



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jarkko Tolkki

Tulitorvi-tuliputkikattilan käytön optimointi teollisuuspesulassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

1.6.2021

Tekijä Otsikko	Jarkko Tolkki Tulitorvi-tuliputkikattilan käytön optimointi teollisuuspesulassa
Sivumäärä Aika	30 sivua + 5 liitettä 1.6.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Tutkintovastaava Tomi Hämäläinen Huoltopäällikkö Petri Sinkkonen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli Berendsen Textile Service Oy:n maakaasukulutuksen pienentäminen Tuusulan teollisuuspesulassa tulitorvi-tuliputkikattilan energiatehokkuutta parantamalla. Berendsen on osa Elis-konsernia, jonka yksi strategisista tavoitteista on energiankulutuksen pienentäminen.</p> <p>Aluksi tutustuttiin pesulan kattilalaitoksen pääkomponentteihin, jonka jälkeen selvitettiin erilaisia keinoja kattilan hyötysuhteen parantamiseksi. Toimenpiteinä laskettiin palamisilman esilämmittimen hankinnalla saavutettava kulutussäästö, tarkastettiin mahdollisuus ottaa savukaasuista enemmän lämpöä talteen syöttöveteen, nostettiin kattilan painetasoa ja säädettiin polttimen polttoaine-ilmasuhdetta. Näillä toimenpiteillä ei vielä saavutettu selkeitä vaikutuksia pesulan energiankulutukseen, joten poltin päädyttiin vaihtamaan malliin, joka mahdollistaa paremman palamisen hyötysuhteen. Polttimen vaihdon vaikutus havaittiin pesulan maakaasun kokonaiskulutuksen laskuna.</p> <p>Osana kattilan kulutuskäyttäytymisen tutkintaa havaittiin myös, että Berendsenillä matonpesu on työvaatteiden pesua energiatehokkaampi prosessi.</p>	
Avainsanat	kattila, maakaasu, energiatehokkuus

Author Title	Jarkko Tolkki Boiler Efficiency in an Industrial Laundry Facility
Number of Pages Date	30 pages + 5 appendices 1 June 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	
Instructors	Hämäläinen Tomi, Degree Director Sinkkonen Petri, Chief of maintenance
<p>The aim of the thesis was to reduce natural gas consumption in Berendsen Textile Service Ltd's industrial laundry facility in Tuusula by improving the energy efficiency of a fire-tube boiler. Berendsen is part of Elis Group, one of whose current strategic goals is to reduce energy consumption.</p> <p>Initially, the main components of a boiler unit were introduced. After this, various ways to improve the efficiency of Berendsen's boiler unit were explored. The following measures were taken: possibilities to lower natural gas consumption with the purchase of a combustion air preheater were calculated, the possibility of recovering more heat from the flue gases into the feed water was examined, different boiler pressure levels were tested, and the burner fuel-air ratio was adjusted. These measures did not yet have a clear impact on the energy consumption of the laundry facility, therefore it was decided to change the burner to a model that allows for better combustion efficiency. Replacing the burner was discovered to have a lowering effect on the total natural gas consumption of the laundry facility.</p> <p>While studying the boiler's consumption behavior, it was also found that Berendsen's carpet cleaning process is more energy-efficient than garment cleaning.</p>	
Keywords	boiler, natural gas, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Berendsen Textile Service Oy	2
3	Pesulan kattilalaitos	3
3.1	Tulitorviputkikattila	3
3.1.1	Tulitorvi-tuliputkikattilat yleisesti	3
3.1.2	Vapor HA-35	5
3.2	Kaasupoltin	5
3.2.1	Kaasupolttimet yleisesti	5
3.2.2	Oilon GP-90P	5
3.3	Tehonsäädin	6
3.3.1	Tehonsäätimet yleisesti	6
3.3.2	Siemens RWF40	7
3.4	Ekonomaiserit	8
3.4.1	Ekonomaiserit yleisesti	8
3.4.2	Termopoint EKO-1 RS	8
3.5	Syöttövesisäiliö	9
3.6	Kattilavesi	9
3.7	Syöttövesipumput	10
4	Pesulan kulutukset	10
4.1	Maakaasun, veden ja sähkön kulutukset	11
4.2	Tuotantopäivän aikaisen kulutuksen seuranta	12
4.3	Tuotannon ulkopuolisen ajan kulutusseuranta	13
4.4	Maakaasun kulutus suhteutettuna tuotantomäärään	14
4.5	Maakaasukustannukset	15
5	Maakaasu	16
6	Keinot kulutuksen pienentämiseksi	18

6.1	Palamisilman esilämmitys	19
6.2	Syöttöveden esilämmitys	20
6.3	Painetason muutos	20
6.3.1	Muutokset	20
6.3.2	Vaikutusten arviointi	21
6.4	Polttimen polttoaineilmasuhteen säätö	22
6.4.1	Muutokset	22
6.4.2	Vaikutusten arviointi	24
6.5	Polttimen vaihto	25
6.5.1	Muutokset	25
6.5.2	Vaikutusten arviointi	26
7	Kokonaiskulutuksen pitkäaikainen trendi	27
8	Yhteenveto	27
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. Kattilalaitoksen PI-kaavio	
	Liite 2. Kattilahuollon mittapöytäkirja	
	Liite 3. Uuden poltinasennuksen palamisilman mittapöytäkirja	
	Liite 4. Maakaasun kulutuksen seuranta 5.2.2019 ja 6.2.2019	
	Liite 5. Maakaasun yökulutusten seuranta	

Lyhenteet

kWh/kg Kilowattituntia per kilogramma, tuotantomäärään suhteutettu energiankulutus

LUVO Palamisilman esilämmitin (luftvorwärmer)

MJ/kg Megawattia per kilogramma

MJ/m³n Megajoulea per kuutiometri, normitettu

1 Johdanto

Berendsen Textile Service Oy:n Tuusulan pesulan pesuprosessin vaatima lämpöenergia tuotetaan Vapor HA-35 -tulitorvi-tuliputkihöyrykattilalla. Tässä insinööriyössä paneudutaan pesulassa olevaan tulitorvi-tuliputkikattilaan, sen rakenteeseen ja toimintaan sekä maakaasuun polttoaineena. Tarkoituksena on selvittää keinoja ja toteuttaa toimenpiteitä kattilan hyötysuhteen parantamiseksi. Tehtyjen muutosten vaikutusten toteamiseksi seurataan pesulan maakaasukulutusta.

Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen on aiheena ajankohtainen. Suomi on asettanut tavoitteeksi tulla hiilineutraaliksi yhteiskunnaksi vuoteen 2035 mennessä. Energiatehokkuuden parantaminen ja sitä kautta energiankulutuksen pienentäminen vaikuttaa suoraan ilmastonmuutokseen, sillä jopa 80 % ilmastoa lämmittävistä kasvihuonekaasuista on peräisin energiantuotannosta. (Kohti hiilineutraalia Suomea 2019; Energia- ja ilmastostrategia 2020.)

Energiatehokkuuden parantamisen myötä pesulan kasvihuonepäästöt pienenevät ja yritys osoittaa vastuullisuutensa ja kantavansa oman kortensa kekoon ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Maakaasun kulutuksen pienenemisellä on myös suora vaikutus pesulan energiakustannuksiin. Berendsen Textile Service Oy kuuluu Elis-konserniin, jonka tavoitteena on yritys vastuuvaatimusten mukaisesti pienentää energiankulutustaan 35 % vuoteen 2025 mennessä suhteessa vuoden 2010 tasoon.

2 Berendsen Textile Service Oy

Tämän kehitystyön tilaaja, Berendsen Textile Service Oy vuokraa tekstiileitä ja palveluita yritysten toimitiloihin. Sen palveluihin kuuluvat työvaatteet, vaihtomatot, hygienia- ja puhdistusvälineet, mopit ja teollisuuspyyhkeet. Berendsen tuotiin yritysostojen avulla Suomen markkinoille 2007 ja Tuusulaan rakennettiin tuohon aikaan huippumoderni teollisuuspesula, jonne yrityksen toiminnot edelleen pääasiassa keskittyvät. Tammikuussa 2018 Tuusulassa valmistui ja otettiin käyttöön pesulan laajennus, jonka seurauksena tuotantokapasiteetti vaihtomattojen osalta kasvoi yli kaksinkertaiseksi ja työvaatteiden osalta tuli yli puolet lisää. Berendsen Textile Service Oy palvelee kaikenkokoisia asiakkaita ympäri Suomea. Tuusulan pesulan lisäksi yritys tuottaa pesulapalveluita myös alueellisten alihankkijoiden kautta. Vuonna 2019 Berendsen Textile Service Oy:n liikevaihto oli 13,2 miljoonaa euroa ja se työllisti yli 60 ihmistä. (Berendsen Textile Service Oy – Osa Elis-konsernia 2020: 3.)

Laajennusta rakennettaessa Berendsen Textile Service Oy ostettiin osaksi Elis-konsernia, maailmanlaajuisia johtavaa tekstiili-, hygienia- ja laitospalveluja tarjoavaa yritystä. Elis työllistää 50 000 työntekijää 28 maassa Euroopassa ja Etelä-Amerikassa. Elis-konsernin liikevaihto vuonna 2019 oli 3,2 miljardia euroa. (Berendsen Textile Service Oy – Osa Elis-konsernia 2020: 2.)

Berendsenin Tuusulan pesulatuotanto voidaan jakaa työvaate-, moppi- ja mattolinjastoon. Työvaateosastolla on 21 yksikköpesukonetta, joista 18 kuluttaa höyryä pesuprosessin lämmitykseen. Työvaateosasto jaetaan kolmeen linjastoon: CL1, CL2 ja CL3. Linjoilla 1 ja 2 pestään yleispyykkiä ja 3-linjalla valkopyykkiä elintarviketeollisuuteen. Vaatelinjojen tuotantokapasiteetti on yhteensä 760 kg. Pesun jälkeen vaatteet viikataan ja pakataan valmiiksi lähteviksi jakelijan reitille. Puhtaita ja suojaavia työvaatteita toimitetaan Tuusulan pesulasta päivittäin lähes 4 000 kiloa eri teollisuuden ja palvelualan yrityksiin Suomessa.

Matonpesulinjalla pestään nitrilikumipohjaisia vaihtomattoja. Matot vuokrataan asiakkaille ja niitä löytyy standardikokoisina sekä asiakas voi myös halutessaan teettää omanlaisensa vahtomaton. Automatisoidulla matonpesulinjastolla esitäytetty pesuerä kulkee pesulinjaston läpi. Linjastolla on kaksi tarvittaessa samanaikaisesti toimivaa

putkipesukonetta, joissa pesuerä kulkee pesukoneen kahdeksan rummun läpi. Jokaisessa rummussa on eri pesuohjelma. Matonpesukoneiden kapasiteetti on yhteensä 1 520 kg. Päivittäinen tuotanto on noin 20 000 kg, mikä tarkoittaa, sitä että jakeluun lähtee päivittäin keskimäärin noin 2 500 mattoa.

Tuusulan pesulassa on vastikään perustettu oma linjasto vaihtomopeille. Lisäksi Tuusulan pesulasta toimitetaan asiakkaille esimerkiksi wc-hygieniatarvikkeita ja käsipyyherullia.

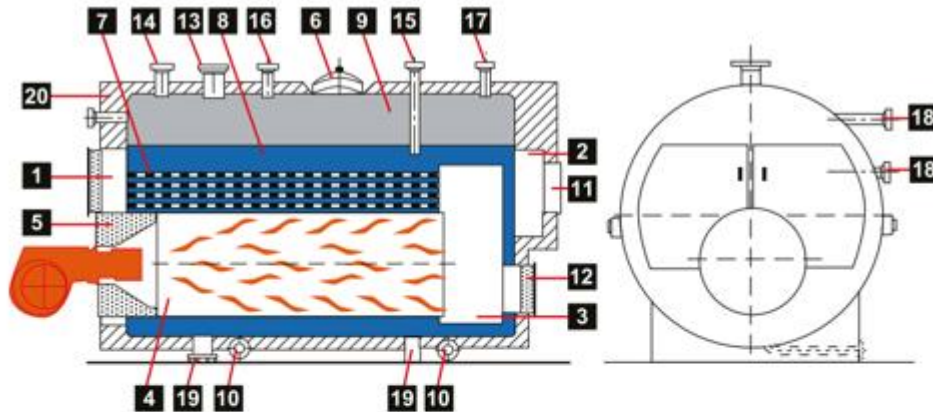
3 Pesulan kattilalaitos

Berendsen Textile Service Oy:n pesulassa on kattilalaitos pesuprosessien vaatiman lämmön tuottamiseksi. Tässä luvussa tutustutaan kattilalaitoksen pääkomponentteihin ja Tuusulassa olevaan kattilalaitokseen. Berendsenin kattilalaitoksen PI-kaavio on tämän insinööriyön liitteenä (Liite1).

