

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Maskinteknik

ÖVERSYN AV ÅNGPRODUKTION I TVÄTTERIANLÄGGNING

Jonatan Lindblom, Mikael Häggblom



04:2019

Datum för godkännande: 31.10.2019
Handledare: Göran Henriksson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Jonatan Lindblom, Mikael Häggblom
Arbetets namn:	Översyn av Ångproduktion i Tvätterianläggning
Handledare:	Göran Henriksson
Uppdragsgivare:	Frank Westerlund, Clean Kalle Ab

Abstrakt
<p>Detta examensarbete har utförts av begäran av Clean Kalle Ab. De var intresserade av en energioptimering av ångproduktionen och översikt av processvattnets energiåtervinning. På Clean Kalle önskar man minska bränsleåtgången, samt öka mängden återanvändbar energi. För att detta skall vara möjligt består arbetet av praktiska mätningar och beräkningar. Som lösning har vi konstaterat att en ånggenerator skulle vara det bästa alternativet för denna anläggning. Vi har även upptäckt flertal brister i automationstekniken, som bidrar till förluster och kräver översyn.</p>

Nyckelord (sökord)
Energioptimering, Ångpanna, Ånggenerator, Återvinnig, Tvätter, LPG,

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
04:2019	1458-1531	Svenska	36 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
19.04.2019	10.05.2019	31.10.2019

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Mechanical Engineering
Author:	Jonatan Lindblom & Mikael Häggblom
Title:	Review of Steam Production in Laundry Facility
Academic Supervisor:	Göran Henriksson
Technical Supervisor:	Frank Westerlund, Clean Kalle Ab

Abstract
<p>This degree theses has been done on behalf of Clean Kalle Ab. They were interested in an energy optimization and review of the process water energy recycling. Clean Kalle wish to reduce the fuel consumption and increase the amount of reusable energy. This thesis consists of measurements and calculations made in the laundry facility.</p> <p>As a solution for the facility we have made the conclusion that a steam generator is the best alternative for this type of laundry plant. During the examination of the plant we have discovered some flaws in the automation systems, which need further investigation.</p>

Keywords
Energy optimization, Steam boiler, Steam generator, Recycling, Laundry, LPG

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
04:2019	1458-1531	Swedish	36 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
19.04.2019	10.05.2019	31.10.2019

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INTRODUKTION	7
1.1 Syfte	7
1.2 Bakgrund	7
1.3 Metod	7
1.4 Material	8
1.5 Avgränsningar	8
1.6 Definitioner	8
2. FAKTA OM ANLÄGGNING	9
2.1 Produktionsflödet	9
2.1.1 Tvättmaskiner	9
2.1.2 Torktumlare	10
2.2 Komponenter	11
2.2.1 Ångpanna	11
2.2.2 <i>Flash Steam</i> -tank	12
2.2.3 Hotwell	12
2.2.4 Matarvattentank	13
2.2.5 Processvattentank med varmt vatten	13
2.2.6 Processvattentank för kallt vatten	14
2.3 Nulägesanalys	15
3. MÄTNINGAR	16
3.1 Besök till anläggningen	16
3.1.1 Mätutrustning	16
3.1.2 Flexim flödesmätare	16
3.1.3 Grant Squirrel temperaturlogger	17

3.1.4 Testo 430 luftflödesmätare	17
3.1.5 Svårigheter vid mätningar	17
3.2 Resultat av mätningarna	18
3.2.1 Ångpanna	18
3.2.1.1 Bränsle beräknat ur mätningar	18
3.2.1.2 Bränsleflödet beräknat ur förbrukning	19
3.2.1.3 Panneffekt	21
3.2.1.4 Pannans verkningsgrad η_p	21
3.2.2 Kondensatflöde	22
3.2.3 Ångflödet	22
3.2.4 Processvatten	22
3.2.5 Energianvändning per kilogram tvätt	23
4. ALTERNATIV FÖR ANLÄGGNINGEN	24
4.1 Ånggenerator	24
4.1.1 Funktion	24
4.2 Processvattnets uppvärmning och användning	25
4.2.1 Användning idag	25
4.2.2 Utveckling	26
4.2.3 Användningsmöjlighet	27
5. OFFERTER, KOSTNADER OCH INBESPARNING	29
5.1 Offerter	29
5.1.1 Steamrator	29
5.1.2 Jumag	29
5.1.3 Jämförelse av verkningsgrader	31
5.2 Kostnader	31
5.2.1 Jämförelse mellan investeringar	32
5.2.2 Bränslekostnader	32

5.2.3 Återbetalningstid	33
5.3 Inbesparing	34
6. SLUTSATS	35
6.1 Utvärdering	35
6.2 Fortsatta funderingar	35
KÄLLOR	36

1. INTRODUKTION

Clean Kalle Ab är ett företag vars huvudsyssla är kemtvätt och andra tvätteritjänster. Företaget köpte en ny anläggning i augusti 2018, för att kunna utvidga sin produktionskapacitet.

Detta examensarbete undersöker energiförluster i uppvärmningsprocessen för vattnet i ett tvätteri samt alternativa lösningar på att förverkliga en mera kostnadseffektiv drift.

1.1 Syfte

Syftet med detta ingenjörarbete är att få en klarhet i det befintliga ångproduktionssystemet, för att då kunna ta reda på mängden energi som matas in och vad man får ut i form av ånga, speciellt hur man kan ta till vara mer energi ur bränslet som man matar in i pannanläggningen. Detta i synnerhet för att göra den gamla tvätterianläggningen kostnadseffektiv och även energieffektivare.

1.2 Bakgrund

Vi blev frågade om intresse för ett ingenjörarbete innefattande ånga. Det blev vi intresserade av, då vi i vår utbildning haft en hel del ånga. Företaget som idkar tvätteritjänster i västra Nyland, i Finland hade nyligen köpt en ny anläggning som de ville modernisera. Utgående från den teori vi lärt oss under utbildningens gång finns en stor del förbrukare i denna anläggning som är nya för oss, vilket innebär att vi behöver läsa in oss på information om branschen.

1.3 Metod

Vi har intervjuat personal angående anläggningen och studerat den genom flertal besök. Under ledning av personal på anläggningen har vi fått en inblick i hur själva tvättprocessen går till med de specifika momenten från början till slut.

1.4 Material

Materialet för att kunna genomföra projektet är till viss del teknisk litteratur tillhörande utbildningen vi går på och ritningar och utlåtanden från underleverantörer som företaget har i sitt arkiv. Vi har även studerat tidigare arbeten som gjorts i anläggningen. Den förmodligen bästa informationen vi fått är i form av intervjuer med uppdragsgivare och personal på företaget.

1.5 Avgränsningar

I detta ingenjörsarbete kommer vi att avgränsa oss till att endast undersöka ångpannans produktion och hur man kan minska bränslekonsumtionen. Utöver pannan kommer vi att ta reda på användningsmöjligheter för det varma processvattnet.

1.6 Definitioner

- Avhårdare: Utrustning som avhårdar vattnet som används i ångproduktionen och det kalla/varma processvattnet.
- Economiser: Matarvattenförvärmare som är belägen i rökgaskanalen på en ångpanna. Den tar tillvara på värmeenergi som i normala fall åker ut med avgaserna.
- Enhetstvättmaskin: Industriell tvättmaskin som matas in från framsidan manuellt.
- *Flash Steam*-tank: Tank där man sänker trycket på kondensatet så det förångas.
- *Hotwell*: Förvaringstank för den kondenserade ångan.
- Kondensat: Ångan som kondenseras vid förbrukning till vätskeform.
- kWh/vikt tvätt: Referensvärde som används inom tvättindustrin för att kunna jämföra olika anläggningar. Effekten är den som matas in i anläggningen i form av bränsle i ångproduktionen.
- LPG: Propan i form av vätska, som används till bränsle för anläggningen.
- Matarvattentank: Behållare där man förvarar vattnet som matas in i förångaren.
- Processvatten: Vatten som används till tvättprocessen i enhetsmaskinerna och tvättröret.
- Torktumlare: Torkare för tvättad tvätt, uppvärmd med hjälp av ånga/luft värmväxlare.
- Tvättrör: Automatiserad bandmatad tvättmaskin som fungerar enligt skruvprincip. Delad i olika fack i ett rör.

2. FAKTA OM ANLÄGGNING

Anläggningen består av olika komponenter vilka producerar eller använder ånga i tvättprocessen. För att få en bättre insikt i vilka och vad dessa gör så går vi mera in i detalj och behandlar komponenternas funktion.

2.1 Produktionsflödet

Anläggningen körs i dag med hjälp av en ångpanna på 2,7 MW. Den bidrar med värmeenergi till uppvärmande av processvatten till tvättmaskiner och torktumlarnas värmeväxlare.

Anläggningen är relativt automatiserad, vilket innebär mycket automatik runt om den egentliga tvättprocessen. I grunden fungerar anläggningen så att tvätten kommer in via lastbryggan och sorteras varefter man lägger den manuellt på ett band. På bandet vägs tvätten in och matas in i systemet. Från bandet åker den in i tvättröret där själva tvättprocessen sker. Efter tvätten pressas vatten bort med hjälp av en hydraulkolv. Den fuktiga tvätten åker efter pressen upp med hiss till två stycken torktumlare där den torkas ytterligare. Efter detta skede faller det i en behållare för att läggas i mangeln. Detta gäller den grova tvätten som t.ex. sängkläder till företag. Vid finare tvätt för privatpersoner används de mindre industritvättmaskinerna varifrån tvätten manuellt läggs i mindre torktumlare varifrån den enligt samma princip faller ner till behållare när de är torra.

2.1.1 Tvättmaskiner

I anläggningen har man 6 stycken mindre industriella tvättmaskiner som fungerar i stort sett som konventionella tvättmaskinen som finns i normala hushåll. Skillnaden är att dessa har större kapacitet samt att processvattnet körs in kallt, då man sedan tillför ångan i maskinen direkt där den blandas med det kalla processvattnet. Det betyder att processvattnets entalpi höjs. En av de 6 enhetsmaskinerna klarar av att blanda det kalla och varma processvattnet, utan att använda ånga.

Utöver de 6 mindre enhetsmaskinerna har man ett stort tvättrör som består av en cylinder med 11 olika fack. Facken är olika tvättstadier där tvätten flyttas med skruvprincipen. Maskinens funktionsprincip är den samma som för de små att ånga tillförs direkt i processvattnet och man får en höjd temperatur.



Figur 1. En av sex stycken enhetstvättmaskiner.



