

Iiska Kaukola-Risku

PELETTILÄMMITYKSEN OPTIMOINTI
SANEERAUSKOHTEESSA

Rakennus-ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
2016

PELETTILÄMMITYKSEN OPTIMOINTI SANEERAUSKOHTEESSA

Kaukola-Risku, Iiska
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Syksy 2016
Ohjaaja: Siren, Pekka
Sivumäärä: 55
Liitteitä: 3

Asiasanat: pelletti, öljy lämmityskattilat, hyötysuhde

Opinnäytetyön aiheena oli suorittaa Jäspin lämmityskattilaan ja Vikingin pellettipolttimeen optimointi saneerauskohteeseen, missä ennen lämmitys hoidettiin öljypolttimella ja öljykattilalla. Opinnäytetyö suoritettiin Koulutuskeskus Sedu Kurikalle heidän pyynnöstään. Tässä työssä kerrotaan laajasti pelletin valmistuksesta, pelletin varastoinnista ja siirtovaihtoehdoista, pellettipolttimista, lämmityskattiloista, projektikohteen lämmitysjärjestelmän optimoinnista ja optimoinnin avuksi suoritetuista mittauksista ja laskelmista.

Opinnäytetyön pääaiheena oli projektikohteen uuden lämmitysjärjestelmän parhaiden asetusten löytäminen, jotta päästäisiin parhaimpaan mahdolliseen hyötysuhteeseen. Sitä kautta pellettipoltin ja lämmityskattila toimisivat niin taloudellisesti kuin mahdollista. Kyseisen optimoinnin avuksi suoritettiin useita mittauksia ja laskelmia, joita tarkasteltiin tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä saavutettiin haluttu lopputulos. Pellettilämmitysjärjestelmä toimii mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella ja taloudellisesti. Opinnäytetyöstä selviää nykyiset lämmityskustannukset, kun lämmitysjärjestelmässä käytetään pellettiä. Lisäksi käyttö- ja investointikustannukset kevyen polttoöljyn ja pellettien välillä on esitetty tässä projektissa.

OPTIMIZING PELLET HEAT SYSTEM IN RENOWATION PROJECT

Kaukola-Risku, Iiska
Satakunta University of Applied Sciences
Construction and civil engineering
Autumn 2016
Supervisor: Siren, Pekka
Number of pages: 55
Appendices: 3

Keywords: pellet, oil, heating boiler, heating efficiency

The purpose of this thesis was to implement and optimize pellet boiler called Jäspi and pellet burner called Viking in renovation construction where heating earlier was handled with an oil burner and an oil boiler. This thesis was made for Vocational Education Centre Sedu Kurikka at their request. There is a lot of information in this thesis about manufacturing of pellets, how to store pellets, transfer alternatives, pellet burners, heat boilers, how to optimize project target`s heat system and what kind of measurements and calculations need to be done to help with the optimizing.

The main purpose of this thesis was to find the best settings to project target`s new heating system so the best possible heating efficiency achieved. This way the pellet burner and the heating boiler would work as economically as possible. Several measurements and calculations were made to the heating boiler and pellet burner to help with the optimizing process. The measurements and calculations are observed in this thesis.

The results were successful. Pellet heating system was working at its best possible heating efficiency and economically. The final thesis shows the current heating costs when the heating system runs on pellet. In addition, the running cost and the investment costs between bio fuel and pellet were showed in this project.

SISÄLLYS

1	OPINNÄYTETYÖN KOHDE	8
1.1	Kohteen alkuselvitys	8
1.2	Pellettilämmityksen soveltuvuus kohteeseen.....	8
1.3	Opinnäytetyön tavoite ja päämäärät.....	9
2	MITÄ PELLETTI ON?.....	10
1.4	Mitä pelletti on?	10
2	PELLETIN VALMISTUS	11
2.1	Käsittelyvaihe	11
2.2	Puristusvaihe	11
2.3	Jäähdytys.....	14
2.4	Varastointi.....	14
3	LÄMMITYSKATTILA TYYPIT	15
3.1	Lämmityskattila	15
3.2	Lämmityskattilan osat	16
3.2.1	Kattilan tulipesä.....	16
3.2.2	Kattilan konvektio-osa.....	16
3.2.3	Turbulenssielin	16
3.2.4	Kattilan vesitila.....	17
3.3	Lämmityskattiloiden jako	17
3.3.1	Lämmityskattiloiden jako niiden tehon mukaan	17
3.3.2	Lämmityskattiloiden jako niiden rakenteen mukaan.....	18
3.3.3	Lämmityskattiloiden jako niiden palamistavan mukaan	18
3.3.4	Lämmityskattiloiden jako tulipesässä olevan paineen mukaan.....	20
4	PELLETTIPOLTINTYYPIT	21
4.1	Pellettipoltin.....	21
4.2	Pellettipolttimien jako	21
4.2.1	Alasyöttöinen pellettipoltin	22
4.2.2	Yläsyöttöinen pellettipoltin	23
4.2.3	Vaakasyöttöinen pellettipoltin.....	26
5	PELLETIN VARASTOINTI- JA KULJETUSVAIHTOEHDOT	27
5.1	Pellettivarasto.....	27
5.1.1	Säkkisiilo	27
5.1.2	Metalilevysiilo	28
5.1.3	Maasäiliö	29

5.1.4 Viikkosiilo	29
5.1.5 Rehusäiliö	30
5.1.6 Itse rakennettu pellettisäiliö.....	31
5.2 Pelletin siirto varastosta polttimelle.....	31
5.2.1 Siirtoruuvi	31
5.2.2 Pelletin imusiirto	33
6 PELLETTILÄMMITYKSEN KUSTANNUS	34
6.1 Lämmitysjärjestelmän kustannuksien muodostuminen	34
6.2 Lämmitysenergian kulutus kohteessa	35
7 MITTAUKSET	39
7.1 Mittausjärjestelyt.....	39
7.2 Mittauslaitteet	41
7.3 Mittaustulokset.....	45
7.4 Mittaustulosten käsittely	48
7.5 Laskelmat	50
8 YHTEENVETO	54
LÄHTEET.....	55
LIITTEET	

