

Tuure Laurila

## 6 MW:n tulitorvikattilan painetason pudotus

Vaikutus maakaasun kulutukseen ja polttimen toimintaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Insinöörityö  
4.5.2013

Tekijä Otsikko Alaotsikko Sivumäärä Aika	Tuure Laurila 6 MW:n tulitorvikattilan painetason pudotus Vaikutus maakaasun kulutukseen ja polttimen toimintaan 42 sivua 4.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energiatekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Markku Jantunen Käyttömestari Samuli Björkbacka
<p>Tässä insinöörityössä tavoitteena oli selvittää, mitä vaikutuksia on 6 MW:n tulitorvikattilan paineen tason laskulla kaasulaitteen maakaasun kulutukseen ja polttimen toimintaan.</p> <p>Martinlaakson voimalaitoksen apukattila on valmiustilassa ja tietyssä painetasossa (9 bar) voimalaitoksen ajokauden aikana valmiina syöttämään 3 - 10 barin apuhöyryä verkkoon verkon kuorman pudotessa tai muuten tarpeen vaatiessa. Reviisioaikana (2 vko kesällä) kattila toimittaa apuhöyryn voimalaitoksen apuhöyryä vaativille laitteille.</p> <p>Työssä selvitettiin mitä säästöjä saavutetaan laskemalla apukattilan painetasoa kuitenkin säilyttäen höyryn kelpoisuus prosessiin. Työssä selvitettiin miten painetason lasku vaikuttaa kattilan ja polttimen käyntiin apukattilan valmiusaikana sekä maakaasun kulutukseen.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä painopiste on polttimen toiminnassa ja painetason laskun vaikutuksessa polttimen toimintaan.</p> <p>Apukattilan painetason laskun tuloksena saatiin selville maakaasun kulutuksen väheneminen ja taloudellinen säästö apukattilan valmiusajan aikana. Polttimen toiminta muuttui radikaalisti parempaan painetason laskun seurauksena.</p>	
Avainsanat	painetaso; tulitorvikattila; kaasupoltin

Authors Title Subtitle Number of Pages Date	Tuure Laurila Decrease in 6 MW Fire-Tube Boiler Pressure Level The Effect of Natural Gas Consumption and the Operation of the Burner 42 pages 4 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy Engineering
Instructors	Samuli Björkbacka, Project Manager Markku Jantunen, Principal Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine the effects of the decrease in 6 MW fire-tube boiler pressure level, and to analyze how the decrease affects the level of natural gas consumption and the operation of the burner.</p> <p>To start with, Martinlaakso power plant's auxiliary boiler is in standby state and has a certain level of pressure (9 bar) mode during the driving season. An auxiliary boiler is ready to enter the 3-10 bars of auxiliary steam to the pipe line network, if the network's load falls or otherwise, if necessary. In the maintenance season (2 weeks in the summer) it will supply the required auxiliary steam to the boiler plant's devices.</p> <p>Furthermore, the savings achieved by decreasing the auxiliary boiler pressure levels were examined while maintaining the vapor eligibility to the process. The study examined also how the decrease in pressure affects the operation of the boiler and the burner when the auxiliary boiler is in standby-state, and natural gas consumption.</p> <p>In this thesis the focus is on the burner operation, and the influence of pressure decrease in the level operation of the burner.</p> <p>It was discovered that the consumption of natural gas decreased and the financial savings increased as a result of the decrease in the auxiliary boiler's pressure level during the standby period. The burner's operation also radically improved as a result of the decrease in the pressure level</p>	
Keywords	Boiler Pressure Level; Fire-Tube Boiler; Burner

## Sisällys

1	Johdanto	2
2	Vantaan Energia	3
2.1	Organisaatio	3
2.2	Martinlaakson voimalaitos	4
2.2.1	Yksiköt	4
2.2.2	Polttoaineet	6
3	Tulitorvikattila	7
4	Maakaasu	10
4.1	Maakaasun ominaisuudet	10
4.1.1	Metaanin kiehumispiste	10
4.1.2	Lämpöarvo	11
4.1.3	Tiheys	12
4.2	Kaasuryhmät ja Wobbe-arvo	13
5	Kaasupoltin	14
5.1	Kaasupolttimen rakenne	14
5.2	Kaasupolttimen varusteet	16
5.2.1	Keskusyksikkö	17
5.2.2	Säätömoottorit	18
5.2.3	Palamisilma	19
5.2.4	Ohjauspaneeli	19
5.2.5	Liekinilmaisin	20
5.3	Kaasupolttimen käynnistäminen ja tehonsäätö	21
5.4	Kaasupolttimen tiiviydentestaus	22
5.5	Kaasupolttimen soveltuvuus eri kaasuille	23
5.6	Kaasupolttimen sytytyslaitteet	24
5.7	Palaminen	24
5.7.1	Liekki	24
5.7.2	Polttoaineen syttyminen ja syttymisrajat	24
5.7.3	Palamisnopeus	25
5.7.4	Palamisyhtälöt	26

5.7.5	Ilmakerroin	26
6	Koeajot	28
6.1	Paineen noston koeajo	28
6.2	Paineen laskun koeajo	31
7	Tulokset	33
7.1	Kaasun kulutus ennen painetason laskua	33
7.2	Kaasun kulutus painetason laskun jälkeen	35
8	Tulosten ja tavoitteiden arviointi	37
8.1	Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon verotus	38
8.2	Polttimen käyntikertojen väheneminen	38
9	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

**Alkulause**

Tämä insinöörityö on tehty Metropolian kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa.

Työn toimeksiantajana oli Vantaan Energian käyttöorganisaatio. Insinöörityön tavoitteena oli selvittää, mitä vaikutuksia on 6 MW:n tulitorvikattilan painetason laskulla kaasulaitteen maakaasun kulutukseen ja polttimen toimintaan.

Haluan kiittää työni valvojia käyttömestari Samuli Björkbackaa ja opettaja Markku Jantusta sekä Vantaan Energiaa työni mahdollistamisesta.

Helsingissä 4.5.2015

Tuure Laurila

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Martinlaakson voimalaitoksen 6 MW:n tulitorvikattilan eli apukattilan käynnin ja tehokkuuden parantamista. Käyttöorganisaation mukaan painetason laskun aiheuttamien vaikutusten selvittäminen kattilan ja polttimen kannalta oli tärkein aihekokonaisuus, jota lähdettiin selvittämään. Voimalaitoksen käyttöorganisaatio antoi tehtäväksi selvittää, mitä säästöjä saavutettaisiin laskemalla apukattilan painetasoa kuitenkin säilyttäen höyryn kelpoisuus prosessiin. Työssä selvitettiin mitä vaikutuksia painetason laskulla on kattilan ja polttimen käyntiin apukattilan valmiusaikana sekä miten painetason lasku vaikuttaa maakaasun kulutukseen.

Insinööriyössä esitellään Vantaan Energian organisaatio, sen arvoja ja toimintaa. Martinlaakson voimalaitoksesta kirjoitetaan sen yksiköistä ja niiden toiminnasta. Voimalaitoksen perustoimintaperiaate ja sen käyttämät polttoaineet käydään pintatasolla läpi.

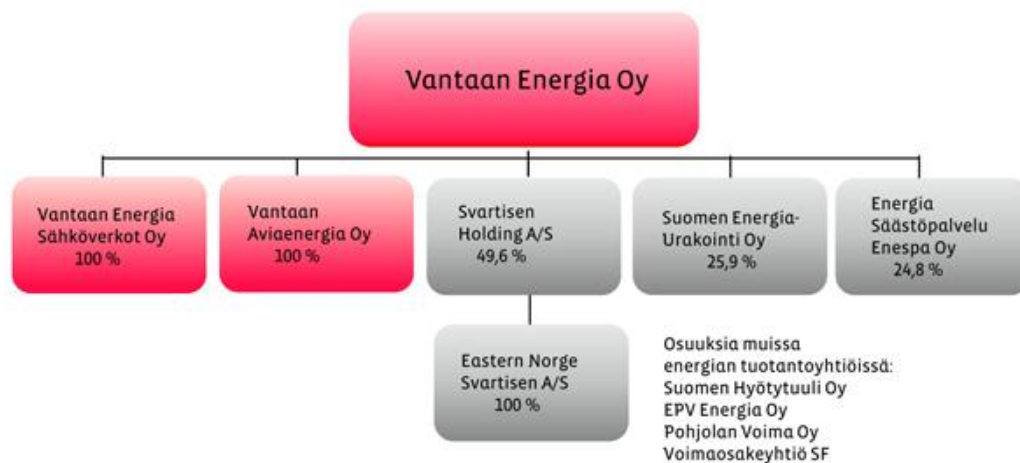
Tulitorvikattilan toimintaa ja sen rakennetta selvitetään lukijalle tutustumalla kattilatyyppin rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Tämän jälkeen siirytään kasittelemään maakaasun ja sen sisältämän metaanin polttoteknisiä ominaisuuksia. Maakaasun jälkeen perehdytään syvemmin kaasutoimisen puhallinpolttimen toimintaan ja tekniisiin ominaisuuksiin sekä rakenteeseen. Työssä perehdytään myös maakaasun palamiseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin.

Kaasulaitteen rakenteen ja toiminnan selviinnyttyä lukijalle, käydään käsiksi työssä tehtyihin paineen noston- ja laskun koeajoihin. Koeajoista saaduista tuloksista lasketaan maakaasun säästö ja polttimen käyntikertojen määrän pienentyminen. Tuloksissa kerrotaan työn kannalta laskennassa saadut oleelliset arvot. Otetaan kantaa laskettuihin arvoihin ja pohditaan laskettuja tuloksia verraten niitä toisiinsa. Lopuksi arvioidaan työn tuloksia ja tavoitteita työn yhteenvedossa.

## 2 Vantaan Energia

### 2.1 Organisaatio

Emoyhtiö Vantaan Energia Oy ja sen tytäryhtiöt Vantaan Energia Sähköverkot Oy ja Vantaan Aviaenergia Oy muodostavat yhden Suomen suurimmista kaupunkienergiakonserneista. Omistajina toimivat Vantaan kaupunki (60 %) ja Helsingin kaupunki (40 %). Vantaan Energia Oy:n päätuotteena ovat sähkö, kaukolämpö ja maakaasu teollisuudelle. Vantaan Energia Sähköverkot Oy vastaa myös Vantaan sähköverkkojen ja kaukolämpöverkkojen rakentamisesta, käytöstä ja huollosta Vantaalla. Lisäksi Vantaan Aviaenergia Oy huolehtii Helsinki-Vantaan lentoaseman kaukolämmöstä ja sähkönsiirrosta. Konsernilla on ollut käytössä vuodesta 1999 ISO 14001 - ympäristöjärjestelmä. [Kuva 1.]



Kuva 1. Vantaan Energian organisaatiokaavio [6.]





Blokki 1 on maakaasulämmitteinen luonnonkiertoinen höyrykattila, vaarapolttoaineena raskas polttoöljy. Blokki 2 on rakenteeltaan luonnonkiertoinen lieriökattila, jonka pääpolttoaineena toimii hiili ja maakaasu ja varalla raskas polttoöljy. Martinlaakson blokki 1 ja 2 kattilalaitoksen putkistoissa kiertävä vesi höyrystetään ja lopulta tulistetaan noin 535 °C:seen. Tulistettu höyry johdetaan tulistimilta turbiineille 115 barin paineella. Tulistettu ja paineeseen nostettu höyry pyörittää turbiinia. Höyry johdetaan turbiinista kaukolämpöveden lämmönvaihtimiin ja lauhdeksi muuttunut höyry pumpataan takaisin kattilaan uutta kiertoa varten.

Kaasuturbiinilaitoksen lämmöntalteenottokattila (LTOK) käyttää hyväkseen kaasuturbiinin tuottamia korkealämpöisiä pakokaasuja. Lisäksi kattila on varustettu maakaasu- ja kevytöljytoimisilla lisäpolttimilla, joilla saadaan nostettua kattilan tehoa. Lämmöntalteenottokattilasta voidaan syöttää korkeapaineista höyryä molempiin höyryturbiineihin ja matalapaineverkkoon matalapainehöyryä.

Blokki 1:n turbiini (Zamech) on kaksipesäinen kaukolämmitysvastapaineturbiini. Blokki 2:n yksipesäinen turbiini (Lang) on myös kaukolämmitysvastapaineturbiini. Blokki 4 on kaasuturbiini. Martinlaakson eri blokkeja voidaan tarvittaessa käyttää myös ristiinajossa johtuen siitä, että kattiloiden ja turbiineiden höyryn ja syöttöveden arvot ovat samat. Blokki 1:n ja 2:n turbiinilaitoksissa on kaukolämmönvaihtimina toimivia lauhduttimia kummassakin kaksi kytkettynä sarjaan. Niiden jälkeen on myös reduktiolämmönvaihdin suoraan kattiloissa tapahtuvaa lämmöntuotantoa varten. Blokki 4:een sisältyy myös reduktiolämmönvaihdin. [Taulukko 1.]