Figur 2. Tvättrör. (Jensen group, 2019)

2.1.2 Torktumlare

För att kunna få den våta rena tvätten torkad körs den i en av fem tumlare. De fungerar med hjälp av att man har en ångvärmväxlare som man blåser igenom luft med fläktar så värms ingående luften i tumlaren. Den varma luften torkar tvätten till den fuktighetsgrad som är önskad, beroende på typen av tvätt som tvättas. I figur 3 kan man se värmväxlaren ovan på torktummlaren. Genom den flödar luften och värms upp vartefter kläderna torkas.



Figur 3 Torktumlarens värmväxlare med ingående ångrör och utgående kondensatrör.

2.2 Komponenter

För att kunna ha en översikt av systemet måste man även veta hur de enskilda komponenterna fungerar. På andra besöket till tvätteriet satte vi all tid på att gå igenom komponenter tillhörande ångsystemet.

Det som förvånade oss var att det finns en del återvinning i anläggningen i nuläget. Dock används inte den återvunna energin i så hög grad. Det betyder att energin i kondensatet tas till vara, men processvattnet som uppvärms med avkoket från kondensatet tas inte till vara.

För att kunna få en bättre bild av ångans fördelning i systemet ritades ett systemschema med hjälp av CAD, som systemet ser ut idag. Figuren (bilaga 1) skall ge en helhetsuppfattning för läsaren över anläggningen, då den är komplex och har byggts om i många omgångar. Den ger också en bild för de som kör anläggningen vad den innefattar, i stora drag.

2.2.1 Ångpanna

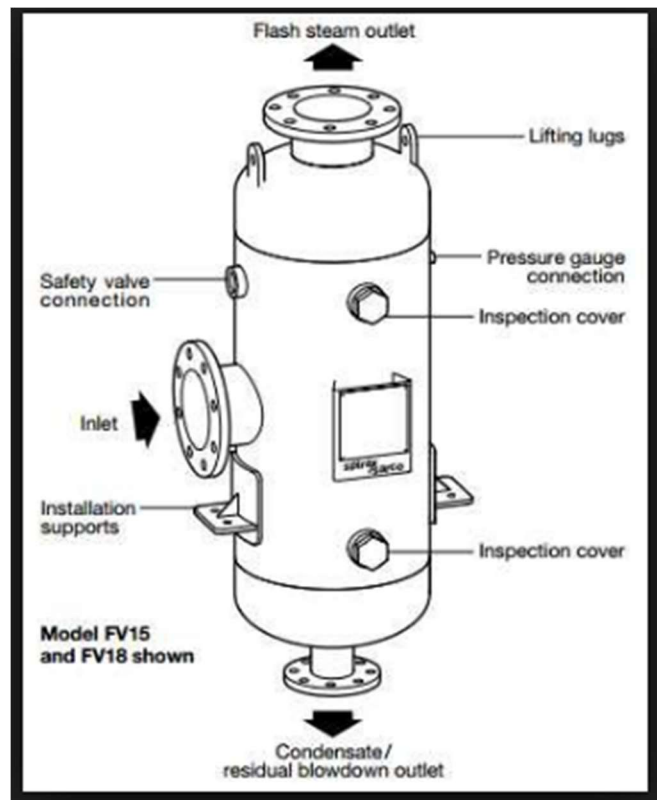
Anläggningens panna är en eldrörspanna av storlek 2,7 MW, driftstrycket ligger på 6,4 bar och temperaturen på utgående ånga är 161°C. Anläggningens förbrukare matas med ånga för att värma upp vattnet som använd till tvättningsprocessen och luften som man använder i torktumlarna.

Vi fick reda på att förra ägaren körde pannan med ett högre tryck och hade en del komponenter som var uppvärmda med ånga, som en ångdriven mangel och hela anläggningen uppvärmdes med hjälp av en ångvärmväxlare. Nu är mangeln ett separat

system, vilket uppvärms av en egen gasbrännare. Uppvärmning av anläggningen sköts idag av fjärrvärme. Detta tyder då på att pannan i Clean Kalles fall förser en mindre mängd förbrukare, vilket ger mindre uttag av ånga från en stor panna vilket resulterar i en dyr drift. Pannan med kringutrustning är belägen i en separat hall bredvid själva tvätterianläggningen.

2.2.2 Flash Steam-tank

Kondensat från torktumlare och från avtappningar på huvudånglinan leds till en tank där man förångar kondensatet genom att sänka trycket och man kan leda ångan in i tvättröret för att värma vattnet som används. Dessutom leder man en del av ångan från *flash steam*-tanken genom en värmeväxlare där man värmer vattnet i processvattentanken. Efter processvattentankens värmeväxlare kondenseras ångan och leds ner i hotwellen. Detta sker i en större grad då behovet av ånga är mindre i tvätt röret. I figur 4 ser man en liknande *flash steam*-tank som anläggningen har, funktionsprincipen är den samma.



Figur 4 Uppbyggnad av en flash steam-tank. (State supply, 2019)

2.2.3 Hotwell

Från avtappningar och de förbrukare som kondensat uppsamlas från så leds kondensatet till en hotwelltank, varifrån man pumpar tillbaka det till matarvattentanken med två stycken centrifugalpumpar. Pumparna fungerar med hjälp av nivåautomatik. I grunden är funktionsprincipen den att automatiken känner av nivån i hotwelltanken. Då nivån stiger i

tanken får pumparna startorder och pumpar condensatet till matarvattentanken ut i pannrummet. Man kan se i figur 5 hotwelltanken med condensatpumparna i vänstra hörnet. Man kan även se nivågivaren till tanken, varifrån pumpautomatiken får sin start- och stoppsignal.



Figur 5 Hotwelltanken och condensatpumparna

Vi kunde konstatera att pumpautomatiken inte fungerar som den skall, under besöket till anläggningen. Det betyder att tanken överfylls och condensatet rinner över via ett rör till en ”brunn” bredvid den. Därifrån pumpas condensatet med en sänkpump till avloppet, vilket betyder att man går miste om condensatet som annars skulle kunna återanvändas. Detta resulterar i att man hamnar kompensera för condensatet som pumpas i avloppet.

2.2.4 Matarvattentank

Till matarvattentanken pumpas condensatet från hotwelltanken och det kommer påfyllning från en tank med avhärdat vatten. Matarvattentaken har ett arbetstryck på 1,3 bar och temperaturen ligger på 110°C. Matarvattentanken är belägen i utrymmet med förångaren, ovanför pannan. Man förvärmer matarvattentanken med ånga från huvudångröret, vilket leds in i tanken. Från matarvattentanken pumpar behövliga mängden vatten till pannan. Detta sker med hjälp av tre displacementpumpar, även kallade matarvattenpumpar.

2.2.5 Processvattentank med varmt vatten

Vattnet i denna tank värms upp hela tiden som produktionen är igång och ju mindre ånga som leds från *flash steam*-tanken till tvättröret desto mera ånga går åt att värma processtankens vatten. Då har vi som ett exempel att om man inte har någon produktion på tvättröret,

kommer den energi som är planerad att förbrukas tas till vara i processvattnet. Figur 6 visar processvattnets värmare och själva tanken.



Figur 6 Processvattenfövärmare som värmer processvattentanken.

För tillfället har man endast en tvättmaskin som klarar av att blanda kallt och varmt vatten och som använder sig av det varma vattnet i denna tank. Processvattentanken skulle vara en ypperlig resurs att använda till enhetstvättmaskinerna, men endast en av maskinerna klarar av att blanda kallt och varmt processvatten så då finns det liten användning av tanken.

2.2.6 Processvattentank för kallt vatten

Det kalla processvattnet används till enhetsmaskinerna och till tvättröret, där man för tillfället tillsätter ånga för att höja temperaturen, som vi nämnt tidigare. Tanken är belägen i tekniska utrymmet bredvid avhärtningsutrustningen. Tanken fungerar som en buffert i processen under produktionens lopp.

2.3 Nulägesanalys

För att kunna göra en nulägesanalys kommer vi att mäta och beräkna energibalansen för ångpannan. För att kunna beräkna en energibalans måste man veta ingående energi, i detta fall är det bränsle som går in och förlusterna är på kondensatsidan. En stor förlust i detta system är då man kör vattnet från tvättmaskinerna ut i avloppet, vilket då betyder att man inte får tillvarataget någon form av energi från det.

3. MÄTNINGAR

Mätningar för en landbaserad anläggning konstaterade vi vara mer krävande än på fartygen då man där har mer utrustning som konstant övervakar den tekniska processen. Stora delar av utrustningen i tvätteriet hade ingen fysisk manometer eller elektronisk givare. På grund av detta gick en relativt stor del av mätningsveckans tid att undersöka hur man får värden i anläggningen.

3.1 Besök till anläggningen

Under vecka 8 var vi i Ekenäs och utförde mätningar för att kunna göra upp en energibalans på anläggningen. I början var planen att mäta alla komponenter skilt för sig för att kunna bedöma hur mycket de förbrukar. Detta visade sig otympligt då anläggningen aldrig körs på samma belastning, utan olika utrustning kördes vid olika tidpunkter under dagarnas lopp. Utifrån detta bestämde vi oss att begränsa ett energibalansområde till ingående energimängd, samt det som kommer tillbaka till matarvattentanken i form av kondensat.

3.1.1 Mätutrustning

Utrustning som vi hade med oss när vi skulle göra mätningar var följande.

- Flexim vätskeflödesmätare
- Grant Squirrel U + T termopar (temperaturlogger)
- Testo 430 luftflödesmätare

3.1.2 Flexim flödesmätare

De vätskeflöden som vi har mätt i anläggningen är uppmätta med ultraljudsmätaren Flexim Fluxus.

Med hjälp av ultraljudsvågor kan mätaren avläsa ett flöde i ett rör. Man placerar två sensorer på röret och beroende på rörets dimensioner krävs ett visst avstånd mellan sensorerna. Figur 7 visar hur man lägger fast sensor på ett rörstycke när man skall utföra en mätning.



Figur 7: Bild tagen från Högskolans maskinlaboratorium på flödesmätare och tillhörande sensorer:

3.1.3 Grant Squirrel temperaturlogger

Alla temperaturer vi har uppmätt är gjorda med Grant temperaturlogger. Givarna som användes var av typen T-termopar som tål en högre temperatur (-200-400°C), vilket är bra då man har ånga man mäter. Det som gör en liten skillnad från det verkliga resultatet är då man måste mäta på utsidan av röret. Sensorerna isolerades för att kunna uppnå bästa och mest noggranna resultat.

3.1.4 Testo 430 luftflödesmätare

När vi loggade ingående förbränningsluftsmängden till pannans brännare använde vi oss av Testomätaren. Mätaren har en sensor i änden av handtaget som mäter flödeshastigheten. Utgående från förbränningsluftskanalens tvärsnittsarea så räknar mätaren det aktuella volymflödet.