KUVA, KUVIO JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1 Mitä pelletti on? (Imexwood, 2016).....	10
Kuva 2 Rengasmatriisi (Ulf-Peter Granö, 2016).....	13
Kuva 3 Tasomatriisi (Ulf-Peter Granö, 2016).....	13
Kuva 4 Pelletin valmistusprosessi (Bioenergia, 2016)	15
Kuva 5 Yläpalokattila (Kaukora, 2016)	19
Kuva 6 Alapalokattila (Harju, 43).....	20
Kuva 7 Alasyöttöinen pellettipoltin (Vapo, 54).....	23
Kuva 8 Yläsyöttöinen pellettipoltin (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	24
Kuva 9 Yläsyöttöinen pellettipoltin ilman ulkokuoria (Iiska Kaukola-Risku, 2016)	25
Kuva 10 Yläsyöttöisen pellettipoltin palopää (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	25
Kuva 11 Vaakasyöttöinen pellettipoltin (Biofire, 2016).....	26
Kuva 12 Säkkisiilo (Pellettienergiaa, 2016)	28
Kuva 13 Metallilevysiilo (Pellettienergiaa, 2016)	28
Kuva 14 Maasäiliö (Pellettienergiaa, 2016).....	29
Kuva 15 Viikkosiilo (Pellettienergiaa, 2016)	30
Kuva 16 Rehusäiliö (Pellettienergiaa, 2016)	30
Kuva 17 Syöttöruuvi ja moottori (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	32
Kuva 18 Syöttöruuvin moottori (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	32
Kuva 19 Pelletin imusiirto (Pellettienergiaa, 2016).....	33
Kuva 20 Pellettilämmitysjärjestelmä (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	40
Kuva 21 Pellettipoltin ylä- ja alarajat (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	41
Kuva 22 Kattilan (Jäspi) kiinteät mittalaitteet (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	42
Kuva 23 Savukaasuanalysaattori (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	42
Kuva 24 TA-CMI (Iiska Kaukola-Risku, 2016)	43
Kuva 25 Pellettipoltin (Viking) ohjauyksikkö (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	43
Kuva 26 Nokikuvapumppu (Iiska Kaukola-Risku, 2016).....	44
Kuva 27 Infrapunalämpömittari (Iiska Kaukola-Risku, 2016)	44

TAULUKKO 1 Pellettikattila kahdella turbulenssielimellä (tehdasasetus).....	45
TAULUKKO 2 Pellettikattila ilman turbulenssielimiä	46
TAULUKKO 3 Pellettikattila yhdellä turbulenssielimellä	47
TAULUKKO 4 Pellettikattilan hyötysuhteen määrittämisen lähtötiedot	53
TAULUKKO 5 Öljylämmityksen energiankulutus	56
TAULUKKO 6 Pellettilämmityksen energiankulutus	56
TAULUKKO 7 Pellettilämmityksen kustannus	57
TAULUKKO 8 Öljylämmityksen kustannus.....	58

1 OPINNÄYTETYÖN KOHDE

1.1 Kohteen alkuselvytys

Opinnäytetyön aiheena oli optimoida Jäspin pellettikattila sekä Vikingin pellettipoltin kaksikerroksiseen hirsirunkoiseen omakotitaloon, missä oli siirrytty pellettilämmitykseen. Aikaisemmin rakennuksessa oli ollut käytössä öljylämmitys. Rakennus oli peruskorjattu vuonna 1996, minkä yhteydessä rakennukseen oli rakennettu uudet sosiaalitalitilat. Talossa on asuinpinta-alaa 167 m². Uuteen lämmitysjärjestelmään siirtyminen oli välttämätöntä, sillä öljylämmityskattila ja öljypoltin olivat tulleet elinkaarensa päähän, mikä ilmeni iän tuomina teknisinä ongelmina. Vanha öljykattila ja öljypoltin oli sijoitettu tekniseen tilaan, joka sijaitti autotallin yhteydessä ja oli pinta-alaltaan noin 6 m². Vanha öljykattila toimi noin 80 % hyötysuhteella. Öljysäiliö oli sijoitettu teknisen tilan vieressä olevaan eteistilaan. Uusi pellettikattila sekä pellettipoltin sijoitettiin vanhan lämmitysjärjestelmän tavoin myös tekniseen tilaan. Autotalliin oli rakennettu säiliö, jonne pelletit pystyttiin varastoimaan.

Talossa oli vesikiertoinen radiaattorilämmitys, joka oli alkuperäinen. Mitoituslämpötiloina lämmityksessä oli käytetty 70/40 °C. Verkoston jakojohdot ja radiaattoreiden kytkentäjohdot oli asennettu pinta-asennuksena ja ne olivat materiaaliltaan Cu-putkea. Radiaattorit ja putkistot olivat kunnoltaan kohtalaiset, joten niitä ei uusittu lämmitysjärjestelmän uusimisen yhteydessä.

1.2 Pellettilämmityksen soveltuvuus kohteeseen

Pellettilämmitysjärjestelmä soveltuu tähän kohteeseen, koska järjestelmä kykenee tuottamaan korkean patteriverkostoveden rakennuksen radiaattoreille, jotka oli päätetty jättää paikoilleen. Uusien radiaattoreiden vaihtaminen päätettiin jättää tekemättä investointikustannusten minimoimiseksi ja ne oli vaihdettu vuonna 1996 peruskorjauksen yhteydessä.

