

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikka

Valtteri Pakkanen

Pienpolttimon käyttöönotto

Insinööritö 7.1.2009

Ohjaaja: Lehtori Timo Meros

Ohjaava opettaja: Lehtori Ismo Halonen

Tekijä	Valtteri Pakkanen
Otsikko	Pienpolttimon käyttöönotto
Sivumäärä	32 sivua
Koulutusohjelma	kemiantekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja opettaja	Lehtori Timo Meros
Ohjaaja	Lehtori Ismo Halonen
<p>Tässä insinööriyössä käsitellään Metropolia Ammattikorkeakoululle hankitun pienpolttimon käyttöönottoa ja sen optimointia. Tavoitteena oli tutustua laitteeseen ja tehdä siitä helpot käyttöohjeet tuleville käyttäjille, jotka tulisivat tekemään laitteella kokeita.</p> <p>Laitteistoon kuuluivat öljy- ja pellettipoltin, jotka päätettiin optimoida. Tämä kuitenkin onnistui vain öljypolttimelle, sillä pellettipolttimelle ei optimointia voinut suorittaa sen automatisoinnin takia.</p> <p>Öljypolttimen optimisointi onnistui hyvin yksinkertaisesti säätelemällä sen ilmakertoimen säätöruuvia ja mittaamalla polttimen savukaasuja. Lopullinen ilmakertoimen arvo on 4:n ja 5:n välillä.</p> <p>Pellettipolttimelle suoritettiin vain savukaasujen mittaukset, joissa sen päästöjä arvioitiin ja verrattiin öljynpolttimen arvoihin. Pellettipoltin oli hyötysuhteeltaan huonompi kuin öljypoltin ja tuotti häkää ja hiilidioksidia enemmän.</p> <p>Lopuksi laadittiin laitteen käyttöohje.</p>	
Hakusanat	poltin, öljypoltin, pellettipoltin, kattila,

Author	Valtteri Pakkanen
Title	Boiler and burner initialization
Number of Pages	32 pages
Date	7.1.2009
Degree Programme	Chemical Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Supervisor	Timo Meros, Lecturer
<p>This thesis is about the initialization and optimizations of boiler and its burner's which were bought for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The goal was to study the equipment and make a clear manual about its use for students.</p> <p>The boiler has two burners, a pellet burner and an oil burner. It was decided to try and optimize these two burners for best efficiency. Later it came apparent that this could only be done for the oil burner. The pellet burner had high automation that prevented manual adjustments.</p> <p>The oil burner optimization was easily accomplished by measuring exhaust smokes and adjusting the airflow to the burner. The best air coefficient was between 4 and 5.</p> <p>Measurements were also made for the pellet burners exhaust smokes, so that they could be compared to the oil burners corresponding results. Results showed that the pellet burner had poorer operating efficiency and bigger emissions than oil burner.</p> <p>Finally a user manual was made for the boiler and all its equipment.</p>	
Keywords	burner, oil burner, pellet burner, boiler

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ POLTTIMESTA	2
2.1	PUTKISTO JA SEN LAITTEISTOT	3
2.1.1	<i>Putkisto ja sen varusteet</i>	3
2.1.2	<i>Paisuntajärjestelmä</i>	5
2.1.3	<i>Lämmönvarausjärjestelmä</i>	5
2.1.3.1	Varausvaihe	6
2.1.3.2	Purkamisvaihe	6
2.1.3.3	Lämpökerrostuminen	7
2.2	PELETTIPOLTIN	7
2.2.1	<i>Toiminta</i>	8
2.3	ÖLJYPOLTIN	10
2.3.1	<i>Toiminta</i>	10
3	POLTTIMIEN POLTTOAINEET	13
3.1	ÖLJYT	13
3.1.1	<i>Öljyalaadut</i>	13
3.1.1.1	Maaöljy	13
3.1.1.2	Raskas polttoöljy	13
3.1.1.3	Kevyt polttoöljy ja diesel	14
3.1.1.4	Bioöljy	14
3.1.2	<i>Öljyn palaminen</i>	15
3.1.2.1	Höyrystyminen	16
3.1.2.2	Krakkautuminen	16
3.1.2.3	Syttyminen	17
3.1.2.4	Palaminen	17
3.2	PELETTIT	18
3.2.1	<i>Yleistä</i>	18
3.2.2	<i>Puun palaminen</i>	20
3.2.2.1	Puun kuivuminen	21
3.2.2.2	Pyrolyysivaihe	21
3.2.2.3	Haihtuvien aineiden palaminen	21
3.2.2.4	Puuhiilen palaminen	22
3.2.3	<i>Puupelletin laatukriteerit</i>	22
4	PALOKAASUANALYSAATTORI	23
4.1	YLEISTÄ	23
4.2	TOIMINTA	24
4.2.1	<i>Käyttöohjeet yksinkertaiseen mittaukseen</i>	25
4.2.2	<i>Tekniset tiedot</i>	26
5	MITTAUKSET	26
5.1	KOESUUNNITELMAT JA KOEJÄRJESTELYT	26
5.1.1	<i>Pellettipolttimen koesuunnitelma</i>	26
5.1.2	<i>Öljypolttimen koesuunnitelma</i>	27
5.1.3	<i>Öljypolttimen koejärjestely</i>	27

6	TULOKSET	28
6.1.1	<i>Pellettipolton tulokset</i>	28
6.1.2	<i>Dieselpolton tulokset</i>	30
6.1.3	<i>Tulosten tarkastelu</i>	31
6.1.3.1	Pellettipolton tarkastelu	31
6.1.3.2	Öljypolton tarkastelu	31
6.1.4	<i>Polttimien vertailu</i>	32
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	36
	Liite 1. Mittausdata	36
	Liite 2. Pienpolttimen käynnistys- ja sammutusohje	39

1 Johdanto

Tässä työssä käsitellään Metropolia Ammattikorkeakouluun hankittua Arimax 520 plus -kattilaa ja sen polttimien käyttöönottoa. Laite on yksinkertaisesti sanottuna lämmityskattila, jonka voisi löytää keskisuuresta omakotitalosta. Tämä malli on varustettu kahdella erilaisella polttimella, joilla tulevat opiskelijat voivat tehdä tutkimuksia erilaisten polttoaineiden kanssa.

Työssä keskityttiin polttimien optimoimiseen eli parhaan palamistilan löytämiseen. Kattilaan oli hankittu pellettipoltin ja öljypoltin, joista kuitenkin vain öljypoltinta pystyttiin optimoimaan.

Polttimia seurattiin mittaamalla Dräger -savukaasuanalysointilaitteella niiden palokaasuja. Mitä puhtaampia palokaasut ovat, sitä tehokkaammin poltin toimi.

Öljypolttimelle löydettiin hyvä ilmakertoimen arvo, jolla vaikutettiin öljyn hyvään palamiseen. Ilmakertoimen arvon ollessa 3 – 5 paloi polttoaineena käytetty diesel hyvin. Mitä lähemmäksi arvoa 5 ilmakerrointa nostettiin, sitä puhtaammaksi palokaasut kävivät, mutta viiden jälkeen palaminen alkoi huonontua ja häkää ilmaantui tuloksiin.

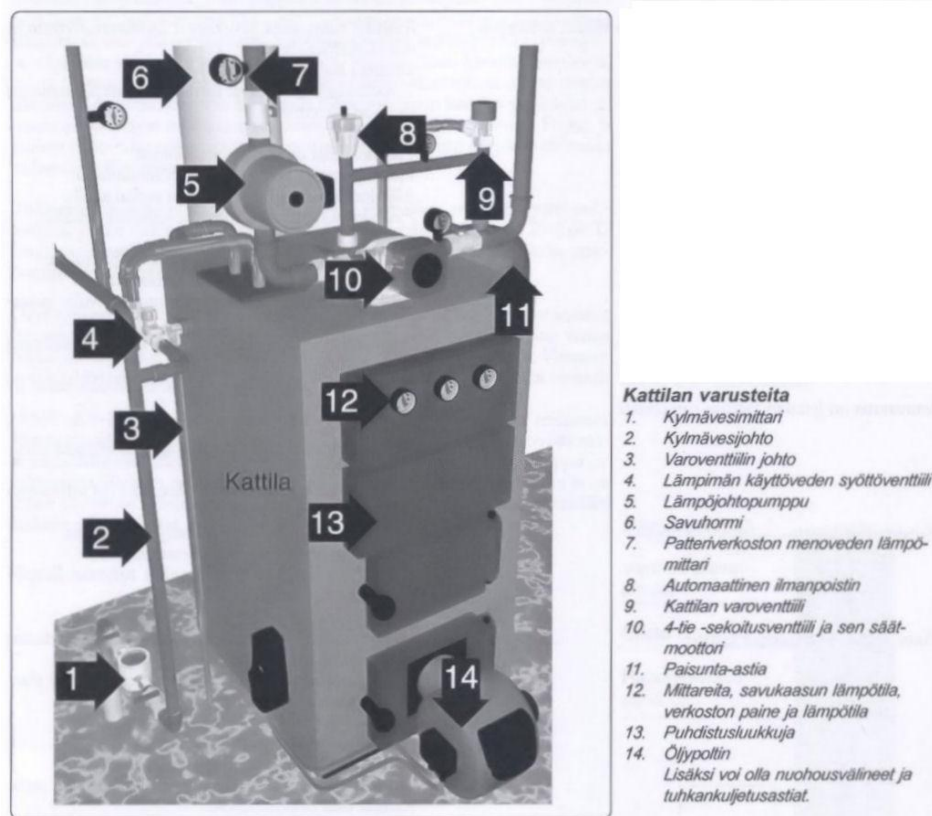
Pellettipolttimelle ei voitu suorittaa optimointia, sillä poltin itsessään on täysin automatisoitu. Mitään yksinkertaisia säätöjä polttimeen ei voi tehdä. Polttimen polttoa seurattaessa saatiin kuitenkin hyvä käsitys sen tehosta ja päästöistä.

Laitteistoon piti myös tehdä pieniä muutoksia, jotta sillä voisi saada luotettavia palokaasunäytteitä. Tämä onnistui kuitenkin helposti uuden kaasuanalysointilaitteen hankinnan jälkeen.

2 Yleistä polttimesta

Kattilalla tarkoitetaan yleisesti lämmitysjärjestelmän lämpölähdettä. Kattila koostuu useimmiten tulipesästä, konvektio-osasta ja vesitilasta. Tulipesiä voi olla useita, ja niissä voidaan polttaa kiinteää polttoainetta, kuten esimerkiksi puuta tai hiiltä. Tulipesään voidaan myös kytkeä poltin, joka mahdollistaa kaasun, öljyn tai pelletin polton. [1, s. 12]

Konvektio-osassa palokaasut johdetaan mahdollisimman suuren pinta-alan läpi, jotta lämpöenergia saataisiin mahdollisimman tehokkaasti siirtymään kattilan vesitilaan. Konvektio-osa riippuu paljolti kattilan mallista, mutta on tärkeä kattilan tehokkuuden kannalta. [1, s. 13]



Kuva 1. Esimerkkikuva normaalista pientalon lämmityskattilasta. [1, s. 12]



Kuva 2. Pienpoltin lähes kokonaisuudessaan.

2.1 Putkisto ja sen laitteistot

2.1.1 Putkisto ja sen varusteet

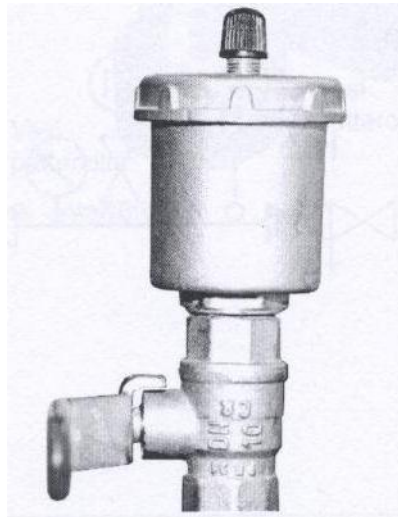
Putkisto on tavallista kupariputkea, joka yhdistää kattilan lämmönvarausjärjestelmään ja paisuntajärjestelmään. Putkistoon myös liitetään varoventtiilit sekä ilmanpoistajat.