3.1 Tulitorviputkikattila

3.1.1 Tulitorvi-tuliputkikattilat yleisesti

Tulitorvi-tuliputkikattilat ovat suurvesitilakattiloita. Polttoaineet tulitorvi-tuliputkikattiloissa ovat yleisimmin nestemäisiä tai kaasumaisia. Kattilan poltin muuttaa palamisessa polttoaineen sisältämän kemiallisen energian lämpöenergiaksi savukaasuihin. Savukaasut kulkevat tulitorvesta lieskauunin kautta tuliputkiin. Samalla savukaasujen lämpö siirtyy kattilan lämmönsiirtopintojen läpi lämpöä kuljettavaan väliaineeseen, veteen. Vesitilassa muodostuu höyryä, joka nousee kattilan yläosaan ja sieltä eteenpäin pisananerottimen kautta höyryn lämpöenergiaa hyödyntäviin prosesseihin. Lisäämällä kattilan vetoja eli savukaasujen kierroksia vesitilan läpi voidaan lisätä kattilan lämmöntalteenottoa. Vetoja lisäämällä kuitenkin kasvatetaan kattilan kokoa. Tuliputkien jälkeen savukaasut jatkavat matkaa savupiippuun. Kuvassa 1 on kuvattuna tulitorvi-tuliputkihöyrykattilan rakenne. (Huhtinen 2000: 111–112.)



- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. Kääntökammio | 11. Savukanavan yhde |
| 2. Savukaasun kokoojakammio | 12. Räjähdysluukku |
| 3. Lieskauuni | 13. Päähöyry-yhde |
| 4. Tulitorvi | 14. Tasosäätimen yhde |
| 5. Poltinlevy muurauksineen | 15. Syöttövesiyhteet |
| 6. Miesluukku | 16. Apuhöyry-yhde |
| 7. Tuliputket | 17. Varoventtiiliyhteet |
| 8. Vesitila | 18. Vesilasi |
| 9. Höyrytila | 19. Jalat ja liikuntarullasto |
| 10. Tyhjennys ja ulospuhallus | 20. Eristys |

Kuva 1. Tulitorvi-tuliputkikattilan poikkileikkauskuva (Vapor TTK-höyrykattilat – tekniset tiedot)

Suuren vesitilavuuden vuoksi tulitorvi-tuliputkikattilat varastoivat suuren määrän energiaa. Sen ansiosta ne pystyvät vastaamaan vaihtelevan kulutuksen piikkeihin ja tuottamaan suuria määriä kuumaa vettä tai höyryä suhteellisen lyhyessä ajassa. Tästä syystä ne sopivat hyvin teollisuuden prosesseihin. Kattilan säteilyhäviöt ovat yleensä kuormasta riippuen 1–2 % kattilan nimellistehosta. Siksi suunnitteluvaiheessa on syytä mitoittaa kattilan nimellisteho lähelle käyttötehoa. Tulitorvikattiloiden hyötysuhteet lämmöntuotannossa ovat yleensä noin 0,70 luokkaa ja käyttöikä yli 25 vuotta. Suurvesitilakattila tulee höyryntuotannossa kyseeseen vesiputkikattiloiden sijaan yleensä silloin, kun tarvittava höyryn määrä on vähäinen, alle 50 kg/s ja paine alle 40 baaria. Suuremman paineen tulitorvikattiloiden putkia ja kammioita tulisi paksunuttaa, mistä aiheutuvat kulut eivät tee hankintaa enää kannattavaksi. Vesiputkikattiloissa voidaan saavuttaa samat kapasiteetit ja paineet. Siksi tulitorvi-tuliputkikattiloita ei käytetä enää sähköntuotannossa. (Teir 2003: 52–53; Perttula 2000: 170.)

3.1.2 Vapor HA-35

Berendsen Textile Service Oy:llä on käytössä Vapor HA-35 -tulitorvi-tuliputkikattila. Se on teholtaan 1 MW, ja se tuottaa vedestä 1 540 kg kylläistä höyryä tunnissa. Sen korkein käyttöpaine on 13 baaria ja korkein käyttölämpötila 195 °C. Vapor HA-35 on yhdellä kääntökammilla varustettu 3-vetoinen tulitorvi-tuliputkikattila, jossa on yksi tulitorvi ja yksi lieskauuni sekä kaksi tuliputkien kautta kulkevaa kaasuvirtaa. Kattilalta lähtevässä höyrylinjassa oleva paineenalennusventtiili takaa, että höyry on Berendsenin pesukoneille sopivaa kattilan paineesta riippumatta.

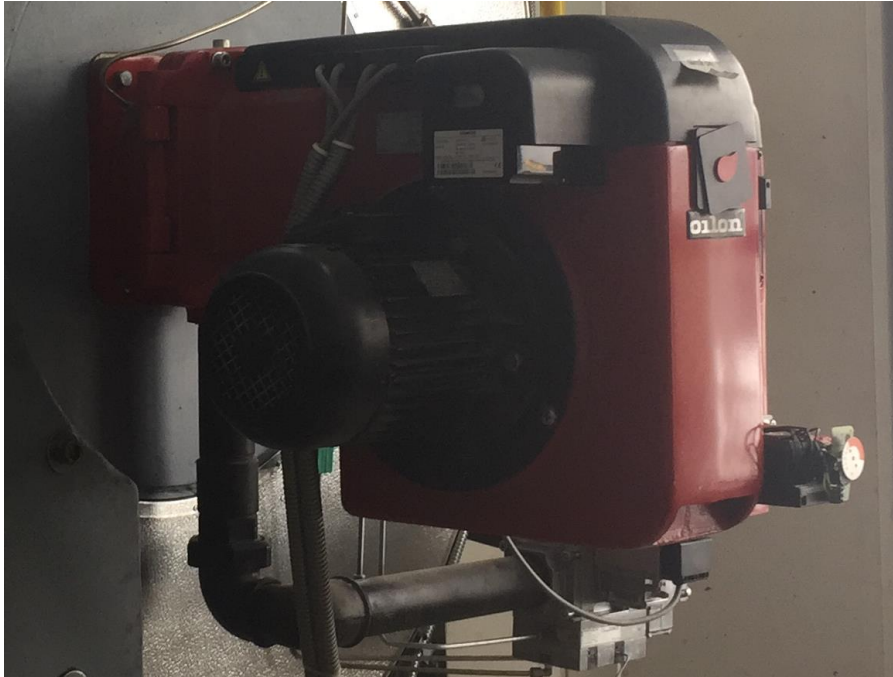
3.2 Kaasupoltin

3.2.1 Kaasupolttimet yleisesti

Kaasupolttimet voidaan jakaa säätötapansa mukaan kolmeen luokkaan: yksitehoisiin, kaksitehoisiin sekä moduloiviin polttimiin. Yksitehoisessa polttimessa kaasun määräsäätöventtiilissä on vain yksi asento, kun taas kaksitehoisessa polttimessa voidaan vaihdella kahden eri kaasunmääräasetuksen, yleensä täystehon ja puolitehon, välillä. Moduloivassa polttimessa kaasun määrä säätyy portaattomasti. (Perttula 2000: 170–171.)

3.2.2 Oilon GP-90P

Berendsen Textile Service Oy:n Vapor-kattilan polttimena on Oilon GP-90 P (kuva 2). GP-90P on kaksitehoinen ja täysautomaattinen kaasupoltin. Kun poltin on kytketty päälle, se toimii elektronisen ohjauslaitteen ohjaamana painerajojen (ylä- ja alaraja) välillä. Käyntijakso määräytyy tehontarpeen mukaan. Poltinta voidaan käyttää myös osatehon asetuksella, mikäli tehontarve on vähäinen. Polttimen puhallin pitää huolen, että palamiseen saadaan riittävä ja tasainen ilmanpaine. Puhaltimen moottori pyörii vakionopeutta ja ilmansäätöpelti säättää puhaltimelle tulevaa ilmamäärää. Kaasupoltin kuluttaa jokaista tuotettua 10 kWh:a kohti 13 m³ palamisilmaa. Palamisilma otetaan kattilahuoneen sisäilmasta, ja korvausilma tulee suoraan ulkoa. Jotta poltin toimii halutulla tavalla, on ympäristön lämpötila oltava 0–40 °C. (Kaasupolttimen käyttö- ja huolto-ohjeet: 2, 8.)



Kuva 2. Oilonin kaasupoltin GP-90 P Vapor HA-35 kattilassa.

Oilon GP-90P -polttimia voidaan käyttää höyrykattiloiden lisäksi useimmissa lämminvesikattiloissa ja lämminilmakehittimissä. GP-90 P:ssä on mahdollista käyttää polttoaineena maakaasun lisäksi myös kolmannen kaasuryhmän alaryhmän R nestekaasuja. (Kaasupolttimen käyttö- ja huolto-ohjeet: 2.)

3.3 Tehonsäädin

3.3.1 Tehonsäätimet yleisesti

Tehonsäädin ohjaa poltinta kattilassa vallitsevan paineen tai lämpötilan mukaan. Kun höyryä kulutetaan prosesseissa ja paine tai lämpötila laskee, tehonsäädin käynnistää polttimen ja pyrkii näin ylläpitämään paineen ja/tai lämpötilan asetusarvoa. Kattilan saavuttaessa tavoitetason tehonsäädin pysäyttää polttimen tai laskee sen tehoa.

3.3.2 Siemens RWF40

Tuusulan pesulassa on käytössä Siemens RWF40 -tehonsäädin (kuva 3), joka saa tulosignaalin Vapor HA35 -kattilan painemittauksesta. Säätimelle asetetaan tavoitearvo sekä ala- ja ylärajat, joiden välillä paine pyritään pitämään kattilassa. Kyseessä on PID-säädin, joka ennakoitua muuttaa poltintehoa lähestyttäessä esiasetettua paineen ylä- tai alarajaa. (RWF40... kompakti yleissäädin käyttäjän käsikirja.)



Kuva 3. Siemens RWF40 -tehonsäätimen ohjausyksikkö (RWF40... kompakti yleissäädin).

Pesulan tehonsäätimeen on asetettu kattilan tavoitepainetasoksi 4,5 baaria. Alarajavoksi on asetettu 4 baaria, jota lähestyttäessä polttimen tehoa nostetaan ja lähestyttäessä tavoitetasoa 4,5 baaria polttimen teho lähtee laskuun. Tuotannon ulkopuolista aikaa varten, kun prosesseille ei tarvitse tuottaa korkeapaineista höyryä, tehonsäätimessä on kytkin matalapainekäytölle, jolloin tehonsäädin alkaa ylläpitämään alhaisempaa painetasoa. Pesulassa on käytetty matalapainetasona 2,5 baaria. Matalapainekäytön tarkoituksena on, että kattila voi käydä alhaisemmalla teholla ja poltin selviää vähemmällä käynnistyskerroilla. Tällöin poltin kuluttaa vähemmän polttoainetta. Siemens RWF40-tehonsäädin on käytössä yleensä lämmöntuotantolaitoksissa, joiden polttoaineena käytetään öljyä tai kaasua (RWF40... kompakti yleissäädin: 6).

3.4 Ekonomaiseri

3.4.1 Ekonomaiselit yleisesti

Kattilan jälkeen mahdollista savukaasuista on vielä mahdollista ottaa lämpöenergiaa talteen ekonomaiserialla. Ekonomaiseri eli syöttöveden esilämmitin on lämmönvaihdin, jossa muuten hukkaan menevällä savukaasujen lämmöllä lämmitetään syöttövettä. Ekonomaiserialla saadaan parannettua kattilan hyötysuhdetta, kun esilämmitetty vesi vaatii kattilassa vähemmän energiaa höyrystyäkseen. (Huhtinen 2000: 112.)

Savukaasun lämpötilan laskeminen liian alhaiseksi aiheuttaa kuitenkin siinä olevan veden kondensoitumisen. Jos savukaasut jäähtyvät alle kastepisteen, vesi aiheuttaa korroosiota kattilan materiaaleille tai mikäli polttoaine sisältää rikkiä, savukaasuista tulee happamia, syövyttäviä aineita. Lisäksi ulkolämpötilan ollessa alle 0 °C savukaasujen vesi voi jäätymä pinoille ja siten aiheuttaa vahinkoa. Kymmenen asteen nosto syöttöveden lämpötilaan ekonomaiserialla parantaa hyötysuhdetta noin kaksi prosenttia. (Miscellaneous boiler types, economisers and superheaters.)