Uusi pellettikattila ja pellettipoltin olivat helppo sijoittaa tekniseen tilaan, jossa vanha öljylämmitysjärjestelmä sijaitsi, sillä uusi lämmitysjärjestelmä ei tarvinnut isompaa tilavaarausta kuin vanha lämmitysjärjestelmä. Pellettikattila oli tarkoituksella ylimitoitettu, sillä näin pystyttiin välttämään lämminvesivaraajan käyttö kohteessa, koska kattilan oma vesitilavuus riittää kattamaan käyttöveden tuottamisen suurellakin käyttötarpeella. Pelletin varastoimisen kannalta rakennettiin viereiseen autotalliin itse tehty säiliö, josta pellettejä liikutettiin ruuvikierukan avulla pellettipolttimelle. Autotalli valikoitui varastoinnin kannalta sopivaksi paikaksi, koska sinne oli helppo sijoittaa pellettisäkit sekä täyttää pellettisäiliötä sen tyhjentyessä.

1.3 Opinnäytetyön tavoite ja päämäärät

Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään parhaat mahdolliset asetusarvot palamisen suhteen pellettipolttimelle sekä oikea lukumäärä turbulenssielimiä pellettikattilalle, jotta palamisen hyötysuhde saataisiin mahdollisimman suureksi. Tavoitteena oli tutustua pellettilämmitysjärjestelmään ja saada kokonaisvaltainen kuva lämmitysjärjestelmästä. Opinnäytetyössä keskitytään selvittämään tarkemmin projektikohteessa olevan yläsyöttöisen pellettipolttimen toimintaa.

Hankkeen päämäärä on optimoida kohteen pellettikattila ja pellettipoltin, jotta lämmitysjärjestelmä tulisi toimimaan mahdollisemman hyvällä hyötysuhteella sekä taloudellisesti. Optimoinnin yhtenä tarkoituksena on, että uusi lämmitysjärjestelmä olisi käytövarma ja erittäin helppo käyttää rakennuksen asukkaille. Opinnäytetyön päämääränä on toimia myös kokonaisvaltaisena oppimateriaalina pellettilämmityksestä koulutuskeskus Sedun LVI-puolen opiskelijoille.

2 MITÄ PELLETTI ON?

1.4 Mitä pelletti on?

Pelletti (Kuva 1) on biopolttoaine, joka on tiiviiksi puristettua sahanpurua, kutterinlastua tai saha- ja puuteollisuuden sivutuotetta. Pelletti on kotimainen ja uusiutuva luonnonvara, jota voidaan käyttää alue- ja kaukolämpölaitoksissa, suuremmissa kiinteistöissä sekä pien ja vapaa-ajan talojen lämmityksessä. Pellettilämmityksellä voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttö, kuten öljyn tai kivihiihen. Puupellettien energiansisältö on 4,7 kWh/kg ja 1 m³ pellettiä painaa n.650 kg. (HT Enerco www-sivut, 2016.)



Kuva 1 Mitä pelletti on? (Imexwood, 2016).

2 PELLETTIN VALMISTUS

2.1 Käsittelyvaihe

Valmistuksessa käytettävä raaka-aine kuljetetaan tehtaille useimmiten rekoilla. On myös mahdollista, että pellettien valmistuksessa käytettävä tehdas on rakennettu puuteollisuuden yhteyteen, jolloin siirto voidaan toteuttaa kuljettimilla tehtaille. Ennen pellettien tuotantoa on raaka-aineista poistettava mahdolliset epäpuhtaudet, etteivät ne päädy lopputuotteeseen.

Valmistusprosessia varten raaka-aineen kosteuden täytyy olla sopiva, jotta pelletöinti on mahdollista. Raaka-aineen kosteus täytyy olla noin 10–15 %. Kuivaus suoritetaan kokonaan tai osittain esikuihurissa. Kuivaus on mahdollista suorittaa myös jauhamisen yhteydessä, silloin raaka-aineen läpi syötetään kuumakaasua, mikä kuivattaa raakamateriaalin sopivaksi. (Pellettienergiaa [www-sivut](#), 2016.)

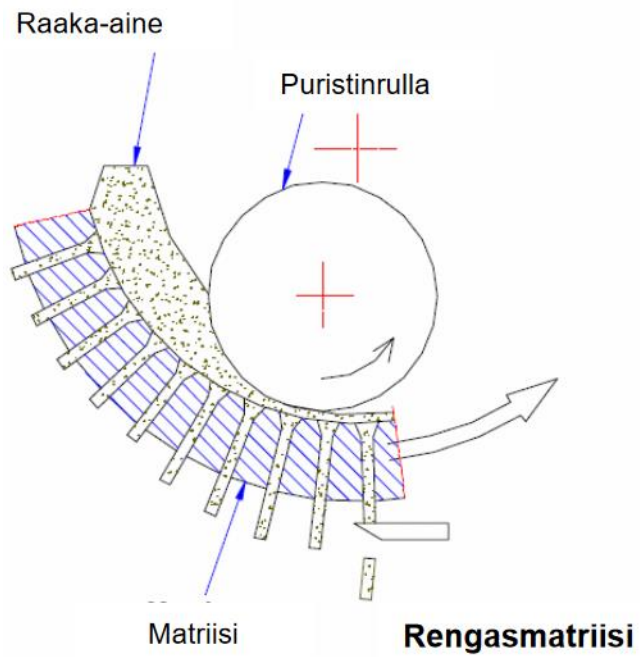
Raaka-aineen ollessa jo valmiiksi kuivaa se voidaan siirtää suoraan jauhattavaksi vasaramyllyyn. Vasaramyllyn tarkoitus on jauhaa raaka-aine tasalaatuisiksi ja sopivaksi puristusta varten. Jauhettu raaka-aine voidaan siirtää puristukseen esimerkiksi ruuvikuljettimella. Kuljetin mahdollistaa, että puristukseen tulee tasaisesti ja sopivan ajan sisällä raaka-ainetta. (Pellettienergiaa [www-sivut](#), 2016.)