Varoventtiilejä putkistoon on liitetty kaksi kappaletta. Nämä ovat pakollisia turvallisuuden kannalta, sillä ylipaineesta johtuvan kattilaräjähdyksen voima on erittäin suuri. Varoventtiilit ovat jousitoimisia, ja niiden avautumispaine on merkitty venttiiliin. Varoventtiilien avautumispainetta ei tule milloinkaan muuttaa, missään tilassa. [1, s. 88]



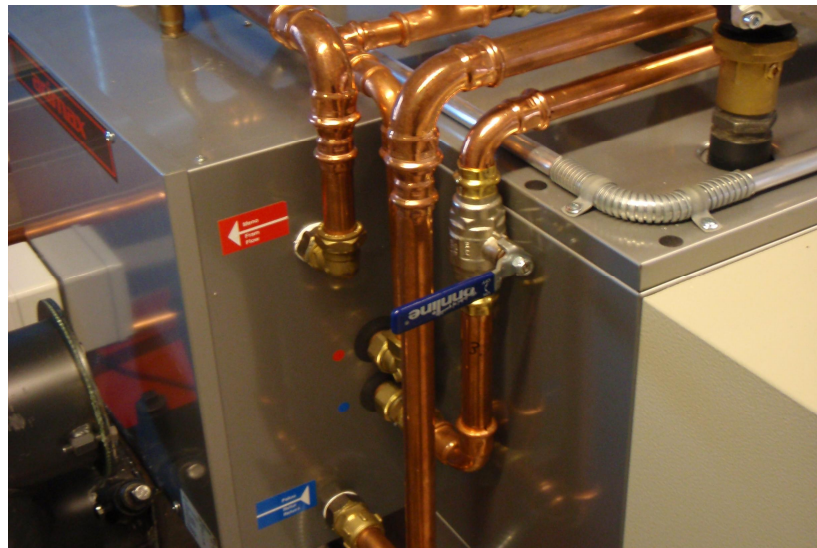
Kuva 3. Varoventtiili. [1, s. 88]

Automaattisia ilmanpoistajia putkistoon on liitetty kaksi kappaletta. Ilmanpoistajien sisällä on veden pinnalla kelluva uimuri. Kun ilmanpoistajaan kerääntyy ilmaa, vedenpinta ja uimuri laskevat. Uimuri avaa venttiilin, jolloin ilma pääsee pois ja vedenpinta pääsee nousemaan normaaliin asentoonsa. [1, s. 88]



Kuva 4. Automaattinen ilmanpoistin. [1. s. 88]

Putkistoon on kiinnitetty useita käsiventtiileitä, joilla säädetään veden virtausta tai kattilan lämpötilaa. Kuvassa 5 olevalla venttiilillä voidaan alentaa kattilan lämpötilaa laskemalla kylmää vettä sisään ja kuumaa viemäriin.



Kuva 5. Lämmönalennusventtiili.

2.1.2 Paisuntajärjestelmä

Suljetussa painejärjestelmässä pitää mahdollistaa nesteen vapaa laajeneminen ilman että se rikkoo putkistoja tai muita laitteistoja. Tämä myös mahdollistaa, että putkistossa on tarpeeksi painetta, jotta esimerkiksi lämmintä vettä riittää talon ylimpiinkin pattereihin.

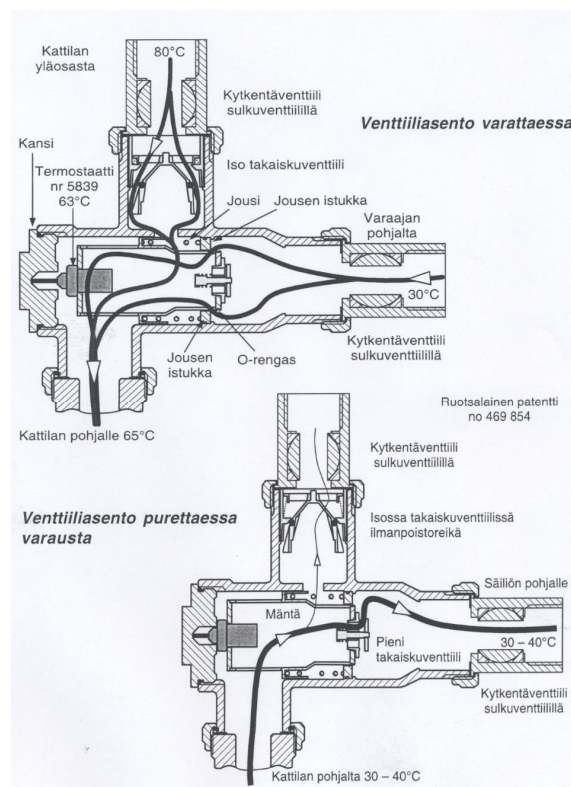
Järjestelmä on toteutettu tässä kattilassa suljetulla paisuntajärjestelmällä. Kattilan takana sijaitsee kaksi kalvopaisunta-astiaa. Paisunta-astia on kumikalvon avulla jaettu vesi- ja kaasutilaan. Vesitila on liitetty lämmityskattilaan ja suljettu kaasutila täytetty typpikaasulla, koska tavallinen ilma lyhentäisi kumin elinikää. Lämpötilan noustessa neste pääsee laajenemaan kaasutilan suuntaan rikkomatta mitään laitteistossa. Jos veden paine ylittää paisuntajärjestelmän maksimikäyttöpaineen, huolehtivat varoventtiilit ylimääräisen paineen poistumisesta. [1, s. 77]

2.1.3 Lämmönvarausjärjestelmä

Lämmönvarausjärjestelmä toimii kattilassa yksinkertaisella tavalla. Järjestelmä on toteutettu Laddomat 4030 -laitteella, joka säätelee lämminvesivaraajan varausta ja purkamista kattilassa. Varaajan koko on noin 1100 litraa, jonka kapasiteetti riittäisi isommallekin laitteistolle. [7]

2.1.3.1 Varausvaihe

Kun kattilavesi on saavuttanut käyttölämpötilansa (80 °C), käynnistyy latauspumppu, joka aloittaa kattilaveden pumppaamisen varaajaan päin. Kattilan päältä pumpattu lämmin vesi sekoittuu venttiilissä varaajasta tulevaan kylmään veteen. Näin vältetään kondensoituminen ja korroosioriski, joka on seurausta liian alhaisesta lämpötilasta kattilan pohjalla. [7]



Kuva 6. Laddomat 4030 -putkiston virtauskaavio latauksessa ja purussa. [7]

2.1.3.2 Purkamisvaihe

Kattilan jäähtyttyä sen asetusravon alle käynnistyy purkauspumppu. Pumppu siirtää kylmää vettä kattilan pohjalta varaajan pohjalle ja samalla lämmintä vettä varaajan päältä kattilan yläosaan. [7]



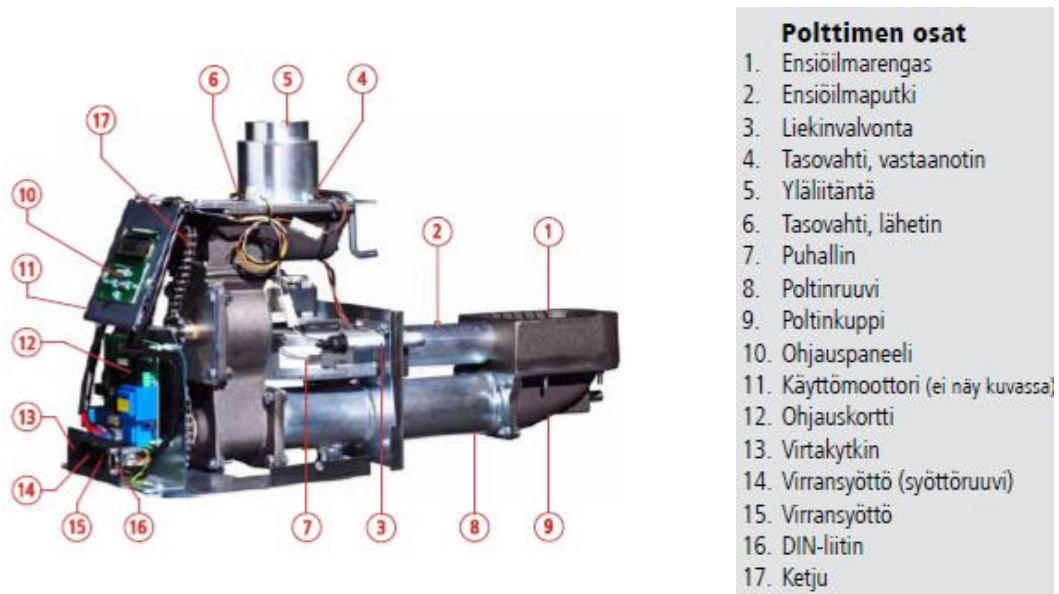
Kuva 7. Arimax 1100 -lämminvesivaraaja.

2.1.3.3 Lämpökerrostuminen

Kun varaajaan tai kattilaan viedään vettä pienellä virtauksella, vältetään veden sekoittumisella ja saadaan aikaa veden lämpökerrostuminen. Koska lämmin vesi on kevyempää kuin kylmä, ei vesi sekoitu varaajassa, vaan lämmin vesi kerrostuu päällimmäiseksi. Purkuvaiheessa lämmin vesi imetään yläosasta ja kylmä vesi johdetaan varaajan alaosiin. Näin lämmönsiirto on tehokasta varaajan ja kattilan välillä. [7]

2.2 Pellettipoltin

Kattilaan ostettiin myös Ariterm BeQuem 20 -pellettipoltin. Poltin on helppohoitoinen ja luotettava tyypillinen pellettipoltin. Suorituskyvyltään pellettipoltin teho on noin 8 – 20 kW ja palamishyötysuhde ylittää 95 %:iin. Sytytysvastuksen teho on 450 W ja polttimen vakio tehontarve on 60 W. [12, s. 3]

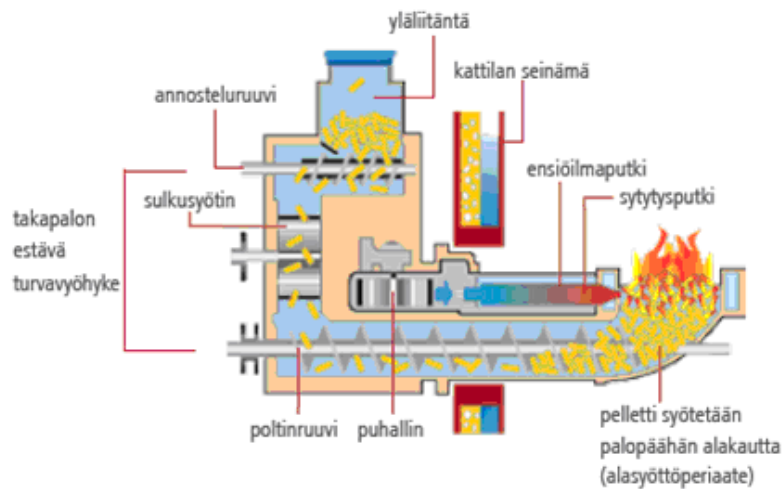


Kuva 8. Bequem 20 -pellettipoltin (ilman suojakupua) ja sen osat. [12, s. 3]

2.2.1 Toiminta

Pellettipoltin on pitkälti automatisoitu, mutta ohjaus- ja säätömahdollisuuksia löytyy paljon. Laitteessa on digitaalinäyttö keskellä etupaneelia, jota ohjataan sen alapuolella olevilla näppäimillä. [12]

Pellettien syöttö polttoainevarastosta polttimelle tapahtuu täysin automaattisesti syöttöjärjestelmän avulla, jota polttimen automatiikka ohjaa. Polttimen lisäksi koko syöttöjärjestelmä on erittäin paloturvallinen, sillä pahimmassa tapauksessakin palo pääsee leviämään vain syöttöputken saakka. Syöttöputki on valmistettu muovista, joten palon sattuessa se sulaisi niin, että polttoaineen saanti loppuisi ja palon leviäminen pellettivarastoon estyisi. [12]



Kuva 9. Pellettipolttimen poikkileikkaus [12, s. 5]