3.1.5 Svårigheter vid mätningar

När vi skulle mäta inkommande kondensat till hotwelltanken från de olika förbrukarna stötte vi på ett problem i form av att det inte endast rinner kondensat i rören efter förbrukarna, utan det visade sig att det slipper ”ångpuffar” med i kondensatrören efter ångfällorna som ligger efter varje förbrukare, vilket resulterade i att vår flödesmätare inte kunde utföra mätningen då den endast är gjord för att mäta vätskeflöden.

Ytterligare utmaningar stötte vi på då anläggningen inte har någon form av tryckmanometrar som skulle indikera trycket på kondensatsidan.

3.2 Resultat av mätningarna

De beräkningar vi gjort baserar sig på mätningar som gjordes under den veckans tid som vi var i Ekenäs. På grund av de svårigheter som vi hade med mätningarnas utförande så är resultaten approximativa. Orsaken till detta är att anläggningens drift är så varierande från dag till dag. Variationen är beroende av tvätt mängd och typ vilket styr tvättprogrammet som i sin tur styr energimängden maskinerna behöver.

3.2.1 Ångpanna

Mätningar för ångpannan gjordes under en timmes körning, då anläggningen hade veckans maximala produktion. Under den mätningen kunde man mäta bränsleflödet, domtrycket i pannan och matarvattentanken.

Temperaturerna som listades upp var matarvattentemperaturen, ingående kondensattemperaturen och matarvattentankens temperatur. Vi vet att ångan som kommer ut ur pannan är mättad, vilket betyder att man kan använda tabellvärde för temperaturen och entalpin för specifika trycket (Alvarez, 2006). Resultatet för pannans mätningar kan man se i kalkylbladet i bilaga 2.

3.2.1.1 Bränsle beräknat ur mätningar

Vi kunde bestämma ett bränsleflöde under en timmes tid genom att mäta ingående luftmängd till brännaren under förbränning samt tiden på förbränningsintervallerna. Detta gjordes då genom att mäta med Testo 430 flödesmätaren i insugskanalen till brännaren. Här är det värt att nämna att vi mätte flödet då när lågan i brännaren var igång (synglasen på brännaren), vilket då betyder att *purge*-luften inte är inräknad. Det vi fick som resultat av mätningen var 2 449,4 m³/h, 0,68 m³/s. För att beräkna hur mycket förbränningsluft det gick åt under en timme så mättes tiden som lågan i brännaren var igång. Summan av dessa tider blev då 1092 s, vilket betyder att vi kan i detta läge beräkna den totala förbränningsluften som går åt under en timmes tid, som är produkten av verkliga volymflödet och tiden lågan i brännaren är i gång, vilket blir 749,9 m³/h. Som tidigare nämnt körs den gaseldade pannan med LPG som skall enligt leverantören innehålla minst 95 % propan, vilket vi räknar med, de resterande ämnena är butan, metan, etan och olefiner. För att kunna beräkna hur många normal kubik som går åt till förbränningen används formeln nedan (Alvarez, 2006).

$$l_t = \frac{4,76 * 22,7}{100} * \left(\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o}{32} \right) \frac{m^3_n}{kg \text{ bränsle}}$$

Vi vet att propan har en teoretisk sammansättning på 81,8% kol och 18,2% väte. Den har marginell mängd med svavel och syre så de kan försummas (Alvarez, 2006). Det betyder att vi får den teoretiska luftmängden till 12,28 m³/kg_{br}, för att kunna uppskatta mängden verkliga m³ måste man använda sig av den ideala gaslagen och ta i beaktande tryck och temperatur som råar i pannrummet, den teoretiska luftmängden är given i m³/kg_{br} och med formeln nedan konverterar vi till m³/kg_{br}.

$$\frac{p_1 * V_1 * T_2}{T_1 * p_2} = V_2$$

$$\frac{100\ 000\ Pa * 12,28\ m^3 * 293\ K}{273\ K * 101\ 300\ Pa} = 13,01\ m^3$$

Pannan har en syremätare på rökgassidan och utifrån det värdet kan vi beräkna en approximativ luftfaktor n (Fagergren, 2014).

$$n = 1 + \frac{O_2}{0,21 - O_2}$$

Under mätningarna kontrollerade vi även att syrehalten i rökgaserna var 4 % vilket då ger oss en luftfaktor på 1,24. Som är lite för högt med tanke på att man använder LPG som bränsle, enligt Energiteknik boken brukar luft faktorn för gas bränslen ligga mellan 1,05–1,10 (Alvarez, 2006). För att kunna beräkna den verkliga luftmängden måste man ta produkten av luftfaktorn och teoretiska luftmängden som i ekvationen nedan.

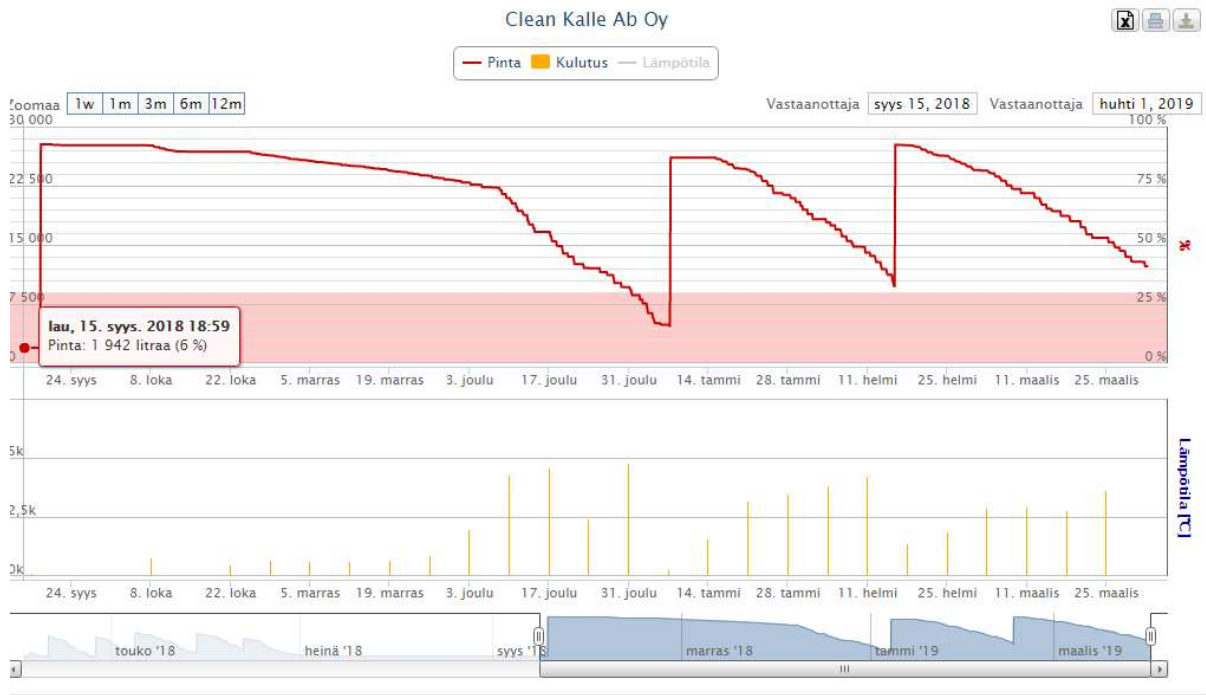
$$l_v = l_t * n$$

Med våra värden blir det 16,06 m³/kg_{bränsle}. När man beräknar kvoten av det uppmätta verkliga luftflödet per timme och det beräknade verkliga volymflödet per vikt bränsle, får vi att bränslemängden under mätveckans max produktion är 46,24 kg/h. Som är en momentan förbrukning då inte varmhållningsförbrukningen är medräknad.

3.2.1.2 Bränsleflödet beräknat ur förbrukning

För att kunna göra en bedömning av bränsleflödet till pannan beräknades även med värden ur nivån i gastanken. Gastanken har utrustning som anger när tanken skall fyllas på. Den ger den dagliga förbrukningen där varmhållningsförbrukningen räknas med och vi kan beräkna hur mycket gas det går åt på årlig och månatlig basis. I figuren nedan kan man se nivån i tanken som är den röda linjen, samt de gula staplarna nere som ger förbrukningen per dag.

Förbrukningen ges i liter, vilket betyder att vi behöver veta densiteten för bränslet i flytande form. Densiteten för flytande LPG är 580 kg/m^3 (Wikipedia, 2017).



Figur 8 Bild från gaslänken vi fått av uppdragsgivaren.

Vi valde att använda den månatliga förbrukningen eftersom anläggningen har körts på detta vis endast några månader. Den kan man få från figuren nedan, som är tagen från samma tanknivåuppföljning, den räknar med även förbrukningen utanför produktionstiden dvs. kvällar och helger.

Tilastointi								
Tuote	#	Unit	Säiliön tilavuus	Varasto	Täyttömäärä	Kulutus/vko	Kulutus/kk	Kulutus/vuosi
LPG UG	1	ℓ	30 000	12 310	14 390	3 035	12 197	119 877

Figur 9. Statistik för förbrukning av bränsle.

Det man måste först beräkna är massan på den månatliga förbrukningen, vilket görs med formeln nedan.

$$m = \rho_{\text{flytande propan}} * V_{\text{månad}}$$

Ur formeln får man en beräknad massa på $7\,074,3 \text{ kg/månad}$. Man bör komma ihåg att detta är den totala förbrukningen från tanken innefattande mangelns förbrukning.

Utgående från mangeltillverkarens data vet vi att förbrukningen gas är $16,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Värdet är given i normalkubikmeter vilket betyder att man måste ta i beaktande densiteten för gasen vid 0°C . Den hittade vi i en kalkylator på internet. Värdet för densiteten kunde avläsas till

1,98 kg/m³ (Engineering Toolbox, 2018). När man tillämpar formeln ovan får vi bränsleflödet till 33,5 kg/h.

Uppskattningsvis kan man anta att drifttiden för mangel är 1 h per dygn, vilket betyder 20 h/månad. Genom att multiplicera tiden per månad och bränsleförbrukningen, får man ett beräknat värde på 669,2 kg/mån. Pannförbrukningen fås då genom differensen av totala och mangelns förbrukning, som beräknas till 6 405,1 kg/mån. Nu kan man beräkna förbrukningen per timme, genom att dividera produktionsdagarna och timmarna. Driftdagarna på en månad är 20 dagar och de innefattar 7,5 h produktion, vilket ger en medel förbrukning på 42,7 kg/h. Enligt dessa två bränsleflöden kan man konstatera den senare nämnda som ligger på 42,7kg/h är mer relevant, då den visar en längre tids uppföljning av bränsleflödet och tar i beaktande hela månaden inklusive varmhållningen på pannan. Det betyder att vi använder oss av den i fortsatta beräkningar.