2.2 Puristusvaihe

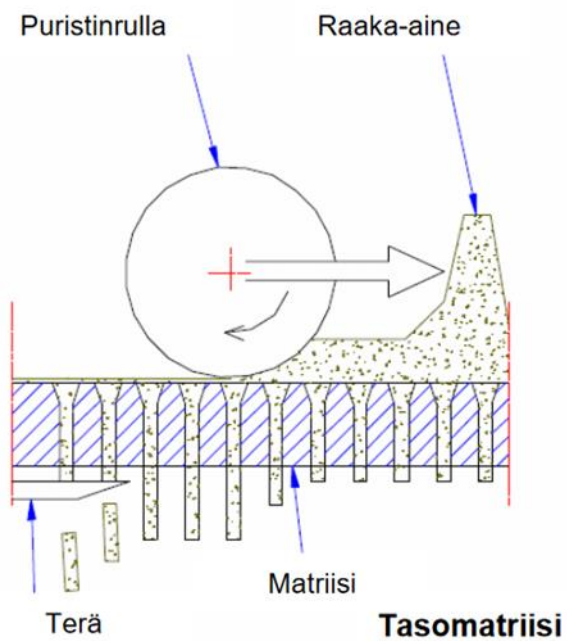
Käsitelty raaka-aine voidaan siirtää pelletöintikoneeseen, jossa raaka-aineen puristaminen tapahtuu. Raaka-aine syötetään ensiksi koneessa olevaan mahdolliseen sekoituskammioon, mikäli pelletöintikone on varustettu sellaisella. Sekoituskammiossa on mahdollista lisätä pelletöitävään materiaalin myös sideaineita, jotka tehostavat puristusvaihetta. (Pellettienergiaa [www-sivut](#), 2016.)

Tämän jälkeen raaka-aine pakotetaan puristumaan matriisin läpi. Matriisin tehtävä on puristaa pelletit tasalaatuisiksi ja antaa pelleteille kuuluvan ominaisen muodon. Puristinrullat puristavat raaka-aineen matriisissa olevien reikien läpi, jonka jälkeen leikkuuterät leikkaavat pelletöitävän materiaalin oikean mittaiseksi noin 10-30 mm. On myös mahdollista, että pelletit katkeavat omia aikojaan tullessaan ulos puristuskanavasta. Suomessa käytettävät puupelletit ovat halkaisijaltaan yleisesti 6-8 mm. Pelletöintikoneet eroavat toisistaan eri matriisityyppien ja puristuksien suhteen. Matriisityypit ovat tavallisesti rengasmatriiseja (Kuva 2) tai tasomatriiseja (Kuva 3). (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)

Puristusvaiheessa puumateriaalille ominainen sideaine ligniini sulaa pelletteihin ja antaa jäähtyttyään kiiltävän ja koossa pitävän kerroksen. Puristumisen onnistumisen kannalta on erittäin suuri vaikutus, sillä kuinka suuri raaka-ainematto muodostuu matriisin pinnalle ja kuinka suuri on uuden raaka-aine kerroksen paksuus. Pelletöinnin suurimpia haasteita ovat eri puulajien ominaisuudet, minkä vuoksi oikea matriisityyppi täytyy valita tapauskohtaisesti. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)



Kuva 2 Rengasmatriisi (Ulf-Peter Granö, 2016)



Kuva 3 Tasomatriisi (Ulf-Peter Granö, 2016)

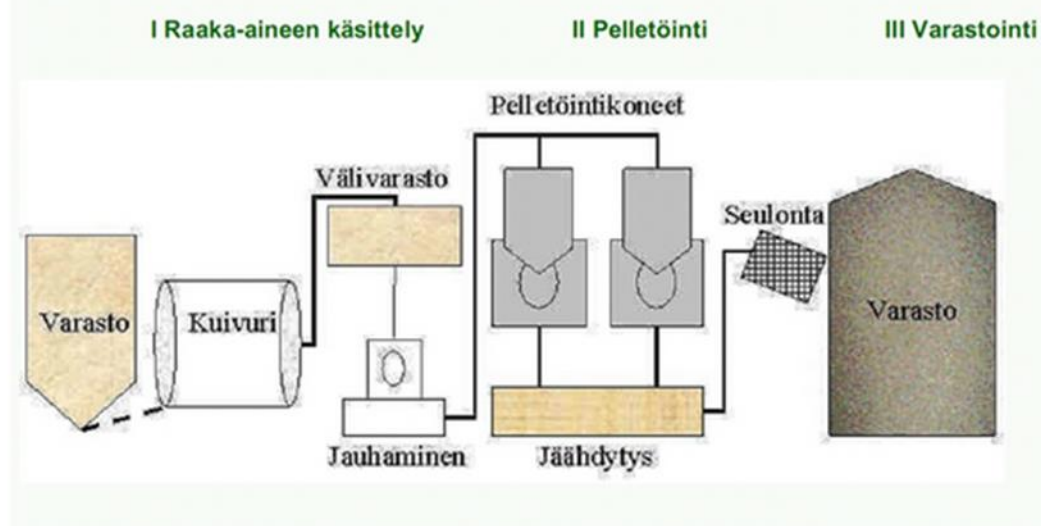
2.3 Jäähdytys

Puristuksen jälkeen kuumat pelletit ovat jäähdytettävä. Lopullisen lujutensa pelletit kuitenkin saavat muutaman päivän päästä jäähdytyksestä. Jäähdytyksen jälkeen pelletit siirretään seulaan, jossa niistä erotellaan sahanpuru ja hienoaines. Seulan avulla pelletit saadaan tasa-laatuiseksi ja sitä kautta syntyy vähemmän ongelmia sekä jakeluihin että loppukäyttäjille. Sahanpurua runsaasti sisältävät pelletit voivat mahdollisesti aiheuttaa myös ongelmia sekä siirtimiin että polttimiin. Seulottu sahanpuru palautetaan tavallisesti takaisin tuotantoprosessiin. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)

2.4 Varastointi

Kun pelletit on seulottu, ne voidaan varastoida. Tavallisesti pelletit varastoidaan tehtailla suuriin silloihin tai välivarastoihin, mistä niitä voidaan siirtää säiliöautoilla asiakkaiden käyttöön. Pelletit voidaan myös säkittää tehtailla sekä piensäkkeihin että suursäkkeihin. Pellettisäkit ovat kooltaan tavallisesti 25 kg tai 550 kg. Varastoinnin yhteydessä suoritetaan laadunvalvontaa, jotta tuotteet ovat loppukäyttäjille laadultaan hyvää. Eri tehtailla on omat erikoispiirteensä, johtuen erilaisista tuotantoprosessin menetelmistä, mutta pääpiiteisesti valmistusprosessi koostuu: raaka-aineen käsittelystä, pelletöinnistä ja varastoinnista (Kuva 4). Suomessa yleisimpiä pelletinvalmistajia ovat: Vapo, Imex wood ja Pro-pellet.