Kuvan 9:n poikkileikkauksesta näemme helposti pellettipolttimen rakenteen ja syöttöperiaatteen. Poltin toimii alasyöttöperiaatteella. Alasyöttöperiaatteen etuja ovat tehokas ja tasainen palaminen, hyvä hyötysuhde, toimintavarma ratkaisu ja alhainen tuhkanmuodostus. Pieni rajallinen määrä pellettejä (150 g) syötetään pellettivarastosta ulkoisen syöttöjärjestelmän kautta yläliitäntään jokaisella täyttökerralla. Jotta palopäähän voidaan annostella tarkka ja samansuuruinen määrä pellettejä, annostelu tapahtuu erillisen syöttöruuvien avulla sulkusyöttimen ja poltinruuvien kautta palopäähän. [12]

Koska poltinruuvi syöttää pellettejä eteenpäin kolme kertaa nopeammassa tahdissa kuin pellettejä tulee, muodostuu palopäähän ja yläliitäntään väliin turvavyöhyke, jossa on vain yksittäisiä pellettejä. Turvavyöhykkeen tarkoituksena on estää palon kulkeutuminen taaksepäin polttimen syöttöjärjestelmässä. Sulkusyötin on ilmatiivis ja poltinruuvitunnelissa pidetään puhaltimen avulla ylipaine. Tällä huolehditaan siitä, että pöly ja puru kulkeutuvat aina kattilaan päin. [12]

Polttimen sähköinen sytytysjärjestelmä käynnistyy ainoastaan kylmäkäynnistyksessä eli silloin, kun järjestelmä on ollut pidemmän aikaa pysäytettynä ja kattila on ehtinyt jäähtyä. Lämmitysprosessin aikana tarvittavat sytytykset tapahtuvat palopäähän olevan hiilloksen lämpöä käyttäen, sähköenergiaa säästäen. [12]

2.3 Öljypoltin

Pienpolttimeen hankittiin Oilon Junior Pro -öljypoltin, jonka teho on noin 17 – 27 kW. Öljypoltin voi polttaa oikeastaan mitä tahansa öljyä kuten muun muassa polttoöljyä, dieseliä, biodieseliä ja periaatteessa vaikka vaihteistoöljyä. Tulee kuitenkin muistaa, että huonolaatuista öljyä polttamalla poltin nokeentuu hyvin nopeasti ja menee siten epäkuntoon. Pitää myös muistaa, ettei laitteisto kykene polttamaan raskaita polttoöljyjä tai alkoholeja.



Kuva 10: Oilon Junior Pro -öljypoltin. [1, s. 35]

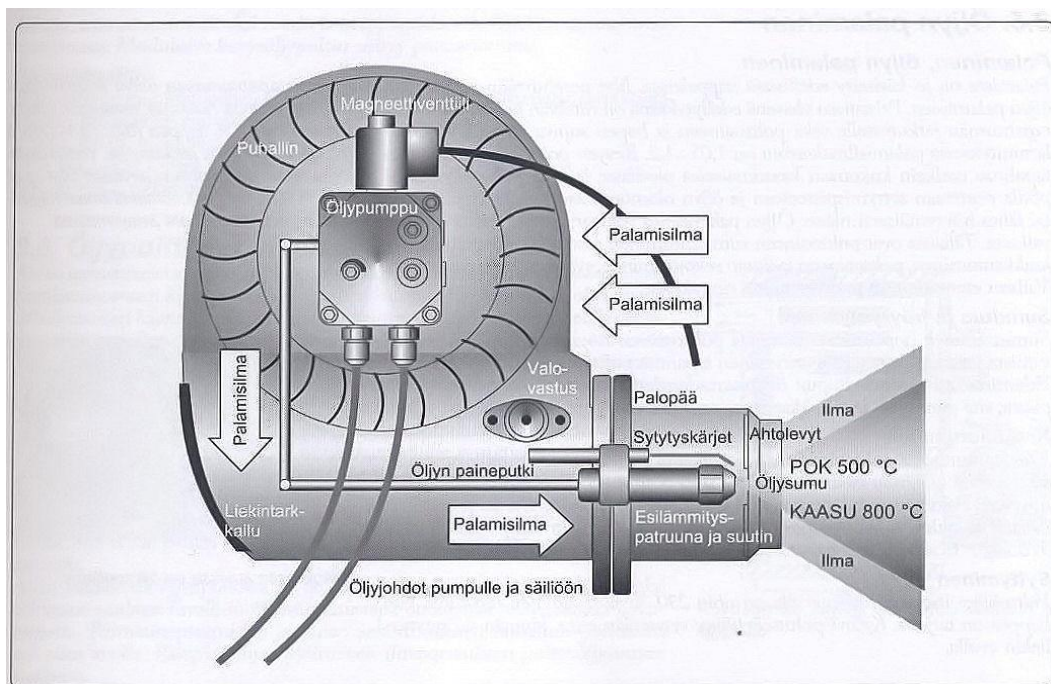
2.3.1 Toiminta

Öljynpoltin on kohtuullisen yksinkertainen laite ja sitäkin yksinkertaisempi käyttää. Poltin on täysin automatisoitu, ja ainoa säädin laitteessa on ilman puhallusteho palokammioon. Ilmakertoimen säädin on kämmenenkoinen musta säätöpyörä, joka on selvästi näkyvillä kuvassa 10.

Poltin käynnistyy, kun kattilatermostaatti on havainnut kattilan viilentyneen ja ohjaa poltinta käynnistymään. Polttimen moottori käynnistyy ensimmäisenä, jolloin poltin rupeaa imemään öljyä öljynsuodattimen lävitse. Samalla moottorin akselissa oleva tuuletin rupeaa puhaltamaan palotilaan ilmaa tuulettaen sen mahdollisista polttoainejäämistä, jotka voisivat saada aikaan räjähdyksen sytytyksen yhteydessä.

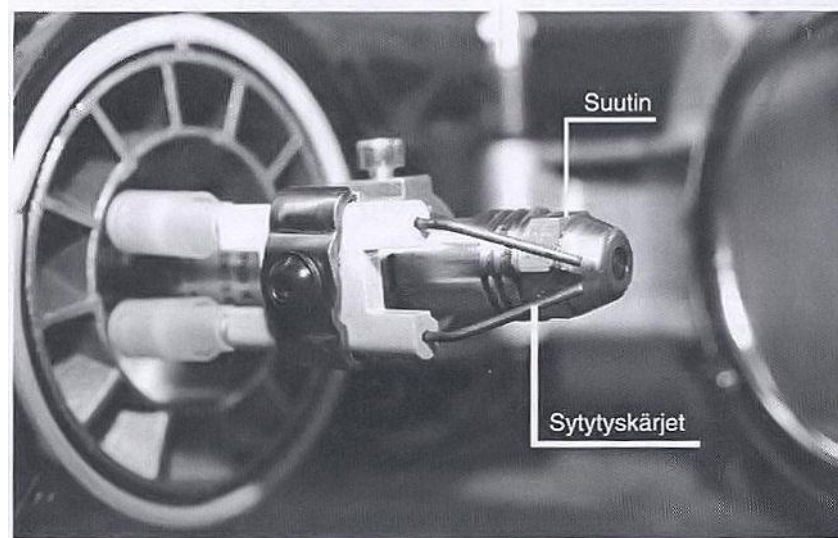
[1, s. 38]

Kun esilämmitysrele on kuumennut tarpeeksi, avautuu polttimen magneettiventtiili sallien polttoaineen virtauksen esilämmitysreleen läpi suuttimeen noin 7-15 bar:n ruiskutuspainella. Suutin sumuttaa polttoaineen tulipesään siten, että öljysumu pyörii akselinsa ympäri. Palopäässä siihen sekoittuu polttimen puhaltimen tuottama ilma, joka pyörii vastakkaiseen suuntaan. Näin saadaan aikaan mahdollisimman hyvä polttoaineen ja ilman sekoitus. [1, s. 38]



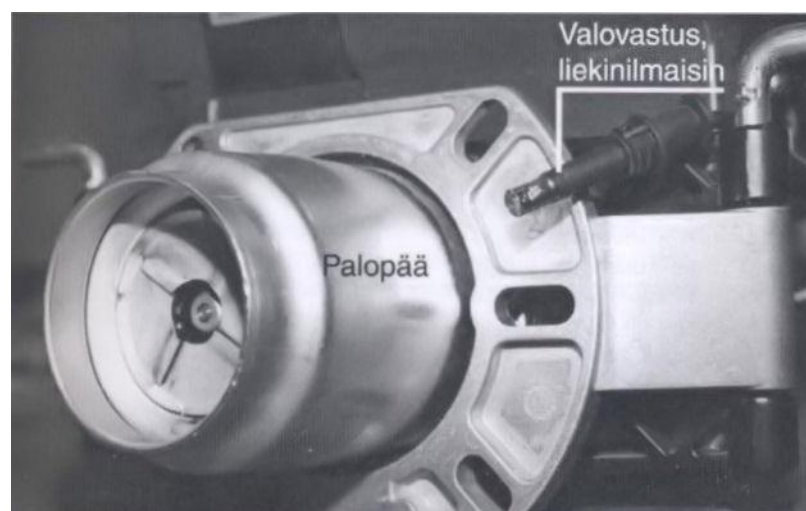
Kuva 11: Öljypolttimen läpileikkaus. [1, s. 33]

Suuttimen vieressä sijaitsevat sytytyskärjet. Sytytysmuuntaja muuttaa 220 V verkkojännitteen n. 10 000- 15 000 V jännitteeksi, jolloin niiden tuottama valokaari koskettaa öljysumua ja sytyttää sen. Sytytyskärkiä ei pidä kuitenkaan asentaa liian lähelle öljysumua, sillä ne likaantuisivat öljystä ja karstasta nopeasti eivätkä tuottaisi tarpeellista valokaarta. [1, s. 40]



Kuva 12: Öljypolttimen suutin ja sytytyskärjet [1, s. 40]

Liekinilmaisain valvoo, että sytytyskärjet ovat saaneet aikaan kaaren, joka sittemmin sytyttää öljysumun. Ilmaisain on itse asiassa valovastus, jonka vastus pimeässä on lähes ääretön ja palamisen aikana noin kilo-ohmin verran. Jos kuumaan kattilaan pääsisi vapaasti virtaamaan öljysumua, joka ei pala saman tien, voi palamaton öljysumu syttyessään luoda voimakkaan räjähdyksen. Jos taas liekki sammuu polttimen ajon aikana, voi liekinilmaisain ohjata uuden sytytyksen. Jos uusi sytytys ei toimi, ohjaa liekinilmaisain koko polttimen häiriötilaan. [1, s. 40]



Kuva 13: Öljynpolttimen valovastus eli liekinilmaisain. [1, s. 41]

3 Polttimien polttoaineet

Kattilassa on kiinni kaksi poltinta, joista toisella voidaan polttaa öljyä ja toisella pellettejä. Kattilassa ei ole mahdollista polttaa kiinteää materiaalia, kuten puuta tai hiiltä. Tämän takia keskitytään tarkastelemaan öljyjen ja pellettien ominaisuuksia.

3.1 Öljyt

3.1.1 Öljyalaadut

Itse polttimessa voidaan käyttää kaikkia kevyitä polttoöljyjä. Mutta koska öljyalaatuja on monia erilaisia, on tärkeää tietää perusteet niiden kemiallisista ja yleisistä ominaisuuksista.

3.1.1.1 Maaöljy

Maaöljy on öljyteollisuuden raaka-aine, josta lähes kaikki muut öljytuotteet jalostetaan. Sitä voidaan kutsua myös raakaöljyksi. Se on fossiilinen polttoaine, mikä tarkoittaa, että se on syntynyt eloperäisestä aineksestä maan uumenissa. Korkea paine ja kuumuus ovat muuttaneet aineksen nestemäiseksi öljyksi, jonka nykyihminen on valjastanut omaan käyttöönsä. Kemiallinen koostumus eroaa eri öljylähteiden välillä, mutta tärkein laatutekijä on rikkipitoisuus ja tisleaanto. Koska maaöljy sisältää paljon epäpuhtauksia, olisi sen käyttäminen sellaisenaan polttoaineena hyvin saastuttavaa ja edesvastuutonta.