3.2.1.3 Panneffekt

Som tidigare nämnt kan man med trycket bestämma energiinnehållet i ångan. Medeltalet på panntrycket under mätningen fick vi till 6,4 bar manometertryck. Det innebär att entalpin i ångan är då 2765 kJ/kg ånga. Under rubriken ångflöde kan man se att vi mätte ett medel ångflöde, \dot{m}_a på 0,14 kg/s. För att beräkna den värmeenergiflödet som leds till förbrukarna måste man använda sig av ekvationen nedan.

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a * i_a$$

Enligt ekvationen får man ett värmeenergiflöde \dot{Q}_a till 388,6 kW.

3.2.1.4 Pannans verkningsgrad η_p

För att kunna bedöma hur effektivt energin byter form från bränsle till förångat vatten beräknar vi verkningsgraden för ångpannan. Pannverkningsgraden är ett ypperligt sätt att jämföra olika pannor med varandra. Det vi vet från tidigare är att verkningsgraden inte kommer bli så hög då man varken har economiser eller överhettare i pannan.

Verkningsgraden η_p är beräknad med ekvationen nedan.

$$\eta_p = \frac{\dot{m}_a * (i_a - i_{mv})}{H_i * \dot{m}_b}$$

Entalpierna i ekvationen har vi tagit ur elektroniska tabeller för att få ett så exakt värde som möjligt (Spirax Sarco, 2018). Då vi vet att panntrycket är 6,4 bar är entalpin 2765kJ/kg och för matavattnet in till pannan råder ett tryck på 13,4 bar och temperatur på 92°C, då får man en entalpi på 385kJ/kg.

För bränslet vet vi att den effektiva värmemängden, H_i är 46MJ/kg. Flödet \dot{m}_b är beräknat på basis av förbränningsluftsflödet (3.2.1.1) som omvandlat blir 0,013 kg/s.

Utifrån dessa ovannämnda värden kan man konstatera att verkningsgraden på pannan är 0,56.

3.2.2 Kondensatflöde

För att ta reda på mängden energi som tas tillvara mätte vi upp flödet och temperaturen på kondensatet som körs till matarvattentanken. Mätningen utfördes under en förmiddag varifrån ett medeltal beräknades. Medelvärde vi fick var 0,079 kg/s vilket är 284,4 kg/h. Se bilaga 3.

3.2.3 Ångflödet

Vi placerade Fleximflödesmätaren på en rörledning efter matarvattenpumparna för att mäta ingående vattenmassa till pannan, för att då kunna bedöma det flöde som kommer ut från pannan i form av ångan. Detta var enda sättet att mäta då flödesmätningstrustningen som fanns i anläggningen blev bortmonterad vid förändringsarbetet på hösten 2018. Mätningen utfördes under en hel dag, varifrån vi kunde beräkna ett medeltal på det. Värdet vi fick var 0,14 kg/s, som är 507,6 kg/h. Enligt våra mätningar är ångflödet stabilt under hela dagen när dessa mätningar utfördes.

3.2.4 Processvatten

Som vi tidigare nämnt får man energi återvunnen i form av processvatten. Vi mätte värmeeffekten som man ifrån värmeväxlaren. Till detta krävdes flödesmätaren Flexim och 1 temperaturloggern Squirrel. De fästes på samma rör som går igenom värmeväxlaren, vilket då innebär att man har flöde och temperaturdifferensen. Med följande formel kunde man beräkna värmeeffekten för $\dot{Q}_{processvatten}$, (Fagergren, 2014).

$$\dot{Q}_{processvat} = \dot{m} * cp * (t_2 - t_1)$$

Flödet mättes under vår timmes mätning till 2,8 kg/s och ingående temperatur, t_1 var 90,5°C. Vid samma tillfälle var t_2 97,8°C. Då kunde vi avläsa ett tabellvärde för den specifika värmemängden till 4,2 kJ/kg*°C (Fagergren, 2014). Dessa ovannämnda värden gav oss en effekt på 85,5 kW. Se bilaga 4.

3.2.5 Energianvändning per kilogram tvätt

Vi har konstaterat att då man vill jämföra effektanvändningen i ett tvätteri måste man veta hur mycket bränsle det går åt per vikten tvättad tvätt. Då vi vet bränsleflödet per timme som tidigare nämnt är 46,24 kg/h vill man veta effekten i den. För att beräkna värmeeffekten \dot{Q}_b används formeln nedan.

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_b * H_i$$

Vi får då en värmeeffekt på 590,8 kW.

För att kunna veta den hur mycket tvätt som har tvättats under dagen har vi använt oss av kemikaliedoseringsautomatiken. Den doserar tvättmedel och andra behövliga kemikalier till processen beroende på vikten som matas in i maskinerna. Detta betyder att man får ut den totala vikten per dag. Vikten tvätt för mätningdagen togs på förmiddagen, då anläggningen hade varit igång i 3 timmar. Så med 1062 kg tvätt får man då en tvättmängd på 354 kg/h.

Nu kan man slutligen beräkna hur mycket gaseffekt det går per tvättad kilogram tvätt, vilket är kvoten av värmeeffekten och tvättmängden. Detta ger anläggningen ett riktvärde på 1,67 kW/kg_{tvätt}. För att kunna avgöra var anläggningen ligger konsumtionsmässigt har vi besökt en annan tvätterianläggning som har ett värde på 1,29 kW/kg_{tvätt}. Här är det bra att veta att den har större tvättkapacitet och ångproduktion, men tar tillvara energin från bränslet effektivare.

Det vi även vet är att den tvättmängd vi har under förmiddagen på sista mätdagen är 56% av vad anläggningen klarar av. Detta kunde vi beräkna genom att multiplicera vikten tvätt per timme med sju och en halv som är dagliga produktionstiden, vilket då blir 2832 kg. När man beräknar kvoten av den dagliga produktionen och totala dygns kapaciteten dvs. 5000 kg, får man 56,6% som vi nämnt ovan. Produktionen är som tidigare nämnts ytterst varierande under dagens lopp. Man kunde då konstatera att på förmiddagarna körs tvättröret mera än på eftermiddagen.

4. ALTERNATIV FÖR ANLÄGGNINGEN

Vi har funderat på olika alternativ till hur man skulle kunna köra anläggningen i framtiden på ett mer ekonomiskt och effektivt sätt, men vi har valt att fokusera på funderingar kring byte av den befintliga pannan till en mindre panna, så som en ånggenerator.

4.1 Ånggenerator

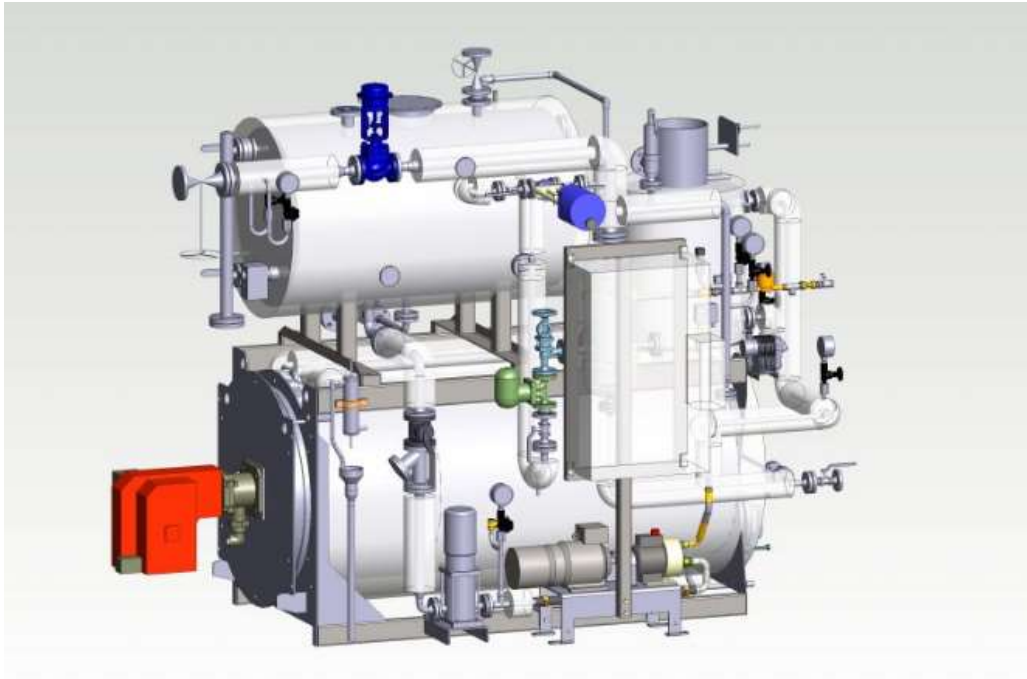
Eftersom pannan verkar förbruka mycket bränsle måste man fundera på ett alternativt sätt att producera ånga i anläggningen. Uppdragsgivaren nämnde att de tidigare hade funderat på att byta till en ånggenerator, vilket primärt skulle minska bränsleförbrukningen under de tider som man inte har något behov av ångproduktion.

Eftersom att pannan ligger och kör på kvällar, nätter och helger när man inte har någon produktion i anläggningen så går det åt en hel del bränsle helt i onödan. Skulle man ha ånggeneratorer så skulle man helt enkelt stänga av dem under de tider man inte har behov av någon ånga vilket resulterar i att bränsleförbrukningen under dessa tider minskar. Enligt tillverkaren Steamrator är starttiden på en ånggenerator från 5-7 minuter från kallt till full kapacitet.

4.1.1 Funktion

I grunden är en ånggenerator en förminskad konventionell ångpanna, där man istället för att ha en stor vattenmassa som uppvärms har en mindre mängd vatten i en rörslinga som uppvärms enligt behov. De är byggda i ett komplett paket där alla huvudkomponenter är samlade. Huvudkomponenterna är då matarvattentank, vilken man förvärmer till ett tryck på 0,5 bar övertryck med hjälp av ånga från förångaren. Från matarvattentanken pumpas vattnet till en matarvattenförvärmare, även kallad economiser. Pumpen är frekvensstyrd och man kan aktivt med hjälp av den reglera ångflödet till förbrukarna. När vätskan passerat economisern går den vidare till förångaren, som är av modellen genomströmningsångpanna där man har en rörslinga där vätskan förångas.

I figur 10 kan man se hur själva uppbyggnaden av ånggeneratoren är i verkligheten. Man kan även se att den är ett kompaktare paket än en konventionell ångpanna. Matarvattentanken är belägen ovanpå förångaren och economisern är belägen i rökkanalen som mynnar ut från förångaren.