Taulukko 1. Martinlaakson voimalaitoksen yksiköt.

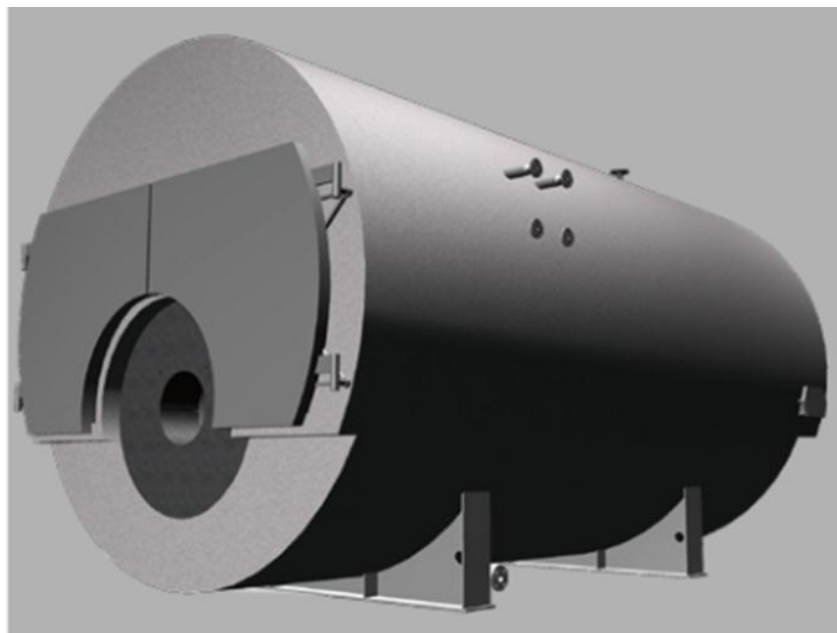
<b>Blokki 1</b>	<b>Sähköteho</b>	<b>60 MW</b>
	<b>Kaukolämpöteho</b>	<b>120 MW</b>
	<b>-Pääpolttoaine:</b>	<b>Raskas polttoöljy 1975 - 1982;</b>
		<b>Maakaasu 1989 -&gt;</b>
	<b>-Varapolttoaine:</b>	<b>Raskas polttoöljy 1989 -&gt;</b>
<b>Blokki 2</b>	<b>Sähköteho</b>	<b>80 MW</b>
	<b>Kaukolämpöteho</b>	<b>135 MW</b>
	<b>-Pääpolttoaine:</b>	<b>Hiili 1982 -&gt;</b>
	<b>-Varapolttoaine:</b>	<b>Raskas polttoöljy 1982 -&gt;;</b>
		<b>Maakaasu 1995 -&gt;</b>
<b>Kaasuturbiinilaitos</b>	<b>Sähköteho</b>	<b>58 MW</b>
	<b>Kaukolämpöteho</b>	<b>70 MW</b>
	<b>-Pääpolttoaine:</b>	<b>Maakaasu 1995 -&gt;</b>
	<b>-Varapolttoaine:</b>	<b>Kevyt polttoöljy 1995 -&gt;</b>

### 2.2.2 Polttoaineet

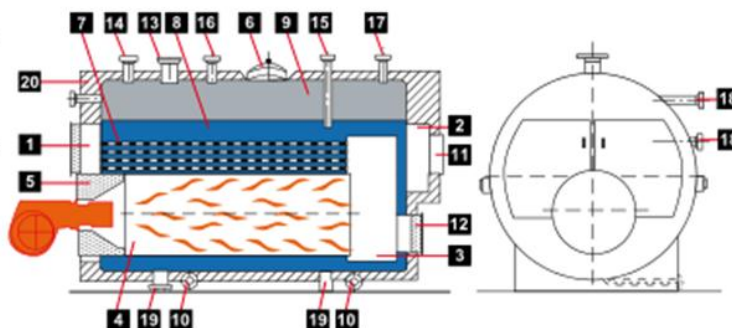
Pääpolttoaineet voimalaitoksella ovat kivihiili ja maakaasu. Raskas ja kevyt polttoöljy ovat ainoastaan varalla. Kivihiilen arvioitu vuosikulutus on noin 185 000 tonnia (1300 GWh) ja maakaasun 170 miljoonaa normikuutiometriä (1700 GWh). Kivihiili tuodaan Etelä-Suomen satamien kautta useista eri valtioista, ja sen varastointi tapahtuu kivihiilisatamissa sekä voimalaitoksen omalla hiilikentällä, johon se tuodaan maanteitse. Hiilikentälle voidaan sijoittaa noin 150 000 tonnia hiiltä ja se vastaa voimalaitoksen kuuden kuukauden kulutusta täysteholla. Kentältä kivihiili siirretään hihnakuuljettimella blokki 2 hiilisiiloihin. Maakaasu tulee runkolinjaa voimalaitoksen paineenvähennysasemalle ja siitä eteenpäin prosessin käyttöön. Toimittajana toimii Gasum.

### 3 Tulitorvikattila

Tulitorvikattila on muodoltaan lieriön muotoinen vesi- tai höyrykattila. [Kuva 3.] Kattilatyyppiä käytetään yleensä keskisuuressa lämmöntuotannossa (alle 12 MW). Kaksitorvisena ja maakaasupolttoisena kattilatyyppin tehoa voidaan kasvattaa 36,4 MW:iin saakka (EN-12953). Tulitorvikattilat luokitellaan suurvesikattiloiksi pääpolttoaineenaan maakaasu, polttoöljy, nestekaasu ja biokaasut. Lisäksi käytetään erilaisia teollisuuden prosessikaasuja.

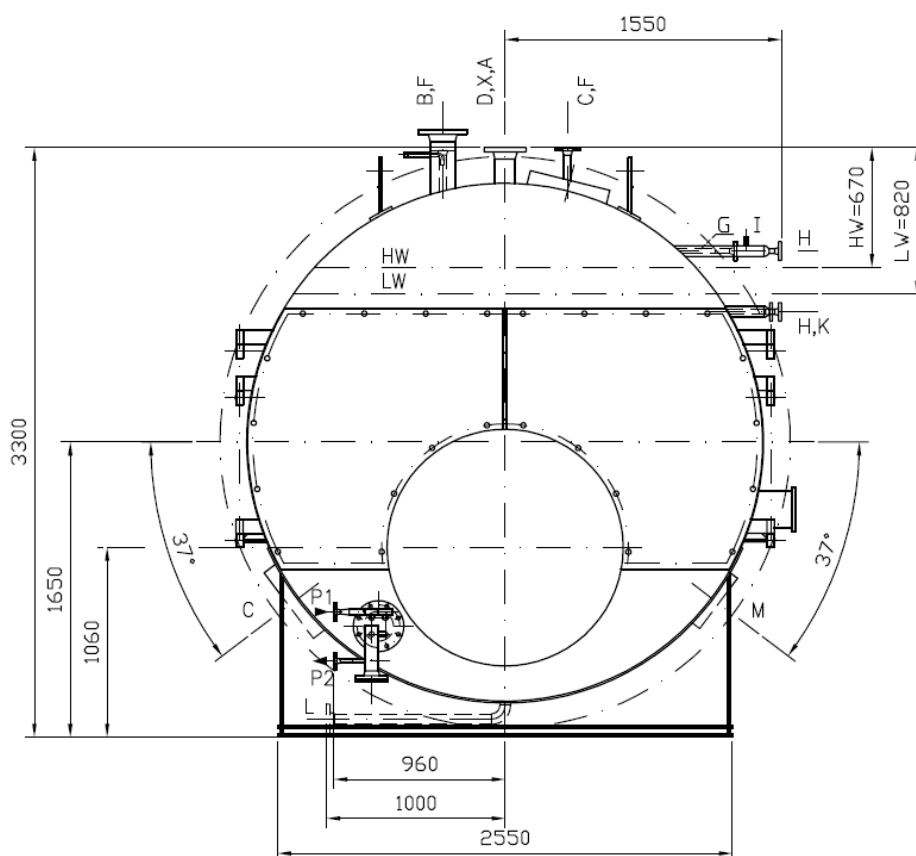


- 1 Kääntökammio
- 2 Savukaasun kokoojakammio
- 3 Lieskauuni
- 4 Tulitorvi
- 5 Poltinlevy muurauksineen
- 6 Miesluukku
- 7 Tuliputket
- 8 Vesitila
- 9 Höyrytila
- 10 Tyhjennys ja ulospuhallus
- 11 Savukanavan yhde
- 12 Räjähdyssluukku
- 13 Päähöyry-yhde
- 14 Tasosäätimen yhde
- 15 Syöttövesiyhteet
-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



Kuva 3. Vapor 6 MW:n tulitorvikattilan rakenne [8.]

Suurvesikattiloissa yleisin malli on rakenteeltaan kolmivetoinen kattila. [Kuva 3.] Polttoaine palaa tulitorvessa. Savukaasut virtaavat tulitorven eli ensimmäisen vedon läpi. Tulitorven jälkeen on kääntökammio (lieskammio), jossa savukaasut vaihtavat virtaussuuntaa ja jatkavat matkaansa tuliputkiin takaisin kattilan etuosaan. Kolmivetoisessa mallissa savukaasut käännetään vielä kerran virtaamaan etuosan kääntökammion kautta kattilan takaosaan, josta ne johdetaan jäähtyneenä savupiippuun tai syöttöveden esilämmittimelle, jolla saadaan nostettua kattilan hyötysuhdetta. Tuliputket muodostavat kattilan toisen ja kolmannen vedon. Tulitorvi sijaitsee kattilassa alimmaisena ja tuliputket tulitorven yläpuolella. Höyrytilan yläpuolelle on mahdollista rakentaa höyrykupu jolla mahdollistetaan kuivempi prosessihöyry. Höyrykupu pyrkii vähentämään vesiroiskeitten joutumista höyryn sekaan ja näin estämään märän höyryn pääsyn prosessiin. Höyrykuvun sisällä on läpimittaa pienempi aukko ja mahdollisesti poikittaisia estelevyjä estämään vesiroiskeita. Estelevyjen takana on vasta höyryputken lähtö. [Kuva 4.]



Kuva 4. Vapor-tulitorvikattilan poikkileikkaus [9.]



Maakaasuliekin säteilyominaisuuksista johtuen kattilan tulipesässä lämmönsiirto on 5 - 20 % pienempää kuin öljyä poltettaessa. Öljypoltossa tulipesän säteilypinnalle kertyvä noki pienentää maakaasun ja öljyn polttamisessa syntyvää lämmönsiirron eroa. Kuitenkin maakaasua poltettaessa tulipesän loppulämpötila pysyy korkeampana kuin öljyä käytettäessä. Maakaasukattiloissa lämmönsiirto tapahtuu konvektion ja erityisesti pakkokonvektion kautta. Tämä on otettu huomioon mitoitettaessa kattilaa ja sen rakenteita. Tästä syystä useampivetoisissa tulitorvikattiloissa kattilan hyötysuhde ja lämmönsiirto-ominaisuudet saadaan nostettua korkeammaksi. Maakaasun poltossa syntyneiden savukaasujen lämpötila voidaan laskea hyvin alhaiseksi esimerkiksi syöttöveden esilämmittimen avulla. Vesikastepistettä voidaan pitää kriittisenä pisteenä savukaasujen jäähdyttämiseksi. Happokastepistettä ei maakaasulla tunneta sen vähärikkisyyden vuoksi. Koska savukaasut voidaan laskea lähelle kriittistä pistettä, niin savukaasujen loppulämpötilan alentaminen 200 °C:sta 100 °C:seen puolittaa savukaasuhäviön.

## **4 Maakaasu**

### **4.1 Maakaasun ominaisuudet**

Maakaasu on ilmaa lähes puolet kevyempää luonnonkaasua. Sen koostumus voi vaihdella eri tuotantolähteillä huomattavasti. Suomessa pääosin käytettävä Länsi-Siperian maakaasu on hyvin puhdasta ja tasalaatuista 98 %:sta metaania. Maakaasun pääkomponentti on metaani, siinä on myös pieniä määriä typpeä, etaania, propaania sekä muita raskaampia hiilivetyjä. Tällainen maakaasu sopii erinomaisesti polttoon, sen sijaan raaka-ainekäytössä runsaammin raskaampia hiilivetyjä sisältävälle maakaasulle löytyy enemmän käyttösovelluksia. Maakaasu saadaan poraamalla maan uumenista kuten öljykin. Merkittävimmät maakaasuesiintymät sijaitsevat Venäjällä ja Lähi-idässä. Esiintymiä on myös Pohjois-Amerikassa ja Norjassa.

#### **4.1.1 Metaanin kiehumispiste**

Maakaasun keskeisimpiin ominaisuuksiin kuuluu metaanin kiehumispiste, joka on - 161,5 °C. Metaanin lämpötilan pudotessa tämän lämpötilan alapuolelle metaani muuttuu nestemäiseksi ja sen tilavuus pienenee. Maakaasun tilantarpeeseen nähden

metaani on tällöin noin 1/600 alkuperäisen kaasumaisen olomuodon vaatimasta tilavuudesta. Maakaasun muuttamisella nestemäiseen olomuotoon on suuri merkitys maakaasua kuljetettaessa ja varastoitaessa.