3.4.2 Termopoint EKO-1 RS

Berendsenin Vapor-kattilassa oleva Termopoint EKO-1RS -ekonomaiseri on säädetty termostaatilla toimimaan halutulla lämpötila-alueella. Vapor HA-35 -kattilan ohjeavoina savukaasujen lämpötila ei saa olla yli 300 °C:ta eikä saa laskea alle 85 °C:n (Vapor höyrykattila – Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet 2006: 17). Taulukossa 1 on Berendsenin ekonomaiserin mitoitus- ja suunnitteluarvot.

Taulukko 1. Termopoint EKO-1RS ekonomaiserin tekniset tiedot (Ekonomaiserin käyttö- ja huolto-ohje)

Mitoitusarvot	Savukaasu	240 °C / 140 °C
	Vesi	105 °C / 133 °C
	Teho	54 kW
Suunnitteluarvot	10 bar / 200 °C, koepaine 25,3 bar	

3.5 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliö toimii varaajana kattilavedelle. Veden lämpötila pidetään lähellä höyrystymispistettä. Kattilan yläosasta johdetaan kattilaan pehmennetty lisävesi. Syöttövesisäiliön yläosassa on myös kaasunpoistin, josta kaasut poistetaan poistoventtiilin kautta ulos. Berendsenin kattilan syöttövesisäiliö on teräksestä valmistettu lieriömäinen painelaite.

3.6 Kattilavesi

Kattilaveden käsittely on tärkeää, jotta kattilan lämmönsiirtopinnoille ei muodostu kerrostumia, hapettumia, eikä korroosiota. Tästä syystä kattilaveden tulee täyttää tietyt kriteerit, minkä johdosta sitä käsitellään eri kemikaaleilla ja seurataan pH-lukua, hapen määrää ja jäännöskovuutta.

Eri metalleille voidaan määrittää korroosiokestävyyden kannalta sopiva veden pH-alue. Yleensä kattilaveden pH-arvon on pidettävä 9,6:n yläpuolella. Korkea pH-arvo ylläpitää kattilan pinnoilla olevaa suojaavaa magnetiittikalvoa. pH-arvo arvo säädetään kattiloissa syöttövesisäiliöön. (Perttula: 172.)

Kattilavedestä poistetaan happi, jotta kattilan putket eivät hapetu. Hapettumisen estämiseksi kattilan sisällä käytetään kattilaveden hapenpoistoon yleisesti natriumsulfiittia. Hapenpoistokemikaali liuotetaan veteen ja pumpataan annostelupumpulla syöttövesisäiliöön. (Perttula: 172–173.)

Kattilakiven muodostumisen ehkäisemiseksi kattilavettä pehmennetään lisäämällä siihen suoloja. Veden pehennys Berendsenin Vapor-kattilassa tapahtuu ajastetusti toimivalla pehennysuodattimella, jolla veteen lisätään suoloja.

Kattilaveden sähkönjohtavuuden mittauksen avulla voidaan automatisoida veden puhdistus. Kun veden sähkönjohtavuus saavuttaa tietyn raja-arvon, käynnistyy kattilan ulospuhallus, jossa kattilasta päästetään höyryä ulos ja syöttövesisäiliöstä otetaan tilalle uutta, käsiteltyä vettä.

3.7 Syöttövesipumput

Vapor HA-35 kattilalla on kaksi Grundfossin valmistamaa keskipakopumppua syöttövesipumppuina. Pumpuista on kerrallaan vain yksi käynnissä ja toinen on käyntivalmiudessa siltä varalta, jos käynnissä oleva pumppu vikaantuu. Pumput ovat sijoitettuina syöttövesisäiliön alapuolelle. Syöttövesipumppu pumppaa syöttövesisäiliön vettä kattilaan, jotta kattilaveden pinta ei laske liian alhaiseksi. Syöttövesipumput saavat käynnistyskäskyn kattilaveden pinnanmittauksen alarajasta.

4 Pesulan kulutukset

Berendsen Textile Service Oy:ssä seurataan päivittäisiä tuotantolukemia tuotantolinjakohtaisesti. Vaatepesutuotannon massamäärät tulevat SOL-pesuaineen annostelujärjestelmästä. Mattopyykin tuotantoluvut kirjataan ylös matonpesukoneiden laskureista. Lisäksi seurannassa on linjojen vedenkulutukset, pesuainemäärät, sähkön kulutukset ja kokonaismaakaasukulutus. Seuranta kattaa myös tuotantomäärään suhteutetut energian- ja vedenkulutukset. Berendsen Textile Service Oy:n tuotanto- ja kulutustietoja on käytetty tämän insinööriyön tutkimusmateriaalina.

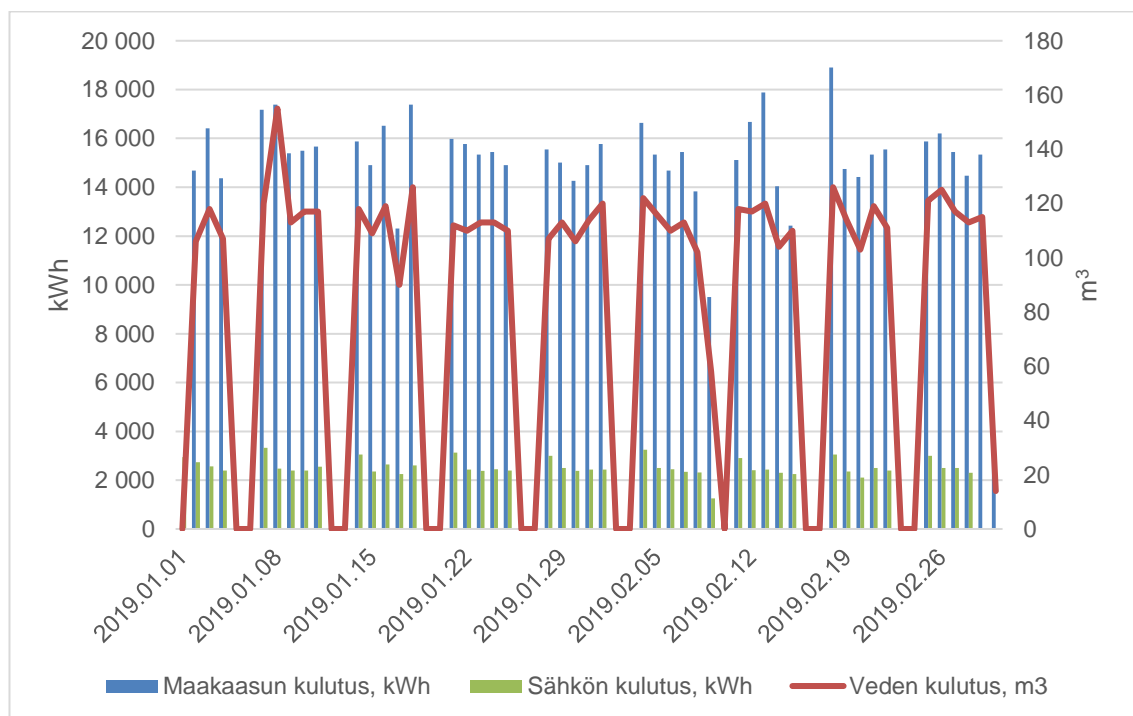
Pesulan maakaasun kokonaiskulutus koostuu höyrykattilan ja yhdeksän kuivausrummun kulutuksista. Kattilan kulutuksen eriyttämiseksi kokonaiskulutuksesta päätettiin hankkia ja asentaa kattilalle oma mittari polttimelle tulevaan maakaasuputkeen. Mittarin mitoittamiseksi Berendsenillä arvioitiin sen hetkiseksi kattilan maakaasukulutukseksi neljäsosa pesulan kokonaiskulutuksesta. Tilavuusvirtausmittari 40 m³/h

maksimivirtaukselle asennettiin 21.1.2019 ja kattilan kulutuksen seuranta aloitettiin 24.1.2019.

Seurannassa kirjattiin kulutusmittarin näytöltä lukemat ylös käynnistys- ja sammutusaikoina. Tällä saatiin eriytettyä päivä- ja yökulutukset. Lisäksi muutamana päivänä suoritettiin tarkemmat seurannat tuotantopäivän aikaisten kulutusvaihteluiden ja kulutushuippujen selvittämiseksi.

4.1 Maakaasun, veden ja sähkön kulutukset

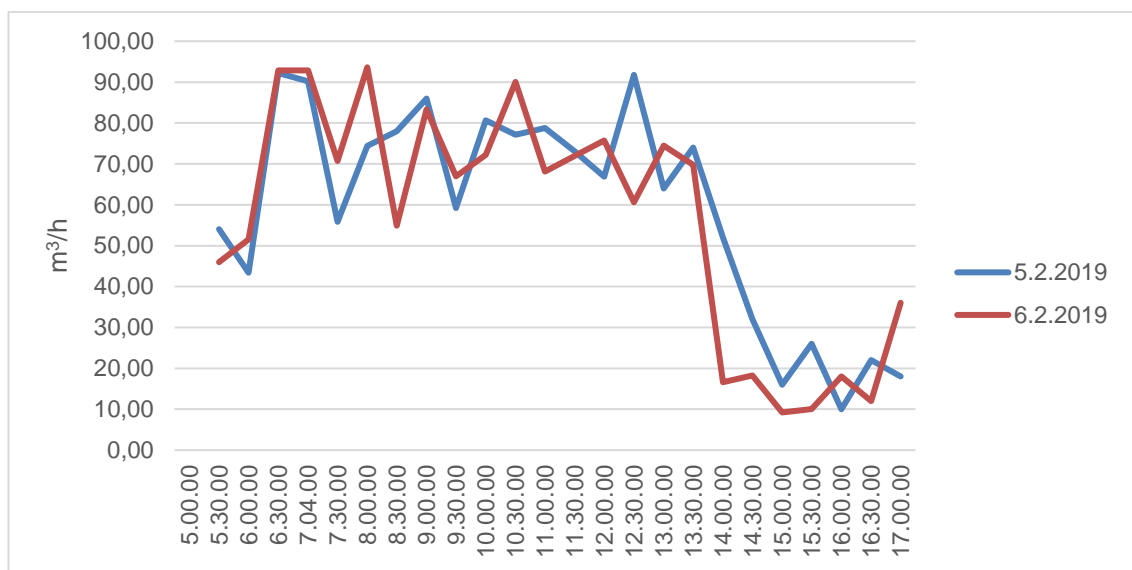
Kuvassa 4 näkyvät koko pesulan maakaasun, sähkön ja veden kulutukset tammi- ja helmikuussa 2019. Maakaasun kulutustaso oli kyseisen aikavälin tuotantopäivinä keskimäärin 16 000 kWh ja vedenkulutus 130 m³. Sähköä kului päivittäin keskimäärin 2 500 kWh. Pesulan energiamuotona maakaasu oli sähköön verrattuna merkittävä, yli kuusinkertainen.



Kuva 4. Maakaasun, sähkön ja veden kulutukset Tuusulan pesulassa tammi-helmikuussa 2019.

4.2 Tuotantopäivän aikaisen kulutuksen seuranta

Maakaasun kulutusmittarista otettiin ylös lukemat kahtena päivänä puolen tunnin välein, jotta saataisiin kuva kulutuksen vaihtelusta tuotantopäivän aikana. Tulokset on esitetty kuvassa 5. Kuvaajasta nähdään, että kun pesulan tuotanto käynnistyi, polttin joutui toimimaan maksimiteholla aamun ensimmäiset tunnit nostaakseen kattilan paineen 2,5 baarista tavoitepaineeseen eli 4,5 baariin. Kuvaajan piikeistä voidaan laskea polttimen käynnistymiskerrat. Kulutus oli korkeimmillaan noin 90 m³/h ja korkean kulutuksen taso (60–90 m³/h) jatkui aamusta noin kello 13:een asti, jolloin matonpesulinjan tuotantopäivä lopetettiin. Sen jälkeen kulutus putoaa ja jatkuu iltaan asti noin tasolla 15 m³/h.