Figur 10. Ånggeneratorns uppbyggnad. (Steamrator, 2019)

Enligt en leverantör vi har varit i kontakt med behöver man inte registrera ånggeneratorer i ångpannregistret, vilket betyder mindre kostnader i form av besiktningar och någon pannskötare behövs inte (Steamrator, 2019). Ånggeneratorerna kräver avhärdat vatten och den typen av utrustning finns färdigt i anläggningen som används till den befintliga pannan.

4.2 Processvattnets uppvärmning och användning

I nuläget har man en vattentank som man värmer med avkoket från kondensatet man tar tillvara i processen. Avkoket är en energikälla då de maskiner som kondenserar ångan i regel går under hela dagens lopp.

4.2.1 Användning idag

Processvattentanken är belägen i det tekniska utrymmet i anläggningen och har en volym på 2 m^3 . Som vi tidigare nämnt i mättningsresultaten har värmeväxlaren en effekt \dot{Q} på 85,5 kW. Det vi kunde konstatera under mätveckan var att från halva veckan framåt låg temperaturen över 90°C och då är värmeväxlaren endast som en underhållsvärmare. Det betyder i praktiken att värmeväxlarautomatiken känner av att temperaturen är hög och stryker ångflödet på ångsidan.

Enligt uppdragsgivaren används vattnet till en enhetstvättmaskin, vilket betyder att den självmant kan reglera temperaturen med hjälp av det kalla och varma vattnet. Utöver det tvättas moppar i varma processvattnet, vilket betyder att man leder det rakt i maskinen.

I figur 11 kan man se matningen av kalla vattnet och det varma vattnet till enhetsmaskin. Man kan se kulventilerna för det kalla och varma processvattnet. I figur 11 kan man även se magnetventilen till ångan som reglerar flödet med ånga till maskinen.



Figur 11 Upplägget bakom enhetsvättmaskinerna.

4.2.2 Utveckling

Det som vi främst tänker angående enhetsmaskinerna är att i flesta av dem uppvärms det kalla vattnet med ånga, vilket betyder att den del ånga som matas in i dem går ut som värmeenergi i avloppet. Genom att använda det förvärmda processvattnet och späda ut den undgår man att kondens går till spill. Man vill få maximala mängden med kondens tillbaka på grund av att det innehåller energi, samt att det krävs mindre avhärdat vatten, vilket pumpas till matarvattentanken.

Om man vill utöka användningen av processvattnet måste man komma ihåg att uppvärmningen tar en viss tid. Som ett exempel har vi då beräknat hur lång tid det tar att värma tanken från kallt till varmt med effekten vi uppmätt. Vi använder oss av ett exempel där man har hela processvattentanken fylld med kallt kranvatten som ligger på en temperatur cirka 5°C. När man skall värma upp det till 100°C måste man veta entalpi i båda tillfällena, för det kalla vattnet har man ett värde på 21 kJ/kg och det varma vattnet har en entalpi på 419 kJ/kg (Alvarez, 2006).

Vi vet att processvattentanken har en volym på 2 m³ vilket då betyder en massa på 2000 kg, vattnet har en densitet på 1000 kg/m³. Energimängden i massan vatten beräknar vi med entalpidifferensen som är 398 kJ/kg multiplicerat med massan, som i formeln nedan.

$$Q = (i_{100^{\circ}\text{C}} - i_{5^{\circ}\text{C}}) * m_{\text{vatten}}$$

Värmemängden Q i vattnet beräknas då till 796 000 kJ. För att kunna få fram tiden som krävs till att värma massan i tanken används formeln nedan.

$$t_{\text{uppvärmning}} = \frac{Q}{\dot{Q}}$$

Tiden som krävs till uppvärmning från kallt vatten till varmt blir då 9310 s, vilket är 2,5 h. Utgående från denna beräkning kan man konstatera att det går relativt snabbt att värma tanken med den spillvärme som finns till förfogande i kondensatet.

4.2.3 Användningsmöjlighet

Vattnet man värmer i procesvattentanken skulle kunna dra ner ångförbrukningen om alla enhetsmaskiner skulle ha förmågan att dosera med kallt och uppvärmt vatten för att få önskvärd temperatur under tvättprocessen.

Enhetsmaskinerna har 25 olika program där temperaturen varierar mellan 25°C och 70°C beroende på vad man tvättar och medeltemperaturen för dessa program ligger på 44°C. Och om man värmer vattnet i tanken till 100°C så har man bra med energi till förfogande. Enligt personalen på Clean Kalle tvättas största delen av tvätten med program på 40°C.

För att då kunna bedöma hur mycket varmt processvatten det går åt i enhetsvättmaskinerna måste man tänka på att hur mycket 100°C vatten det krävs för att höja temperaturen i det kalla vattnet till 44°C. Vi vet från tidigare att entalpierna i det kalla processvattnet är 21kJ/kg och 419 kJ/kg för det varma. Utöver de behöver man ett tabellvärde för den medeltemperatur som används i maskinerna, vilken sett ur tabell är 183 kJ/kg (Alvarez, 2006). Genom att beräkna differensen på temperaturen vi vill ha (44°C) och det kalla vattnet (5°C), får man en entalpi på 163 kJ/kg, Δi . Sedan används formeln nedan för att bedöma vikten varmvatten som går åt på ett kilogram 44°C användbart processvatten i enhetsmaskinen.

$$\frac{\Delta i \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{i_{\text{varm}} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} * 1\text{kg} = 0,39\text{kg varmvatten}$$

För att beräkna hur många liter som går åt måste vi veta densiteten för 100°C. Den är även tagen ur tekniska tabeller, 958 kg/m³ (Fagergren, 2014). Genom att beräkna kvoten av vikten och densiteten får vi en volym på 0,4 liter.

Enligt industriella enhetsmaskintillverkare går det ungefär 10 l vatten/kg tvätt (Jensengroup, 2019) vilket då i detta fall blir 4 liter varmvatten per kg tvätt. Då kan vi beräkna hur länge räcker mängden vatten i processvattentanken, vilken som tidigare nämnts är 2000 liter. Genom att beräkna volymen på tanken och åtgången av varmvatten per kilo tvätt får man ett värde på 500 kg tvätt per tank.

5. OFFERTER, KOSTNADER OCH INBESPARNING

För att kunna börja göra eventuella ombyggnader samt byta ut komponenter för att göra anläggningen mer kostnadseffektiv så har vi varit i kontakt med olika leverantörer angående priser och deras rekommendationer. Uppdragsgivaren hade två leverantörer de var intresserade av, så vi valde dem. Detta gäller då ånggeneratortillverkare, den finska Steamrator och tyska Jumag. Båda ovannämnda har i grunden liknande produkter.

5.1 Offerter

Vi har varit i kontakt med Steamrator och Jumags återförsäljare i Finland (Drink Consulting) i fråga om vad deras generatorer med tillbehör kostar och vad deras verkningsgrad ligger på. Steamrator gav en offert på en Steam 1000, vilken har en ångproduktion på 1000 kg/h och effekt på 0,7 MW. Enligt dem har pannan en termisk verkningsgrad, η_t på 0,97 på full belastning och högre på mellanlast.

5.1.1 Steamrator

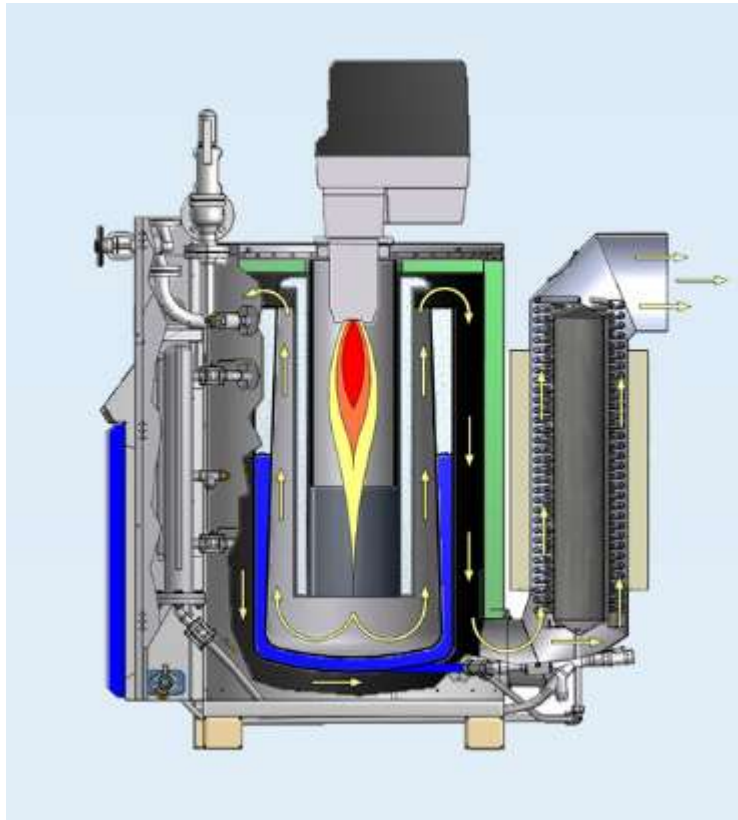
Offerten från Steamrator innefattar själva generatoren med behövlig kring- och säkerhetsutrustning. Utöver själva generatoren har man räknat upp 6 optioner som man kan lägga till vid behov. I Clean Kalles anläggning finns det redan vattenbehandlingsutrustning och bottenblåsningstank, vilket då betyder att man kan ta bort dem från offerten. Den totala investeringen hamnar på ca. 60 000 – 80 000€ med de komponenter som man behöver till anläggningen. Detta innefattar enligt leverantören att hela generatorpaketet är testat, installerat och provkört. Det tillkommer även en del arbete med rördragning av ångrör, pannvattenrör och kondensatrör till den nya ånggeneratoren. För arbetet har uppdragsgivaren en färdig offert på 3000 € som skall tilläggas till investeringsbeloppet.

5.1.2 Jumag

Den andra ånggeneratoren är som tidigare nämnts den tyska Jumag. De har återförsäljare i Finland, som vi varit i kontakt med för ytterligare information om generatoren, angående tekniska data. Man kan direkt nämna att finns några små olikheter på dessa två generatorer. Matarvattentanken på Jumag är belägen som ett separat paket. Förångaren fungerar inte med hjälp av en ”coil”, utan man har ett skal som matarvattnet cirkulerar i och förångas. Detta kan ses i figur 12. Brännaren är belägen ovanpå förångaren. Man kan även se rökgasflödet med de gula pilarna, då de går i första hand genom förbränningsrummet till economisern och ut

genom skorstenen. Flödet för ångan regleras i generatoren med hjälp av en centrifugalpump, medan den andra leverantören använder sig av kolvump.