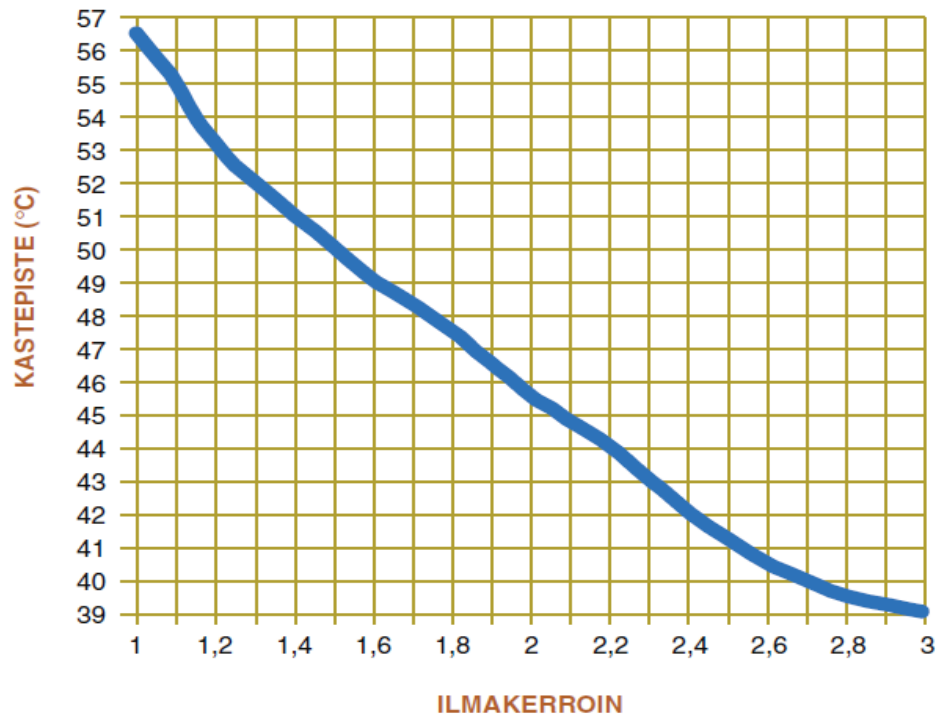
#### 4.1.2 Lämpöarvo

Kaasujen energiakäytöstä puhuttaessa keskeisin polttotekninen ominaisuus on niiden lämpöarvo. Polttoaineilla on kaksi lämpöarvoa. Alempi lämpöarvo on tehollinen lämpöarvo ja ylempilämpöarvo on kalorimetrinen lämpöarvo. Ylempi lämpöarvo sisältää savukaasujen sisältämän vesihöyryn lauhtumislämmön. Koska maakaasussa on murto-osa rikkiä (alle 1 %), voidaan osa lauhtumislämmöstä hyödyntää eli savukaasut jäädyttää alle vesikastepisteen. Esimerkiksi kondenssikattilat käyttävät tätä hyödyksi. Tällöin hyötysuhde paranee huomattavasti, koska savukaasuista voidaan ottaa suurempi energiamäärä talteen lämmönvaihtimien avulla. [Taulukko 2 ja kuva 6.]

Taulukko 2. Maakaasun lämpöarvot

		Maakaasu
<b>Tiheys</b>		<b>0,72 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Ylempi lämpöarvo</b>	<b>MJ/Nm<sup>3</sup></b>	<b>39,8</b>
	<b>MJ/kg</b>	<b>55,3</b>
<b>Tehollinen lämpöarvo</b>	<b>MJ/Nm<sup>3</sup></b>	<b>36</b>
	<b>MJ/kg</b>	<b>50</b>
	<b>kWh/kg</b>	<b>13,9</b>
	<b>kWh/Nm<sup>3</sup></b>	<b>10</b>





Kuva 6. Maakaasun savukaasujen vesikastepisteen riippuvuus ilmakertoimesta [10.]

#### 4.1.3 Tiheys

Normaalisti kaasun tiheys voidaan laskea normaaliolotilassa jakamalla molekyylipaino moolin tilavuudella 22,414 l. Laskettavan kaasun lämpötila on tällöin 0 °C ja kaasun paine on 1,01325 bar. Kaasun tiheyksiä verrataan usein ilman tiheyteen, joka on NTP olosuhteissa 1,293 kg/m<sup>3</sup>. Suhteellisella tiheydellä on merkitystä polttimien suutinvirtauksia mitoitettaessa tai vuototapauksissa, joissa pystytään arvioimaan kaasun käyttäytymistä. Maakaasun tiheys on noin puolet ilman tiheydestä, kuten esimerkiksi nestekaasu on huomattavasti ilmaa raskaampaa. [Taulukko 3.]

Taulukko 3. Metaanin moolimassa, tiheys ja suhteellinen tiheys

	Moolimassa [g/mol]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	suhteellinen tiheys
Metaani CH <sub>4</sub>	16,4	0,72	0,56

#### 4.2 Kaasuryhmät ja Wobbe-arvo

Eri energiakaasut luokitellaan kolmeen kaasuryhmään ja niiden alaryhmiin. Jaottelu tapahtuu niiden lämpöarvon ja tiheyden avulla lasketun Wobbe-arvon perusteella. Erityyppiset maakaasut kuuluvat toiseen kaasuryhmään. Suomessa käytettävä maakaasu kuuluu toisen kaasuryhmän alaryhmään H, joka tarkoittaa korkean lämpöarvon maakaasua. Kaasujen luokittelu on tärkeää, koska vain Wobbe-arvoltaan samansuuruisia kaasuja voidaan käyttää samassa kaasulaitteessa tai -polttimessa ilman suuttimen tai paineensäätimen muutoksia. Myös kaasulaitteet jaetaan samasta syystä useaan eri laiteluokkaan.

Eri energiakaasut luokitellaan kolmeen kaasuryhmään ja niiden alaryhmiin, lämpöarvon ja tiheyden avulla lasketun Wobbe-arvon perusteella. Erilaiset maakaasut kuuluvat toiseen kaasuryhmään ja esimerkiksi Suomessa käytettävä maakaasu toisen kaasuryhmän alaryhmään H (= korkean lämpöarvon maakaasu). Kaasujen luokittelu on tärkeää, koska vain Wobbe-arvoltaan samansuuruisia kaasuja voidaan käyttää samassa kaasulaitteessa tai -polttimessa ilman suuttimen tai paineensäätimen muutoksia. Myös kaasulaitteet jaetaan samasta syystä useaan eri laiteluokkaan.

## 5 Kaasupoltin

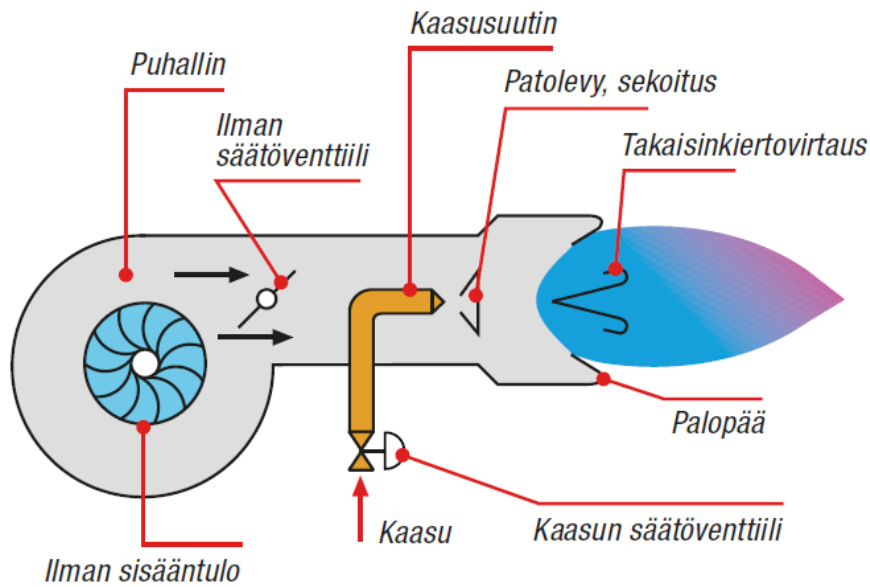
### 5.1 Kaasupolttimen rakenne

Tulitorvikattilan keskeisin osa on kaasupoltin. [Kuva 7.] Kaasupoltin voi olla tulitorvikattilaan kiinteästi rakennettu osa tai siihen erikseen liitettävissä. Tyypillisenä esimerkkinä voidaan pitää puhallinpolttimen ja lämmityskattilan yhdistelmää. Näin ollen kumpikin katsotaan kaasulaitteeksi ja niiden on täytettävä kaasulaiteasetuksen olennaiset vaatimukset.

Tietyn tyyppisiä yleisiä jakoja voidaan tehdä polttimille ja poltinkonstruktioille, koska niitä löytyy lukematon määrä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Palamisilman syöttötavan mukaisesti polttimet voidaan jakaa atmosfäärisiin polttimiin, joissa luonnollisen vedon avulla palamisilma ohjataan polttimelle ilman puhallinta. Toinen yleisessä käytössä oleva malli on puhallinpolttimet. [Kuva 8.] Niissä palamisilma johdetaan poltinpäähän ylipaineella, joka tehdään puhaltimen avulla.



Kuva 7. Poltin GKP - 600 M [11.]

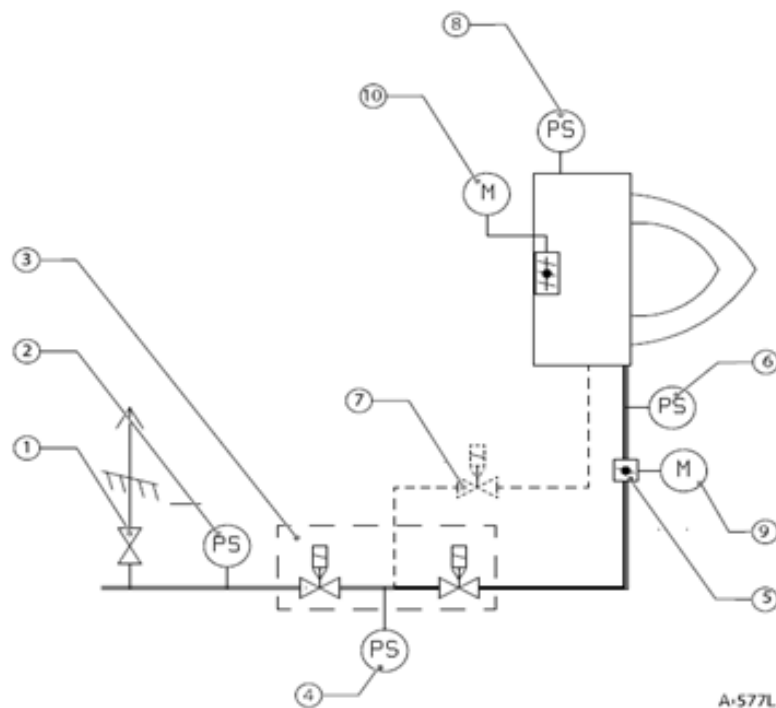


Kuva 8. Puhallinpolttimen rakenne [10.]

Polttimet voidaan myös ryhmitellä polttoaineen ja ilman sekoitustavan perusteella. Esimerkiksi diffuusiopolttimiin, joissa kaasu ja palamisilma kohtaavat vasta lähellä liekkiä tai vasta liekissä. Esisekoituspolttimissa kaasu ja palamisilma esisekoitetaan täydellisesti ennen liekkiä. Huomattava osa polttimista on käytännössä näiden välimuotoja. Osa palamisilmasta sekoittuu kaasuun ennen poltinpäää ja loput tarvittavasta ilmasta ohjataan liekkirintamaan, jotta saavutetaan polttoaineen täydellinen palaminen. Palamisen vaiheistuksella, esisekoituksella ja poltinpään muotoilulla vaikutetaan liekin ominaisuuksiin kuten sen pituuteen, muotoon ja säteilyominaisuuksiin. Palamisilman sekoitustavalla voidaan vaikuttaa merkittävästi typenoksidien syntyyn.

## 5.2 Kaasupolttimen varusteet

Kaasupolttimen toiminta ja käyttöturvallisuus edellyttävät tietyn varustuksen. Puhallinpolttimen vähimmäisvarustus on riippuvainen polttimen tehosta. Suuremmat polttimet tarvitsevat erillisen sytytyspolttimen, joka taas edellyttää omat ohjaus- säätö- ja valvontalaitteensa. [Kuva 9.]