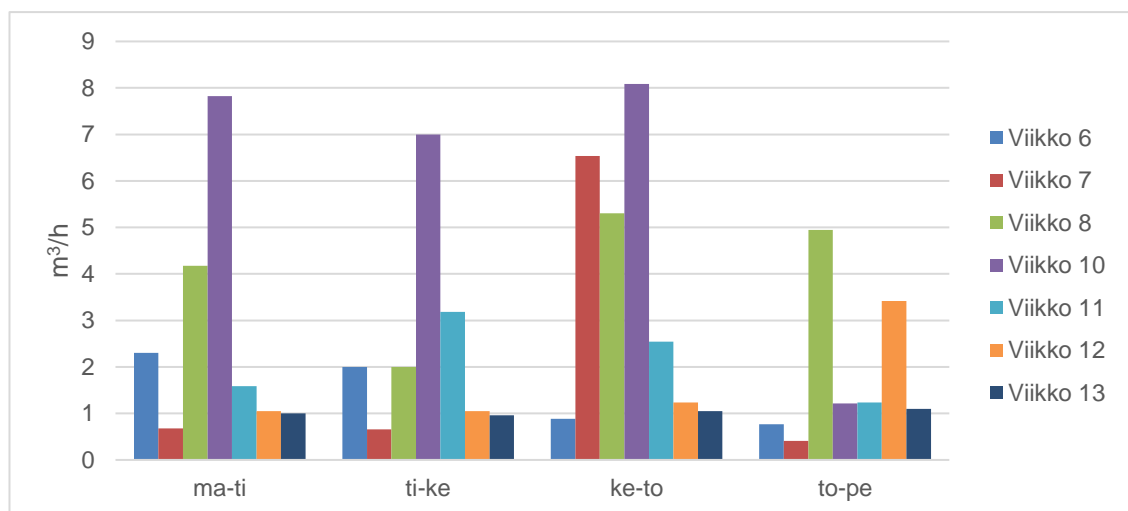
Kuva 5. Maakaasun kulutuksen seuranta 5.2.2019 ja 6.2.2019 (Liite 4).

Seurannasta huomattiin, että Berendsenin arvio kattilan kuluttamasta maakaasumäärästä oli paljon alhaisempi, kuin todellisuudessa ja näin ollen mahdollisesti tämän insinööriyön myötä saatavat säästöt maakaasukustannuksissa tulisivat olemaan merkittävämmät. Todellisuudessa kattila kattaa pesulan maakaasukulutuksesta noin puolet ja toinen puolikas kuluu pesulan kuivausrummuissa. Mittausten jälkeen todettiin, että mittari oli alimitoitettu ja näin ollen oli huomioitava, että siitä saadut tulokset eivät olisi täysin luotettavia.

4.3 Tuotannon ulkopuolisen ajan kulutusseuranta

Tuotantopäivän päätteeksi kirjatun kulutusmittarilukeman ja seuraavan tuotantopäivän käynnistysajan lukeman erotuksesta saatiin tuotannon ulkopuolinen maakaasukulutus. Kuvassa 6 on esitetty tuotannon ulkopuolisten aikojen maakaasukulutukset helmi-maaliskuussa 2019. Kulutustaso oli yöaikaan tyypillisesti noin 1–2 m³/h, mutta mittausaikana havaittiin useita tästä poikkeavia lukemia. Poikkeavien lukemien syyksi epäiltiin, että kattilan höyryventtiileitä ei aina päivän päätteeksi suljettu kunnolla. Pesuprosesseihin vievää höyrylinjaa on arviolta yli 100 m pesulan tiloissa ja venttiilien jäädessä auki kattilan höyryn lämpöenergiaa kuluu putkistojensäteilyhäviöihin. Tällöin poltin joutuu yöaikaan käynnistymään ylimääräisiä kertoja ylläpitääkseen painetasoa. Mahdollista oli myös, että hieman tyypillistä korkeampien lukemien aikoina kattila suoritti ulospuhalluksen kattilaveden puhdistamiseksi.

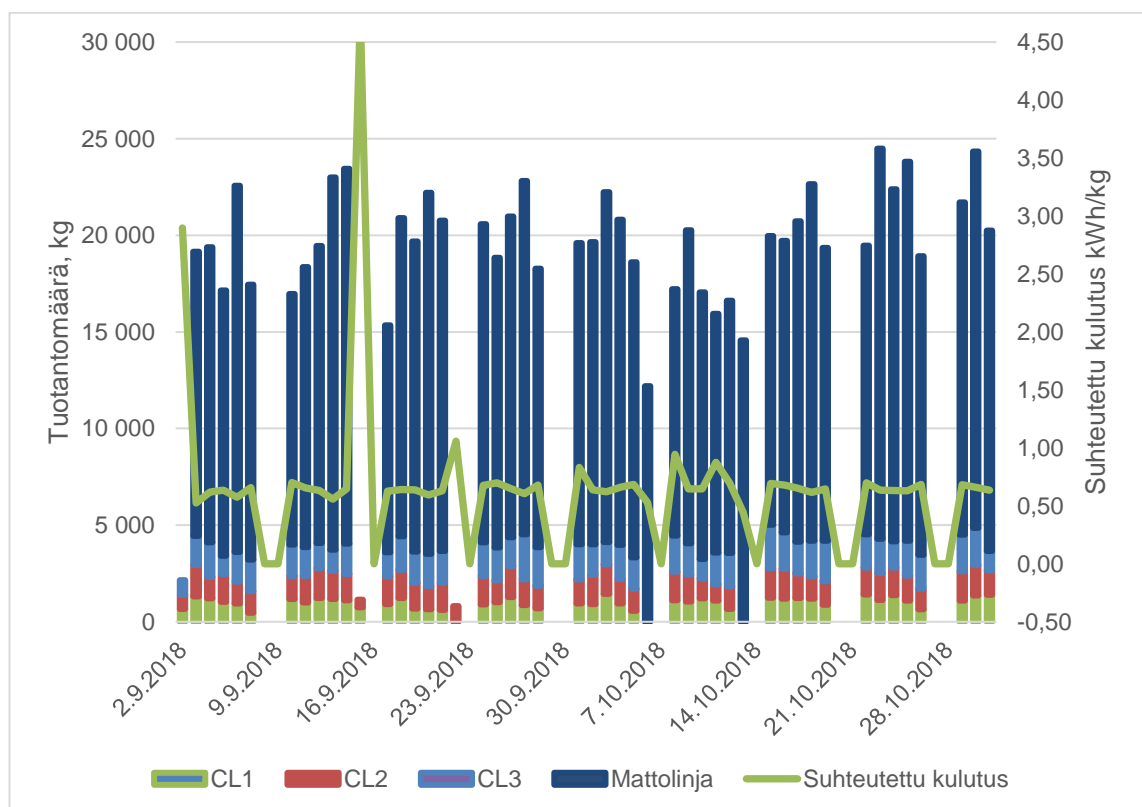
Viikolla 10, maanantaista torstaihin suoritettiin testi, jolloin höyryventtiilit jätettiin kolmena päivänä auki. Näin selvitettiin, kuinka paljon maakaasua todellisuudessa kuluu, jos venttiilit höyrylinjoihin jätetään auki. Jotta höyryventtiilien sulkemiseen kiinnitettäisiin jatkossa tarkemmin huomiota, alettiin käyttämään kattilahuoneessa lomaketta, jossa kuitataan venttiilien sulkeminen tuotannon päätteeksi. Lisäksi höyryventtiilien käsipyöriin asennettiin lisävipuvartta niiden käytön helpottamiseksi.



Kuva 6. Tuotannon ulkopuolisten aikojen maakaasukulutukset arkiöisin viikoilla 6–13/2019 (pois lukien viikko 9, jolta ei otettu talteen kaikkia mittaustuloksia)(Liite 5).

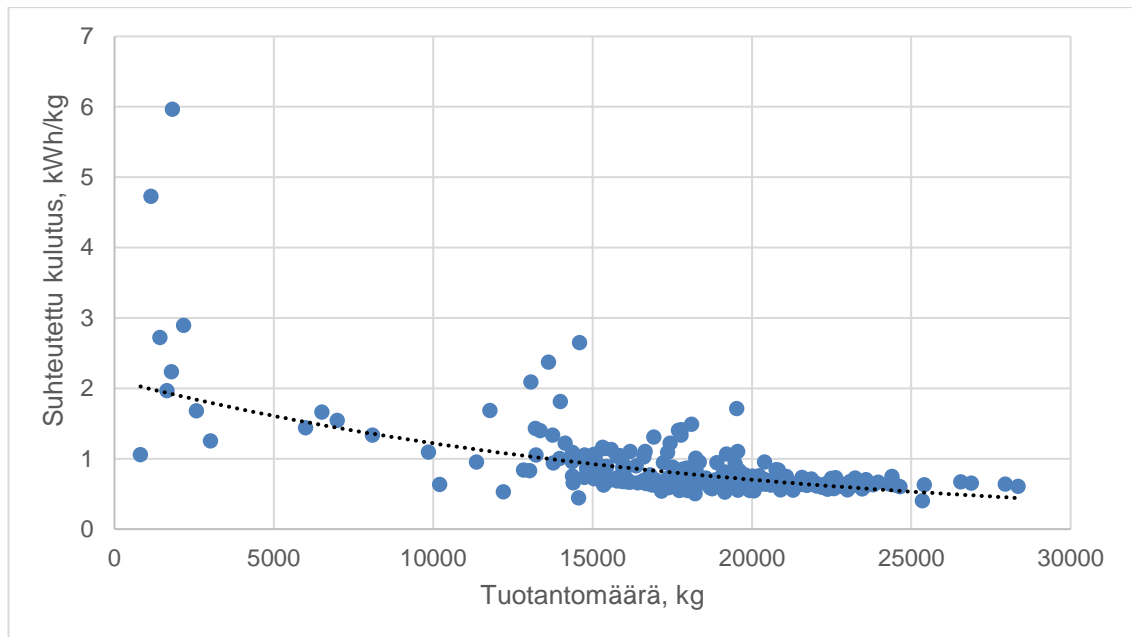
4.4 Maakaasun kulutus suhteutettuna tuotantomäärään

Pesulan energiatehokkuutta maakaasun suhteen seurataan tuotantomäärään suhteutetulla maakaasun kulutuksella. Syys-lokakuun linjakohtaiset tuotantomäärät ja suhteutettu maakaasun kulutus on esitetty kuvassa 7. Päivät, joilta ei ole merkitty kulutuslukuja, näkyvät nolla-arvoina suhteutetun kulutuksen kuvaajassa. Niiden päivien kulutukset sisältyvät seuraavan tuotantopäivän kulutukseen. Suhteellisen kulutuksen huippuarvojen aikoina 2.9.2018 ja 15.9.2018 ainoastaan työvaatelinjoilla oli tuotanto käynnissä. Lauantaina 6.10.2018 ja 13.10.2018 tuotanto on ollut käynnissä ainoastaan mattolinjalla ja vaikutus on päinvastainen. Niinä tuotantopäivinä, jolloin kaikki linjat olivat käynnissä, suhteutetun kulutuksen arvot olivat lähempänä 6.10.2018 ja 13.10.2018 arvoja. Voidaan kuitenkin todeta, että pesulassa saavutetaan paras energiatehokkuus, kun ainoastaan mattolinja on käynnissä.



Kuva 7. Syys-lokakuun linjakohtaiset tuotantomäärät ja suhteutettu maakaasun kulutus 2018.