Pelletin valmistusprosessi



Kuva 4 Pelletin valmistusprosessi (Bioenergia, 2016)

3 LÄMMITYSKATTILA TYYPIT

3.1 Lämmityskattila

Lämmityskattilan toiminta perustuu siihen, että polttoaineen palaessa tulipesässä siirretään vapautunut lämpöenergia kattilan nestetilassa olevaan lämmönsiirron väliaineeseen. Väliaineena käytetään yleisesti: lämmintä vettä, kuumaa vettä, höyryä, orgaanista nestettä, ilmaa tai lämmönsiirtoöljyä. Kuitenkin yleisin näistä lämmönsiirtonesteistä on lämmin tai kuuma vesi. Lämpimän veden lämpötila on alle 120 °C ja kuumen veden lämpötila yli 120 °C.

3.2 Lämmityskattilan osat

3.2.1 Kattilan tulipesä

Kattilan tulipesän seinämät kuumenevat polttoaineen palaessa. Lämpenevät seinämät lämpenevät pääasiassa säteilemällä ja seinämien kautta lämpö etenee johtumalla kattilan vesitiilaan lämmittäen lämmönsiirtonesteen. Kattiloissa voi olla yksi tai kaksi tulipesää ja polttoaineena käytetään tavallisesti biopolttoaineita, öljyä tai maakaasua. (Harju 2010, 43.)

3.2.2 Kattilan konvektio-osa

Konvektio-osa muodostuu tulipesän jälkeisestä savukanavistosta. Kun tulipesässä lämmönsiirto perustui säteilyyn, konvektio-osassa se perustuu konvektioon. Konvektiossa lämpö siirtyy virtausten myötä. Konvektio-osassa oleva virtaus johtuu joko puhaltimen vaikutuksesta tai savupiipussa tapahtuvasta nosteesta. Kun savupiipussa muodostuu virtaus, se vetää savukaasun liikkeelle myös kattilasta. On myös mahdollista, että konvektio-osassa oleva virtaus johtuu molemmista vaihtoehdoista. (Harju 2010, 43.)

3.2.3 Turbulenssielin

Kattilan savukanavaan sijoitetaan turbulenssielimiä, joiden tarkoitus on saada savukaasuissa pyörteisiä virtauksia. Pyörteisesti virtaava savukaasu pyyhkii kattilan seinämiä ja näin lämmön siirtyminen seinämien läpi kattilaveteen tehostuu. Turbulenssielimiä ei saa olla liian paljon, koska kattilan savukanavan vetovastus lisääntyy ja savukaasut voivat jäähtyä liikaa. Savukaasut eivät saa jäähtyä liikaa, koska tällöin savupiipun veto voi häiriintyä. Jos savukaasut jäähtyvät liikaa, alkaa savukaasuista myös lauhtua vettä ja muitakin komponentteja lämminsiirtopinnoille, joka voi johtaa korroosio-ongelmiin. Turbulenssielimiä ei myöskään

saa olla liian vähän, koska silloin savukaasujen liikettä ei voida jarruttaa tarpeeksi ja lämpöä karkaa ulkoilmaan. (Harju 2010, 43.)

3.2.4 Kattilan vesitila

Kattilan tulipesä on vesitilan ympäröimänä ja vesitila on suuruudeltaan yleisesti n. 180-200 l. Suuri kuumen veden määrä varmistaa kuumen käyttöveden riittävyyden myös monen ihmisen suihkussa käymisen ajan. Kattilan veden lämpötila täytyisi olla myös sopiva ja hyvä kattilaveden lämpötila on noin. 80–90°C. Liian alhainen veden lämpötila voi aiheuttaa tulla ja konvektiopintojen syöpymistä ajan saatossa. Liian korkea lämpötila saa aikaan polttimien pysähtymisen ja käynnistymisen, mikä voi lyhentää polttimen elinkaarta. Kattilan vesitilasta karkaa tällöin myös enemmän lämpöä ympäristöön. (Harju 2010, 43.)

3.3 Lämmityskattiloiden jako

Lämmityskattilat voidaan jakaa usealla eri tavalla. Ne voidaan jakaa tehon, rakenteen, palamistavan tai tulipesässä vallitsevan paineen mukaan.

3.3.1 Lämmityskattiloiden jako niiden tehon mukaan

Pientalokattilat: Pientalokattilat ovat teholtaan pienimpiä lämmityskattiloita, sillä niiden teho on alle 25 kW. Pientalon lämmityskattilat ovat kuluttajakäytössä tyypillisimpiä kattilaratkaisuja.

Kiinteistökattilat: Kiinteistökattilat ovat huomattavasti pientalokattiloita isompia ja ne ovat teholtaan 40-1000 kW.

Alue- ja kaukolämpökattilat: Alue- ja kaukolämpökattilat ovat kooltaan suurimpia lämmityskattiloita, sillä ne ovat teholtaan 1 MW-50 MW. Tehon myötä myös kattiloiden fyysinen koko kasvaa paljon suuremmaksi verrattuna pientalo tai alue- ja kaukolämpökattiloihin.