1	Palloventtiili, ulospuhallus	7	Magneettiventtiili, sytytyskaasu, virrattomana kiinni, NC *)
2	Painekytin min.	8	Ilmanpaine-erokytin
3	Kaksoismagneettiventtiili	9	Säätömoottori, kaasu
4	Painekytin	10	Säätömoottori, ilma
5	Määränsäätöventtiili		
6	Painekytin max.	*)	tarvittaessa

Kuva 9. Kaasupolttimen PI-kaavio [11.]

Sulkuventtiili asennetaan aina kaasun tuloputkeen ennen poltinta tai poltinryhmää. Se sijoitetaan välittömästi ennen muita varusteita eikä sen toiminta ei saa riippua ulkopuolisesta energiasta. Vaihdetavalla suodatinpatruunalla varustettu suodatin estää mahdollisten epäpuhtauksien pääsyn polttimelle. Suodatin aiheuttaa kuitenkin

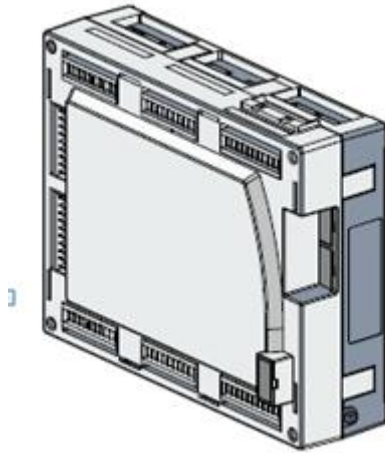
painehäviön, mikä on syytä ottaa huomioon, erityisesti jos kaasupolttimella ei ole omaa paineensäätölaitteistoa. Paineensäädin sijoitetaan normaalisti ennen kaasun sulkuventtiilejä. Paineen mittausta järjestetään paineen säätimen molemmiin puolin tai vähintään liitännällä mahdollistetaan säätimen asennus jälkikäteen.

Kaasun paineen minimipainekeytkin estää polttimen toiminnan, jos kaasun paine ei ole riittävä kaasupolttimen turvalliselle toiminnalle. Maksimipainekeytkin taas vastaavasti aiheuttaa pysyvän lukituksen, jos suutinpaine nousee liian korkeaksi eli 1,3-kertaiseksi verrattuna nimellispaineeseen. Toisessa mahdollisessa tapauksessa maksimipainekeytkin aiheuttaa pysyvän lukituksen jos polttoaineteho kasvaa 1,15-kertaiseksi verrattuna nimellisarvoon. Maksimipainekeytkin tarvitaan, jos paineensäädintä ei ole käytössä. Puhallinpolttimilla tarvitaan myös minimipainekeytkin palamisilmalle. Tämä kytkin voidaan korvata jollain muulla ilmavirtauksen valvonnalla, ei kuitenkaan pelkällä puhaltimen käynnin seurannalla.

#### 5.2.1 Keskusyksikkö

Keskusyksikkö on mikroprosessoripohjainen puhallinpolttimien poltinohjaus- ja turvajärjestelmä kahdelle polttoaineelle. Keskusyksikössä on seuraavat ominaisuudet [kuva 10]:

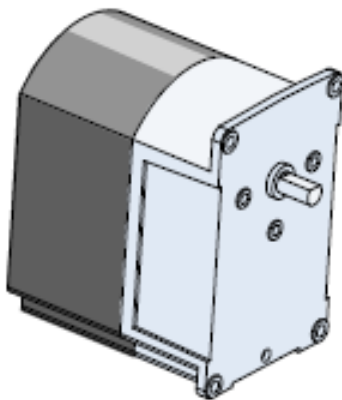
- polttimen ohjaus- ja turvatoiminnot
- sähköinen seossuhdesäätö
- kaasuventtiilien tiiveydentestaus
- tehonsäädin
- kattilan lämpötilanrajoitin
- kattilan kylmäkäynnistys suojaus
- polttoaineen kulutusmittari
- polttimen hyötysuhteen mittausta
- käynnistyskerta- ja käyntilaskurit
- vika- ja häiriöhistoria
- reaaliaikakello
- väyläliityntä



Kuva 10. Kaasupolttimen automaatiojärjestelmän keskusyksikkö [11.]

#### 5.2.2 Säätimömoottorit

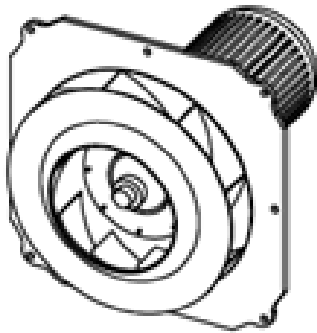
Säätimömoottoreita käytetään ilmansäätöpeltien, kaasumääränsäätimen ja öljymääränsäätimen säätämiseen. Säätimömoottoreiden avulla keskusyksikkö säätelee ilman ja polttoaineen seossuhdetta. [Kuva 11.]



Kuva 11. Kaasupolttimen säätimömoottori [11.]

### 5.2.3 Palamisilma

Polttimen yhteyteen rakennettu puhallin puhaltaa palamisilmaa tulipesään riittävän korkealla ja tasaisella paineella. Moottori voidaan kytkeä taajuusmuuttajaan. Taajuusmuuttaja säättää puhalluspainetta tehon mukaan muuntelemalla puhaltimien pyörimisnopeutta. [Kuva 12.]

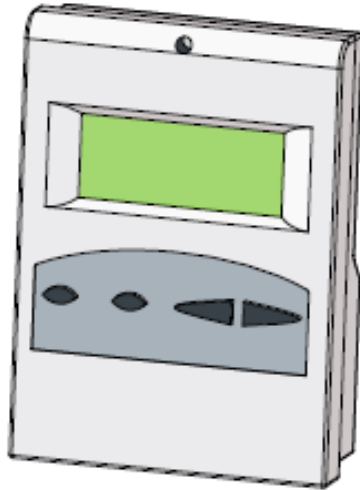


Kuva 12. Kaasupolttimen keskipakopuhallin [11.]

### 5.2.4 Ohjauspaneeli

WiseDrive-järjestelmän paikalliskäytön ohjauspaneelista seurataan järjestelmän toimintaa ja säädetään asetusarvoja. Valikkotekstien kieleksi voi valita jonkin skandinaavisista kielistä. Näytössä on paristovarmennettu muisti, johon keskusyksikön parametrit tallennetaan ja palautetaan tarvittaessa. Pariston kestoikä on noin 10 vuotta. [kuva 13.]

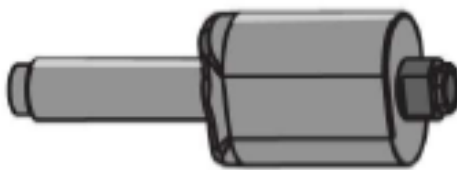




Kuva 13. WiseDrive-järjestelmän ohjauspaneeli [11.]

#### 5.2.5 Liekinilmaisin

Polttimessa on infrapunalieminilmais, joka on tarkoitettu kaas-, öljy-, ja muille infrapunavaloa säteileville liekeille. Liekin intensiteettiä monitoroidaan ohjauspaneelist. Liekinilmais on varustettu itsetestauksella ja se on ympärivuorokautiseen käyttöön soveltuva. [Kuva 14.]



Kuva 14. Kaasupolttimen liekinilmais [11.]

Suurissa polttimissa käytettävä sähköinen liekinvalvontalaite käsittää ulkoisella virtalähteellä toimivan liekinvalvontaelimen, ohjausyksikön sekä sulkuventtiilit. Liekkielektrodia tai valokennoa käytetään liekinilmaisimena. Sähköisellä liekinvalvontalaitteistolla voidaan valvoa ja ohjata polttimen päälliekkiä tai sytytysliekkiä

tai molempia niistä. Liekinilmaisimet sijoitetaan ja asennetaan siten, että ne reagoivat vain valvottavaan liekkiin. Reagointiajat sähköisillä liekinvalvontalaitteistoilla ovat hyvin lyhyitä. Niiden on havaittava liekki varmuusajan puitteissa; jos näin ei tapahdu niin polttimen automatiikka estää kaasun tulon polttimelle. Sytytykselle on annettu varmuusajaksi maksimissaan 5 s. Polttimen ollessa käynnissä pysäytyksen varmuusaika on 1 s. Tämä tarkoittaa sitä, että automaattisten sulkuventtiilien on aktivoiduttava sulkeutumaan 1 s kuluessa siitä, kun signaali liekin sammumisesta on saatu. Sulkuventtiilien on taasen sulkeuduttava kahden sekunnin kuluessa signaalista. Tämä 2 s aikajakso on polttimen kokonaissulku aika.

### 5.3 Kaasupolttimen käynnistäminen ja tehonsäätö

Kaasupolttimen käynnistys tapahtuu ennalta määritellyn ohjelman mukaisesti. Ohjelma suorittaa sytytystä edeltävät toimet oikeassa järjestyksessä ja varmistaa erilaisten lukitusehtojen täyttymisen. Annettuja lukitusehtoja ovat polttimen asento, kaasun paine ja palamisilman paine, liekkisignaalin olemassaolo ja hormin sulkulaitteen asento. Lukitukset voivat olla palautuvia tai pysyviä. Pysyvän lukituksen jälkeen uudelleen käynnistys joudutaan tekemään käsin ohjattuna.

Yleensä kaasupolttimen tulipesä on tuuletettava ennen polttimen sytytystä. Esituuletusaika on vähintään 20 s täydellä polttimen nimellistehoa vastaavalla palamisilmamäärällä. Jos esituuletuksen ilmamäärä on pienempi, on esituuletusaika vastaavasti pitempi. Esimerkkinä 50 %:in ilmamäärällä esituuletusaika on vähintään 40 s. Esituuletuksen ilmamäärä ei saa kuitenkaan olla pienempi kuin yksi kolmasosa täydestä palamisilmamäärästä.

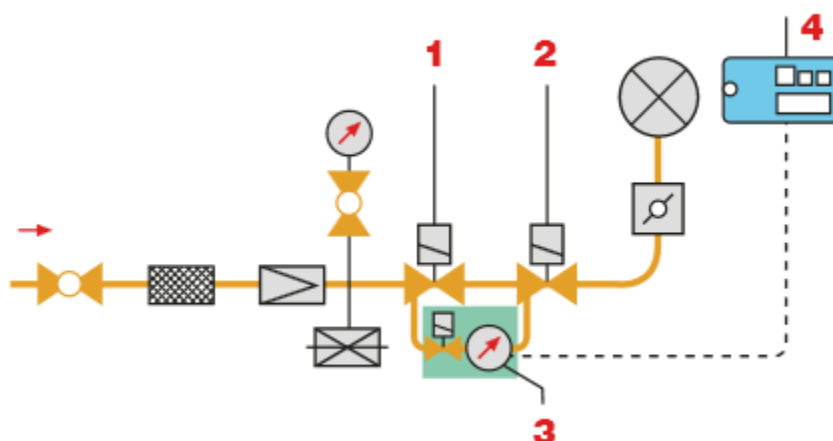
Kaasupolttimen maksimikäynnistystehot riippuvat polttimen varustuksesta ja koosta. Käytön alla olevan polttimen tehonsäätötapa valitaan kohteen edellyttämien tarpeiden mukaisesti. Yksinkertaisimmillaan tehonsäätö perustuu on/off-ratkaisuun. Vaativammissa kohteissa käytetään portaatonta moduloivaa tehonsäätöä. Portaaton tehonsäätö edellyttää samanaikaista ilma- ja kaasumäärän ohjausta. Puhallinpolttimilla kaasun ja ilman suhteen säätämiseksi tarvitaan säätölaitteet sekä kaasulle että palamisilmalle. Ne kytketään toisiinsa mekaanisesti vivuston avulla, pneumaattisesti tai

sähköisesti. Ohjaus toteutetaan siten, että palamisilmamäärä on riittävä kaikissa mahdollisissa käyttöolosuhteissa kaasupolttimen tehoa laskettaessa ja nostettaessa.

#### 5.4 Kaasupolttimen tiiviydentestaus

Automaattisten sulkuventtiilien tehtävänä on pysäyttää kaasuvirtaus, jos poltinautomaatiikka on antanut siihen käskyn tai jos toimilaitteen ohjausenergian saanti on keskeytynyt. Ohjausyksikön käskyt perustuvat määriteltyyn ohjaustoimintojen sarjaan tai turvalaitteiden antamiin signaaleihin. Automaattista sulkuventtiiliä voidaan käyttää myös sytytyskaasun säätämiseen. Kun poltin sytytetään vähennetyllä teholla, on toinen sulkuventtiileistä hitaasti aukeava. Pääpolttimella on aina kaksi automaattista sulkuventtiiliä pääkaasulle. Sytytyspolttimella on pääsääntöisesti myös kaksi sulkuventtiiliä sytytyskaasulle. Automaattisten sulkuventtiileiden varustus ja tiiviysluokka määräytyvät kaasupolttimen tehon ja polttimen esituuletuksen perusteella. Niiden toimivuutta valvotaan automaattisella tiiviydentestausjärjestelmällä, joka vaaditaan yli 1200 kW:n polttimille.