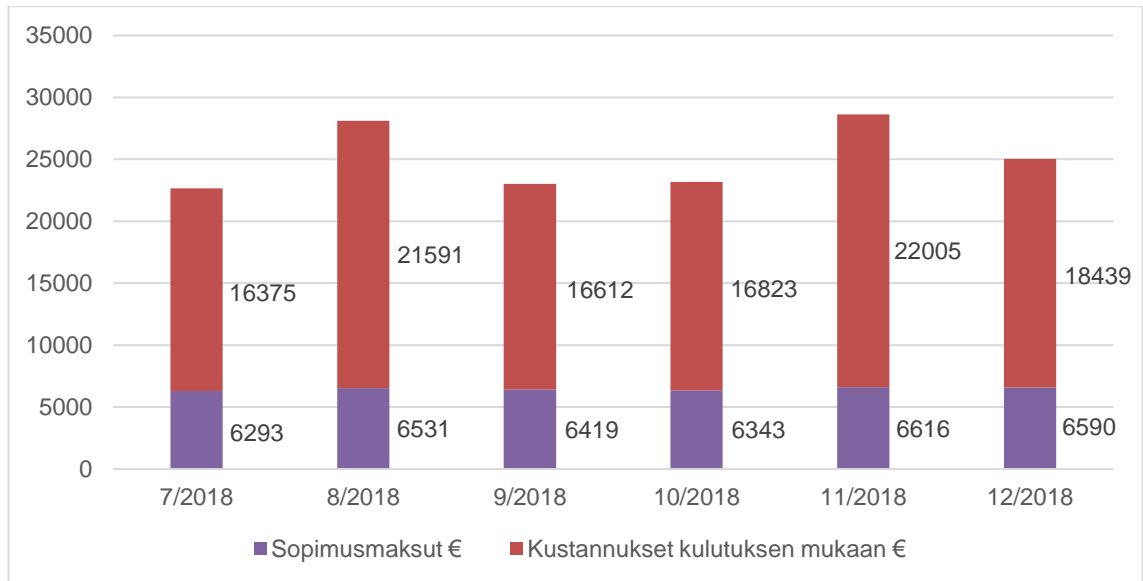
Kuvassa 8 on esitetty pesulan maakaasun kulutus tuotantomäärän funktiona vuonna 2018. Kuvaajan tiedoista on suodatettu pois päivät, joilta ei ollut kerätty kulutus- tai tuotantotietoja. Kulutustietojen perusteella lasketusta suuntaviivasta voidaan todeta, että pesulan tuotantoon suhteutettu maakaasun kulutus laskee, kun tuotantomäärät nousevat. Tämä on linjassa kuvasta 7 tehtyjen havaintojen kanssa. Voidaan siis päätellä, että pesuprosessien tehontarpeen kasvaessa kattilan ja höyryputkistojen lämpöhäviöiden suhteellinen osuus pienenee.



Kuva 8. Vuoden 2018 tuotantomääriin suhteutetut maakaasun kulutustiedot tuotantomäärien funktiona.

4.5 Maakaasukustannukset

Pesulan maakaasukustannukset ovat kuukausitasolla noin 25 000 €. Kun tästä vähennetään sopimuskulut, kulutuksen mukaan määräytyviä kulut muodostavat noin kolme neljäsosaa maakaasun kokonaiskuluista. Kuvassa 9 on esimerkki pesulan maakaasun kokonaiskustannusten jakautumisesta sopimus- sekä kulutuksen mukaan määräytyviin kustannuksiin heinä-joulukuulta 2018. Maakaasun kulutuksen ollessa merkittävä kuluerä arveltiin pienelläkin kulutuksen alenemalla olevan näkyviä vaikutuksia yrityksen maakaasukustannuksiin.



Kuva 9. Kuukausittaiset maakaasukustannukset Berendsen Textile Service Oy:n pesulassa Tuusulassa heinä-joulukuussa 2018.

5 Maakaasu

Berendsenillä käytettävä polttoaine on Suomeen Venäjän toimitettavaa maakaasua. Maakaasu on puhdasta ja lähes rikitöntä, keskimäärin noin 98 prosenttista metaania. Lisäksi maakaasu sisältää muiden muassa etaania, propaania, butaania, typpeä ja hiilidioksidia. Maakaasun koostumus vaihtelee eri maakaasukentillä (taulukko 2).

Taulukko 2. Maakaasun koostumuksia maailmalla eri kaasukentillä (Maakaasu käsikirja 2014: 6).

Kenttä		Venäjä Urengoi	Saksa Goldenstedt	USA Kansas	Hollanti Groningen	Norja Troll
Metaani	CH ₄	98 %	88,0%	84,1%	81,3%	93,2%
Etaani	C ₂ H ₆	0,8%	1,0%	6,7%	2,8%	3,7%
Propaani	C ₃ H ₈	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%	0,4%
Butaani	C ₄ H ₁₀	0,02 %	–	–	0,4%	0,5%
Typpi	N ₂	0,9%	10,0%	8,4%	14,3%	1,6%
Hiilidioksidi	CO ₂	0,1%	0,8%	0,8%	0,9%	0,6%

Maakaasu vie nesteytettyinä vain noin 1/600 tilavuuden kaasuun verrattuna, mutta nesteyttäminen vaatii suuren määrän energiaa, koska maakaasun kiehumispiste on -161,5 °C. (Huhtinen. 2000: 37, 45; Maakaasu käsikirja 2014: 6–7.)

Maakaasulla on polttoaineena hyvät palamisominaisuudet. Siinä on vähäinen määrä kosteutta eikä se tuota palaessa tuhkaa. Maakaasun palamisominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin öljyn: ne tuottavat lähes saman määrän savukaasuja ja palavat kaasumaisessa tilassa pienellä ilmaylimäärällä. Tästä syystä maakaasun ja öljyn poltossa voidaan käyttää hyvin samankaltaisia polttimia. Erona maakaasun ja öljyn poltossa on lämmön siirron tapahtuminen. Öljypoltossa liekki säteilee maakaasua voimakkaammin lämpöä tulipesän lämpöpinnoille. Maakaasupoltossa lämmön siirtyminen tapahtuu pidemmällä kattilan lämmönvaihtimissa. Tästä syystä kaasun ja öljyn rinnakkaiskäyttö samassa kattilassa on ongelmallista. (Huhtinen 2000: 127; Perttula 2000: 170; Teir 2003: 36–37.)

Koska maakaasu on yhdiste eri alkuaineita, sen palamisen reaktioyhtälö on sen aineiden summa. Maakaasun, etenkin Suomessa käytettävän maakaasun, ollessa kuitenkin suurimmaksi osaksi metaania (taulukko 2), sen palamisessa käytetään usein metaanin (CH₄) reaktioyhtälöä (Maakaasu – käsikirja 2014: 14.)



Reagoidessa hapen kanssa metaanin hiiliatomit yhdistyvät hapen kanssa muodostaen hiilidioksidia (CO₂) ja vetymolekyylit yhdistyessään hapen kanssa muodostavat vettä (H₂O). Lisäksi reaktiossa syntyy lämpöenergiaa lämpöarvon mukainen määrä 50 MJ/kg tai vastaavasti 36 MJ/m³n. (Maakaasu käsikirja: 7.)

Kun ilman happipitoisuus on 23,1 %, palamisilmamäärä voidaan laskea kaavalla 2 (Maakaasu käsikirja: 14)

$$m_i = \frac{m_{\text{O}_2}}{23,1\%} * 100\% \quad (2)$$

jossa m_i on teoreettinen palamisilmamäärä
 m_{O_2} on hapen massa.

Palamisilmassa olevan hapen massamäärä lasketaan kaavalla 3

$$m_{O_2} = \frac{m_{pa}}{M_{pa}} * M_{O_2} \quad (3)$$

jossa m_{pa} on polttoaineen massamäärä
 M_{pa} on polttoaineen moolimassa
 M_{O_2} on hapen moolimassa.

Palamisen todellisen ilmamäärän suhdetta teoreettiseen ilmamäärään kutsutaan ilmakertoimeksi ja siitä käytetään tunnusta λ . Ilmakerroin lasketaan kaavalla 4 (Huhtinen 2000: 25.)

$$\lambda = \frac{m_{i(Tod)}}{m_{i(Teor)}} \quad (4)$$

jossa λ on ilmakerroin
 $m_{i(Tod)}$ on todellinen, mitattu ilman massamäärä
 $m_{i(Teor)}$ on teoreettinen palamiseen vaadittava hapen massamäärä.

Ylimääräinen ilmamäärä mahdollistaa, ettei palamatonta polttoainetta jää savukaasuihin, mutta se kuitenkin jäähdyttää palamista, jolloin muodostuu typen oksideja. Nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet palavat puhtaammin pienemmällä ilmaylimäärällä kuin kiinteät polttoaineet (Huhtinen 2000: 86). Kaasukäytössä jäännöshappi (O_2) tulisi saada noin 2 %:n tasolle eli λ on 1,02 (Hankilahti 2019). Silloin maakaasun palamiseen tarvittavan ilman määräksi, $m_{i(Tod)}$ saadaan 17,6 kg.

6 Keinot kulutuksen pienentämiseksi

Tulitorvi-tuliputkikattilan hyötysuhteeseen vaikuttavat syöttöveden ja palamisilman lämpötila sekä palamisen polttoaine-ilmasuhde. Lisäksi arveltiin, että myös kattilan käyttöpaineella voi olla vaikutusta pesulan maakaasunkulutukseen.

Toteutettujen muutosten jälkeen tehtiin kulutusseuranta, josta nähtäisiin mahdolliset vaikutukset. Vaikutuksia arvioitiin tuotantomääriin suhteutetun kulutuksen perusteella.

6.1 Palamisilman esilämmitys

Palamisilma kattilalle otetaan ulkoilmasta, mikä on määritetty Ympäristöministeriön asetuksessa kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuudesta (2005). Ilma ehtii kuitenkin lämmitä kattilahuoneen sisällä kattilan lämpösäteilyn vaikutuksesta ja huoneessa vallitseekin noin 30 °C:n lämpötila. Palamisilman maksimilämpötilaksi on polttimen ohjeessa määritetty 40 °C, mikä antaisi mahdollisuuden palamisilman esilämmittämiseen.

Kattilan palamisilman esilämmittämisestä käytetään nimitystä LUVO (luftvorvärmers). Se on lämmönvaihdin, jolla lämmitetään palamisilmaa savukaasujen lämmöllä. LUVO on yleisesti käytössä höyrykattiloissa. Palamisilman esilämmittämisestä saatava teoreettinen kuukausittain säästettävä energiamäärä voidaan laskea kaavalla 5 (Mäkelä 2005: 107).

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_2 - T_1) \quad (5)$$

jossa Q on lämpöenergia
 m on palamiseen kuluva ilman määrä
 T_1 on palamisilman alkuarvo
 T_2 on uusi palamisilman lämpötila
 C_p on ilman ominaislämpökapasiteetti.

Kuukaudessa kulutetaan 16 000 kWh eli 1 080 kg maakaasua. Näin ollen palamisilman massamääräksi kuukaudessa saadaan 19 008 kg. Palamisilman esilämmittimellä saatava kuukausittaiseksi energiansäästöksi saataisiin ainoastaan 56,65 kWh eli 0,35 %, joten katsottiin, ettei palamisilman esilämmittimellä saavutettaisi merkittäviä kulutussäästöjä.

6.2 Syöttöveden esilämmitys

Ekonomaiserin, jolla lämmitetään kattilan syöttövettä savukaasujen hukkalämmöllä, oli jo asennettuna kattilaan, mutta oli kuitenkin syytä tarkastella, olisiko savukaasuista mahdollista ottaa enemmän lämpöä talteen syöttövedeen. Savukaasut eivät saisi kuitenkaan jäähtyä alle kastepisteen.

Ekonomaiserin asetusravoksi oli säädetty 115 °C. Säädettyäessä ekonomaiserin termostaattia korkeammalle lämpötilalle huomattiin, että ekonomaiserilla oleva varoventtiili, joka suojaa järjestelmää liian korkealta paineelta, aukeni toistuvasti. Varoventtiili oli säädetty aukeamaan 1,8 baarissa. Syöttöveden lämpötilaa ei siis ollut mahdollista nostaa enempää ekonomaiserilla, jolloin tarkempien laskelmien tekoa ei nähty tarpeelliseksi.