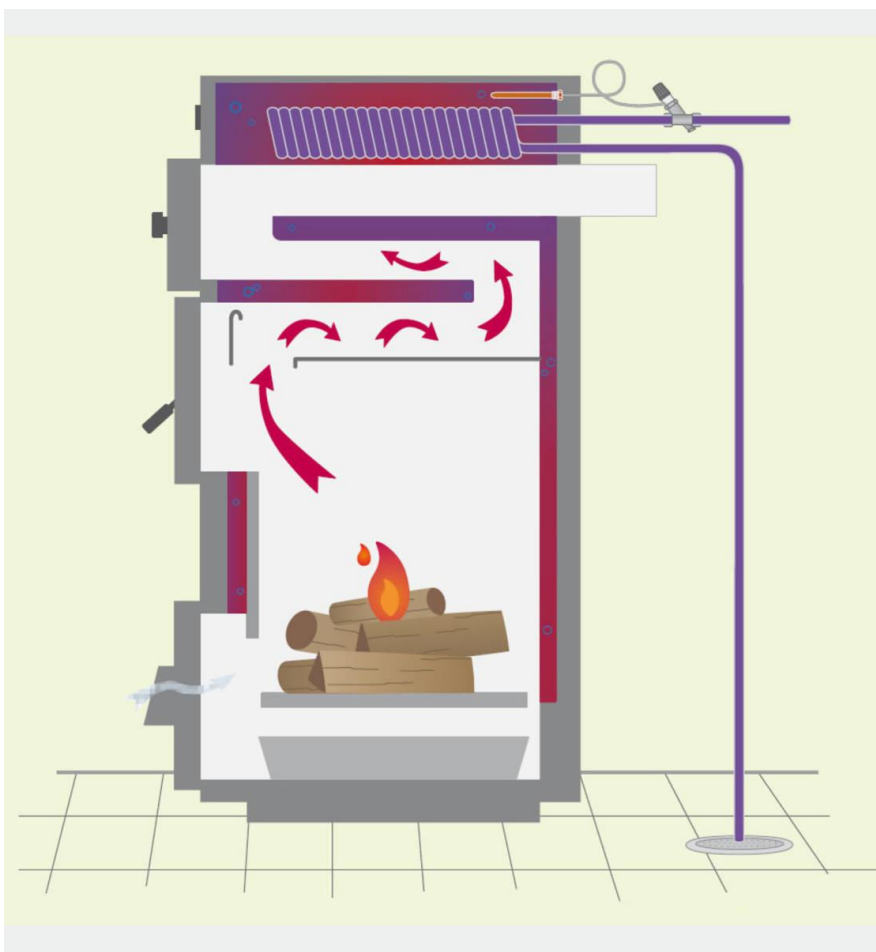
3.3.2 Lämmityskattiloiden jako niiden rakenteen mukaan

Teräslevykattilat: Teräslevykattilat valmistetaan teräslevyistä ja kattilan kokoaminen tapahtuu hitsaamalla. Hitsaus mahdollistaa, että kattilan rakenteeseen voidaan vaikuttaa ja saadaan kattila palamisen kannalta parhaimpaan muotoon. Mahdolliset korroosioauriot voidaan korjata hitsaamalla. Teräslevykattila voi hyvissä oloissa kestää 15–25 vuotta. (Harju 2010, 46.)

Valurautakattilat: Valurautakattilat kootaan valurautaisista osista, jotka liitetään toisiinsa tulenkestävillä tiivisteaineilla ja kiristys tapahtuu kierretankoja avulla tai pulttaamalla. Valurautakattilat ovat todella pitkäikäisiä ja ne kestävät todella hyvin syöpymistä. Mahdolliset kattilavauriot voidaan korjata vaihtamalla vaurioitunut osa. Valurautakattila voi hyvissä olosuhteissa kestää 20–35 vuotta. (Harju 2010, 47.)

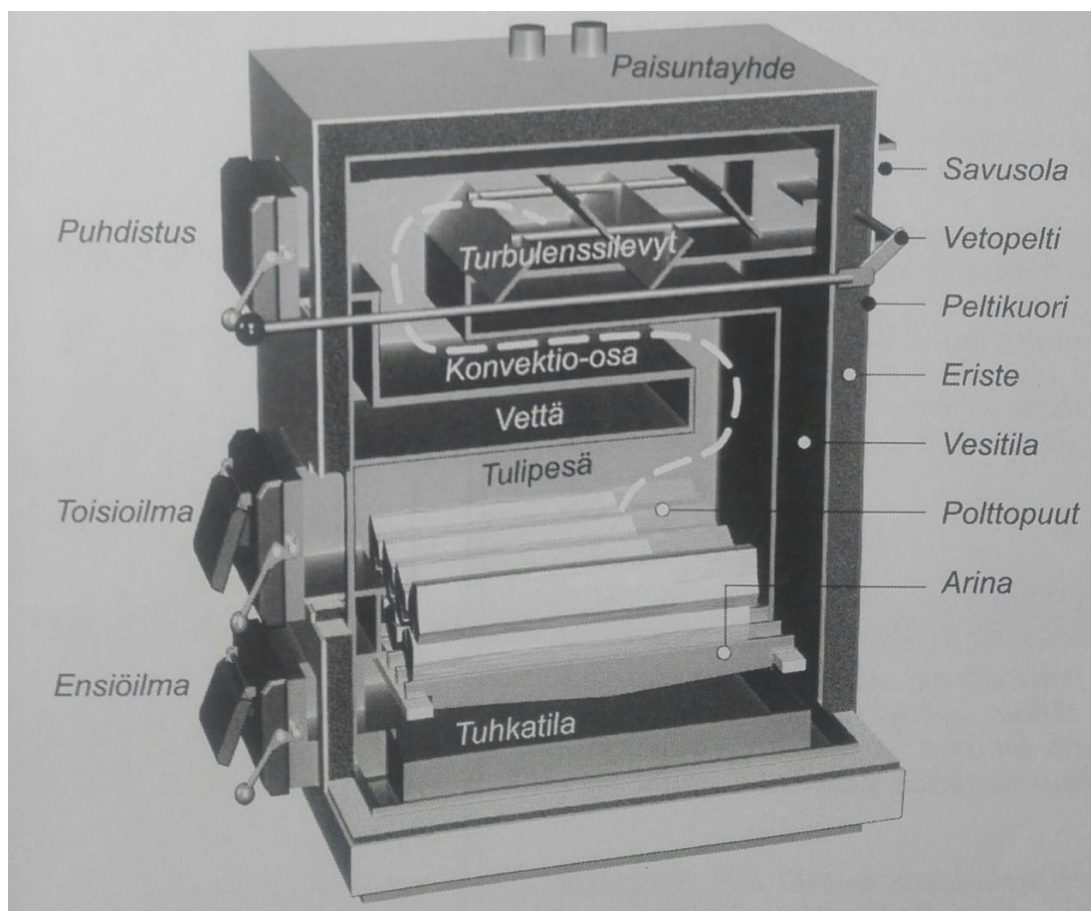
3.3.3 Lämmityskattiloiden jako niiden palamistavan mukaan