Martinlaakson apukattilan kaasupoltin GKP-600 M on 6000 kW:n poltin. Sulkuventtiilien välistä paineenpoistoa ei enää käytetä uusissa asennuksissa. Myös esituuletus voidaan tietyin edellytyksin korvata tiiviydentestausjärjestelmällä. Automaattinen vuodonilmaisinlaitteisto (3) käsittää automaattisten sulkuventtiilien (1 ja 2) väliin asennetun pienen kompressorin, joka paineistaa kaasupolttimen esituuletuksen aikana suljettuna olevaa venttiilien välistä tilaa. Jos paineistus onnistuu, venttiilit ovat tiiviitä ja kaikki on kunnossa. Ohjelmayksikkö (4) sallii polttimen käynnistämisen. [Kuva 15.]



Kuva 15. Automaattinen tiiviydentestauslaitteisto [10.]

### 5.5 Kaasupolttimen soveltuvuus eri kaasuille

Eri energiakaasuilla on selviä polttoteknisiä eroja, vaikka niitä voidaan käyttää samanlaisissa kohteissa ja ulkoiselta varustukseltaan samankaltaisilla kaasulaitteilla ja -polttimilla. Erot on otettava huomioon, jos samaa kaasulaitetta aiotaan käyttää eri kaasuilla. Keskeisin tekijä on polttotekniikan kannalta Wobbe-arvo, joka poikkeaa eri kaasuilla huomattavasti. Kuitenkin hiilivedyt tarvitsevat palamisilmaa suhteessa energiamäärään likimain yhtä paljon, noin 0,24 m<sup>3</sup>/MJ.

Wobbe-arvo on kaasun lämpöarvo jaettuna kaasun suhteellisen tiheyden neliöjuurella. Jos kaasupoltinta halutaan käyttää eri kaasuilla ja siten, että palamisilmamäärä ja teho pysyvät ennallaan, on kolme vaihtoehtoa. Ensimmäisenä vaihdetaan suuttimen kokoa tai tyyppiä. Toisena vaihtoehtona voidaan säätää kaasun paine sellaiseksi, että suuttimessa syntyvä paine-ero pitää energiavirran saman suuruisena. Viimeisenä voidaan muuttaa poltettavan kaasun Wobbe-arvoa keinotekoisesti. Tyypillisin esimerkki Wobbe-arvon muuttamisesta on propaanin ja ilman sekoittaminen sopivassa suhteessa siten, että kyseisen kaasuseoksen Wobbe-arvo on lähellä maakaasun Wobbe-arvoa. Näin maakaasu voidaan korvata propaani-ilma-seoskaasulla ilman, että kaasulaitteisiin tai paineen säätimiin tarvitsee tehdä muutoksia. Maakaasun varajärjestelmissä hyödynnetään kyseistä tekniikkaa

## 5.6 Kaasupolttimien sytytyslaitteet

Kaasupoltin sytytetään joko suoraan täydellä teholla tai vähennetyllä teholla tai erillisen sytytyspolttimen avulla. Kaasu-ilma-seoksen pitää olla tarkasti määritelty sytytyksessä. Erillisen sytytyspolttimen tarve onkin suurempi kaasumaisilla polttoaineilla kuin esim. öljyllä. Kaasupolttimien suora sytytys täydellä teholla on sallittu vain teholtaan enintään 120 kW:n polttimille. Sytytys tapahtuu yleensä sähköisellä sytytysjärjestelmällä, johon kuuluu sytytysmuuntaja ja sytytyskärjet. Kaasupolttimien maksimikäynnistystehot ja varmuusajat määrittyvät polttimen sytytyslaitteiston ja polttimen tehon mukaan. Varmuusaika on määritelty seuraavasti: se on aika, jonka kuluessa liekinvalvontalaitteiston on havaittava liekin syttyminen sulkuventtiilin avautumiskäskyn jälkeen.

## 5.7 Palaminen

### 5.7.1 Liekki

Maakaasu palaa sinisellä, heikosti valaisevalla liekillä. Maakaasulta puuttuu vapaiden hiilipartikkeleiden aikaansaama liekkisäteily, joten kaasuliekki on vain heikosti säteilevä. Kaasusäteily on kolmiatomisten kaasujen, tässä tapauksessa CO<sub>2</sub>- ja H<sub>2</sub>O-molekyylien, säteilyä korkeassa, yli 500 °C:n lämpötilassa. Maakaasun palamisprosessissa syntyy paljon vesihöyryä ja sitä myöten kaasusäteily on esimerkiksi öljyn savukaasujen kaasusäteilyä voimakkaampaa. Säteilylämmönsiirrosta kaasusäteilyn osuus on kuitenkin liekkisäteilyä (hiukkassäteily) selvästi pienempää. Maakaasuliekin kokonaissäteilyintensiteetti jääkin huomattavasti pienemmäksi kuin öljyliekin. Palamislämpötilat (adiabaattiset) ovat maakaasulla ja polttoöljyllä samaa suuruusluokkaa.

### 5.7.2 Polttoaineen syttyminen ja syttymisrajat

Kaasumaisilla polttoaineilla on palamisen kannalta kaksi päätekijää, jotka vaikuttavat olennaisesti polttoaineiden käyttöön. Ensimmäiseksi maakaasun syttymisen edellytyksenä on aikaansaada palamiskelpoinen seos. Perussääntönä maakaasulle voidaan pitää että sitä pitää olla ilmassa vähintään 5 tilavuus - %, mutta kuitenkin alle

15 tilavuus - %. Syttymisrajojen tarkat arvot riippuvat kahdesta suureesta, palamisilman lämpötilasta ja happipitoisuudesta. Lisättäessä happea kaasuseokseen sen syttymisalue laajenee huomattavasti. Toisena pääseikkana kaasumaisille polttoaineille on tunnusomaista niiden korkeahko syttymislämpötila. Maakaasulle syttymislämpötila on 600 - 650 °C ja nestekaasulle noin 500 °C. Huomion arvoisena seikkana sytyttämiseen tarvittava energiamäärä on kuitenkin pieni. [Taulukko 4.]

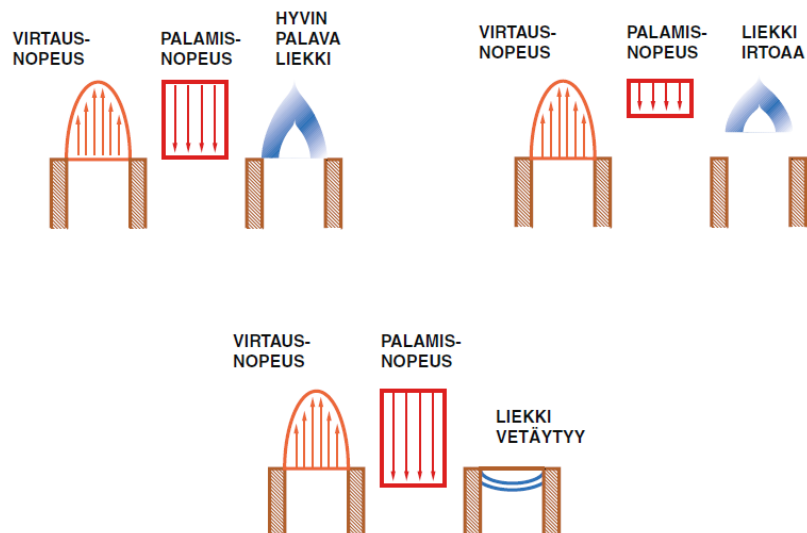
Taulukko 4. Metaanin syttymisrajat.

Tilavuus - % kaasua ilmassa/hapessa			
metaani CH <sub>4</sub>	Ilmassa 20 °C 5,0 - 15,0	Ilmassa 200 °C 4,2 - 14,7	Hapessa 20 °C 5,0 - 60,0

Syttymisrajoihin voidaan vaikuttaa inerttikaasulla. Inertti tarkoittaa ainetta, usein kaasua, joka ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa eli on reaktiokyvytön, kykenemätön muodostamaan kemiallisia yhdisteitä. Inerttiä kaasua käytetään esimerkiksi kun halutaan huoltotöiden aikana varmistaa, ettei kaasuseos ole syttyvää. Tällöin voidaan ilmaan lisätä inerttikaasua, hiilidioksidia tai typpeä. Esimerkiksi typen lisääminen ilmaan siten, että sen osuus on 37 tilavuus - %, tekee metaanista syttymiskelvottoman.

### 5.7.3 Palamisnopeus

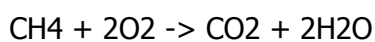
Palamisnopeus kuvaa palamisrintaman etenemisnopeutta syttymiskelpoisessa seoksessa. Tämä on ratkaiseva tekijä liekin muodostuksen ja hallinnan kannalta. Kaasuseoksen palamisnopeuden on oltava tasapainossa kaasun virtausnopeuden kanssa. Jotta pystytään polttimessa vaikuttamaan liekin kokoon, muotoon ja stabiilisuuteen on polttimen palopään ja kaasusuuttimen muotoilun ja mitoituksen oltava kohdallaan. Myös palamisilman ja kaasun paine, nopeus ja sekoitustapa vaikuttavat olennaisesti kaasupolttimen liekkiin. Tavallisesti palamisnopeus maakaasulla on alle puoli metriä sekunnissa. [Kuva 17.]



Kuva 17. Kaasun virtaus ja palamisnopeuden vaikutus liekin vakauteen [10.]

#### 5.7.4 Palamisyhtälöt

Palamisreaktiot koostuvat sadoista eri reaktioista ja välivaiheista. Yksinkertaistettuna kuitenkin maakaasun eli toisin sanoen metaanin palaminen voidaan esittää moniosaisesta tapahtumasta yksinkertaiseen reaktioon.

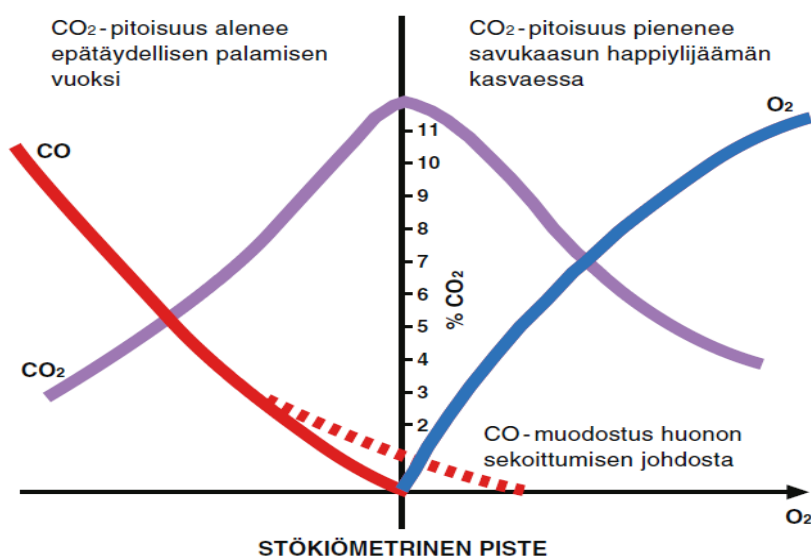


Palamisreaktiossa metaani reagoi hapen kanssa vapauttaen hiilidioksidia ja vettä eli vesihöyryä. Palamisreaktiossa vapautuu lämpöä lämpöarvon mukainen määrä eli 36 MJ/Nm<sup>3</sup>.

#### 5.7.5 Ilmakerroin

Metaanilla stökiometrinen eli teoreettinen palamisilman tarve on 9,6 m<sup>3</sup>. Käytännössä jotta kaasuseos palaisi täydellisesti, tarvitaan kuitenkin teoreettista määrää enemmän palamisilmaa. Maakaasulla voidaan kuitenkin ilmaylimäärä pitää pienenä. Tyypillisesti päästään jopa ilmakertoimeen 1,1. Poltettaessa liian suurella ilmaylimäärällä palamishyötysuhde heikkenee. Palaminen ei saa kuitenkaan tapahtua ali-ilmalla, koska

silloin muodostuu häkää ja palamattomia hiilivetyjä jää savukaasuihin. Myös nokea voi muodostua. Savukaasumittausten avulla säädettävässä palamisessa mitataan aina sekä happi- että häkäpitoisuus. Happilyijäämän mittausta ei takaa täydellistä palamista, sillä häkää voi syntyä myös palamisilman ja kaasun huonon sekoittumisen vuoksi. CO<sub>2</sub>-pitoisuus ei myöskään yksinään kerro sitä, tapahtuuko palaminen yli- vai ali-ilmalla. Ilmakerroin voidaan määrittää myös mittaamalla CO<sub>2</sub>- ja O<sub>2</sub>-pitoisuudet. Jos käytössä ei ole savukaasun happijäännökseen perustuvaa palamisilmamäärän säätöä, ilmakerroin kannattaa pitää vähintään arvossa 1,2. [kuva 18.]