6.3 Painetason muutos

6.3.1 Muutokset

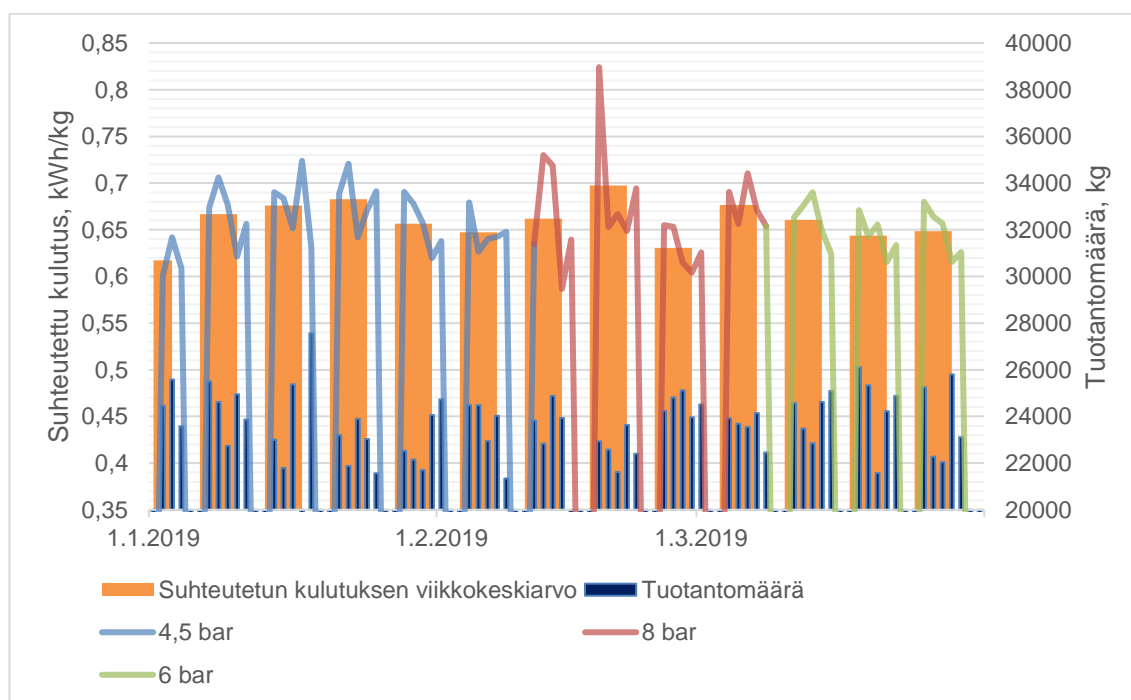
Korkeampi painetaso ja lämpimämpi höyry saa pesulan pesuedet lämpenemään nopeammin, mikä tehostaa tuotantoa. Paineen nostolla kattila saisi mahdollisesti myös enemmän puskuria vastaamaan kulutushuippuihin. Painetasoa ei tulisi kuitenkaan asettaa liian korkeaksi, koska tällöin höyryyn tuotetaan ylimääräistä lämpöenergiaa ja lämpöhäviöiden suhde kasvaa. Liian matala höyrynpaine ja -lämpötila puolestaan aiheuttavat sen, että tarvittavan lämmön siirtymiseksi pesuprosessiin tarvitaan enemmän höyryä. Polttimen käynnistyskerrat lisääntyvät ja pahimmassa tapauksessa kattila ei edes saavuta asetettua painetasoa, jolloin poltin joutuu olemaan jatkuvasti käynnissä. Liian alhainen höyryn lämpötila myös hidastaa pesuprosessia.

Kattilan painetaso oli lähtötilanteessa 4,5 baaria, jolloin kylläisen höyryn lämpötila oli 148 °C. Päätettiin kokeilla korkeampia painetasoja ja seurata muutosten vaikutusta kattilan kulutukseen. Painetaso nostettaisiin ensin 8 baariin ja sitten 6 baariin. Vesihöyryn Mollier h,s -piirroksen mukaan 8 baarissa kylläisenhöyryn lämpötila nousisi 171 °C:seen ja 6 baarissa 159 °C:seen (Sarkomaa 1978). Painetasoa ei lähdetäisi laskemaan sillä pesulassa oli havaittu, että korkean kulutuksen aikoina paine saattoi

laskea alle neljän baarin, mikä aiheutti pesuaikojen pitenemää ja häiriöilmoituksia pesuveden alhaisesta lämpötilasta. Kulutusseurannalla todettaisiin säätöjen jälkeen kulutuksen muutos.

6.3.2 Vaikutusten arviointi

Kattilan käyttöpainetta nostettiin 8 baariin 12.2.2019 alkaen ja 8.3.2019 siirryttiin 6 baariin. Kuvassa 10 on testijaksojen kulutukset. Kuvaajaan käytetystä kulutusdatasta on poistettu epäsäännöllisyyksien vuoksi viikonloppujen arvot. Viikonloppuisin tuotanto on harvoin täydellä kapasiteetilla käynnissä, mikä aiheuttaa tuotantomääriin suhteutetun kulutuksen arvoihin piikkejä. Kattilan ja höyryputkistojen lämpöhäviöiden osuus kokonaiskulutuksesta kasvaa, kun pesuprosessien höyrynkulutus on alhaisempi. Kuvaajan korkein piikki on ajalta, jolloin painetaso oli 8 baaria. 6 baarin tasolla oli vähemmän vaihtelua suhteutetussa kulutuksessa. Testiajajen perusteella ei voida tehdä selkeitä johtopäätöksiä optimaalisesta painetasosta.



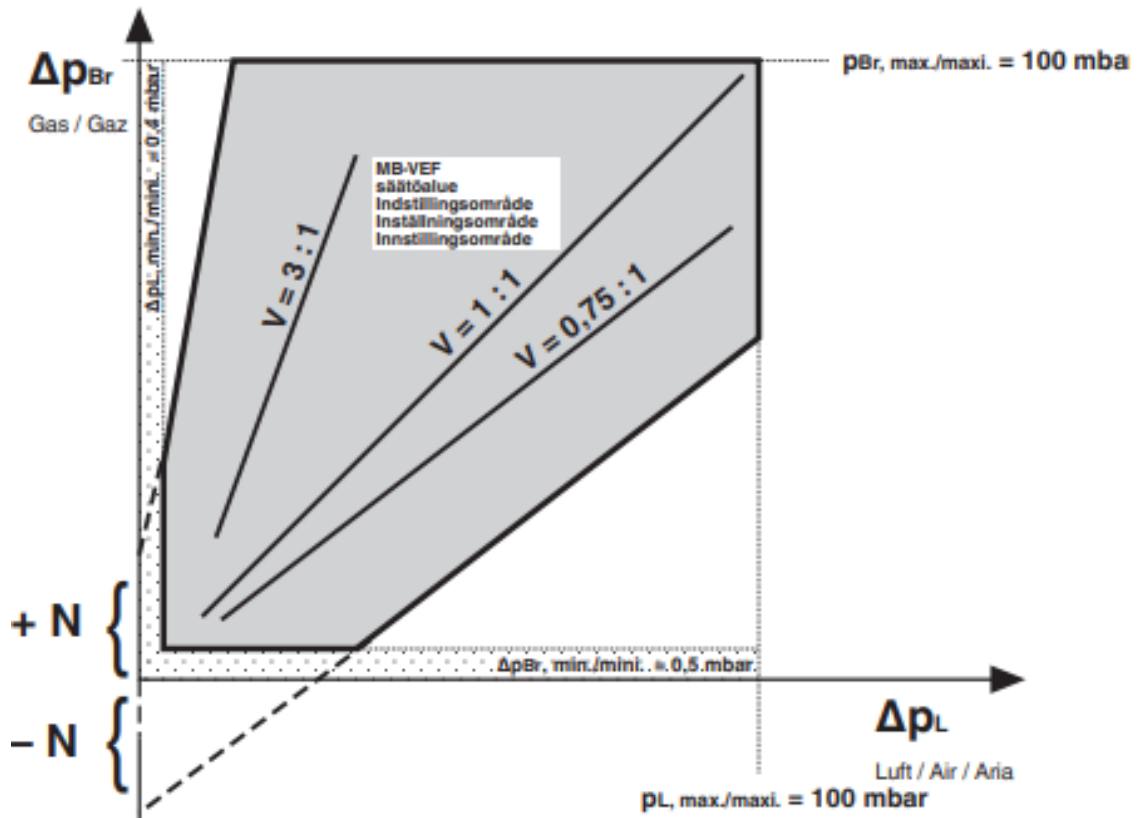
Kuva 10. Tuotantomäärään suhteutettu maakaasun kulutus painetason testijaksolla tammi- ja maaliskuun 2019.

6.4 Polttimen polttoaineilmasuhteen säätö

6.4.1 Muutokset

Polttoaine-ilmasuhteen säätämisessä arveltiin olevan potentiaalia kattilan hyötysuhteen parantamiseksi. Sen selvittämiseen ryhdyttiin mittaamalla jäännöshapen määrää savukaasuissa. Berendsenin kattilan ylläpidosta vastaavan yrityksen, Höyrytys Oy:n edustaja kävi määräaikaishuollon ohessa suorittamassa mittaukset savukaasuista II-teholla (Liite 2). Jäännöshapen määrä oli II-teholla 5,2 %, eli kun Vaporin mukaan tavoitteena olisi 2 % jäännöshappi, polttimen säädöllä mahdollisesti saavutettaisiin säästöä kulutukseen. Polttimen säätämiseksi oltiin myös yhteydessä polttimen valmistajaan Oiloniin. Oilonille lähetettiin savukaasuanalysaattorin tulokset. Oilonin edustajan mukaan GP-90P polttimella pyrkimyksenä olisi jäännöshapen määräksi 2,5–3,0 % niin että häkäpartikkelien ppm-luku olisi kuitenkin alle 50. Alhaisemmillä O₂-arvoilla muiden ei-toivottujen aineiden määrä savukaasuissa lisääntyisi. Oilonin mukaan tässä tapauksessa tulisi nostaa kaasun suutintehoa, jolloin happiarvo laskee ja hyötysuhde nousee. Kaasupolttimen säätöä varten kutsuttiin paikalle kattilan hoitaja.

GP-90P -polttimen palamisen jäännöshapen määrää säädetään muuttamalla palamisilman kaasu-ilmasuhdetta (kuva 11). Kyseisessä poltinmallissa polttoaineilmasuhteen asetukset tehdään osatehoasennossa sekä täystehoasennossa.



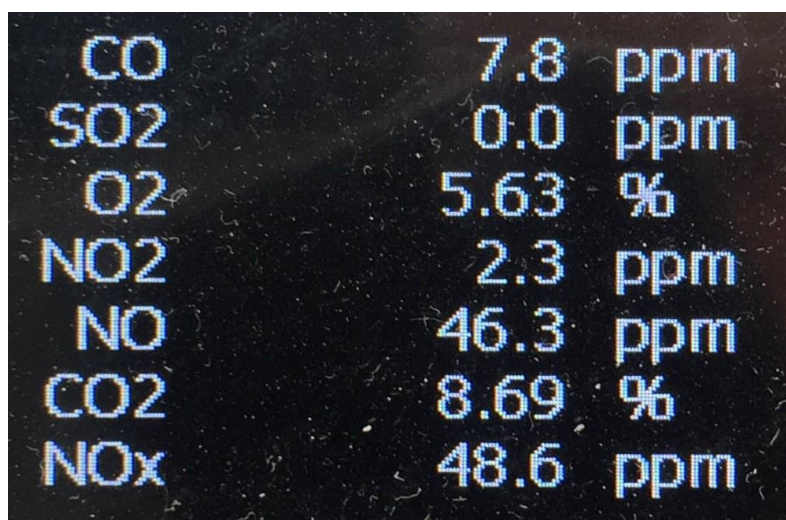
Kuva 11. GP-90P -polttimen polttoaineilmasuhteen säätimen säätöperiaate (DUNGS Käyttö ja asennusohjeet GasMultiBlock jatkusäätöinen kaasu-ilmasuhde Tyyppi MB-VEF B01).

Polttoaine-ilmasuhteen säätö toteutettiin maaliskuussa 2019. Palamisen jäännöshapen määrää saatiin pienennettyä alkuperäisestä 5,2 %:sta taulukossa 3 nähtäviin arvoihin. Jäännöshapen määrässä ei päästy täysin alun perin tavoiteltuihin arvoihin, sillä välitehojen arvoilla häikä lisääntyi savukaasuissa ja tulitorven seinämillä havaittiin hehkumista, mikä on merkki huonosta palamisesta. Savukaasuanalysoijan laskema palamisen hyötysuhde II-teholla saatiin nostettua 89,9 %:sta 90,2 %:iin (Liite 2).

Taulukko 3. Savukaasuanalyysin tulokset polttimen säädön jälkeen.

Savukaasuanalyysi	Yksikkö	I-Teho	II-Teho
O ₂	%	4,3	4,13
CO	ppm	0	0
NO _x	ppm	65	59
Savukaasun lämpötila	°C	198,7	235,1
Hyötysuhde, η	%	91,9	90,2

Säätöjä tehtäessä huomattiin, että vaikka polttimen palamisarvot säädettiin I- ja II-teholla, moduloivan polttimen tehonsäädön ohjatessa polttimen tehoa portaattomasti välitehoalueella, palamisarvot eivät pysy asetusarvojen välillä, vaan lukemat heittelehtivät. Kuvassa 12 on savukaasuanalyysaattorin näytöltä otettu kuva I- ja II-tehon väliltä.