Yläpalokattilassa (Kuva 5) palaminen tapahtuu polttoainekerroksen yläosassa. Palaminen tapahtuu pääasiassa polttoainekerroksen päällä ja vähitellen koko polttoainekerros osallistuu palamisprosessiin. Kun kattilaan lisätään polttoainetta, häiriintyy palaminen hetkeksi, ennen kuin uusi polttoainekerros syttyy uudelleen palamaan. Yläpalokattila toimii hyötysuhteeltaan parhaiten silloin, kun polttoainetta lisätään tiheästi ja polttoaineannokset ovat mahdollisimman pieniä. (Motiva [www-sivut](#), 2016.)



Kuva 5 Yläpalokattila (Kaukora, 2016)

Alapalokattilan toiminta perustuu siihen, että palaminen tapahtuu kattilan alaosassa. Polttoaine syötetään kattilan edestä olevasta luukusta tilavaan varastopesään. Alapalokattila mahdollistaa todella puhtaan palamisen ja on tämän vuoksi hyvä kiinteän polttoaineen kattilatyyppejä. Ongelmia alapalokattilaan voi syntyä laadultaan huonosta polttoaineesta tai palamisprosessin epäonnistumisesta. (Motiva www-sivut, 2016.)



Kuva 6 Alapalokattila (Harju, 43)

3.3.4 Lämmityskattiloiden jako tulipesässä olevan paineen mukaan

Ylipainekattilassa savukaasujen paineet ovat suurempia kuin ympärillä kattilahuoneessa vaikuttava ilma. Tämä johtuu siitä, että ylipainekattilaan on rakennettu ahtaammat savusolat ja niihin mahdollisesti laitetut turbulenssielimet. Ylipainekattilasta saadaankin todella hyvä hyötysuhde sen rakenteellisen kokoon nähden. Savukaasujen ylipaineen johdosta luonnollinen vetovastus ei riitä, vaan ylipainekattilassa käytetään polttimia, jotka on varustettu puhaltimella, jonka avulla kattilaan saadaan muodostettua ylipaine. (Harju 2010, 43.)

Alipainekattilassa savukaasut poistuvat kattilasta savupiipun aiheuttaman luonnollisen vedon tai savukaasupuhaltimen avulla. Savukaasut ovat lämpimämpiä ja kevyempiä kuin kattilahuoneessa oleva vaikuttava ilma ja siksi nousevat luonnollisesti ylöspäin. Pelletin poltossa käytetään pääasiassa ylipainekattiloita alipainekattiloiden sijaan, koska palamisprosessissa käytetään pellettipolttimia, mitkä ovat varustettu puhaltimilla. Nykyaikaisesta alipainekattilasta saadaan kuitenkin ylipainekattila lisäämällä kattilaan liekkipelti ja turbulenssielimiä. (Harju 2010, 43.)

4 PELLETTIPOLTINTYYYPIT

4.1 Pellettipoltin

Lämmityskattilaan kytketään poltin, minkä avulla polttoaine saadaan syttymään ja palamaan. Polttimen toimintaa ohjaa termostaatti, joka käynnistää polttimen, kun kattilaveden lämpötila laskee alle asetettujen arvojen. Poltin myös sammuu automaattisesti, kun asetettu lämpötila on saavutettu. Pellettipoltin on yleensä varustettu ohjausyksiköllä, jonka avulla pystytään säätämään mm. puhaltimen nopeutta, pelletinsiirron tuontiaikoja, sytytysannoksen suuruutta, sytytysvaihtoehtoja sekä pellettipolttimen ylä- ja alarajoja. Pellettipolttimen ylä- ja alarajat ovat termostaattisia raja-arvoja. Kun kattilan vesitilan lämpötila laskee ennalta asetettuun alarajaan, käynnistyy pellettipoltin automaattisesti. Kun kattilan vesitilan lämpötila kohoaa palamisjakson aikana ennalta asetettuun ylärajaan, sammuu pellettipoltin puolestaan automaattisesti.

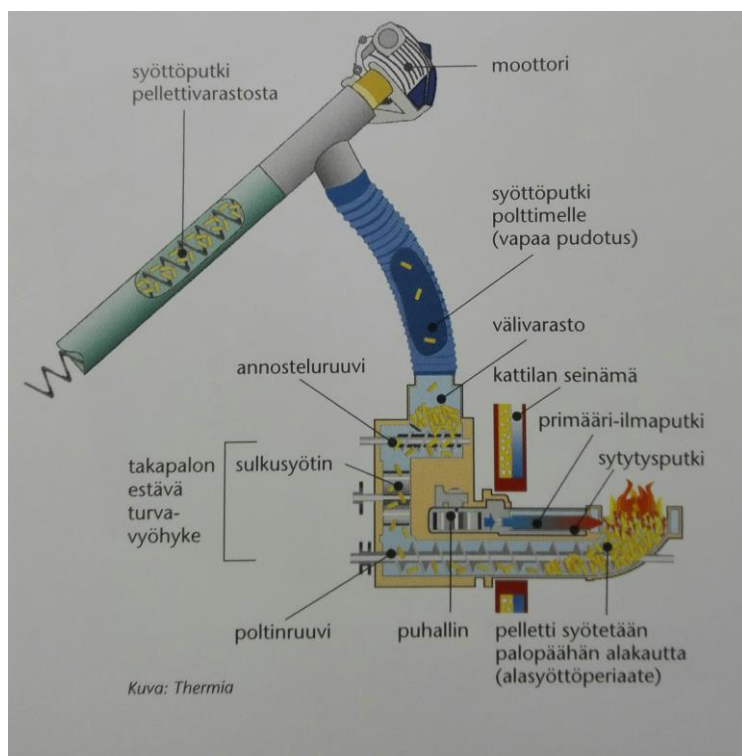
4.2 Pellettipolttimien jako

Pelletin polttoon perustuvia pellettipolttimia on alasyöttöisiä, vaakasyöttöisiä sekä yläsyöttöisiä polttimia. Pellettipolttimien jako perustuu siihen, kuinka pellettejä tuodaan polttimelle.