Kuva 18. Happi-, hiilidioksidi- ja häkäpitoisuuksien riippuvuus ilmakertoimesta [10.]

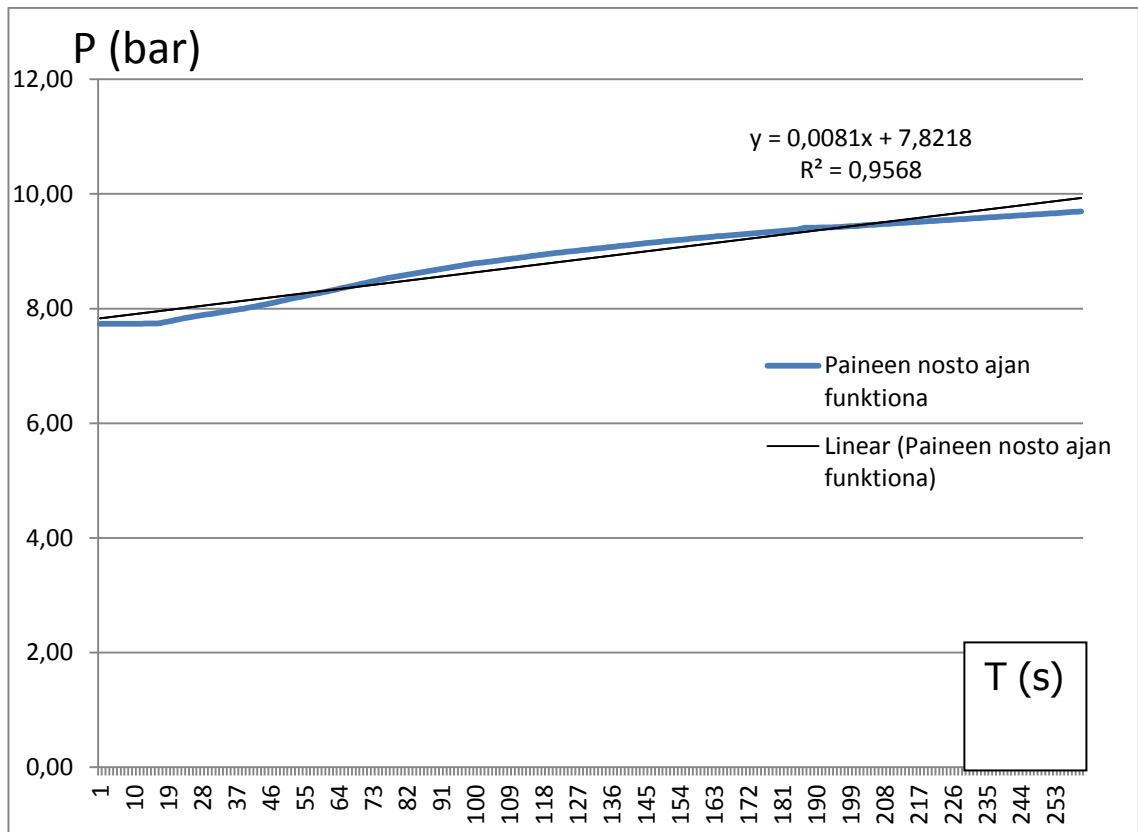


## 6 Koeajot

### 6.1 Paineen noston koeajo

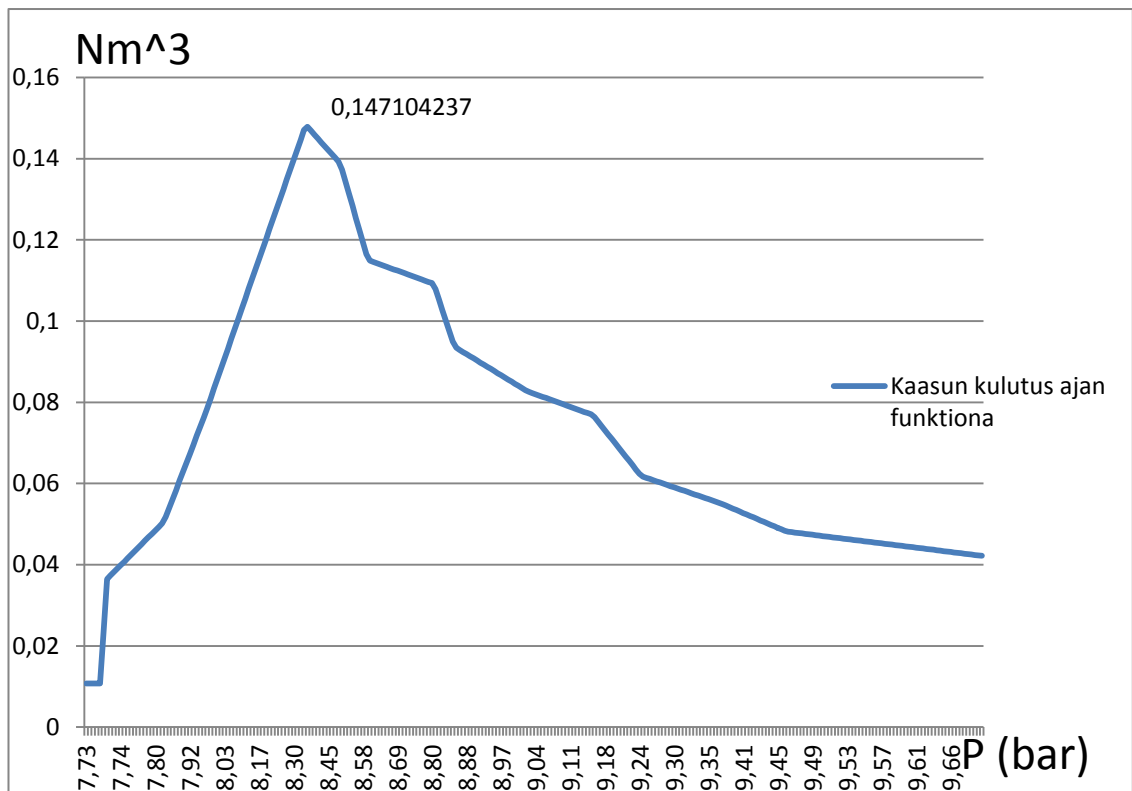
Työssä selvitettiin, mitä hyötyjä ja haittoja saavutetaan polttimelle ja kattilalle apukattilan paineen tason laskulla. Tehtiin muutamia testiajoja, joissa testattiin miten painetason lasku vaikuttaa polttimeen käyntiin ja sen kuluttamaan maakaasuun. Painetason lasku oli mahdollista laskea, koska apuhöyryn laadun vaatimukset täyttyvät 8 bariin paineella. Apukattila pystyy vielä tällöin vastaamaan välittömästi höyryverkon tarpeeseen jos kuorma putoaa. Kattilassa on höyrykierukka, joka lämmittää kattilavettä 8 bariin asti. Poltin tulee mukaan siinä vaiheessa, kun höyrykierukan teho ei enää riitä nostamaan kattilan painetta. Poltin siis lähtee käyntiin, kun kattilan paine on 8 bar. Todellisuudessa höyrykierukka ei jaksaa nostaa kattilan painetta 8 bariin, ja näin poltin joutuu käymään enemmän kuin ihannetilanteessa.

Ensimmäisessä testiajossa kattilan painetta nostettiin 8 barista 9,7 bariin. Paineen nosto tapahtui venttiiliä vasten eli kattila oli erotettu verkosta paineen noston ajaksi. Paineen nostoon kului aikaa 258 s ja kaasua kului 19,415 Nm<sup>3</sup>. Voimalaitoksen automaatiosta saatiin data. Voimalaitoksen automaatio antoi paineen nostosta datan joka sekunti kyseistä ajanhetkeä vastaavalle paineelle. Selvennettyinä voimalaitoksen automaatio laski kaasun kulutuksen ja kattilan paineen joka sekunnille. Näin saatiin tarkka kuvaaja paineen nostosta. Kuvassa 19 on laskettu Excelillä paineen nosto ajan funktiona. X-akselilla on aika (t) sekunteina (s), Y-akselilla paine (p) bareina. Paineen noston käyrälle on asetettu vielä lineaarinen paineen nousu ja kulmakerroin. [Kuva 19.]



Kuva 19. Paineen nosto ajan funktiona.

Kuvassa 20 kuten edellä kuvassa 19 on maakaasun kulutus paineen funktiona. X-akselilla paine bareina, Y-akselilla maakaasun kulutus normikuutioina. Kaasun kulutus tulee voimalaitoksen automaatiosta, jossa joka sekunnille automaatio mittaa kaasun kulutuksen. Kuvaajaa voi myös tarkastella polttimen käynnin graafina, joka kertoo kuinka suurella teholla poltin käy paineen noston aikana, koska polttimen teho on suoraan verrannollinen polttimen polttaman maakaasun määrään. Poltin lähtee nostamaan kattilan painetta 7,73 barista ja nostaa kattilan painetta 8,5 bariin suurella teholla. Tämän jälkeen poltin vähentää tasaisesti kohti loppua polttamaansa kaasua ja samalla polttimen tuottama teho kattilaan vähenee. [Kuva 20.]



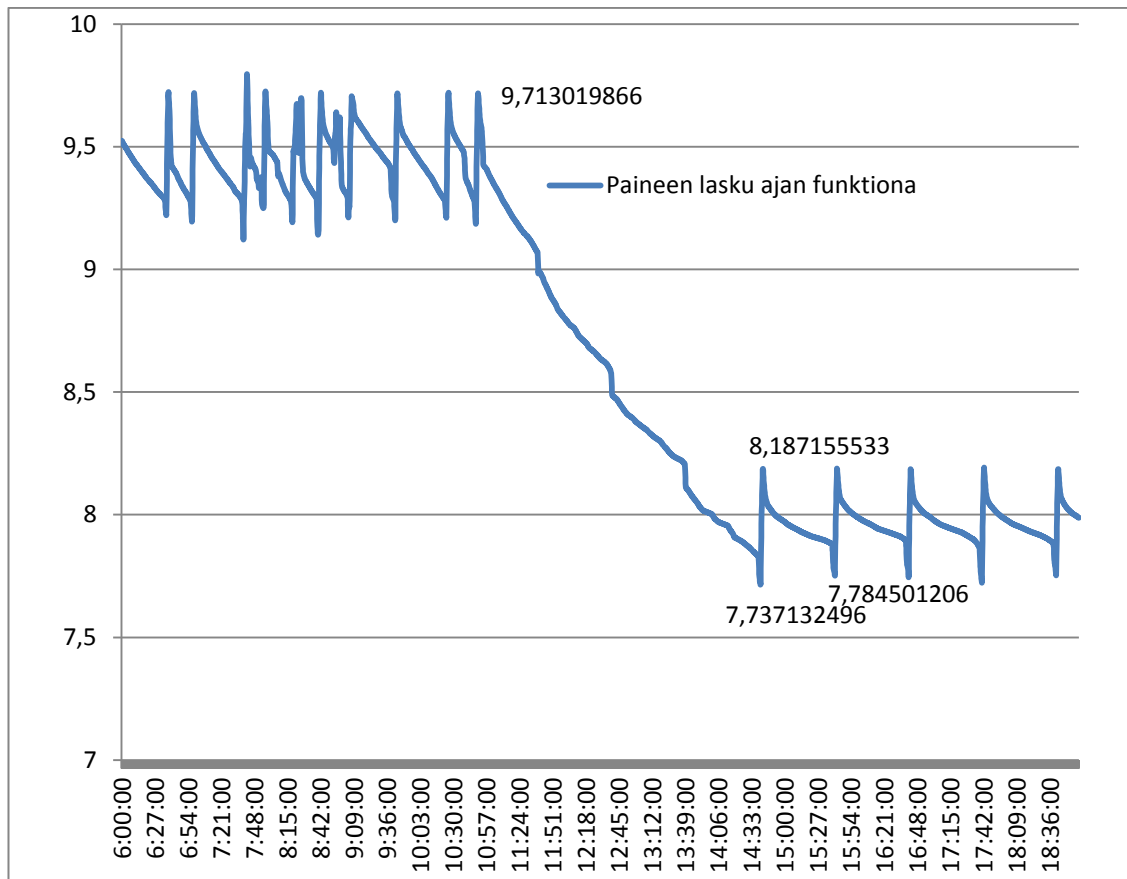
Kuva 20. Kaasun kulutus paineen funktiona, paineen noston aikana.

Tässä vaiheessa koeajoa huomattiin, että tehty paineen nosto ei vastaa yhtään kattilan ja polttimen oikeanlaista käyttäytymistä reaalitytilanteessa ja tuloksia ei näin voida käyttää mallintamaan polttimen kuluttamaa maakaasun määrää eikä polttimen oikeanlaista toimintaa. Paineen tarkoitus oli pysyä painetaso laskun jälkeen 8 barin tietämillä. Koeajon mukaan paine olisi noussut aina 7,7 barista 9,7 bariin ja laskenut tämän jälkeen taas 7,7 bariin. Paineen noston ja laskun kuluttama aika yhteensä olisi ollut paineen nostoon kulunut aika lisättynä paineen laskuun kuluneella ajalla. Tästä syystä ensimmäistä koeajoa ei voitu käyttää laskennassa mallintamaan reaalitytilannetta kattilan valmiustilan aikana. Kuitenkin saatiin koeajon perusteella havaintomateriaalia kattilan ja polttimen toimintaan liittyen.