[14]

3.1.1.2 Raskas polttoöljy

Raskasta polttoöljyä käytetään enimmäkseen laivoissa ja suurissa lämpövoimaloissa. Se koostuu hiilivedyistä, joissa on ainakin 20 hiiliatomia. Sen tiheys vaihtelee välillä 0,9 – 1,0 kg/dm³ ja sen lämpöarvo on n. 11,8 kWh/litra (40,6 MJ/kg). Raskaan polttoöljyn sulamispiste vaihtelee välillä -1 °C – 35 °C. Raskaan polttoöljyn rikkipitoisuus voi olla jopa 4 %. Jotta raskasta polttoainetta voidaan käyttää polttimissa, on se lämmitettävä

ensin n. 100 °C:seen, jotta sen viskositeetti laskisi niin alas, että sitä pystytään sumuttamaan. [16]

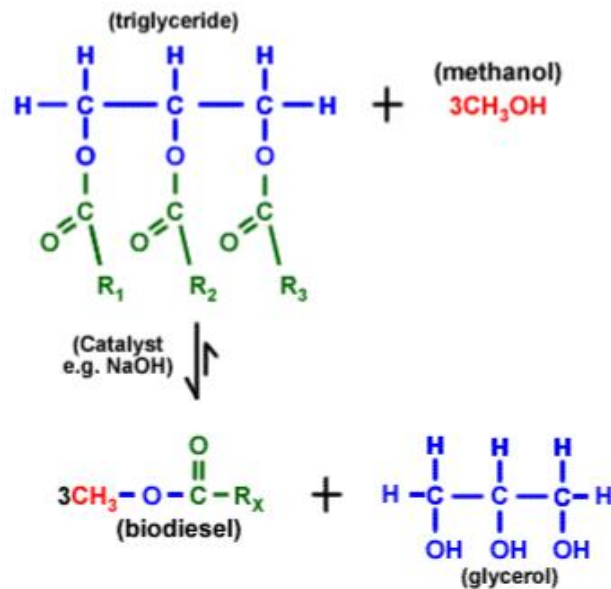
3.1.1.3 Kevyt polttoöljy ja diesel

Kevyttä polttoöljyä käytetään yleisesti pienkotitalojen lämmitykseen, ja erikseen käsiteltyä moottoripolttoöljyä pystytään käyttämään myös dieselkoneissa polttoaineena. Kemiallisesti kevyt polttoöljy on enimmäkseen alkaanisarjan hiilivetyjä, joiden molekyyeissä on 14 – 19 hiiliatomia. Kevyen polttoöljyn energiasisältö on n. 10 kWh/litra (11,8 kWh/kg tai 42,7 MJ/kg). Sen tiheys vaihtelee välillä 0,8 – 0,9 kg/dm³. Rikkiä suomalaisessa polttoöljyssä on alle 0,1 %. [15]

Dieselöljyä käytetään autoissa ja työkoneissa, mutta sitä voidaan myös käyttää kevyen polttoöljyn korvikkeena. Dieselöljy on oikeastaan vain hiukan enemmän jalostettu tuote, jotta autojen päästöt pääsisivät niille annettuihin päästörajoihin. Kevyt polttoöljy ei sen sijaan täytä kaikkia dieselöljylle asetettuja vaatimuksia, joten sen toimivuudesta auton moottoreissa ei ole takeita. [15, 16]

3.1.1.4 Bioöljy

Bioöljy on öljyä, joka valmistetaan useimmiten rypsiä tai muusta eloperäisestä öljystä, mutta sitä voidaan yhtä hyvin valmistaa vaikkapa kalanperkeistä tai ruuan kypsennykseen käytetystä rasvasta. Pelkkä puristettu öljy ei kuitenkaan sovi suoraan poltettavaksi, sillä siinä on liikaa glyserolia. Glyseroli pitää erottaa rasvasta esteröintiprosessilla. Jos rypsiöljy on valmistettu metanolia käyttäen, on biodiesel nimeltään rypsimetyyliesteri tai lyhennettynä RME. Jos esteröinnissä on käytetty etanolia metanolin sijaan, on valmis tuote rypsietyyliesteri tai lyhennettynä REE. [4]

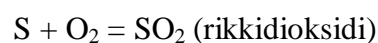
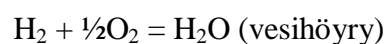
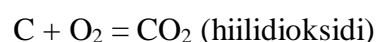


Kuva 14. Rypsiöljyn esteröinti rypsimetyyliesteriksi [3]

Koska bioöljy on valmistettu kasvipärisistä tuotteista, on se hiilidioksidineutraali tuote. Tämä tarkoittaa sitä, että biodieselin palamisessa tuotetun hiilidioksidin määrä on sama, kuin biodieselin valmistuksessa käytetyn kasviöljyn kasvattamiseen on kulunut hiilidioksidia. Sen lisäksi biodiesel verrattuna tavalliseen petrolidieseliin on monessa tapaan puhtaampaa. Biodieselin pakokaasussa on 100 % vähemmän rikkidioksidia, 40 – 60 % vähemmän tuhkaa ja hiukkasia, 10 – 50 % vähemmän häkää ja vähemmän kaikkia polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH yhdisteitä). Biodiesel hajoaa myös luonnossa, toisin kuin petroliperäinen diesel. [4]

3.1.2 Öljyn palaminen

Vaikka öljyn palaminen on hyvin monimutkainen reaktio, voidaan se pelkistää yksinkertaiseksi taseeksi olettaen, että palaminen on täydellistä [1, s.34]:



Tämä reaktio tapahtuisi siis tietenkin vain täydellisessä palamisessa, jota on lähes mahdotonta saada aikaiseksi työssä käytettävällä laitteistolla. Näiden tuotteiden lisäksi palossa vapautuu pieniä määriä häkää, typen oksideja ja lähtöaineita. [1, s.34]

Esimerkiksi kevyt polttoaine palaa lähes täysin kaasumaisessa olotilassa, ja siksi polttoaineen lämpötila nostetaan syttymispisteeseen ja olotila saatetaan höyrymäiseksi. Öljyn palaminen voidaan kuitenkin erottaa moneen eri vaiheeseen, jotka etenevät rinnan sekä perättäin. Nämä seuraavat vaiheet ovat [1, s.34]:

1. höyrystyminen
2. krakkautuminen
3. syttyminen
4. palaminen

3.1.2.1 Höyrystyminen

Höyrystymisen saavuttamiseksi öljy usein esilämmitetään ja sumutetaan suuttimien lävitse, jolloin höyrystyminen tapahtuu nopeasti öljypisaroiden pinnoilta. Mitä pienimmiksi pisarat saadaan sumutettua, sitä tehokkaampaa höyrystyminen ja sen myötä on myös palaminen. [1, s.34]

3.1.2.2 Krakkautuminen

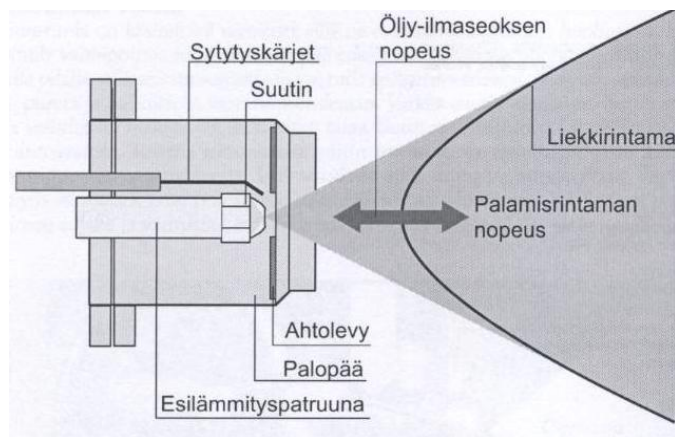
Krakkautumisessa polttoaineen molekyyliketjut pilkkoutuvat pienempiin hiilivetyketjuihin öljyn vaikutuksesta. Se voi tapahtua sekä nestemäissä että kaasumaisissa polttoaineissa. Krakkaus tapahtuu kuitenkin vain välillä 370 – 400 °C, jolloin polttoainemolekyyleistä irtoaa vetyä ja hiilivetyhäntiä, jotka sekoittuessaan ilmaan palavat. Krakkausta esiintyy reaktiossa silloin, kun palamiseen tarvittavaa happea ei ole tarpeeksi läsnä. [1, s.34]

3.1.2.3 Syttyminen

Polttoöljyn itsesyttymislämpötila on noin 230 °C, ja palaminen tapahtuu, jos vain happea löytyy samasta tilasta polttoaineen kanssa. Kylmemmän polttoöljyhöyryn syttyminen vaatii kipinää tai liekkiä. [1, s.34]

3.1.2.4 Palaminen

Polttoöljyn jatkuva palaminen vaatii, että pieni määrä öljyä on päässyt 230 °C:n lämpötilaan. Tämän jälkeen palonalku sytyttää muun öljyn ja saa aikaan jatkuvan palamisen. Syttymisen jälkeen palaminen siirtyy palamisrintamaan, jossa palaminen tapahtuu samalla nopeudella kuin ilmaa ja polttoainetta ruiskutetaan kammioon. Palamisrintama on osittain itseään säätävä, sillä mitä suurempi lämpötila kammiossa on, sitä nopeammin polttoaineskin palaa. Palamisilman virtauksen on kuitenkin oltava tarpeeksi alhainen, jottei se työnnä liekkiä pois palopäästä ja näin sammuttaen sen. [1, s.34]



Kuva 15. Öljyn sumutus ja sen liekkirintama. [1, s. 46]

3.2 Pelletit

3.2.1 Yleistä

Pelletit ovat puuhakkeesta puristettuja sylinterimäisiä puupaloja. Niiden pituus vaihtelee välillä 5 – 40 mm ja yleisin halkaisija on 8 mm.

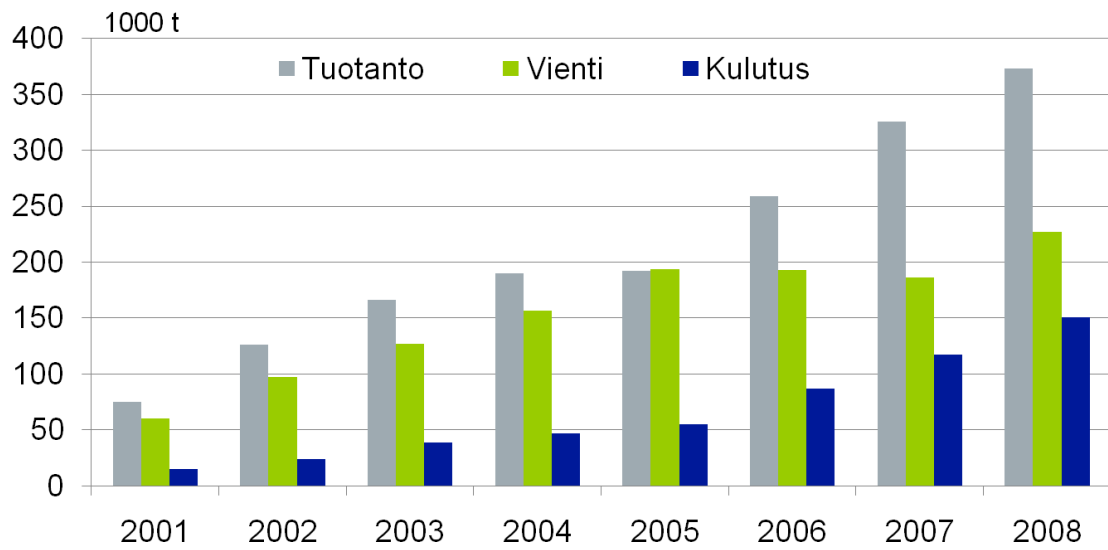


Kuva 16. Puupellettejä

Pelletit valmistetaan suurimmaksi osaksi saha- ja puutuotannosta tulevasta jätetuusta, kuten höylänlastuista ja puruista. Tuotantolaitokset on usein integroitu muun tuotannon vierelle, jotta kuljetusmatkat pysyisivät lyhyinä. [10]