Det som vi blev erbjudna är en generator av modellen FLO1060 som har en effekt på 0,76 MW och maximal ångproduktion på 1060 kg/h. Vid maximala produktionen har den en bränsleförbrukning på 54,48 kg/h. Enligt försäljaren är förbrukningen vid 507,6 kg/h ungefär hälften som är 27,24 kg/h.



Figur12. Jumag FLO 1060 Förångare och economiser. (Jumag, 2019)

I offerten för Jumag FLO 1060 som vi fick av finska återförsäljaren har man då listat upp de komponenter som ingår i det angivna priset. Komponenterna i fråga är följande:

- Förångare FLO1060
- Automatisk bottenblåsningsventil
- Connect remote (spegling av systemet i separat PC)
- Weishaupt Monarch brännare, typ VM-L10
- Bottenblåsningstank
- Matarvattentank
- Råvatteninloppsmodul
- Provtagningskylare
- Skorsten

- Elektropneumatisk kontrollventil

Vi kan konstatera att dessa komponenter är de som leverantören anser behövas till anläggningen. Investeringskostnaden för dessa komponenter från Jumag hamnar på ca 90 000 – 110 000 €. Utöver det kommer det en kostnad på 3000 € till ombyggnad för rördragning.

5.1.3 Jämförelse av verkningsgrader

För att ytterligare jämföra den befintliga ångpannan med ånggeneratorerna valde vi att beräkna pannans verkningsgrad η_p . För att räkna verkningsgraden på ånggeneratorerna måste man veta deras bränsleförbrukning. Steamrator gav en förbrukning på 35 kg/h, 0,0097 kg/s. Jumag gav en betydligt lägre förbrukning på 27,2 kg/h, 0,0076 kg/s.

Vi beräknade med samma värden som i stycke 3.2.1.4 förutom att vi använde oss av ånggeneratorernas förbrukning.

- Befintligt system: 0,566
- Steamrator Steam 1000: 0,748
- Jumag FLO 1060: 0,962

Som man kan se är verkningsgraden lägre på Steam 1000 än FLO 1060 eftersom man använt en större marginal på förbrukningen. Beräkningar kan man se i bilaga 2.

5.2 Kostnader

Om man gör ett utbyte av pannan kommer det att kosta i form av nya komponenter och jobb samt tid när anläggningen står stilla. I detta slutarbete har vi endast gjort en kalkyl som innefattar kostnaderna för de nya komponenterna, installationskostnad och bränslekostnaden beroende på vilket sätt man producerar ånga.

I Clean Kalles fall är bränslekostnaden den som är mest intressant att veta hur den ser ut, med och utan eventuell investering. Det är den som styr hela den eventuella investeringens lönsamhet. Då man investerar i någon form av utrustning skall den betala in sig på en rimlig tid. När vi diskuterade med uppdragsgivaren gällande de aspekter de vill att vi skall ta i beaktande, fick vi som svar att de vill veta investeringskostnaden, återbetalningstid och bränslekostnad med en 3% årlig höjning på bränslet. Vi valde att beräkna på 10 år framöver. Enligt uppdragsgivaren var det orimligt för oss att ta i beaktande de kostnader som uppstår då anläggningen står stilla, då de inte kommer att stämma. Även kostnaden att demontera den befintliga pannan är något som de skulle sköta på egen hand.

Eftersom leverantörerna inte vill att vi publicerar deras offerter så har vi lämnat bort dem från vårt examensarbete samt investeringskostnaderna som förekommer i våra kostnadskalkyler.

5.2.1 Jämförelse mellan investeringar

För att kunna göra en bedömning av hur många timmar pannan är i gång per månad använde vi först oss av en uppskattning på det. Uppskattningen vi använder oss av är den som uppdragsgivaren gav oss, 2000 h.

5.2.2 Bränslekostnader

Som tidigare nämnt är bränslet till ångproduktionen den största utgiften på den tekniska sidan i anläggningen. För att kunna veta vad som används i dagens läge måste vi beräkna den årliga förbrukningen och kostnaden för den. Det har vi valt att beräkna med värde från rubrik 3.2.1.1, som är 46,24 kg/h vilket är bränsleflödet under 56% belastning av anläggningen. Enligt uppdragsgivaren är drifttimmarna 2000 h i året, vilket är en uppskattning i övre kant, men vi valde att gå med det. Bränslepriset för LPG:n är 900 €/ton, som blir 0,9 €/kg. Vi använder oss här av den beräknade momentana bränsleförbrukningen för den befintliga pannan.

$$46,24 \frac{kg}{h} * 2000 \frac{h}{år} * 0,9 \frac{€}{kg} = 83\,232 \frac{€}{år}$$

För Steamrator ändras medel bränsleförbrukningen per timme till max 35 kg/h, som blir på samma sätt beräknat följande:

$$35 \frac{kg}{h} * 2000 \frac{h}{år} * 0,9 \frac{€}{kg} = 63\,000 \frac{€}{år}$$

Som sista beräknar vi förbrukningen för Jumag, vilken är 27,2 kg/h, med formeln beräknat blir det då:

$$27,2 \frac{kg}{h} * 2000 \frac{h}{år} * 0,9 \frac{€}{kg} = 48\,960 \frac{€}{år}$$

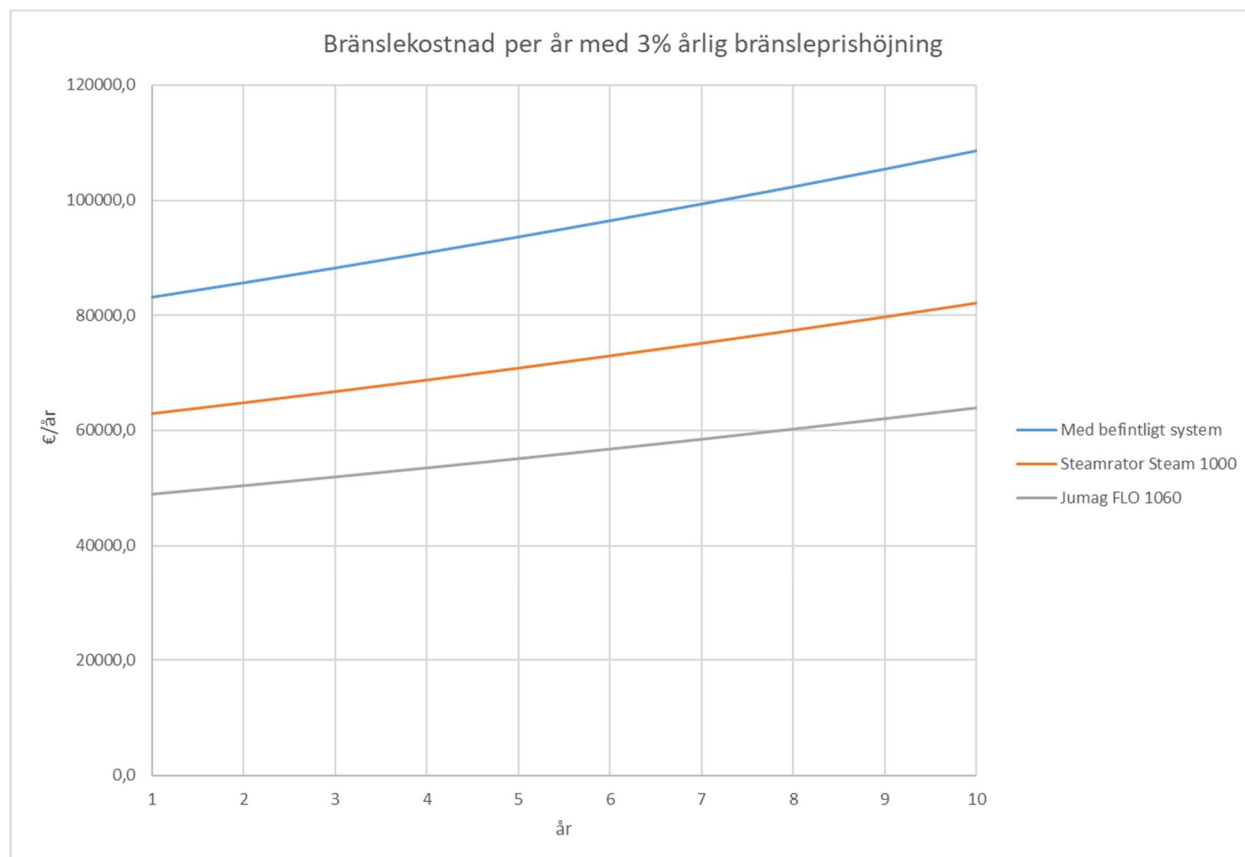
Då man är bunden till en hela tiden ändrande bränslemarknad tar vi beaktande en bränsleprisökning på 3%. Man kan se i tabell 1 hur mycket bränslet kostar för de olika alternativen på 1, 5 och 10 år.

Tabell 1. Bränslekostnaderna per år för de olika alternativen med 3% årlig bränsleprisökning.

Tiden	Befintligt system	Steamrator	Jumag
år	€	€	€
1 år	83232,0	63000,0	48960,0
5år	93678,3	70907,1	55104,9
10 år	108598,9	82200,7	63881,7

För att kunna se det bättre visuellt har vi sammanställt data i ett diagram som ses i figur 13.

Det man kan se är att Jumag är förmånligaste alternativet i bränslekostnader.



Figur 13. Diagram över årliga bränslekostnaderna.

5.2.3 Återbetalningstid

Återbetalningstiden är ett av de intressantaste momenten i detta slutarbete p.g.a. den tiden berättar för oss hur mycket nytta investeringen gör ekonomiskt och om det lönar sig att börja byta ut utrustning eller köra med befintlig.

Återbetalningstiden på ånggeneratorerna från båda leverantörerna är uträknad som kvoten av den totala investeringskostnaden och den årliga inbesparingen. Den årliga inbesparingen med investeringskostnader medräknade ligger på 29 275€ med Jumags ånggenerator och 16 815 € med Steamrators.

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årlig besparing}}$$

$$\text{Jumag} = 3,6\text{år}$$

$$\text{Steamrator} = 4,1\text{år}$$

Med de offerter vi har fått så visar det sig att Jumags utrustning blir ca 40 000 € dyrare att införskaffa men på basen av vad leverantören säger att bränsleförbrukningen till vårt behov ligger på så blir den årliga driften ca 15 000 € billigare än med Steamrator. Det resulterar i att med Steamrator har man en lägre investeringskostnad men dyrare drift så återbetalningstiden blir kortare med Jumags utrustning med 2,5 år.

