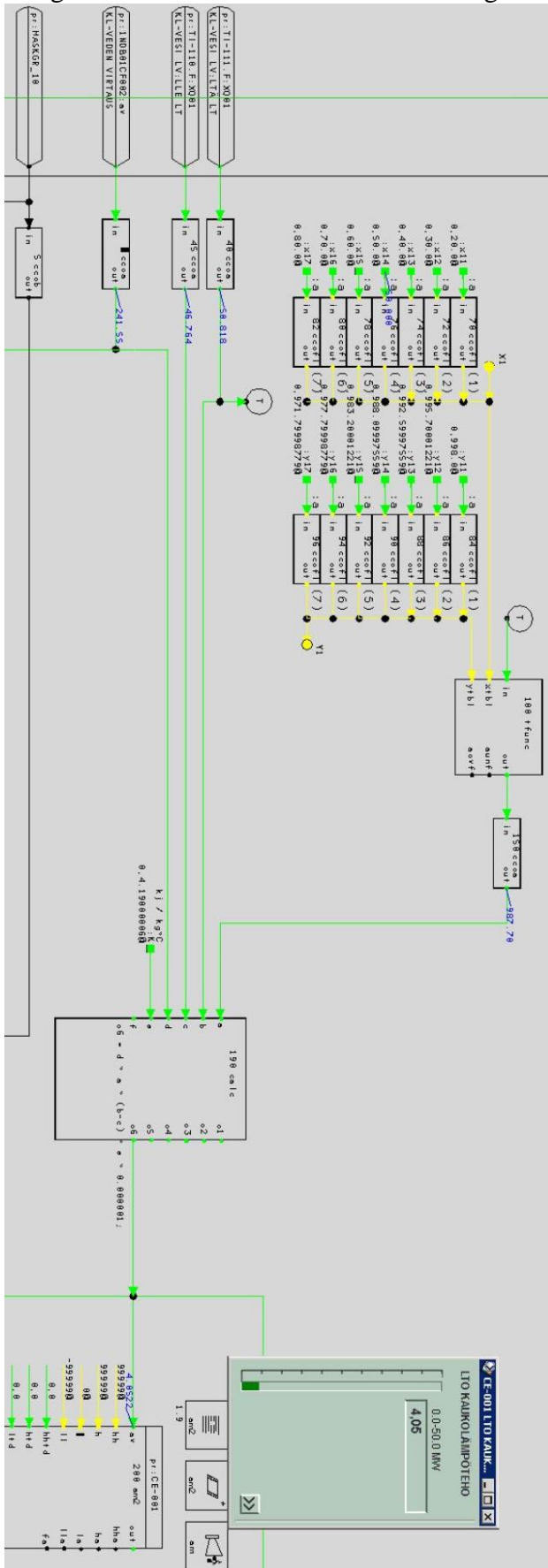
Jönköping Energi (u.å.). *Kraftvärmeverket Torsvik* [Online]

<https://www.jonkopingenergi.se/fjarrvarme/fjarrvarme-miljo/kraftvarmeverket-torsvik/biobransleeldat> [hämtat: 16.3.2017]

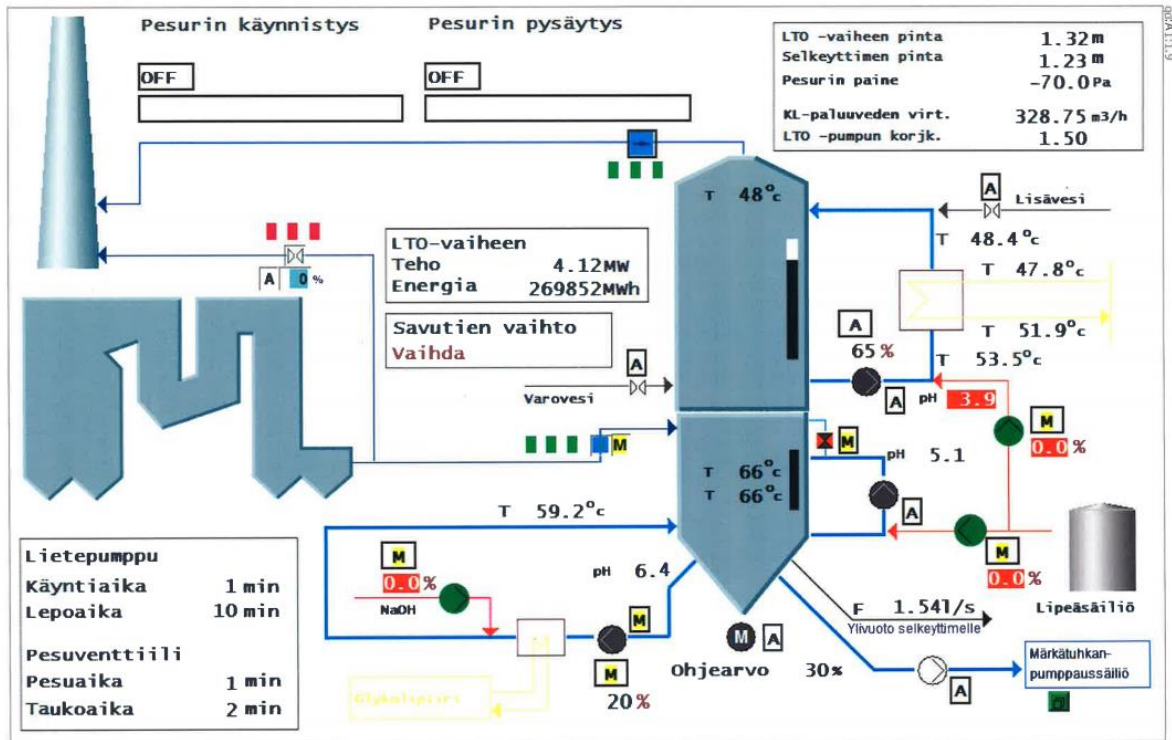
Oy Rakennuspartio (u.å.). *Porvoon Energia Oy, työnumero 1206* [Online]

<http://rakennuspartio.fi/portfolio/porvoon-energia/> [hämtat: 2.2.2017]

Bilaga 1 Metso FbCAD funktionsblockdiagram



Bilaga 2 Processbild



1.9

Savukaasupesuri

2017.01.19 09:14:07