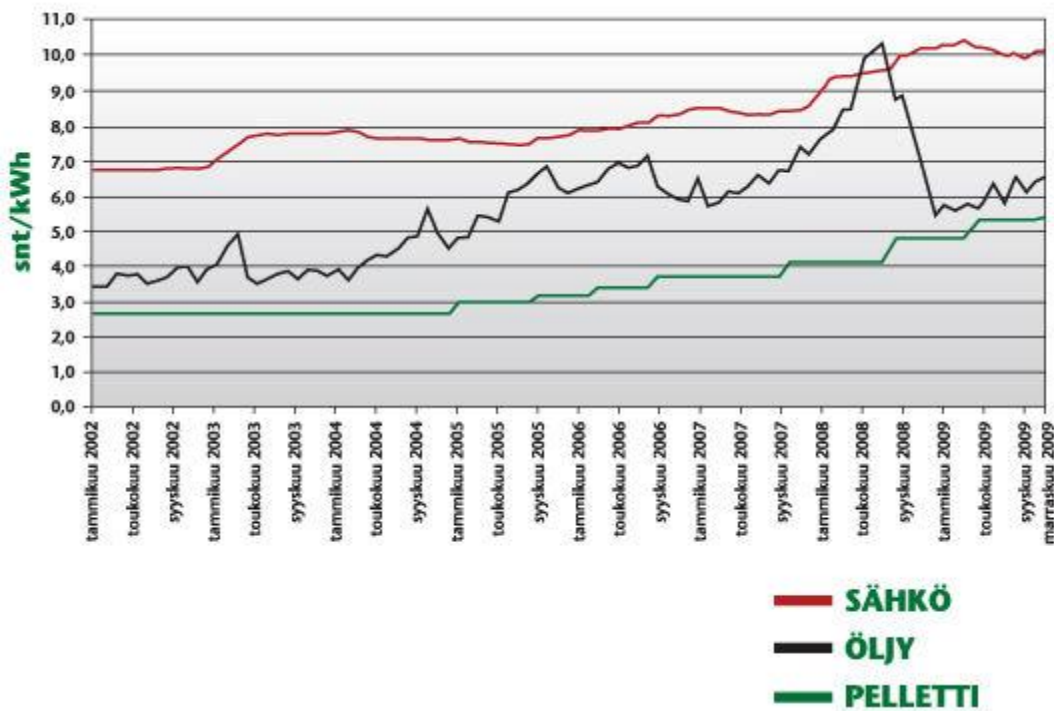
Suomessa tuotettiin 500 000 tonnia pellettejä vuonna 2007, ja siitä 70 % meni vientiin. Vuoden 2009 tuotannoksi arvioitiin noin 700 000 tonnia. Tuotanto on siis kovassa kasvussa, mutta Suomessa pellettilämmitettyjä koteja on vain noin 20 000. [2]

Taloudellisesti puupellettilämmitys on halvempi kuin muut lämmitystavat. Loppuvuonna 2007 pelletin hinta Suomessa pienkiinteistöissä oli noin 4,2 c/KWh, kun öljyn hinta oli 7,3 c/KWh ja sähkölämmityksen 8,4 c/KWh. [2]



Kuva 17. Pelletin tuotanto, vienti ja kulutus Suomessa. [11]

Pellettitonin lämpöarvo on korkea, noin 4,9 MWh, mikä vastaa lämpöarvoltaan lähinnä neljää pinokuutiota halkoja tai 450 litraa öljyä. Tämän ja halvan hinnan takia se on kannattava lämmitysvalinta. [2]



Kuva 18. Energian hinta vuosina 2002 – 2009. [11]

3.2.2 Puun palaminen

Puupelletti palaa samalla tavalla kuin mikä tahansa puu. Puun palaminen on monimutkainen prosessi, joka on helpointa ymmärtää, jos se jaetaan osiin. Palamisen osat ovat seuraavat:

1. puun kuivuminen
2. pyrolyysivaihe
3. haihtuvien aineiden palaminen
4. puuhiilen palaminen.

Palaminen riippuu paljon polton luonteesta. Yleisesti puunpolttoa harrastetaan panosluonteisesti, eli puiden palettua loppuun lisätään uudet puut vanhan pesällisen hiillosten päälle. Näin puut kaasuuntuvat voimakkaasti, eikä ilma välttämättä riitä täydelliseen palamiseen. Jos taas puita lisätään jatkuvasti halko kerrallaan, on palaminen paljon tehokkaampaa, jolloin palamisen päästötkin vähenevät. Taulukossa 1 nähdään pelkistettynä puun palamisprosessi ja sen tuotteet. [6, s. 22]

Taulukko 1. Puun palamisprosessi lämpötilan ja reaktiotuotteiden suhteen. [6, s. 29]

Lämpötila	Prosessi	Päätuotteet
100–200 °C	Puu alkaa kuivua, uuteaineisto höyrystyy	H ₂ O, CO ₂
200–300 °C	Hemiselluloosan hajoaminen	CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ , metaanihappo, etikkahappo, furfuraali, muita palavia hiukkasia, tervahiukkasia, hiili
225–300 °C	Selluloosan hiiltyminen alkaa	Hiili
300–450 °C	Selluloosan merkittävää hajoamista (Pyrolyysi)	Syttyvimmat höyryt, tervaiset anhydridisokerit, levaglukosaani, hiukkasia, hiili
300–450 °C	Lingiinin hajoaminen	Metoksifenoleja, hiukkasia, hiili
>450 °C	Kaikki yllä olevien tapahtumien yhdistelmä	Kaikkien yllä olevien tuotteiden yhdistelmä
Ei liekkiä	Hiiltyminen, hehkuminen	CO, CO ₂ , H ₂ O, hiukkasia, hiili

3.2.2.1 Puun kuivuminen

Märkä puu ei pala läheskään yhtä hyvin kuin kuiva. Tämä johtuu siitä, että huomattava osuus palamisen energiasta menee märän puun kuivaamiseen. Esimerkiksi kesän yli kuivunut puu antaa noin viidenneksen enemmän energiaa kuin tuore puu, jossa on noin 50 p-% vettä. [6, s. 23]

3.2.2.2 Pyrolyysivaihe

Pyrolyysivaihe alkaa vähintään 100 °C lämpötilassa, kun kaikki vesi on haihtunut ja energiaa alkaa kulua puun sisältämän kiinteän aineen sidosten hajottamiseen.

Pyrolyysin alussa reaktio on endoterminen. Kun lämpötila ylittää 280 °C, alkaa eksoterminen reaktiosarja, joka tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. [6, s. 23]

Pyrolyysiä tapahtuu paikallisesti enimmäkseen silloin, kun hapen pääsy on estynyt. Silloin puun kiinteät aineet muuttuvat mm. nestemäiseksi bioöljyksi, kuten tervaksi ja erilaisiksi kaasumaisiksi aineiksi. Jäljelle jäänyt kiinteä osa on puuhiiltä. [6, s. 24]

3.2.2.3 Haihtuvien aineiden palaminen

Puun palamisen aikana siitä haihtuu hiilivetyjä ja häkää, jotka palavat edelleen vedeksi ja hiilidioksidiksi, jos lämpötila on vain tarpeeksi korkea. Suurin osa puunpolton päästöistä johtuukin juuri siitä, ettei palamisen lämpötila ole tässä vaiheessa tarpeeksi suuri tai palamisella ole tarpeeksi ilmaa. Näin palamaton aines pääsee suoraan savupiipusta ulos. [6, s. 25]

Polton hyötysuhde onkin suoraan verrannollinen palokaasujen puhtauteen. Mitä puhtaampi savukaasu on, sitä tehokkaammin puu palaa.

3.2.2.4 Puuhiilen palaminen

Puuhiili palaa hehkumalla ja palaminen on melko täydellistä verrattuna muuhun palamiseen. Kun puun pinta on hiiltynyt, hidastuu myös puun kaasuuntuminen, jolloin happea ehtii siirtyä palamiseen paljon tehokkaammin. Päästöt koostuvat muun muassa hiilidioksidista, vedestä ja typen oksideista. [6, s. 27]

3.2.3 Puupelletin laatukriteerit

Euroopan laajuista CEN -standardia on valmisteltu jo usean vuoden ajan pelletin valmistajien, käyttäjien sekä tutkimuslaitosten kesken. Standardi tulee asettamaan pelleteille tiukat laatuvaatimukset, jotka koskevat kaikkia pellettien valmistajia ja kaikkia Euroopassa myytäviä puupellettejä. Standardia ollaan viimeistelemässä, ja se tulee arvioiden mukaan voimaan vuoden 2010 aikana.

Tällä hetkellä voidaan siis verrata vain suurimpien valmistajien laatukriteereitä pelleteille. Seuraavana Vapon ja Versowoodin kriteerit:

Vapon kriteerit [8]:

Raaka-aine:	kemiallisesti käsittelemätön kuoreton puu
Käyttökohde:	Polttoaine
Koko/halkaisija:	8 mm, tyypillinen pituus 5 - 40 mm
Lämpöarvo :	$\geq 4,75$ kWh/kg
Kosteus:	<10 %
Tuhkapitoisuus:	< 0,5 %
Ominaispaino:	> 625 kg/m ³
Sideaineet:	< 1 %
Rikki:	<0,02 %
Typpi:	< 0,3 %
Kloori:	< 0,03 %

Versowoodin kriteerit [9]:

Raaka-aine:	Puubiomassa (1.2)
Puulaji:	Kuusi ja mänty
Ominaisuudet:	Halkaisija $8 \pm 0,5$ mm, Pituus ≤ 4 x halkaisija Mekaaninen kestävyys $\geq 97,5$ %
Lämpöarvot:	$> 4,7$ kWh/kg
Ominaispaino:	≥ 650 kg/m ³
Kosteuspitoisuus:	≤ 10 % (M 10)
Tuhkapitoisuus:	$\leq 0,5$ %
Kloori:	$\leq 0,03$ %
Rikki:	$\leq 0,05$ %
Typpi:	$\leq 0,3$ %
Sideaineet:	$< 0,5$ %

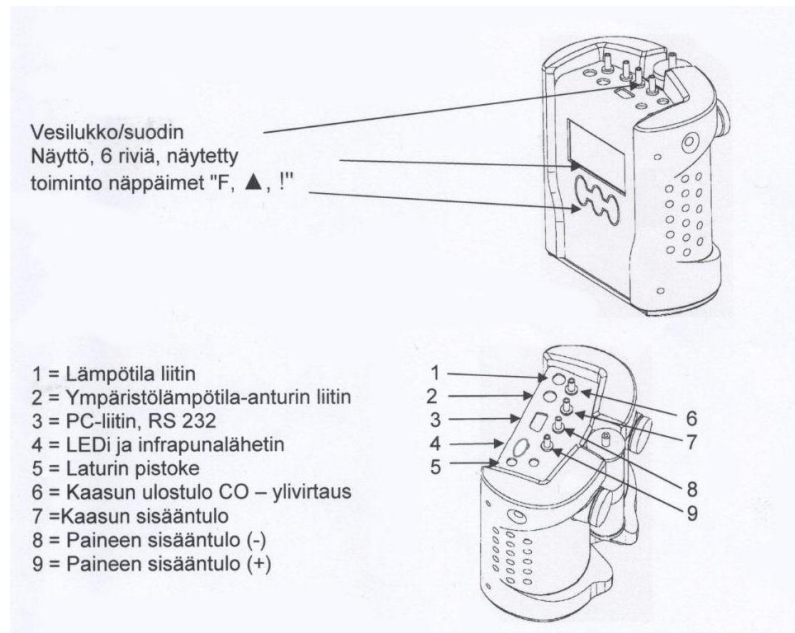
4 Palokaasuanalysaattori

4.1 Yleistä

Savukaasujen analysointiin käytettiin Dräger MSI 50 Pro2 -mallista savukaasuanalysaattoria. Laite on yksinkertainen käyttää ja soveltuu työhön hyvin. Analysaattorissa on happi-, hiili- ja typpikemot, joilla laite mittaa yleisimmät palokaasut.



Kuva 19. Dräger MSI 150 Pro2 -savukaasuanalysaattori [13]



Kuva 20. Dräger MSI 150 Pro2:n liitännät [5]

4.2 Toiminta

MSI 150 Pro2 on erittäin helppokäyttöinen analysaattori. Se soveltuu parhaiten lyhyisiin kertaluonteisiin mittauksiin, mutta myös pidempiä mittauksia on mahdollista suorittaa.