5.3 Inbesparing

Genom att gå från en panna till att använda en ånggenerator sparar man bränsle på att tiden minskar när man har en brännare som går. Dessutom slipper man problemet med att man är tvungen att betala en person med behörighet för att hålla pannan i drift eftersom en generator inte kräver någon speciell behörighet.

Till detta examensarbete har vi gjort en kostnadskalkyl där man kan se hur mycket man kan spara genom att byta ut pannan och hur länge det tar för investeringen att betala in sig.

Den årliga inbesparingen är uträknad från differensen av vad driften kostar utan investering i ny utrustning och vad den skulle kosta med ny utrustning från de olika leverantörerna. Den årliga driften utan investering ligger på 83 232 € med inräknad årlig bränslekostnadshöjning på 3% , med Steamrators utrustning skulle årliga driften ligga på 63 000 € och med Jumag skulle den ligga på 48 960€. Den årliga inbesparingen bestäms av hur bränslesnålt ånggeneratorerna går.

6. SLUTSATS

För att kunna få en billigare drift av anläggningens ångproduktion kan man konstatera på basen av våra mätningar och resultat att det är ekonomiskt lönsamt att byta ut den befintliga eldrörsångpannan. Alternativen ligger mellan två stycken ånggeneratorer som är likvärda i kapaciteten. Med dem undgår man onödig drift, som resulterar i utgifter. Vi är av den åsikten att om man investerar i ny utrustning får man en förmånligare drift.

Återvinning av energi från kondensat till att värma processvatten visade sig möjligt, men det används inte så mycket att man skulle få någon verklig lönsamhet. Det kräver nyare utrustning som klarar av detta.

6.1 Utvärdering

Utgående från den mätdata vi har kan man dra den slutsatsen att en del av värdena är approximativa. Bränsleförbrukningen i befintliga anläggningen tar i beaktande pannans brännare, innefattande all körning även utanför produktionstiden och mangelbrännarens förbrukning. Detta ger en väldigt varierande bränsleförbrukning, eftersom brännaren körs in frekvent.

Med tanke på data som Steamrator gav så kommer deras generator att ha en snabbare inbetalningstid än vad vi har räknat. Eftersom de har en säkerhetsmarginal på förbrukningen något vilket Jumag inte verkar ha använt sig av på basis av våra kontrollberäkningar.

Resultaten på basis av mätningarna gäller en belastning på 50 % av anläggningen.

I våra beräkningar har vi inte tagit i beaktande varmhållningskostnaden på det befintliga systemet, men om man gör det så åstadkommer man antagligen en ännu kortare återbetalningstid

6.2 Fortsatta funderingar

Som vi har tidigare nämnt så finns det rum för vidare utveckling angående hur man skulle använda processvattnet som man har värmning på i tekniska utrymmet för att få en högre verkningsgrad på hela anläggningen. Dessutom kan det finnas möjlighet att tillämpa någon sort av återanvändning av avloppsvattnet från tvättprocessen.

KÄLLOR

- Alvarez, H. (2006). *Energiteknik. Energiteknik*. Lund: Studentlitteratur.
- Engineering Toolbox. (2018). *Engineering Toolbox*. Retrieved from Propane - Density and Specific Weight.
- Fagergren, S. (2014). *Teknisk Formelsamling*. Kalmar Maritime academy.
- Jensengroup. (2019). *Jensen/pprodukts/produkt-detail/washer-extractor*. Retrieved from [www.Jensen-group.com: https://www.jensen-group.com/products/product-detail/jensen-washer-extractor-jwe.html](https://www.jensen-group.com/products/product-detail/jensen-washer-extractor-jwe.html)
- Jumag. (2019). *Jumag steam boiler FLO1060*. Retrieved from Jumag: <http://www.jumag.eu/en/steam-boiler/flo-1060>
- Spirax Sarco. (2018). *Spirax Sarco steam tables*. Retrieved 2018, from Spirax Sarco: <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/steam-tables.aspx>
- State supply. (2019). *State supply Spirax sarco Flash tanks*. Retrieved from State supply: <https://www.statesupply.com/spirax-sarco/flash-tank#information>
- Steamrator. (2019). *Steamrator/tuotteet/höyrykehittimet*. Retrieved from Steamrator: <http://www.steamrator.fi/tuotteet/hoyrykehittimet/steam-1000/>
- Wikipedia. (2017, 09 11). *Wikipedia propan*. Retrieved from Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Propan>

BILAGOR

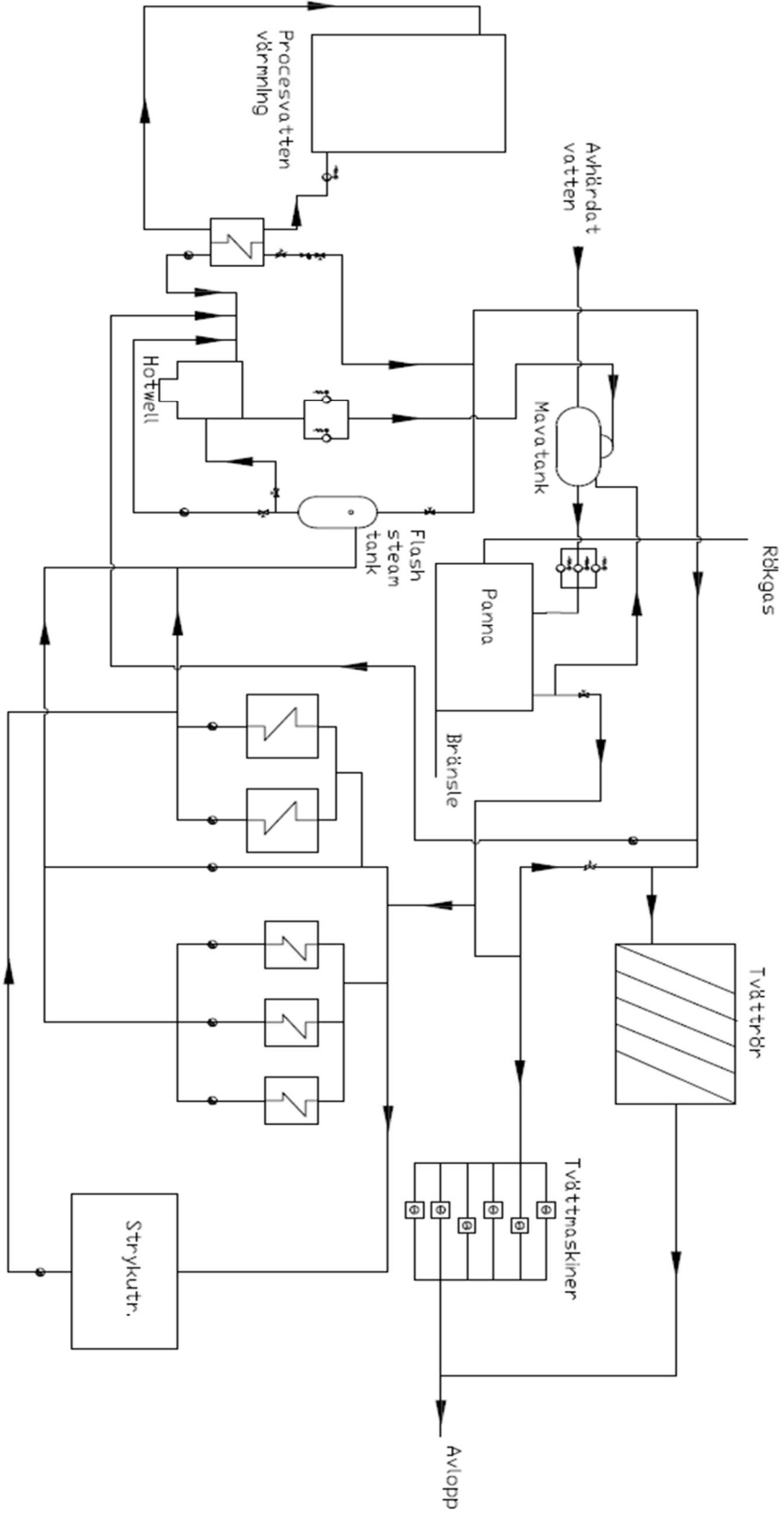
Bilaga 1: Systemritning CAD

Bilaga 2: Kalkylblad ångpanna

Bilaga 3: Kondens flödet

Bilaga 4: Matarvattenflödet

Bilaga 5: Flöde processvatten



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
Owner	MIHÄ	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Checked by	MIHÄ	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Owner	HÖGSKOLAN PÅ ÅLAND	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Owner	Clean Kalle ångkrets	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Owner's number	1	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Date	09.05.19	Checked by	Approved by - sign	Approved by - name
Sheet		Checked by	Approved by - sign	Approved by - name

Bilaga 2

År	Tryck bar	Matströtemp temp °C	Marvank temp °C	tryck bar	Kondensat temp °C	rokgas O ₂	temp °C	tryck bar	brännare tid gång s	ml m ³ /h	m/s				
1	8,00	6,7	13,4	89	110	1,3	64,2	1,4	193	2431	6,75				
2	8,10	6,6	13,4	90,1	112	1,3	63,7	1,55	183	2717	7,55				
3	8,20	6,3	13,4	90,7	111	1,3	62,8	1,45	181	2462	6,84				
4	8,30	6,1	13,4	93,5	111	1,3	62,4	1,45	170	2405	6,68				
5	8,40	6,2	13,4	93,9	108	1,3	61,3	1,45	192	2232	6,22				
6	8,50	6,4	13,4	92,2	107	1,3	61	1,45	173						
7	9,00	6,6	13,4	93,4	107	1,3	61,3	1,45	173						
totaltid	3600s	medel	6,41	13,40	91,33	1,30	109,43	1,30	62,39	4,00	188,50	1,46	1092,00	2445,40	6,81

Flöden	mv	ml
mv	0,141 kg/s	
ml	0,079 kg/s	
ml beräknat	0,013 kg/s	
ml beräknat	46,2418922 kg/h	
ml	0,580 m ³ /s	
ml tankbränsle	42,7 kg/h	
ml tankbränsle	0,012 kg/s	

bränslets effektiva värmemängd, Hl	46000,00 kJ/kg
Öbränsle beräknat	590,87 kW
Öbränsle tankbränsle	545,61 kW
Ölänga	388,66 kW
Ökond	20,57 kW
vikt tvätt	354,00 kg/h
Effekt per vikt tvätt	1,67 kW/kg
Effekt per vikt tvätt	1669,120403 kW/ton