## 6.2 Paineen laskun koeajo

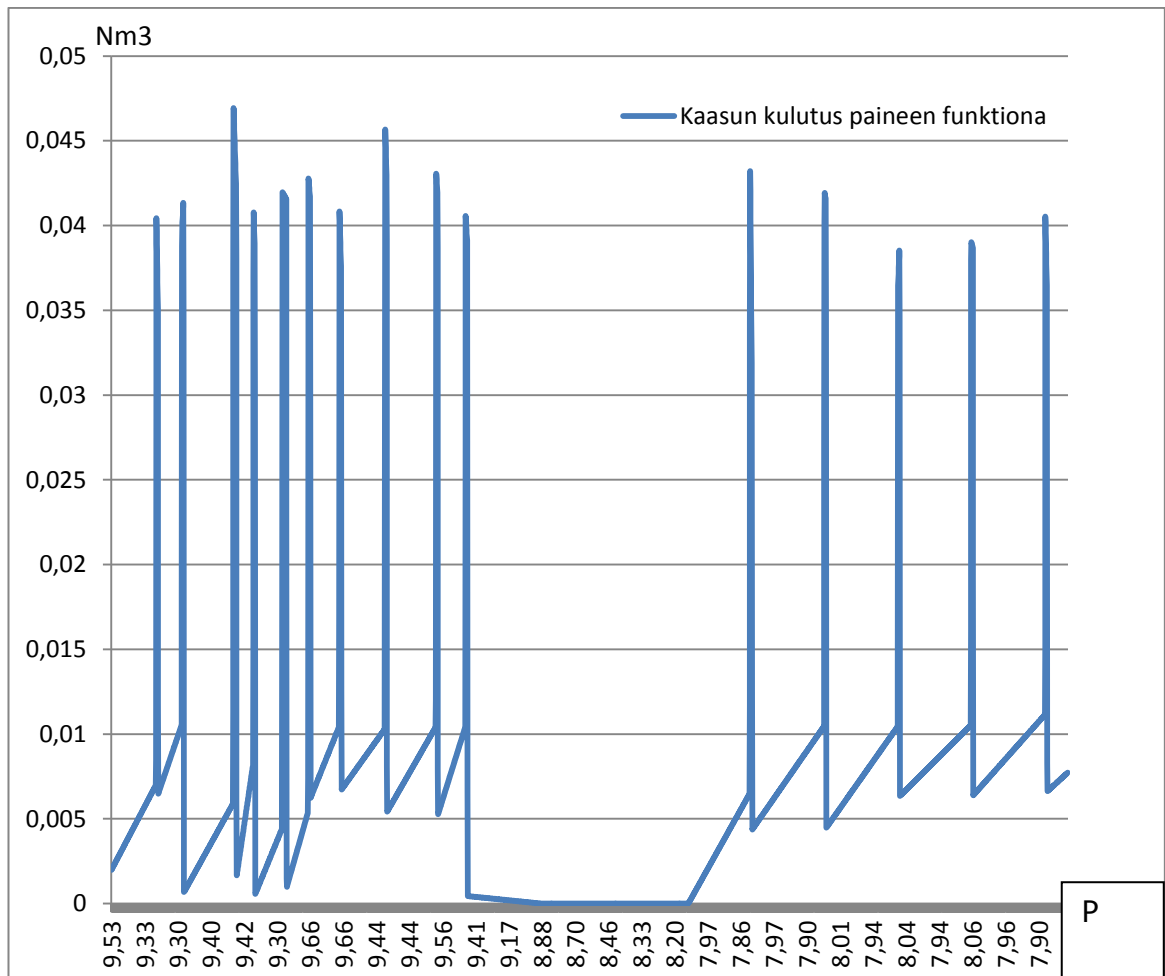
Oikea käyntigraafi saatiin suoraan Metson automaatiosta. Paineen laskun koeajossa asetettiin polttimen automaation WiseDrive-ohjelman ohjauspaneelin kattilan paineeksi 8 bar ja otettiin voimalaitoksen automaation antama data ylös 12 tunnin ajalta. Aikajakson keskivaiheilla on tekemämme paineen laskun koeajo. Laskenta perustuu täysin automaation antamaan dataan ja graafiin. Graafista näkyy polttimen käyntiajat, kattilan paineet halutulla ajanhetkellä ja polttimen kuluttama maakaasu.

Automaation mittauksiin perustuvassa kuvassa 21 on paineen lasku ajan funktiona. X-akselilla on kellonaika ja Y-akselilla on paine (bar). Automaatio mittasi kattilan paineen ja polttimen kaasunkulutuksen joka kymmenes sekunti. Painetason laskun alkaessa kello 10:50:20 kattilan paine on 9,7 bar. Paine laskee tasaisesti 3 h 51 min ja 10 s. Tällöin kattilan paine on 7,73 bar ja poltin käynnistyy nostaakseen paineen takaisin 8 bariin. Ennen painetason laskua poltin nosti paineen aina 9 barista 9,5 bar:iin ja painetason laskun jälkeen poltin nosti paineen 7,7 barista 8,2 bariin. Polttimen sahaava käyntigraafi kertoo, kuinka polttimen tuottaman tehon siirto kattilaveteen ja sitä kautta höyryksi tapahtuu viivellä kattilassa ja siksi polttimen automaation on pystyttävä vastaamaan paineen nousuun. Graafin perusteella pystytään laskemaan polttimen kuluttama maakaasu ja polttimen käynnistyskerrat ennen ja jälkeen painetason laskun. Tuloksia verrataan toisiinsa ja näin saadaan painetason laskun hyöty selville.



Kuva 21. Paineen lasku ajan funktiona.

Kuvassa 22 on maakaasun kulutus paineen funktiona. X-akselilla on paine bareina ja Y-akselilla on maakaasun kulutus normikuutioina. Kuvaajassa piikit kuvaavat polttimeen kuluttamaa maakaasua tietyllä paineen arvolla. Kuvaajan piikit ovat jyrkkiä, koska poltin lämmittää kattilaa täydellä teholla ja porrastusta ei synny. Maksimi kaasunkulutus voidaan katsoa piikin huipusta tietyllä paineella. Kuvaajan perusteella voidaan lähinnä tarkastella polttimeen kuluttaman maakaasun määrää ja polttimeen käyntikertoja helpommin. Jokainen piikki kuvaa yhtä polttimeen käyntikertaa, jolloin poltin nostaa painetta kattilaan. Automaatio on laskenut kaasun kulutuksen ja kattilan paineen joka kymmenes sekunti.



Kuva 22. Kaasun kulutus paineen funktiona.

## 7 Tulokset

### 7.1 Kaasun kulutus ennen painetason laskua

Tuloksien laskennassa oli tarkoitus selvittää maakaasun kulutus ennen ja jälkeen painetason laskun. Toisena prioriteettinä oli tarkastella polttimen käyttäytymistä ja sen käynnistyskertoja apukattilan valmiusaikana. Voimalaitoksen käyttöorganisaatiolta saatiin maakaasun hinta megawattitunnilta.

Kuvaajassa 3 on paine ajan funktiona. Laskenta perustuu voimalaitoksen automaation antamaan dataan. Datan otantaväli voimalaitoksen automaatiosta on noin 13 h aikajakso. Laskut jaettiin kahteen osa-alueeseen. Ensiksi laskettiin ennen paineen laskua oleva kaasunkulutus apukattilan valmiusajalta, joka on 50 vko/a.

Polttimen kuluttama kaasumäärä otettiin automaation datan perusteella mahdollisimman suurelta aikaväliltä, joka oli 4,5 h. Data käsitti kattilan painealueen 9 barista 9,7 bariin ennen paineen laskua. Polttimen kaasun kulutus saatiin voimalaitoksen automaation datan perusteella 4,5 h aikajaksolta. Koko 4,5 h aikana kulunut kaasu jaettiin polttimen aikajakson pituudella eli 4,5 h. Maakaasun kulutuksen keskiarvoksi 1 h ajalle saatiin 2,92 Nm<sup>3</sup>/h. Seuraavaksi laskettiin maakaasun kulutukselle vuoden keskiarvo 1 h kulutuksen keskiarvon perusteella. Vuoden aikajaksosta poistettiin 2 vk:n voimalaitoksen totaaliseisokin aika jolloin apukattila tukee täydellä teholla höyryprosessia voimalaitoksella ja näin 2 vk:n aikajakso ei ole vertailukelpoinen muun datan kanssa.

Kattilan valmiustila, jota käsiteltiin laskuissa, on siis 50 vk. Kaasunkulutukseksi 50 vk:n aikajaksolle saatiin noin 24 100 Nm<sup>3</sup>. Tästä laskettiin kaasumäärän energia megajouleina ja muutettiin megawattitunneiksi. Gasumin vuonna 2012 antaman tiedotteen perusteella taulukossa 5 lasketaan kaasumäärän lämpöarvon keskiarvoksi 36,10518 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Taulukko 5. Gasumin tiedotteesta maakaasun lämpöarvon keskiarvo.

2012 maakaasun lämpöarvon keskiarvo			
Pvm.	MJ/Nm <sup>3</sup>	Keskiarvo	
1.11.2012	36,182	36,10518 MJ/Nm <sup>3</sup>	
1.10.2012	36,192		
1.9.2012	36,133		
1.8.2012	36,225		
1.7.2012	36,106		
1.6.2012	36,136		
1.5.2012	36,098		
1.4.2012	36,011		
1.3.2012	36,011		
1.2.2012	36,051		
1.1.2012	36,012		

Kaasumäärän energiaksi saatiin noin 243 MWh/50 vk. Lopuksi laskettiin energian hinta, joka on 50 vk:n energiamäärä MWh, kerrottuna maakaasun hinnalla. Maakaasun keskihinnaksi asetettiin 45,69 €/MWh. Kaasun hinta perustuu tilastokeskuksen 2012

neljännen vuosineljänneksen raporttiin energian hinnoista. Tämän perusteella lopulliseksi maakaasun hinnaksi saatiin 11 100 €.

Polttimen käynnistyskertojen määrä vuodelle laskettiin samalta 4,5 h:n dataväliltä. käynnistyskertoja kertyi 8 kpl 4,5 h:n ajalle. 50 vk:n aikana polttimen käynnistyskertoja kertyi noin 15 500 kpl. [Taulukko 6.]

Taulukko 6. Kaasunkulutuksen laskelmat ennen paineen laskua.

Ennen paineen laskua kaasun kulutus			Kaasun tehoarvo	
13,12	Nm3/4,5h		874 134,3	MJ
2,92	Nm3/h		242 815,1	KWh
69,97333333	Nm3	päivässä	242,8151	MWh
2 099,2	Nm3	kuukaudessa		
24 210,77333	Nm3	vuodessa		
Käynnistyskertoja vuodessa				
Eli taulukon mukaan n. 8 kertaa 4,5 h aikana				
15 573,33	vuodessa			

Maksaa
11 094,22

## 7.2 Kaasun kulutus painetason laskun jälkeen

Kattilan paineen laskun jälkeen kaasunkulutus laskettiin seuraavanlaisesti. Polttimen käyntigraafi muuttui merkittävästi paineen laskun jälkeen, mikä helpotti laskemista huomattavasti. Polttimen yhden käyntikerran kaasunkulutus laskettiin voimalaitoksen automaation datan perusteella. Datan otantaväli katsottiin kattilan kahden alhaisimman paineen aikaväliltä ja tältä aikaväliltä myös maakaasun kulutus. Kuvaajassa on neljä kokonaista lähes identtistä polttimen käynnistyskertaa. Näille neljälle käynnistyskerralle laskettiin maakaasun kulutus ja tämän jälkeen laskettiin keskiarvo maakaasun kulutukselle näillä neljällä aikajaksolla. Maakaasun kulutuksen keskiarvo oli 3,21 Nm<sup>3</sup> jokaista käynnistyskertaa kohden. [Taulukko 7.]