Laitetta päälle laitettaessa on oltava täysin varma, että akussa on tarpeeksi virtaa. Jos akussa ei ole tarpeeksi virtaa, imaisee analysaattori loputkin virrat akusta, joka on tällöin käyttökeltoton ja vaihdettava uuteen. Laitetta voi säilyttää jatkuvassa latauksessa verkkovirrassa, sillä akku vaurioituu siitä. [5]

Laite käynnistetään painamalla painikkeita "F" ja "!" samanaikaisesti yhtä aikaa pohjassa. Laite tällöin suorittaa automaattisen järjestelmän tarkistuksen, jonka jälkeen laite on käyttövalmis. Järjestelmätestin aikana näytteenottoletku tulee olla puhtaassa ilmassa, eikä vedenerottimessa saa olla vettä. [5]

Kun analysaattori on toimintavalmiina päävalikossa, voidaan näytesondi asettaa savupiippuun tai muualle mitattavaan kaasulähteeseen. "F" -näppäimellä valitaan haluttu toiminta ja näppäimillä "▲" ja "!" selataan valikkoa. [5]

Savukaasuanalyysi valikosta löytyvät erilaiset mittausmetodit, mutta yleishyödyllisin on ”optimointi” -mittaus. Tällä ohjelmalla laite analysoi kaasujen pitoisuudet, hyötysuhteen, palokaasun lämpötilan ja muita tarpeellisia arvoja. Arvot saadaan lukittua ja vapautettua ”!” -näppäimellä, jolloin ne on myös mahdollista tulostaa erillisellä tulostimella. [5]

Laite kerää mittauksen aikana jonkin verran kondenssivettä vedenerottimeen. Vedenerotinta pitää seurata, ettei vettä pääsisi analysaattorin sisälle, jolloin se aiheuttaisi vahinkoja kennoissa. [5]

4.2.1 Käyttöohjeet yksinkertaiseen mittaukseen

Yksinkertaisia mittauksia MSI 150 Pro:lla on mahdollista suorittaa seuraamalla seuraavia ohjeita:

- Varmista, että laitteessa on tarpeeksi virtaa. Jos et ole varma, kytke laite laturiin käynnistyksen ajaksi.
- Kytke anturit ja näytteenottoputki laitteeseen ja tarkista vedenerotin ja suodatin epäpuhtauksien varalta. Huom. Näytteenottoputki tulee käynnistyksen aikana olla puhtaassa ilmassa.
- Käynnistä laite painamalla näppäimiä ”F” ja ”!” yhtä aikaa.
- Anna laitteen suorittaa automaattinen järjestelmätarkistus.
- Mikäli järjestelmä antaa virrehäiriöitä, toimi laitteen käyttöohjeen mukaan.
- Valitse valikosta ”Savukaasu analyysi” ja tämän jälkeen ”Optimointi”.
- Valitse valikosta, mitä polttoaineen palokaasuja aiotaan mitata.
- Laite alkaa analysoida kaasua, ja lukemat tulevat näytölle.
- Lukemat näytöllä pysäytetään ”!” -painikkeella, jolloin ne on mahdollista kirjoittaa muistiin, tai tulostaa erillisellä tulostimella. Lukitus poistetaan toisella napin painalluksella
- ”F” -näppäimellä selataan mittauksia eteenpäin. Taaksepäin valikossa ei pääse, mutta uuden mittauksen aloittaminen on nopeaa.
- Irrota mittausten jälkeen näytteenottoputki ja lämpötilanturin johto laitteesta. Anna puhtaan ilman virrata laitteeseen yhdestä kahteen minuuttiin.

- Sammuta laite painamalla päävalikosta ”sammuta”.
- Tarkista suodatin ja vedenerotin. Veden erottimesta pitää poistaa vesi, ja suodattimet eivät saa olla näkyvästi likaisia.

4.2.2 Tekniset tiedot

Happi (O ₂)	Mittausalue 0 ... 25 %
Hiilimonoksidi (CO)	Mittausalue 0 ... 4000 ppm
Typpioksidi (NO)	Mittausalue 0 ... 2000 ppm
Hiilidioksidi (CO ₂)	Laskennallinen
Hyötysuhde	Mittausalue 1.00 ... 199.9 %
Yli-ilma	Mittausalue 1.00 ... 9.999
Kanavapaine (puolijohde)	Mittausalue +5 ... +120mbar
Ilmanpaine (puolijohde)	Mittausalue -10 ... +5hPa
Kanavahäviöt	Mittausalue -20 ... +100 °C
Ympäristön lämpötila	Mittausalue -20 ... +100 °C
Savukaasulämpötila	Mittausalue -20 ... +1000 °C
Käyttöolosuhteet	+ 5 °C ... + 40 °C

5 Mittaukset

5.1 Koesuunnitelmat ja koejärjestelyt

Molemmille polttolaitteille tehtiin yksinkertaiset koesuunnitelmat, koska molemmissa polttimissa oli vain yksi muuttuva ja tuloksiin vaikuttava arvo.

5.1.1 Pellettipolttimen koesuunnitelma

Pellettipolttimeen ei käytännöllisesti katsoen voi tehdä säätöjä sen toimintatavan takia. Laite toimii joko maksimi-, keski- tai minimiohjelmalla, riippuen kattilan lämpötilasta. Näistä ohjelmista voisi säätää tuulettimen tai syöttöruuvien tehoa, mutta vain 0-100 %:iin

asteikolla. Arvon vaihtaminen on työlästä, ja polttimen valmistaja neuvoo olemaan vaihtamatta olevia arvoja, sillä asetusarvot ovat optimit uudelle polttimelle.

Tästä syystä mittasin normaalista käynnistä syntyviä päästöjä eri ajanhetkinä. Teoria on osoittanut, että panossyötöllä kuvaajasta pitäisi näkyä jaksoittaisia päästöpiikkejä, kun syöttöruuvi työntää uutta materiaalia lisätään palokammioon. Tarkoituksena on mitata noiden päästöpiikkien arvot ja verrata pellettipolttimen päästöjä öljypolttimen päästöihin. Mittaukset tehtiin kaksi kertaa, jotta voitiin olla varma saaduista tuloksista.

5.1.2 Öljypolttimen koesuunnitelma

Öljypolttimeen voi vaikuttaa vain ilmansäätöruuvina avulla käytännössä. Öljypoltinta optimoidessa on siis vain yksi muuttuja, joka on polttimen ilmakerroin.

Koesuunnitelmasta tulee siis erittäin yksinkertainen, ja tuloksista riippuen voidaan arvioida, onko toinen poltto tarpeellinen.

5.1.3 Öljypolttimen koejärjestely

Aluksi määritellään alhaisin mahdollinen ilmakerroin, jolla liekki ei nokea. Tämä saadaan selville pienentämällä ilmakerrointa, kunnes poltto alkaa noeta. Nokeaminen havaitaan palokaasuanalysaattorilla, kun lähes kaikki sen mittausarvot ”hyppäävät” yli mittausalueen.

Pienin mahdollinen ilmakerroin on siis astetta suurempi kuin nokeava arvo. Kun pienin kerroin on tiedossa, voidaan mitata päästölukemat muillekin arvoille helposti ja järjestelmällisesti. Tietyn pisteen jälkeen oletettavasti päästöt alkavat nousemaan, jolloin tiedetään, että sitä suuremmilla ilmakertoimilla ei saada optimaalista polttoa aikaiseksi.

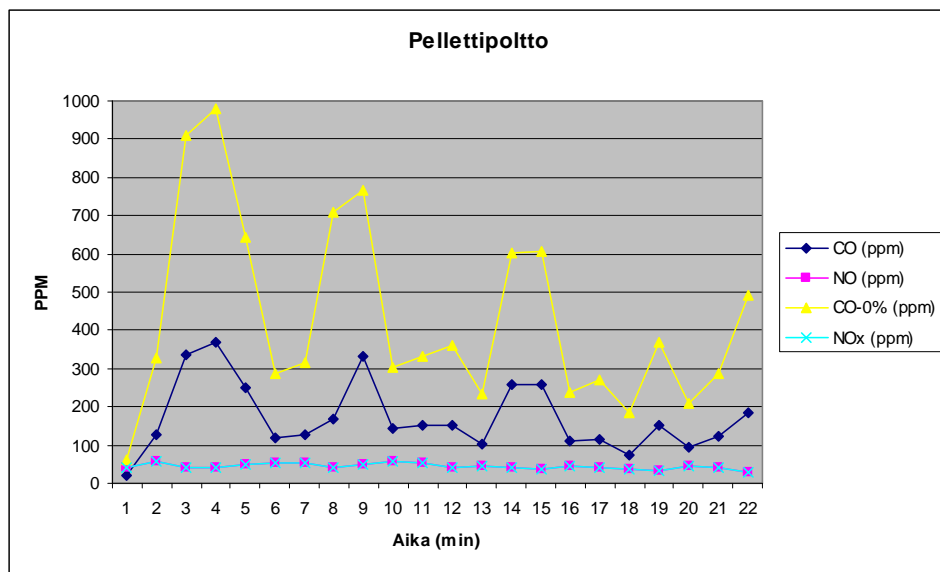
Kun eri ilma-arvoilla on saatu tarpeeksi monta mittausta, tehdään niistä kuvaaja, josta voidaan todeta päästöjen määrä ilmakertoimen funktiona.

6 Tulokset

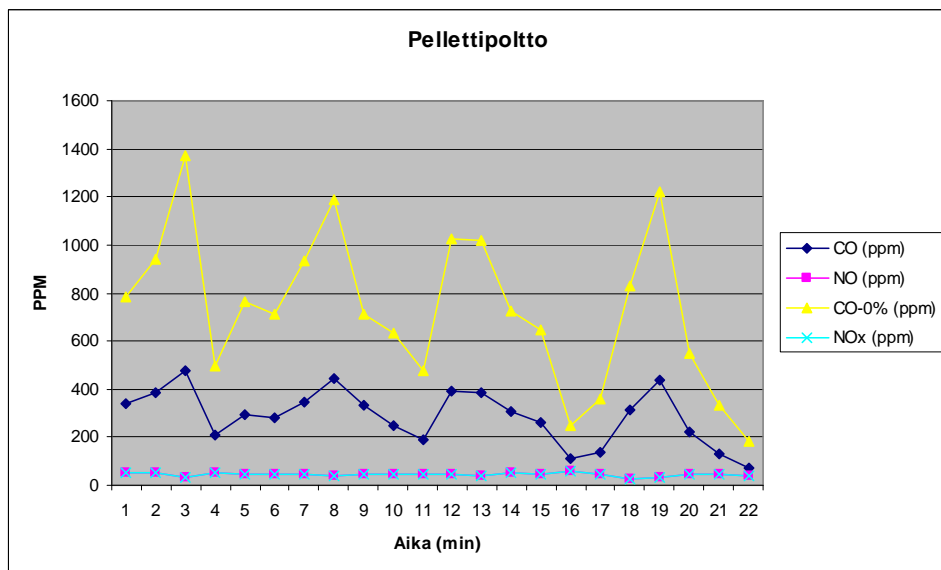
Tarkat mittausarvot löytyvät liitteestä 1.

6.1.1 Pellettipolton tulokset

Kuvissa 21 ja 22 näkyvät kahden pellettipolton hiukkaspäästöt ajan funktiona.

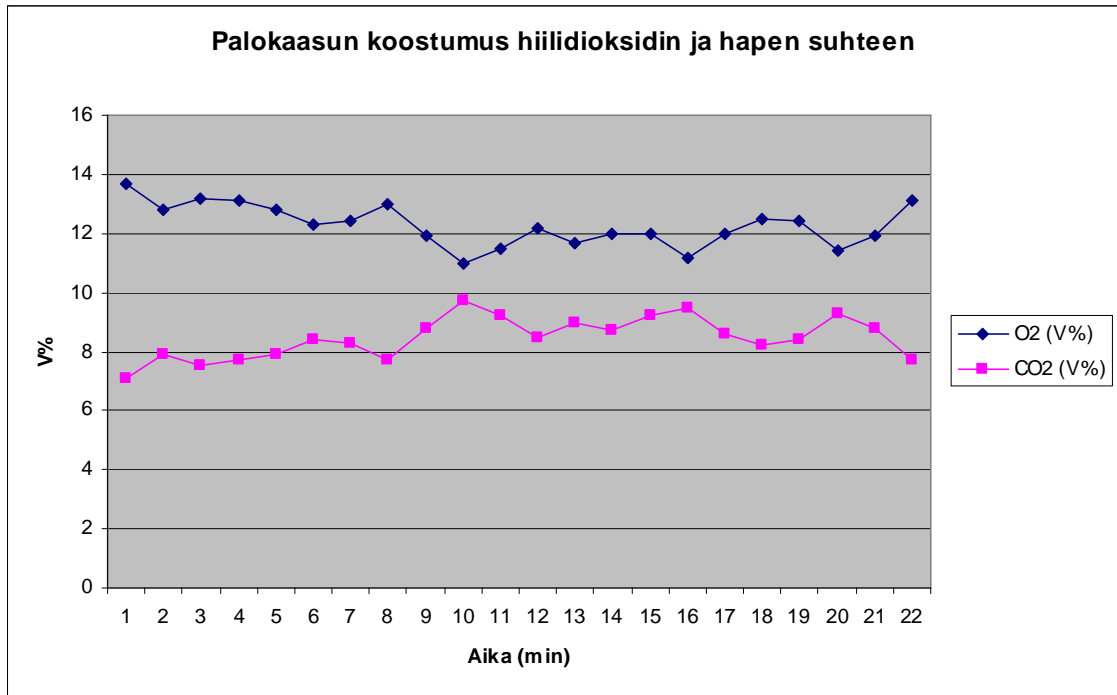


Kuva 21. Ensimmäisen pellettipolton päästöt ajan funktiona.