It	13,01 m ³
vl	0,68 m ³ /s
W/h	742,98 m ³ /h
gasflöde	46,24 kg/h
n	1,235
lv	15,06735 m ³ /kgbränsle

Å	2764,73 kJ/kg
ik	261,84 kJ/kg
lmv	385,396 kJ/kg

Ångenerotorer	0,0097 kg/s
bränsleflöde steam	35 kg/h
bränsleflöde JUMAG	27,2 kg/h
Q bränsle steam	447,2 kW
Q bränsle JUMAG	347,6 kW

Verkningsgrader	0,566
np med beräknat bränsle	0,566
np med avställt värde	0,513
np Steam 1000	0,748
np JUMAG F10 1060	0,362

intervall 9min 18,2 0,580 m³/s

Bilaga 3

kondmedel	0,079	kg/s	20.2.2019 8.39.59	0,08	8114,73
	282,75	kg/h	20.2.2019 8.40.59	0,08	8119,37
max	0,15	kg/s	20.2.2019 8.41.59	0,07	8123,86
	540	kg/h	20.2.2019 8.42.59	0,07	8128,04
mätning kondens			20.2.2019 8.43.59	0,07	8132,25
20.2.2019 7.30.59	0,05	7699,8	20.2.2019 8.44.59	0,07	8136,28
20.2.2019 7.31.59	0,05	7702,52	20.2.2019 8.45.59	0,07	8140,17
20.2.2019 7.32.59	0,06	7706,12	20.2.2019 8.46.59	0,06	8144,06
20.2.2019 7.33.59	0,06	7710,03	20.2.2019 8.47.59	0,06	8147,82
20.2.2019 7.34.59	0,06	7713,82	20.2.2019 8.48.59	0,06	8151,45
20.2.2019 7.35.59	0,06	7717,18	20.2.2019 8.49.59	0,06	8155,27
20.2.2019 7.36.59	0,06	7720,64	20.2.2019 8.50.59	0,06	8159,04
20.2.2019 7.37.59	0,06	7724,21	20.2.2019 8.51.59	0,06	8162,84
20.2.2019 7.38.59	0,06	7728,08	20.2.2019 8.52.59	0,06	8166,68
20.2.2019 7.39.59	0,06	7731,85	20.2.2019 8.53.59	0,06	8170,42
20.2.2019 7.40.59	0,07	7735,78	20.2.2019 8.54.59	0,06	8173,95
20.2.2019 7.41.59	0,08	7740,31	20.2.2019 8.55.59	0,06	8177,44
20.2.2019 7.42.59	0,08	7744,86	20.2.2019 8.56.59	0,06	8180,79
20.2.2019 7.43.59	0,07	7749,18	20.2.2019 8.57.59	0,05	8183,97
20.2.2019 7.44.59	0,07	7753,17	20.2.2019 8.58.59	0,05	8186,96
20.2.2019 7.45.59	0,07	7757,53	20.2.2019 8.59.59	0,05	8190,23
20.2.2019 7.46.59	0,09	7763,15	20.2.2019 9.00.59	0,06	8193,52
20.2.2019 7.47.59	0,11	7769,97	20.2.2019 9.01.59	0,05	8196,56
20.2.2019 7.48.59	0,13	7777,49	20.2.2019 9.02.59	0,05	8199,77
20.2.2019 7.49.59	0,13	7785,08	20.2.2019 9.03.59	0,06	8203,34
20.2.2019 7.50.59	0,12	7792,28	20.2.2019 9.04.59	0,06	8206,93
20.2.2019 7.51.59	0,11	7799,09	20.2.2019 9.05.59	0,06	8210,39
20.2.2019 7.52.59	0,11	7805,45	20.2.2019 9.06.59	0,06	8213,88
20.2.2019 7.53.59	0,1	7811,76	20.2.2019 9.07.59	0,06	8217,34
20.2.2019 7.54.59	0,1	7817,54	20.2.2019 9.08.59	0,05	8220,58
20.2.2019 7.55.59	0,08	7822,47	20.2.2019 9.09.59	0,05	8223,74
20.2.2019 7.56.59	0,08	7826,96	20.2.2019 9.10.59	0,06	8227,09
20.2.2019 7.57.59	0,07	7831,33	20.2.2019 9.11.59	0,06	8230,42
20.2.2019 7.58.59	0,07	7835,39	20.2.2019 9.12.59	0,05	8233,59
20.2.2019 7.59.59	0,06	7839,27	20.2.2019 9.13.59	0,05	8236,65
20.2.2019 8.00.59	0,07	7843,63	20.2.2019 9.14.59	0,05	8239,91
20.2.2019 8.01.59	0,08	7848,37	20.2.2019 9.15.59	0,05	8243,05
20.2.2019 8.02.59	0,08	7853,18	20.2.2019 9.16.59	0,06	8246,41
20.2.2019 8.03.59	0,08	7858	20.2.2019 9.17.59	0,05	8249,74
20.2.2019 8.04.59	0,09	7863,09	20.2.2019 9.18.59	0,05	8252,98
20.2.2019 8.05.59	0,1	7868,87	20.2.2019 9.19.59	0,06	8256,43
20.2.2019 8.06.59	0,11	7875,2	20.2.2019 9.20.59	0,06	8259,99
20.2.2019 8.07.59	0,11	7881,71	20.2.2019 9.21.59	0,06	8263,56
20.2.2019 8.08.59	0,11	7888,44	20.2.2019 9.22.59	0,06	8267,19
20.2.2019 8.09.59	0,13	7895,88	20.2.2019 9.23.59	0,06	8270,68
20.2.2019 8.10.59	0,13	7903,69	20.2.2019 9.24.59	0,06	8274,25
20.2.2019 8.11.59	0,12	7910,95	20.2.2019 9.25.59	0,06	8277,64
20.2.2019 8.12.59	0,12	7917,99	20.2.2019 9.26.59	0,05	8280,77
20.2.2019 8.13.59	0,12	7925,05	20.2.2019 9.27.59	0,05	8283,99
20.2.2019 8.14.59	0,11	7931,58	20.2.2019 9.28.59	0,06	8287,35
20.2.2019 8.15.59	0,11	7937,83	20.2.2019 9.29.59	0,06	8290,7
20.2.2019 8.16.59	0,11	7944,32	20.2.2019 9.30.59	0,06	8294,06
20.2.2019 8.17.59	0,11	7951,09	20.2.2019 9.31.59	0,06	8297,5
20.2.2019 8.18.59	0,12	7958,26	20.2.2019 9.32.59	0,05	8300,53
20.2.2019 8.19.59	0,13	7965,79	20.2.2019 9.33.59	0,05	8303,56
20.2.2019 8.20.59	0,13	7973,53	20.2.2019 9.34.59	0,06	8306,87
20.2.2019 8.21.59	0,13	7981,29	20.2.2019 9.35.59	0,05	8310,11
20.2.2019 8.22.59	0,13	7989,21	20.2.2019 9.36.59	0,06	8313,43
20.2.2019 8.23.59	0,13	7997,22	20.2.2019 9.37.59	0,05	8316,33
20.2.2019 8.24.59	0,14	8005,54	20.2.2019 9.38.59	0,05	8319,57
20.2.2019 8.25.59	0,14	8014,02	20.2.2019 9.39.59	0,05	8322,82
20.2.2019 8.26.59	0,14	8022,66	20.2.2019 9.40.59	0,05	8325,85
20.2.2019 8.27.59	0,15	8031,5	20.2.2019 9.41.59	0,05	8329,1
20.2.2019 8.28.59	0,15	8040,35	20.2.2019 9.42.59	0,06	8332,57
20.2.2019 8.29.59	0,15	8049,24	20.2.2019 9.43.59	0,05	8335,79
20.2.2019 8.30.59	0,14	8057,73	20.2.2019 9.44.59	0,05	8338,98
20.2.2019 8.31.59	0,14	8065,88	20.2.2019 9.45.59	0,06	8342,53
20.2.2019 8.32.59	0,13	8073,67	20.2.2019 9.46.59	0,06	8346,16
20.2.2019 8.33.59	0,12	8080,81	20.2.2019 9.47.59	0,06	8350,03
20.2.2019 8.34.59	0,11	8087,54	20.2.2019 9.48.59	0,06	8353,64
20.2.2019 8.35.59	0,1	8093,68	20.2.2019 9.49.59	0,06	8357,52
20.2.2019 8.36.59	0,1	8099,5	20.2.2019 9.50.59	0,07	8361,68
20.2.2019 8.37.59	0,09	8104,84	20.2.2019 9.51.59	0,08	8366,38
20.2.2019 8.38.59	0,08	8109,94	20.2.2019 9.52.59	0,07	8370,79
			20.2.2019 9.53.59	0,07	8374,93

Bilaga 5

flöde processvatten genom värmeväxlare	
medel	2,8 kg/s
Max	2,81 kg/s
22.2.2019 9.45.41	2,81 kg/s
22.2.2019 9.46.41	2,81 kg/s
22.2.2019 9.47.41	2,79 kg/s
22.2.2019 9.48.41	2,77 kg/s
22.2.2019 9.49.41	2,79 kg/s
22.2.2019 9.50.41	2,78 kg/s
22.2.2019 9.51.41	2,77 kg/s
22.2.2019 9.52.41	2,8 kg/s
22.2.2019 9.53.41	2,81 kg/s
22.2.2019 9.54.41	2,79 kg/s
22.2.2019 9.55.41	2,79 kg/s
22.2.2019 9.56.41	2,78 kg/s
22.2.2019 9.57.41	2,79 kg/s
22.2.2019 9.58.41	2,8 kg/s
22.2.2019 9.59.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.00.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.01.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.02.41	2,8 kg/s
22.2.2019 10.03.41	2,8 kg/s
22.2.2019 10.04.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.05.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.06.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.07.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.08.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.09.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.10.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.11.41	2,76 kg/s
22.2.2019 10.12.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.13.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.14.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.15.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.16.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.17.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.18.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.19.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.20.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.21.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.22.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.23.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.24.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.25.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.26.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.27.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.28.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.29.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.30.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.31.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.32.41	2,76 kg/s
22.2.2019 10.33.41	2,76 kg/s
22.2.2019 10.34.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.35.41	2,77 kg/s
22.2.2019 10.36.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.37.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.38.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.39.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.40.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.41.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.42.41	2,8 kg/s
22.2.2019 10.43.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.44.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.45.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.46.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.47.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.48.41	2,78 kg/s
22.2.2019 10.49.41	2,79 kg/s
22.2.2019 10.50.41	2,78 kg/s

medeltal t _{in}	90,5	°C
medeltal t _{ut}	97,8	°C
cp	4,205	KJ/kg**C
P värmeväxlare	85,5	kW