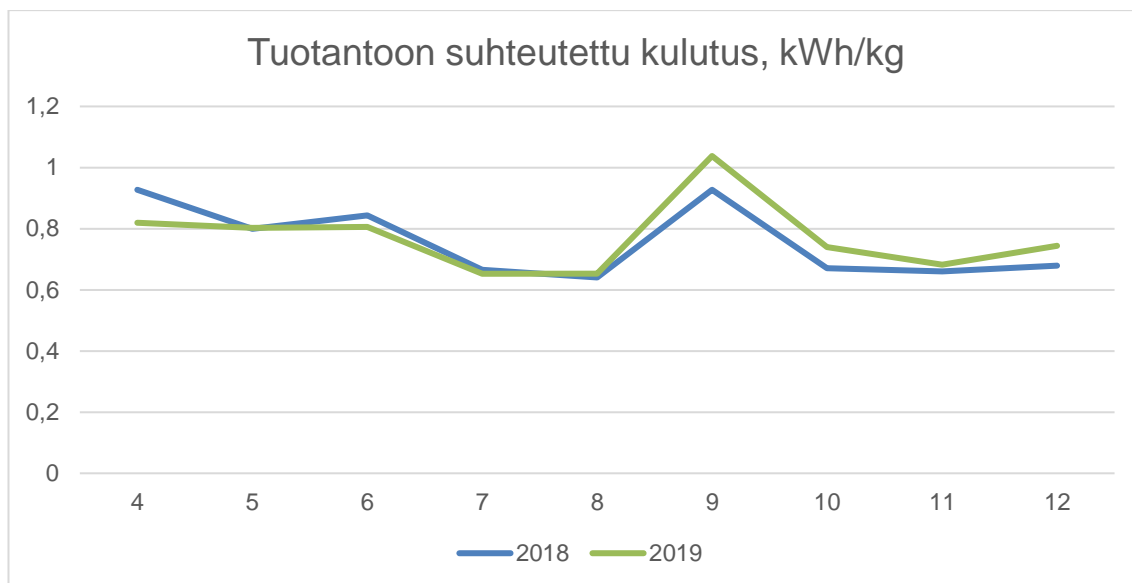


CO	7.8	ppm
SO ₂	0.0	ppm
O ₂	5.63	%
NO ₂	2.3	ppm
NO	46.3	ppm
CO ₂	8.69	%
NO _x	48.6	ppm

Kuva 12. Savukaasuanalyysaattorin näytöltä otettu kuva I- ja II-tehon välillä

6.4.2 Vaikutusten arviointi

Polttimen kaasu-ilmasuhteen säätö tehtiin 14.3.2019 ja kuvassa 13 on vertailu suhteellisista kulutuksista ennen ja jälkeen polttimen säädön (maalis-joulukuu 2018 ja 2019). Kesäkuukausien suhteelliset kulutukset ovat samalla tasolla, mutta loppuvuodesta 2019 voidaan yllättäen nähdä kulutuksissa pientä nousua. Tälle ei löytynyt järkevää selitystä.



Kuva 13. Tuotantoon suhteutettu kulutus maaliskuusta joulukuuhun 2018–2019.

6.5 Polttimen vaihto

6.5.1 Muutokset

Koska jäännöshapen määrässä ei päästy GP 90P-polttimella tavoiteltuun 2 %:iin, keskusteltiin Höyrytys Oy:n edustajan kanssa digitaalisesti ohjautuvista polttimista. Digitaalisesti säätyvissä polttimissa on mahdollista asettaa poltinteho ja ilmamäärä optimaaliseksi tehoalueen jokaisessa pisteessä. Uudemmissa polttimissa polttimen suutinpään parempi muotoilu mahdollistaa polttoaineen ja ilman paremman sekoittumisen ja täten alhaisemman ilmaylimäärän palamisessa (Aalo 2019). Päätettiin pyytää Höyrytys Oy:ltä esittelyt ja tarjoukset paremmin optimoitavista polttimista.

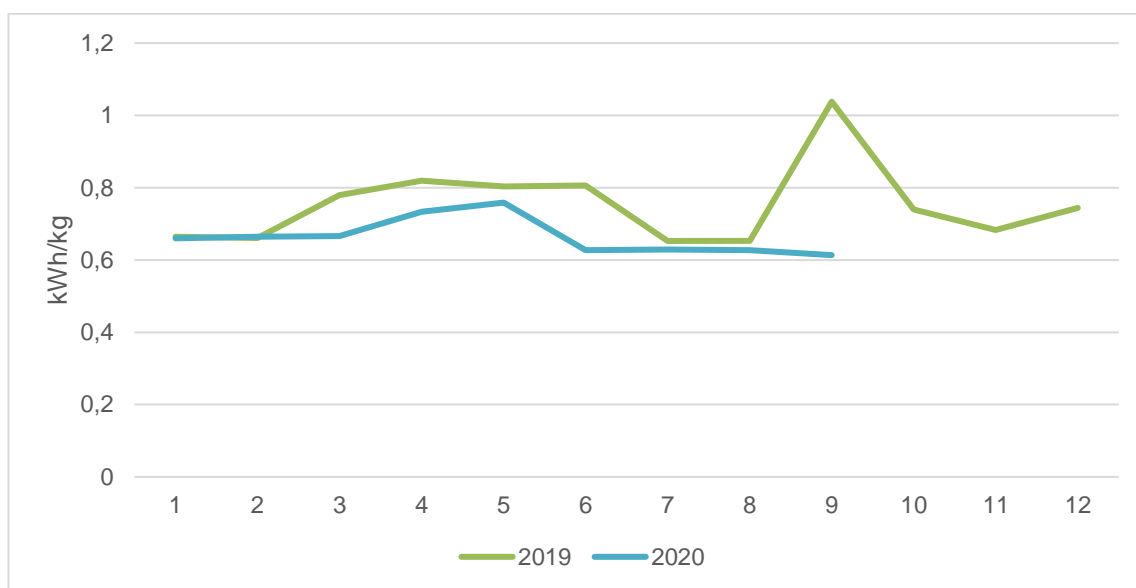
Höyrytys Oy teki tarjouksen kahdesta poltto-ominaisuksiltaan hyvin samantyyppisestä digitaalisesta polttimesta. Polttinmallit olivat Weisshauptin WM-G 20/2-A ja Oilonin GP-90M. WM-G 20/2-A -poltin oli varustellumpi, ja sen etuina tulisi olemaan taajuusmuuttaja ja integroitu tehonsäädin. Taajuusmuuttajan käyttö jo itsessään säästää energiaa, kun puhaltimen tehonsäätö tapahtuu säätämällä kierroksia, eikä kuristamalla virtausta. Lisäksi käyntiäänäni tulisi olemaan hiljaisempi, mikä vähentää melua kattilahuoneessa. Integroidulla tehonsäätimellä säästettäisiin tilaa kattilahuoneessa ja asennusvaiheessa

säästyttäisiin mittavilta sähkötoilta. Kahdesta vaihtoehdosta päädyttiinkin ominaisuudet edellä Weisshauptin polttimallin.

Höyrytys Oy asensi uuden polttimen maaliskuussa 2020. Asennus suoritettiin viikonloppuaikana, jolloin siitä ei ollut haittaa peselatuotannolle. Polttimen vaihdon hyötyjen todentamiseksi tehtiin vielä jälkiseuranta maakaasun kulutuksesta.

6.5.2 Vaikutusten arviointi

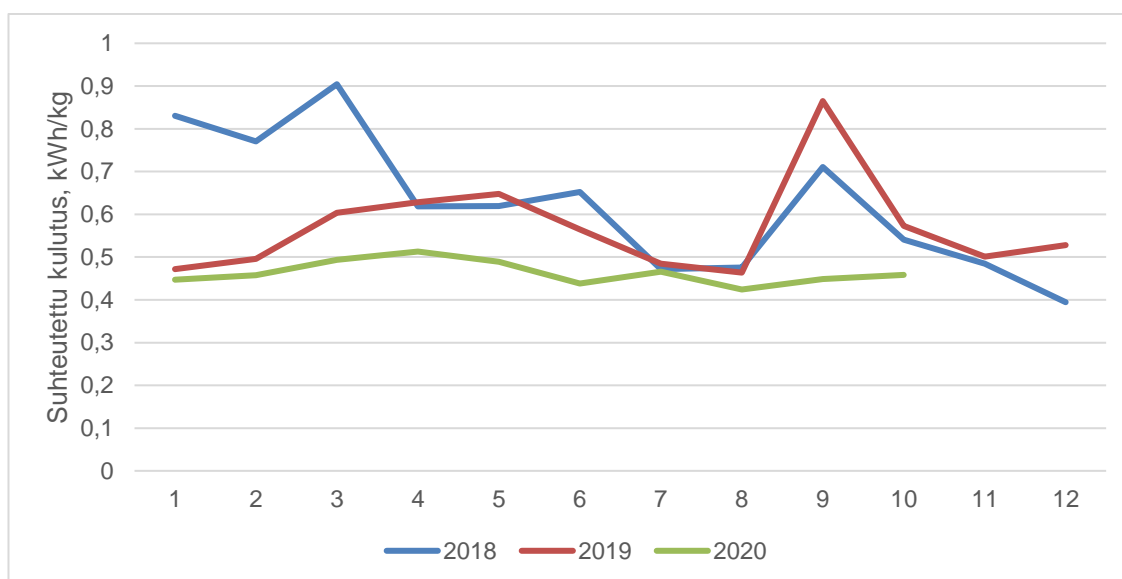
Polttimen vaihdon jälkeen seuranta suoritettiin tämän insinööriyön osalta syyskuuhun 2020 asti. Tuotantomäärään suhteutetun kulutuksen taso on ollut koko seuranta-aikana alhaisempi kuin vanhalla polttimella (kuva 14). Kuvaajan perusteella uudella Weisshauptin polttimella on päästy kulutussäästöihin. Verrattuna muihin toteutettuihin muutoksiin kulutuksen pienentämiseksi polttimen vaihto vaikuttaa tuoneen näkyvimpiä tuloksia. Polttimen taajuusmuuntajakäytön myötä käyntiääni on aiempaa hiljaisempi.



Kuva 14. Tuotantoon suhteutettu kulutus kWh/kg 2019 eteenpäin.

7 Kokonaiskulutuksen pitkäaikainen trendi

Kuvassa 15 on pesulan suhteutettu maakaasun kulutus 2018 lähtien. Alkuvuoden korkeammat luvut selittyvät sillä, että vaatelinjojen tuotantomäärät eivät olleet käytettävissä. Vuonna 2020 kulutus oli selvästi alhaisempaa, kuin edeltävinä vuosina. Myös vuoden 2020 suhteutetun kulutuksen vaihtelu oli kuukausittain pienempää. Pitkäaikaisesta trendistä voidaan todeta, että toteutetuilla toimenpiteillä on kokonaisuutena ollut alentava vaikutus pesulan maakaasun kulutukseen. Pesulan energiatehokkuus on parantunut.



Kuva 15. Maakaasun suhteutettu kulutus vuosina 2018, 2019 ja 2020.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tulitorvi-tuliputkikattilan maakaasukulutuksen pienentäminen Berendsen Textile Service Oy:n Tuusulan pesulassa, jossa maakaasu on pääasiallinen energialähde. Pesulan kahdesta energiamuodosta, maakaasu ja sähkö, maakaasun kulutuksen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on yli kuusinkertainen.

Kattilan maakaasukulutusta lähdettiin aluksi tutkimaan tarkemmin asentamalla kattilalle oma maakaasun kulutusmittari. Mittarin avulla voitiin erottaa kattilan osuus pesulan

kokonaiskulutuksesta ja saatiin selville, että kattilan osuus oli luultua suurempi. Sen myötä kattilan käytön optimoinnista voitiin odottaa näkyviä kulutussäästöjä. Mittarin avulla saatiin myös tarkempaa tietoa kulutuksen vaihtelusta vuorokauden sisällä.

Mattolinjan energiatehokkuus havaittiin huomattavasti paremmaksi kuin vaatelinjojen. Kaikista paras energiatehokkuus saavutettiin silloin kun ainoastaan mattolinja oli käynnissä.

Insinööriyössä perehdyttiin pesulan kattilalaitoksen pääkomponentteihin, minkä jälkeen tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja kattilan maakaasukulutuksen pienentämiseksi. Vaihtoehtoista valittiin toteutettavat toimenpiteet. Kattilalle tehtiin koekäyttö korkeammilla painetasoilla, polttimen polttoaine-ilmasuhteen säätö ja lopuksi polttimen vaihto. Toimenpiteiden jälkeen tehtiin maakaasukulutusten jälkiseurannat vaikutusten todentamiseksi. Vaikutuksia arvioitiin tuotantomäärään suhteutetun kulutuksen avulla. Vaihtelevien tuotantomäärien ja sitä mukaa vaihtelevan höyrynkulutuksen vuoksi kaasunkulutuksen muutosten vaikutuksia oli haasteellista arvioida. Polttimen vaihdon jälkeen kuitenkin havaittiin kulutustason laskua.