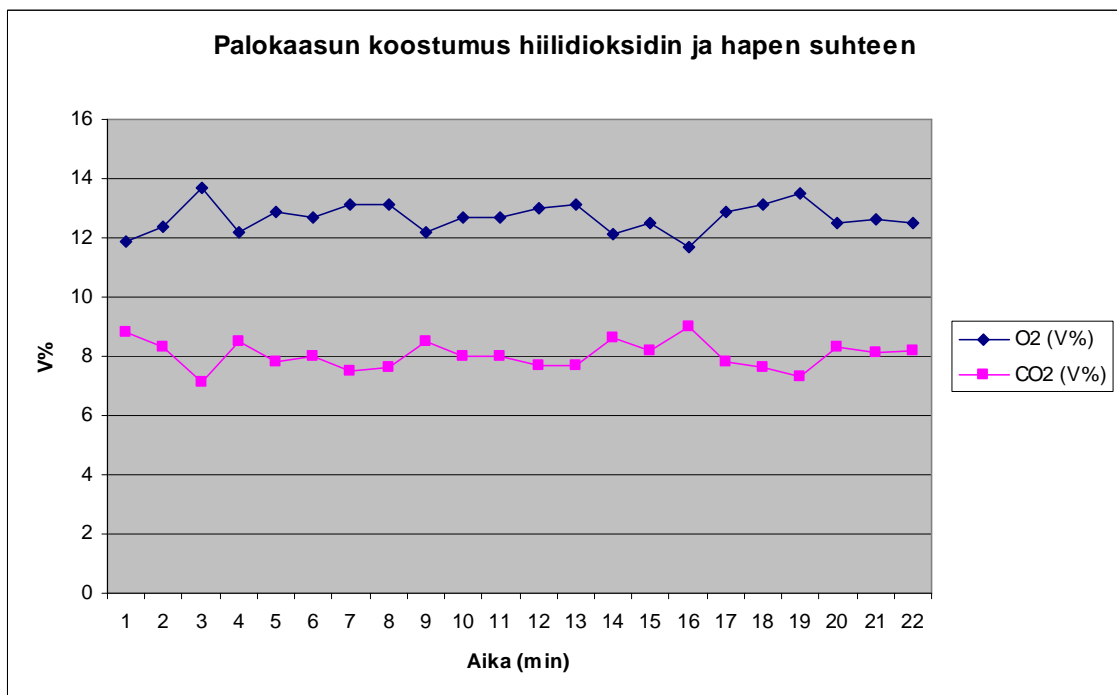


Kuva 22. Toisen pellettipolton päästöt ajan funktiona

Kuvissa 23 ja 24 näkyvät kahden pellettipolton hiilidioksidi- ja happipäästöt ajan funktiona.



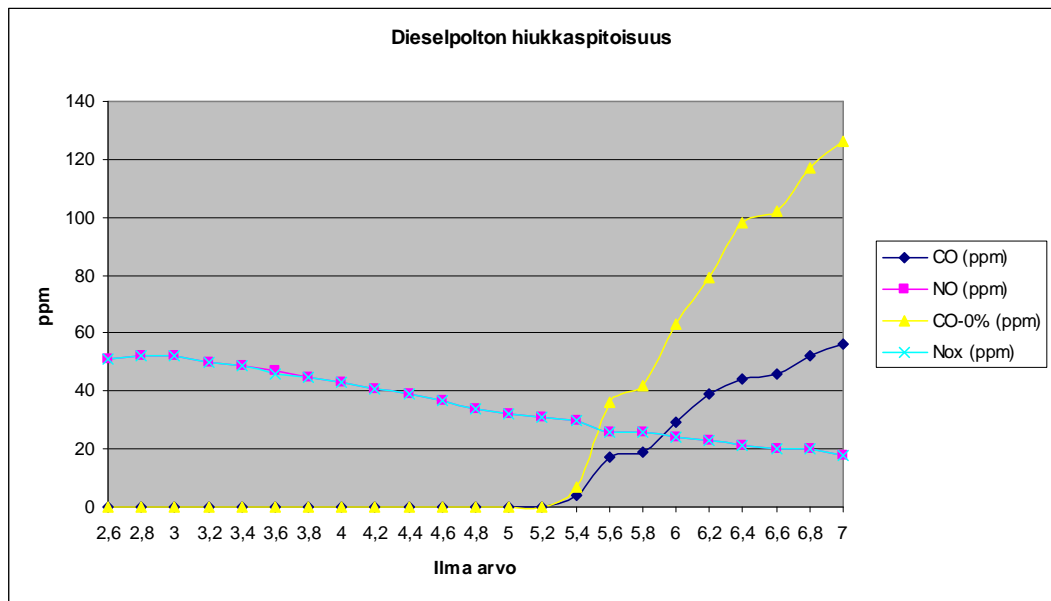
Kuva 23. Ensimmäisen pellettipolton palokaasujen hiilidioksidi- ja happipäästöt.



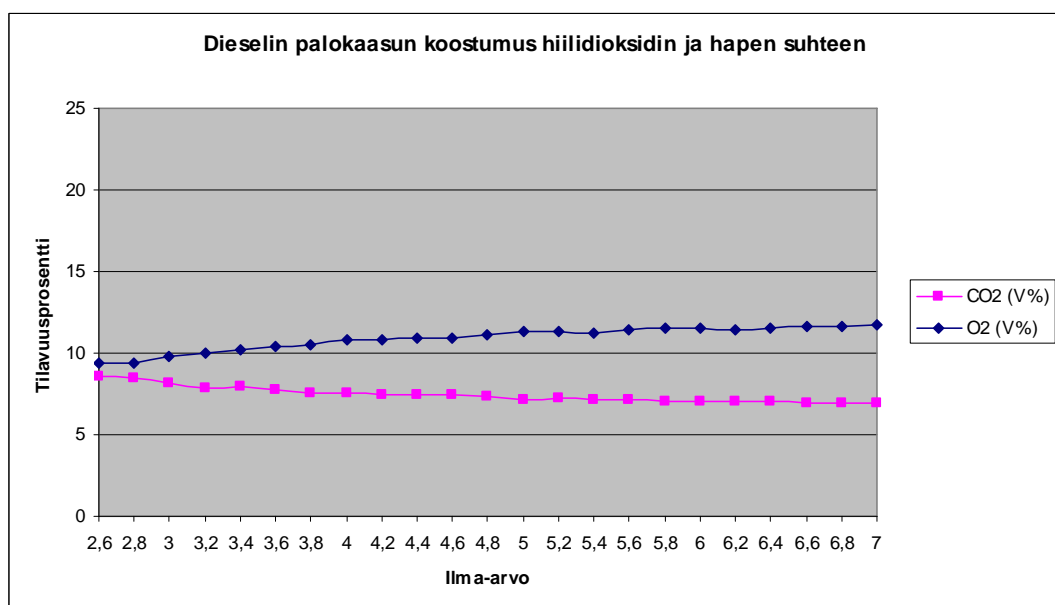
Kuva 24. Toisen pellettipolton palokaasujen hiilidioksidi- ja happipäästöt.

6.1.2 Dieselpolton tulokset

Dieselpolton hiukkaspäästöt näkyvät kuvassa 25 ja kuvasta 26 näkyvät polton päästöt hiilidioksidin ja hapen suhteen.



Kuva 25. Dieselpolton päästöarvot



Kuva 26. Hapen ja hiilidioksidin osuus palokaasuista.

6.1.3 Tulosten tarkastelu

6.1.3.1 Pellettipolton tarkastelu

Pellettipoltto onnistui todistamaan puupolton teorian täysin oikeaksi. Kuvista 21 ja 22 nähdään, kuinka päästöarvot nousevat selvästi, kun uutta polttoainetta annostellaan palokammioon. Poltin syöttää pellettejä palokammioon noin viiden minuutin välein, mikä johtaa epätasaiseen palamiseen, kun kylmät pelletit kohtaavat hiilloksen.

Kuvista 23 ja 24 huomataan, että hiilidioksidin määrä pysyy kohtuullisen vakiona 12 – 13 %:ssa. Hiilidioksidin määrä ei kuitenkaan seuraa polttimen syöttö sykliä, vaan hiilidioksidi muodostuu vain itse hiilen palamisen seurauksena.

Päästöjä voitaisiin kenties pienentää, jos pellettejä pystyttäisiin esilämmittämään syöttöruuvivaiheessa. Tällöin vesi olisi jo haihtunut pelleteistä, kun se kohtaa hiilloksen. Tämä tietenkin nostaisi myös polttimen paloturvallisuusriskiä, joten polttimeen tulisi tässä tapauksessa tehdä jotain muutoksia palon estämiseksi. Tulevaisuudessa on oletettavaa, että pellettipolttimet tulevat korvaamaan yhä enemmän öljypolttimia, kunhan niiden käyttöystävällisyyttä ja polttoa on kehitetty enemmän.

6.1.3.2 Öljypolton tarkastelu

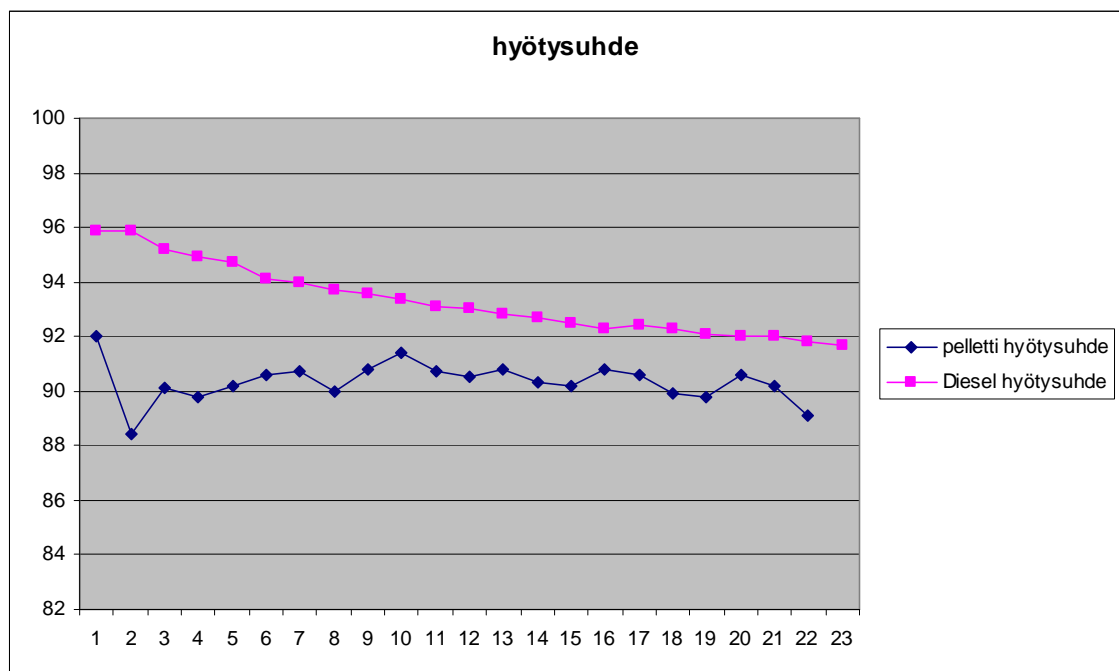
Öljypoltto toimi erittäin hyvin, ja sen ilmakertoimen säätö oli helppoa. Polton optimoimiseen käytetty ilmakertoimen säätö näytti hyvin, miten ilman määrä säätelee palamista. Ilmakertoimen säätely vaikutti kuitenkin odotettua vähemmän päästöihin, ja vain suuri kertoimen nosto alkoi tuottaa häkää. Muuten palaminen oli yllättävän täydellistä ja vakaata, mikä voidaan nähdä kuvaajista 25 ja 26.