Taulukko 7. Laskelma kaasunkulutuksesta paineen laskun jälkeen.

kaasun kulutus paineen laskun jälkeen							Valmiustila sekunteja
Taulukon keskiarvo	Nm3				s		Vuodessa
	3,21				3612,50	s	30 326 400
1 kerta	Nm3	alkaa	loppuu	erotus	3640,00		
	3,03	14:40:30	15:41:10	1:00:40			
2 kerta							
	3,02	15:41:10	16:41:10	1			
3 kerta					3600		
	3,29	16:41:10	17:40:50	0:59:40			
4 kerta					3580		
	3,49	17:40:50	18:41:20	1:00:30			
					3 630,00		

Laskut ennen ja jälkeen painetason laskun koeajon ovat vertailukelpoisia, koska kummassakin tapauksessa kaasunkulutukselle on laskettu keskiarvo tunnin kaasunkulutuksen perusteella. Keskiarvo laskettiin myös näiden aikajaksojen pituudelle. Aikajakson pituudeksi saatiin noin 1 h. Kaasunkulutuksen arvoksi 50 vk:lle laskettiin yhden käyntikerran kaasunkulutus kerrottuna polttimen käynnistyskerrat 50 vk:n aikana. Polttimelle kertyi kyseiseltä ajanjaksolta noin 8 400 käynnistyskertaa. Maakaasua kului tänä ajanjaksona noin 27 000 Nm3. Maakaasun energiamääräksi tulosten perusteella laskettiin noin 270 MWh/50 vk. Maakaasun keskihinnan mukaan saatiin laskelmien perusteella vuoden ajalle 12 300 €. [Taulukko 8.]

Taulukko 8. Laskelma kaasunkulutuksesta paineen laskun jälkeen.

Käynnistyskertoja vuodessa		lämpöarvo	
8 394,851		36,10518	MJ/Nm3
Kaasua kuluu NOIN		Kaasun tehoarvo	
26 915,17 Nm3		971 776,9	MJ
		269 938	KWh
Maksaa		269,938	MWh
12 333,47 €			

Lopuksi tuloksia verrattiin toisiinsa ja laskettiin ennen paineen laskua ja sen jälkeen saatujen tulosten erotus maakaasun hinnalle ja polttimeen käynnistyskertojen määrälle. Kaasumäärän säästökseen paineen laskun myötä saatiin 1 240 € valmiustila kauden aikana ja käynnistyskertoja kertyi noin 7 200 kertaa vähemmän vuodessa. [Taulukko 9.]

Taulukko 9. Painetason laskemisesta saadut tulokset.

Kaasun kulutuksen säästö vuodessa valmiustilan aikana	
1 239,247	€
Käynnistyskertojen määrän väheneminen paineen laskun seurauksena	
7 178,48	kertaa vähemmän käy poltin vuodessa

## 8 Tulosten ja tavoitteiden arviointi

Tuloksista olisi saatu huomattavasti tarkempia, jos laskelmat olisi tehty pidemmältä aikajaksolta. Näin olisi saatu suurempi datamäärä laskennan perusteeksi. Näin virhemarginaali lasketuille tuloksille olisi pienentynyt huomattavasti. Noin 4 h:n vertailtavalla datavälillä lasketut tulokset vuoden ajalle eivät voi olla kovin tarkkoja. Näin tuloksista voidaan antaa vain arvio eli tulokset ovat suuntaa näyttäviä. Suuren energiayhtiön mittakaavassa laskettu maakaasun säästö vuodessa on olematonta. Työn

laskuissa ei lähdetty ottamaan huomioon maakaasun hinnan nousevaa verotusta, koska maakaasun säästö jäi todella vähäiseksi. Vantaan Energia alkaa tästä syystä selvittää apukattilan lämmityksen tehostamista, jottei kaasua kuluisi ylläpitolämmitykseen nykyistä määrää.

### 8.1 Yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon verotus

Energiaverolainsäädännössä sähköntuotannossa kulutetut polttoaineet ovat verottomia, kun taas lämmöntuotannossa kulutetut polttoaineet ovat verollisia. Yhdistetyllä sähkön- ja lämmöntuotannolla tarkoitetaan sitä, että voimalaitos tuottaa samalla verokaudella sekä sähköä että lämpöä hyötykäyttöön joko yhtä aikaa tai erikseen. Tämä tarkoittaa sitä, että sama laitos voidaan eri verokausina tulkita verotuksellisesti niin yhdistetyksi tuotannoksi, erilliseksi sähköntuotannoksi kuin myös erilliseksi lämmöntuotannoksi. Verotuksellisesti ratkaisevaa on siis se, mitä laitos verokauden aikana tuottaa. Yhdistetyn tuotantolaitoksen lämmöntuotannon polttoaineet määritellään kulutukseen luovutetun lämmön perusteella käyttämällä tehollisia lämpöarvoja. Kulutukseen luovutetulla lämmöllä tarkoitetaan voimalaitokselta kaukolämpö- ja prosessihöyryverkkoon sekä muuhun vastaavaan hyötykäyttöön luovutetun lämmön määrää. Yhdistetyn polttoaineiden verot määrätään sen lämpömäärän perusteella, joka saadaan kertomalla kulutukseen luovutettu hyötylämpömäärä keroimella 0,9. Näin saatu lämpömäärä jaetaan kullekin käytetylle polttoaineelle siinä suhteessa, jossa polttoainetta on kulutettu. Verolainsäädännön perusteella apukattilan osuus käytetystä maakaasusta valmiustilan aikana on mitätön osa laitoksen koko maakaasun kulutuksesta ja maakaasuun kohdistuvasta verotuksesta. Tästä syystä ei opinnäytetyössä käsitelty muuttuvaa maakaasun verotusta apukattilan osalta. [1.]

### 8.2 Polttimeen käyntikertojen väheneminen

Huomattavaa on kuitenkin, että polttimeen käyntikerrat vähenivät vuoden ajalla huomattavasti. Eroa kertyi reilut 7000 käynnistyskertaa vähemmän kuin ennen paineenlaskua. Tästä syystä tuloksissa keskityttiin tarkastelemaan paineen laskun myötä saatua hyötyä polttimeen kannalta enkä niin paljon kulutetun maakaasun ja siitä saatavan taloudellisen hyödyn kannalta.

Työssä selvitettiin polttimeen huollosta aiheutuvat kustannukset vuositasolla. Polttimeen vuosihuoltoon sisältyy polttimeen liekkiavalvojan vaihto sekä automaation ja öljypuolen läpikäynti. Liekkiavalvojan hinta on 150 € ja Oilon velottaa Vantaan Energiaa 80 €/h. Vuosihuollon kesto on 2 - 3 h. Polttimeen vuosihuollon perushinnaksi saadaan noin 390 € jos polttimeen huollossa ei ilmene muita ongelmia. Tämä on todella pieni summa vuositasolla, ja sen hyödyt polttimeen toiminnan ja elinkaaren kannalta ovat suuret.

Paineen laskun jälkeen saatu data on todella säännöllistä ja symmetristä, joten paineen laskun jälkeen saadut tulokset lienevät tarkempia verrattuna ennen paineen laskua saatuihin tuloksiin. Rahallinen säästö jää pieneksi, mutta polttimeen käyntikertojen määrä pieneni huomattavasti paineen laskun seurauksena. Huomattavin saavutus työn kannalta oli huomata paineen laskun seurauksena, kuinka polttimeen käynti muuttui tasaisemmaksi ja symmetriseksi. Polttimeen käyntiväli oli jokaisella paineen tasauksen kerralla lähellä yhtä tuntia. Keskimääräinen maakaasun kulutus jokaisella käyntikerralla oli lähes sama. Polttimeen käynnistyskertojen määrän vähenemisellä huomattavasti on suuri merkitys polttimeen elinkaareen ja polttimeen toimintaan sen elinkaaren aikana. Polttimeen toiminnan ja rakenteen kannalta suurimmat rasitukset syntyvät polttimeen juuri silloin kun, poltin lähtee käyntiin. Polttimeen automaatio tekee polttimelle tiiveyden testauksen ja kattilan esituuletuksen joka kerta polttimeen lähtiessä käyntiin. Suurinta taloudellista säästöä ei voida laskea rahassa, mutta merkittävä polttimeen käynnin paraneminen lisää polttimeen toimintavarmuutta ja sen elinkaarta. Toimintavarmuuden kannalta merkittävä asia on se, että voimalaitoksen totaalisetkin aikana apukattila ja poltin käyvät täydellä teholla. Tällöin apukattila on keskeisessä osassa voimalaitoksen apuhöyryn tuotannossa. Jos poltin vikaantuu juuri kun sitä eniten tarvitaan totaalisetkin aikana, nousevat taloudelliset kustannukset uusiin lukemiin. Jos pystytään parantamaan polttimeen toimintavarmuutta painetason laskulla niin mahdolliset säästöt ja kustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin työssä laskettiin.

## 9 Yhteenveto

Työssä selvitettiin, mitä säästöjä saavutetaan laskemalla apukattilan painetasoa kuitenkin säilyttäen höyryn kelpoisuus prosessiin. Työssä selvitettiin mitä vaikutuksia painetason laskulla on kattilan ja polttimen käyntiin apukattilan valmiusaikana. Miten painetason lasku vaikuttaa maakaasun kulutukseen ja minkälaisia vaikutuksia sillä on kaasupolttimeen.

Projektin aikana piti ottaa selvää kaasupolttimen ja tulitorvikattilan toiminnasta ja rakenteesta. Painetason laskua varten tehtiin kaksi koeajoa, joista toinen oli vartenotettava laskennan ja työn tulosten kannalta. Koeajon perusteella tehtiin laskelmat maakaasun kulutukselle ennen ja jälkeen painetason laskun. Laskelmissa laskettiin ennen ja jälkeen painetason laskun maakaasun kulutuksen erotus ja polttimen käynnistyskertojen erotus. Saaduista tuloksista laskettiin ja pohdittiin taloudellisia hyötyjä suoraan rahassa mitattuna ja myös pitkän tähtäimen saavutettavia hyötyjä joille ei välttämättä pysty heti laskemaan arvoa.

Työn onnistumista ajatellen oli positiivista huomata koeajojen jälkeen, kuinka polttimen toiminta muuttui paineen tason laskun jälkeen. Merkittävimpänä seikkana Vantaan Energian kannalta voidaan pitää polttimen toiminnan parantamista kattilan paineen laskun seurauksena. Taloudellisia hyötyjä ei voitu laskea kuin maakaasun kulutuksen osalta ja ne jäivät pieneksi näillä kattilan asetuksilla. Muita taloudellisia hyötyjä voidaan vain arvioida ja miettiä koeajojen perusteella saadusta datasta polttimen toiminnan muutoksen aiheuttamaa pitkäntähtäimen hyötyä.

Paineen noston koeajo ei antanut vertailukelpoista dataa muihin tuloksiin nähden mutta polttimen toimintaa pystyttiin mallintamaan koeajolla. Opittiin myös paljon pohtimalla ja selvittämällä, mihin laskelmat kannattaa perustaa ja millä menetelmällä saadaan paras tulos. Sen aikaansaamiseksi päädyttiin lopulta käyttämään kattilan oman automaatiojärjestelmän mittaamaa polttoaineenkulutusta ja kattilan painetta tietyllä ajanhetkellä.

Työssä saatiin myös selvitettyä paljon kaasupolttimen ja tulitorvikattilan toimintaa. Polttimen ja kattilan osalta opin todella paljon kyseisistä laitteista. Maakaasun käytöstä polttoaineena ja sen ominaisuuksista pystyin päivittämään tietojani paljon. Uskon työstä olevan paljon hyötyä ajatellen tulevaa uraa energiatekniikan parissa.

## Lähteet

1. Suomentulli.2013.Verkkodokumentti.<[http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/julkaisu\\_t\\_ja\\_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisu_t_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf)>.Päivitetty 11.4.2013. Luettu 11.4.2013.
2. Energiateollisuus. 2013. Verkkodokumentti. <<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/maakaasu>>. Luettu 2.4.2013.
3. Gasum.2013.Verkkodokumentti.<<http://www.gasum.fi/tuotteet/maakaasu/Sivut/default.aspx>>. Luettu 2.4.2013.
4. Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka (5. uudistettu painos). Opetushallitus, Edita Oy. Helsinki.
5. Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen (2. painos). IFRF - Suomen kansallinen osasto. Jyväskylä.
6. VantaanEnergia Oy. 2013. Verkkodokumentti<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/TietoaKonsernista/Sivut/default.aspx>> Luettu 29.4.2013.
7. Vantaan Energia Oy. Martinlaakson voimalaitoksen esite. Luettu 29.4.2013
8. Vapor Oy. 2013.Verkkodokumentti <[http://www.vapor.fi/userData/vapor/brochure/vapor\\_ttk\\_hoyrykattila\\_tekniset\\_tiedot.pdf](http://www.vapor.fi/userData/vapor/brochure/vapor_ttk_hoyrykattila_tekniset_tiedot.pdf)> Luettu 29.4.2013.
9. Loppudokumentointi. Höyrykattila Vapor TTK-200. Painelaitekirja Vapor TTK-200, valm.7927.pdf/ sivu 121. Luettu 29.4.2013.

10. Verkkodokumentti. 2013. <

[http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kuvakooste\\_181110.pdf](http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/kasikirja/kuvakooste_181110.pdf)

> Luettu 29.4.2013.

11. Loppudokumentointi. Höyrykattila Vapor TTK-200. Poltin GKP-600 M/

tuotetieto/Oilon; käyttö - ja huolto - ohje M50850908FI.pdf/ Luettu. 29.4.2013.