Paitsi laitteistolla, myös toimintatavoilla huomattiin olevan vaikutuksia pesulan energiankulutukseen. Tutkimuksessa huomattiin, kuinka tärkeää on varmistaa, että kattilan höyryventtiilit ovat kunnolla suljettuina. Venttiilien sulkemisen kuittaaminen otettiin pesulassa uudeksi käytännöksi. Venttiilien käsipyörään asennettiin myös lisävipuvartta helpottamaan venttiilin sulkemista.

Insinööriyön toimenpiteillä saatiin parannettua Berendsenin tulitorvi-tuliputkikattilan energiatehokkuutta ja tutkimuksen aikana löydettiin keino pienentää tuotannon ulkopuolista energiahävikkiä.

Lähteet

Aalo, Ari. 2019. Jälkimarkkinointipäällikkö. Höyrytys Oy. Keskustelut maaliskuussa 2019.

Berendsen Textile Service Oy – Osa Elis-konsernia. 2020. Powerpoint-esitys. Berendsen Part of Elis. Päivitetty 7.10.2020.

Ekonomaiserin käyttö- ja huolto-ohje. Termopoint.

Energia- ja ilmastostrategia. 2020. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>> Luettu 13.4.2021.

GasMultiBlock jatkuvasäätöinen kaasu-ilmasuhde, Tyyppi MB-VEF B01. DUNGS. Käyttö- ja asennusohjeet.

Hankilahti, Pekka, tuotepäällikkö. OMP Konepaja Oy Vapor Power & Heat. Sähköpostikeskustelu. Helmikuu 2019.

Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki. 2000. Höyrykattilatekniikka. 5., uusittu painos. Helsinki: Edita.

Kohti hiilineutraalia Suomea. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>> Luettu 13.4.2021.

Maakaasu - käsikirja. 2014. Verkkoaineisto. Suomen kaasuyhdistys. <<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>>. Luettu 21.1.2019.

Miscellaneous boiler types, economisers and superheaters. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/miscellaneous-boiler-types-economisers-and-superheaters>> Luettu 19.10.2020

Sarkomaa. P & Sarmaslahti. S. 1978. Mollier h,s -piirros. AALEF Bookline.

Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2005. Tekniikan kaavasto. 14. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

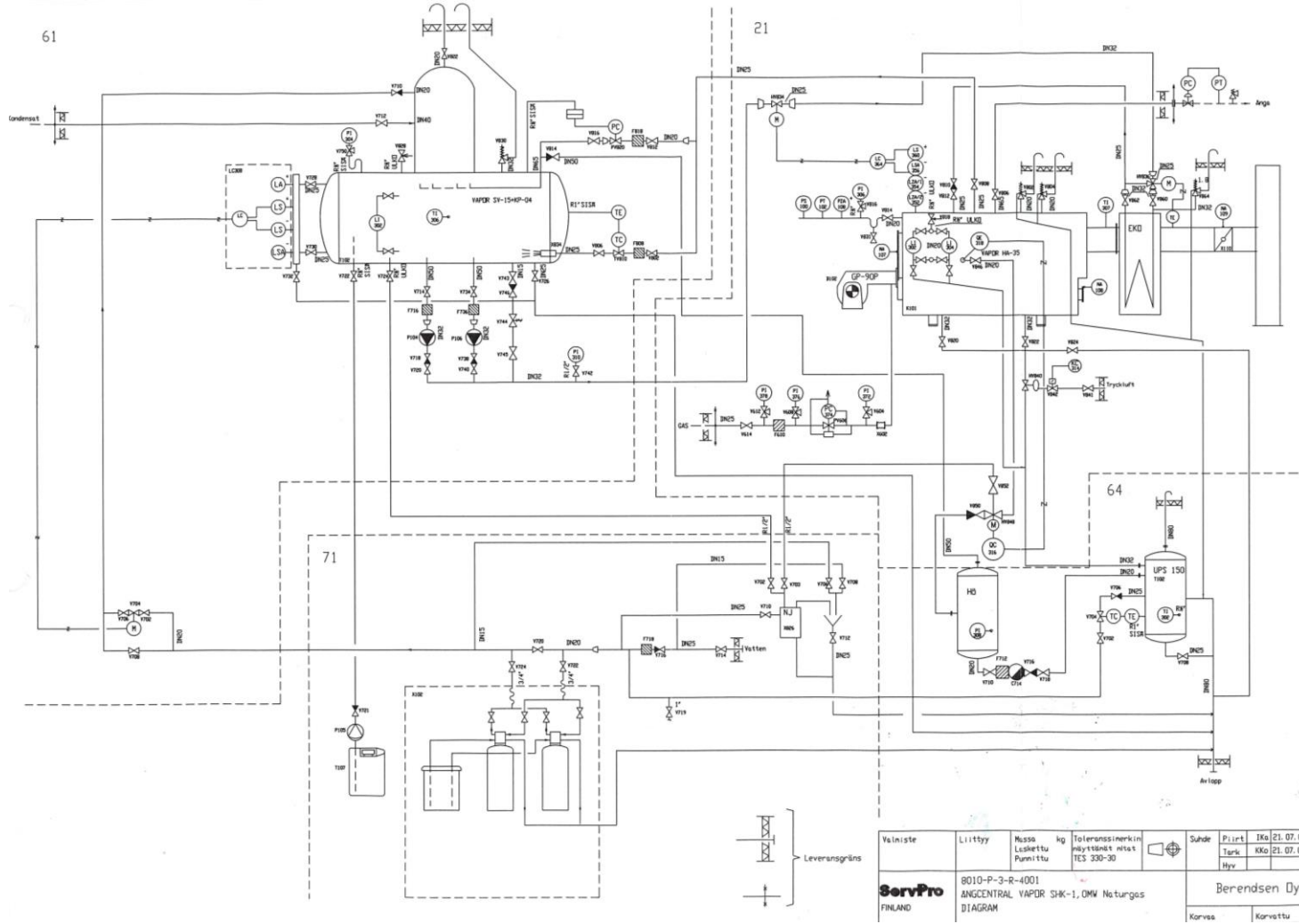
Perttula, Jarmo. 2000. Energiatekniikka. 1. painos. Porvoo. WSOY.

Teir, Sebastian. 2003. Steam Boiler Technology. 2. painos. Teknillinen korkeakoulu. Picaset Oy.

Vapor TTK-höyrykattilat – tekniset tiedot. Vapor Boilers Finland Oy. Verkkoaineisto. <http://www.vapor.fi/wp-content/uploads/2014/06/Vapor_TTK_kattilat.pdf>. Luettu 16.4.2021.

Ympäristöministeriön asetus kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuudesta. 2005. 22.3.2005.

Kattilalaitoksen PI-kaavio



Kattilahuollon mittapöytäkirja

Ohjearvot 1-20 bar höyrykattilalle

		Kattila	Syöttövesi		
Vesianalyysi	Yksikkö				
pH	pH	11,70	9,80		
	Ohjearvo	10,5 - 12	9,0 - 9,5		
johtokyky	$\mu S/cm$	3550	377		
	Ohjearvo	< 4000			
kovuus	dH	0,0	0,0		
	Ohjearvo	<0,01	<0,01		
p-arvo	mmol/l	8	1		
	Ohjearvo	10 - 20	>0,1		
Prosessiarvot	Yksikkö	Arvo	Huom.		
Kattilaveden pinta	%	52			
Kattilan paine	bar	4,5			
Syöttövesisäiliön pinta	%	41			
Syöttövesisäiliön lämpötil	°C	80			
Syöttövesisäiliön paine	bar	0,2			
Suolasäiliön pinta	%	60			
Suolan lisätarve		ei			
Kemikaalisäiliön pinta	%	20			
Kemikaalin lisätarve		ei			
Savukaasuanalyysi	Yksikkö	I-Teho	II-Teho		
O2	%		5,2		
CO	ppm		0		
CO2	%		9,06		
Savukaasun lämpötila	°C		231,0		
Hyöty suhde, η	%		89,9		

Uuden poltinasennuksen palamisilman mittapöytäkirja

<i>Höyrytys Oy</i>		KAASUPOLTTIMEN SÄÄTÖ- JA MITTAUSPÖYTÄKIRJA				PVM: 10.3.2020	
Paikkakunta:	Tuusula	Asennuspaikka:	Berendsen Oy	Poltin / kattila nro:	1	Turvasulku:	ei mbar
Poltin:	Weishaupt WM-G20	Valmistusnumero:	40578808	Käyttötunnit:		Varoventtiili:	ei mbar
Automatiikka:	W-FM50	Kattila:	Höyrykattila	Teho min/max:	250/930	Min. painekeytkin:	5 mbar
						Max. painekeytkin:	110 mbar
						Tiiv. Test.	30 mbar

Piste / Teho (%)	KAASU			SAVUKAASUT					PALAMISILMA			TOIMILAITE ASENTO				
	verkkoston paine (bar)	alennettu paine(mbar)	lämpötila (°C)	määrä (m3/h)	O2 (%)	CO (ppm)	Nox (mg/m3n)	Nox (ppm)	CO2 (%)	Lämpötila (°C)	palamisilma (°C)	tulipesän paine (mbar)	hyöty-suhde	Kaasu	Ilma	Tamu
						0										
						0										
2 / 20	4	70			3	14	67	36		197		1,1-1,9	92	9	5,1	70
3 / 30	4	70			2	20	63	36		193		3,5	93	12	7,9	73,2
4 / 40	4	70			2	20	65	37		202		4,4	92,6	14,8	12,2	80
5 / 50	4	70			1,8	19	65	38		205		6,3	92,4	17,9	15,8	85
6 / 60	4	70			2	19	65	38		215		8	92	21,5	19,9	90
7 / 70	4	70			2	18	63	36		222		10	91,7	26	23	94
8 / 80	4	70			2	19	64	35		218		11,8	91,9	31,2	25	96,5
9 / 90	4	70			2,7	17	62	33		225		12,8	91,3	37	28	99,3
10 / 100	4	70		930	2,4	14	70	38		228		12,6	91	45	28,5	99,8

Huomioitavaa: _____

Mittauksen suorittaja: Ari Aalo

Maakaasun kulutuksen seuranta 5.2.2019 ja 6.2.2019

Aika	Kulutus	
	m3/h	m3/h
	5.2.2019	6.2.2019
5.30.00	54,00	46,00
6.00.00	43,40	51,50
6.30.00	92,20	92,86
7.04.00	90,18	92,86
7.30.00	55,85	70,74
8.00.00	74,40	93,62
8.30.00	78,00	54,88
9.00.00	86,00	83,34
9.30.00	59,20	66,94
10.00.00	80,68	72,16
10.30.00	77,12	90,04
11.00.00	78,80	68,16
11.30.00	73,08	71,94
12.00.00	66,86	75,72
12.30.00	91,80	60,60
13.00.00	64,00	74,48
13.30.00	74,00	69,80
14.00.00	52,00	16,60
14.30.00	32,00	18,22
15.00.00	16,00	9,22
15.30.00	26,00	10,00
16.00.00	10,00	18,00
16.30.00	22,00	12,00
17.00.00	18,00	36,00

Maakaasun yökulutusten seuranta

Viikko		m3	h	m3/h
6	ma-ti	23	10	2,30
	ti-ke	22	11	2,00
	ke-to	9,31	10,5	0,89
	to-pe	8,06	10,5	0,77
7	ma-ti	6,74	10	0,67
	ti-ke	6,87	10,5	0,65
	ke-to	68,61	10,5	6,53
	to-pe	7	17	0,41
8	ma-ti	48	11,5	4,17
	ti-ke	22	11	2,00
	ke-to	58,36	11	5,31
	to-pe	51,91	10,5	4,94
9	ma-ti			
	ti-ke	12,04	11,5	1,05
	ke-to	11,46	10,5	1,09
	to-pe			
10	ma-ti	90	11,5	7,83
	ti-ke	77	11	7,00
	ke-to	93	11,5	8,09
	to-pe	14	11,5	1,22
11	ma-ti	19	12	1,58
	ti-ke	35	11	3,18
	ke-to	28	11	2,55
	to-pe	13	10,5	1,24
12	ma-ti	11	10,5	1,05
	ti-ke	11	10,5	1,05
	ke-to	13	10,5	1,24
	to-pe	35	10,25	3,41
13	ma-ti	12	12	1,00
	ti-ke	11	11,5	0,96
	ke-to	11	10,5	1,05
	to-pe	11	10	1,10