Paras ilmakerroin voidaan saada selville kuvasta 25, josta nähdään että päästöarvot ovat kauttaaltaan pienentymässä ennen arvoa 5,2. Optimi-ilmakerroin onkin siis noin 4,5 – 5.

6.1.4 Polttimien vertailu

Öljypolttimeen verrattuna pellettipolttimessa oli noin 5 % huonompi hyötysuhde, joka voidaan nähdä selvästi kuvasta 27. Pellettipolttimen päästöt olivat monessa suhteessa suuremmat, mikä voidaan nähdä, kun verrataan kuvia 25 ja 22.

Kuvasta 27 pitää huomioida, että öljypolttimen X-akseli on ilmakertoimen arvo ja pellettipolttimessa taas aika. Silti voidaan todeta, että jokaisella ilmakertoimen arvolla on öljypoltin hyötysuhteelta tehokkaampi kuin pellettipoltin.



Kuva 27. Polttimien hyötysuhteet verrattuna toisiinsa.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä asennettiin juuri koululle hankittu pienpoltin toimintakuntoon ja optimoitiin sen öljypoltinta. Sen lisäksi laitteistolle tehtiin helppolukuinen käyttöopas tuleville käyttäjille.

Työtä voitaisiin jatkaa selvittämällä erilaisten polttoaineiden vaikutus palokaasuihin. Pellettipolttimelle voisi kehittää menetelmän, jolla uuden polttoaineen syöttö ei tuottaisi piikkiä sen savukaasuihin.

Lähteet

- 1 Harju, Pentti. 2004. Lämmitystekniikan oppikirja. 2. Painos. Kouvola: Penan Tieto-opus.
- 2 Motiva. Lämpöä puusta: puhtaasti ja uusiutuvasti. Helsinki 2009.
- 3 Biofuel systems group ltd: Biodiesel chemistry
<<http://www.biofuelsystems.com/biodiesel/chemistry.htm>> Luettu: 20.04.2010
- 4 S. Armstrong, E. Koontz and C. Peltier: Process of making bio-diesel
<http://www.humboldt.edu/~ccat/biodiesel/makingbiodiesel/koontzFA2001/process_makingbiod.html> Kevät 2000 Luettu: 20.04.2010
- 5 Aimtec Oy: Käyttöohje MSI 150 pro2
- 6 Nelke, Markku. 2006. Puun pienpolton päästöt. Evttek-ammattikorkeakoulu.
- 7 Laddomat 4030. Käyttöohje.
- 8 Vapo: Vapon puupellettien laatukriteerit ja ominaisuudet.
<http://www.vapo.fi/filebank/4113-puupelletti_fin_1108.pdf> Luettu: 20.04.2010
- 9 Versowood: Versowoodin puupellettien laatukriteerit ja ominaisuudet.
<http://www.versowood.fi/easydata/customers/versowood/files/tuotekortit/HOTTI_lammityspelletti.pdf> Luettu: 20.04.2010
- 10 Pellettienergia: Pellettien tuotanto.
<http://www.pellettienergia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=63&Itemid=75> Luettu: 20.04.2010
- 11 Metsäteollisuus: Kaavioita biomassasta ja polttoaineista.
<<http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastokuviot/biomassaja-polttoaineet/Forms/AllItems.aspx>> Luettu: 20.04.2010
- 12 Bequem. Asennus- ja käyttöohje
- 13 Aimtec: tuotteet.
<<http://www.aimtec.fi/tuotteetdetail.php?id=1282&ryhmaid=120>> Luettu: 20.04.2010

- 14 Petroleum (Raskas polttoöljy).
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum>> Luettu: 20.04.2010
- 15 Diesel fuel (Diesel). <http://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_fuel>
Luettu: 20.04.2010
- 16 Polttoöljy. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Poltto%C3%B6ljy>> Luettu:
20.04.2010

Liitteet

Taulukko 2. Ensimmäisen pellettipolton mittaustulokset.

aika (min)	hyöty %	O2 (V%)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO-0% (ppm)	Nox (ppm)	CO2 (V%)
1	92	13,7	21	39	60	39	7,1
2	88,4	12,8	128	56	329	56	7,9
3	90,1	13,2	337	43	908	43	7,5
4	89,8	13,1	370	43	980	43	7,7
5	90,2	12,8	251	48	643	48	7,9
6	90,6	12,3	119	54	288	54	8,4
7	90,7	12,4	129	53	314	53	8,3
8	90	13	169	42	708	42	7,7
9	90,8	11,9	331	50	768	50	8,8
10	91,4	11	145	59	302	59	9,7
11	90,7	11,5	151	53	333	53	9,2
12	90,5	12,2	152	40	362	40	8,5
13	90,8	11,7	103	45	233	45	9
14	90,3	12	260	39	604	39	8,7
15	90,2	12	258	37	607	37	9,2
16	90,8	11,2	110	47	236	47	9,5
17	90,6	12	114	41	270	41	8,6
18	89,9	12,5	75	37	184	37	8,2
19	89,8	12,4	151	32	370	32	8,4
20	90,6	11,4	96	45	211	45	9,3
21	90,2	11,9	124	41	286	41	8,8
22	89,1	13,1	186	30	493	30	7,7
keskiarvo:	90,34	12,28	171,82	44,27	431,32	44,27	8,46

Taulukko 3. Toisen pellettipolton mittaustulokset.

aika (min)	hyöty %	O ₂ (V%)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO-O ₂ (ppm)	NO _x (ppm)	CO ₂ (V%)
1	91	11,9	342	54	786	54	8,8
2	89,1	12,4	385	55	938	55	8,3
3	89,5	13,7	477	33	1373	33	7,1
4	90,7	12,2	208	55	497	55	8,5
5	90,3	12,9	296	47	766	47	7,8
6	90,2	12,7	281	47	715	47	8
7	89,8	13,1	348	45	937	45	7,5
8	89,7	13,1	444	38	1188	38	7,6
9	90,5	12,2	332	47	709	47	8,5
10	90,3	12,7	250	48	634	48	8
11	90,3	12,7	190	46	480	46	8
12	90	13	390	44	1028	44	7,7
13	89,8	13,1	383	37	1016	37	7,7
14	90,6	12,1	309	49	725	49	8,6
15	90,2	12,5	261	46	647	46	8,2
16	90,7	11,7	109	57	245	57	9
17	89,8	12,9	138	44	356	44	7,8
18	89,7	13,1	312	28	829	28	7,6
19	89,4	13,5	438	32	1222	32	7,3
20	89,9	12,5	223	45	548	45	8,3
21	90	12,6	132	48	331	48	8,1
22	89,9	12,5	75	37	184	37	8,2
keskiarvo:	90,06	12,69	287,41	44,64	734,27	44,64	8,03

Taulukko 4. Dieselpolton mittaustulokset

Ilma arvo	hyöty %	O2 (V%)	CO (ppm)	NO (ppm)	CO-0% (ppm)	Nox (ppm)	CO2 (V%)
2,6	95,9	9,4	0	51	0	51	8,6
2,8	95,9	9,4	0	52	0	52	8,5
3	95,2	9,8	0	52	0	52	8,2
3,2	94,9	10	0	50	0	50	7,9
3,4	94,7	10,2	0	49	0	49	8
3,6	94,1	10,4	0	47	0	46	7,8
3,8	94	10,5	0	45	0	45	7,6
4	93,7	10,8	0	43	0	43	7,6
4,2	93,6	10,8	0	41	0	41	7,5
4,4	93,4	10,9	0	39	0	39	7,5
4,6	93,1	10,9	0	37	0	37	7,4
4,8	93	11,1	0	34	0	34	7,3
5	92,8	11,3	0	32	0	32	7,1
5,2	92,7	11,3	0	31	0	31	7,2
5,4	92,5	11,2	4	30	7	30	7,1
5,6	92,3	11,4	17	26	36	26	7,1
5,8	92,4	11,5	19	26	42	26	7
6	92,3	11,5	29	24	63	24	7
6,2	92,1	11,4	39	23	79	23	7
6,4	92	11,5	44	21	98	21	7
6,6	92	11,6	46	20	102	20	6,9
6,8	91,8	11,6	52	20	117	20	6,9
7	91,7	11,7	56	18	126	18	6,9

Pienpolttimen käynnistysohje

Tämän ohjeen avulla voit turvallisesti ottaa käyttöön lämmityskattilan ja sen kaksi poltinta. Polttimen käytössä tulee ottaa erityisesti huomioon venttiilien asennot, sillä huolimattomalla käytöllä voi aiheuttaa kattilaräjähdyksen, joka olisi äärimmäisen vaarallinen koko koululle.

Esivalmistelut

- Tarkista, että polttimien sähköjohto on kiinni sähköverkossa ja että niiden hätäkatkaisin ei ole päällä (sijaitsee polttimen oikealla puolella olevan oven vieressä).
- Avaa kattilan pelti työntämällä peltivipu kattilan sisään.

Polttimien käynnistys

- Käännä kytkintaulusta vasemmanpuolinen pääsulake päälle. Tämä toimii myös laitteen pääkatkaisimena.
- Kytke sulaketaulun oikealta puolelta haluamasi poltin. Ylös: pellettipoltin. Alas: Öljypoltin. Molempia polttimia ei ole mahdollista käyttää samaan aikaan.

Öljypoltin

- Kun öljypolttimen sulake on kytketty päälle, aloittaa poltin heti ylösajonsa. Poltin esilämmittää öljyn 70 °C:n lämpötilaan, jonka jälkeen se aloittaa sytytyksen.
- Mikäli poltin ei saa liekkiä aikaiseksi, syttyy punainen häiriövalo polttimen paneelissa. Paina silloin valoa, jolloin häiriö kuittaantuu. Poltin aloittaa tämän jälkeen sytytyksen uudelleen.

- Tämän jälkeen poltin toimii automaattisesti täydellä teholla, kunnes kattilan lämpötila saavuttaa sille annetun asetusarvon. Asetusarvon jälkeen poltin pienentää polttotehoaan ja ylläpitää kattilan lämpötilaa.

Pellettipoltin

- Kun olet kytkenyt sulakkeen pellettipolttimen asentoon, laita itse pellettipoltin päälle sen virtakytkimestä.
- Paina valikossa oikeaa nuolta kunnes tulet kohtaan OFF (+ON). Valitse ”Plus”-näppäimellä ON, jolloin poltin käynnistyy.
- Polttimen kylmäkäynnistys saattaa kestää jopa 20 minuuttia. Sen vaiheita voidaan seurata silti ohjauspaneelistä, jossa sen käynnistysvaiheet ovat numeroitu 1K – 7K. Älä tee säätöjä polttimeen käynnistyksen aikana.
- Tämän jälkeen poltin toimii automaattisesti täydellä teholla, kunnes kattilan lämpötila saavuttaa sille annetun asetusarvon. Asetusarvon jälkeen poltin pienentää polttotehoaan ja ylläpitää kattilan lämpötilaa.

Käynnissäpito ja lämminvesivaraajan lataus

- Polttimet lämmittävät kattilan vesitilaa maksimiteholla, kunnes kattila saavuttaa termostaatin asetusarvon.
- Lämminvesivaraajaa säädetään kolmesta säätönupista Laddomat 4030 -latausyksikön kyljessä.

Laddomat 4030 Laturin säädöt

- Ylin säätönuppi säätää, missä kattilalämpötilassa lämminvesivaraaja alkaa purkaa lämpöä takaisin kattilaan.

- Keskimäinen säätönuppi säätää missä lämpötilassa kattila alkaa ladata lämmintä vettä varaajaan.

- Alimmalla säätönupilla säädetään alin lämpötila, millä lämpötilan purkua kattilaan suoritetaan. Sen alittuessa lisälämmitin käynnistyy.

Sammuttaminen

- Sammuta kattila käänteisessä järjestyksessä kuin käynnistäminen. Sulje polttimien virta sulakepaneelistä (sekä laitteesta jos käytetty poltin on ollut pellettipoltin).

- Anna laitteiston tuulettaa palokammioita noin 10 minuuttia ja vasta sitten sammuta pääsulakkeesta virta kattilaan.

- Vedä viimeiseksi pelti kiinni vetämällä peltivipu ulos paneelistä.