Alasyöttöisessä polttimessa liekki kohdistuu ylöspäin, kun vaaka ja yläsyöttöisessä liekki palaa vaakasuunnassa.

4.2.1 Alasyöttöinen pellettipoltin

Alasyöttöisessä pellettipolttimessa (Kuva 7) järjestelmä annostelee pellettejä alakautta polttimen palopäähän. Tämän tyyppin polttimessa pelletit kulkevat hitaasti palopäähän ja palavat täydellisesti. Alasyöttöisessä pellettipolttimessa on sisällä annosteluruuvi, mikä annostelee pellettejä poltinruuville, joka puolestaan kuljettaa pellettejä polttimen palopäähän. Alasyöttöisen etuina voidaan pitää tasaista palamista ja vähäistä puhdistuksen tarvetta. Heikkoutena voidaan pitää liikkuvien osien määrää, sillä heikkolaatuinen polttoaine ja sahanpuru voivat tukkia annosteluruuvin sekä poltinruuvin. Alasyöttöisessä pellettipolttimessa sytytys tapahtuu kuumailmapuhalluksella, minkä lämpötila on noin. +800 °C. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)



Kuva: Thermia

Kuva 7 Alasyöttöinen pellettipoltin (Vapo, 54)

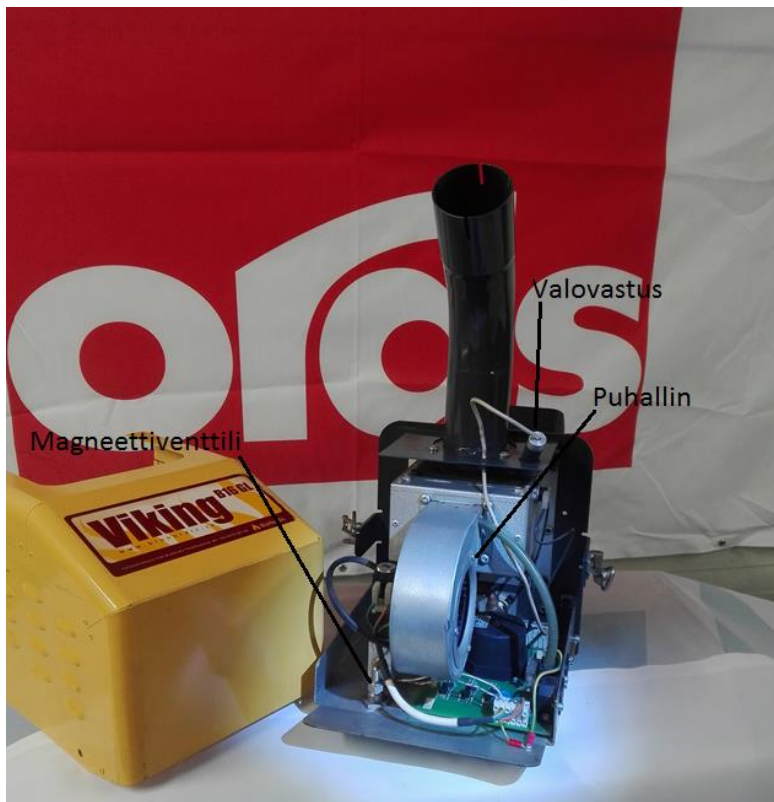
4.2.2 Yläsyöttöinen pellettipoltin

Yläsyöttöisessä pellettipolttimessa järjestelmä annostelee pellettejä yläkautta polttimen palopäähän. Polttimen toimintaperiaate on yksinkertainen, sillä pellettejä annostellaan polttimelle syöttöruuvilla pudotusputken kautta pellettipolttimen paloarinalle. Tulipesästä lämpö siirtyy savukaasujen mukana kattilan konvektio-osaan, jossa tapahtuu lämmön siirtyminen. Yläsyöttöiset pellettipolttimet avasivat pellettipoltinmarkkinat aikoinaan Suomessa ja ne ovat edelleen toimivia järjestelmiä, joilla saadaan hyvä lämmitystulos. Yläsyöttöinen pellettipoltin on kuitenkin erittäin tarkka siitä, että säädöt ovat kohdallaan ja pelletit ovat hyvänlaatuisia. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)

Yläsyöttöinen pellettipoltin toimii samalla periaatteella kuin öljypoltin, sillä se käynnistyy ja sammuu automaattisesti. Kun kattilan vesitilan veden lämpötila laskee alle asetetun raja-arvon, antaa termostaatti pyynnön ohjausyksikölle. Tämän jälkeen ohjausyksikkö avaa paineilmamagneettiventtiilin, minkä tarkoitus on puhdistaa pellettipolttimen paloarina sekä poistaa pellettikattilan jäännöskaasut. Samanaikaisesti ohjausyksikkö kytkee virran pellettipolttimen sähkövastukselle. Yläsyöttöisessä pellettipolttimissa käytetään pääasiassa sähköisiä sauvatai spiraalivastuksia. Tästä seuraa odotusaika, jonka jälkeen kierukka pyöriä ja tuo ohjausyksikössä ennalta määritetyn sytytysannoksen pellettipoltimen paloarinassa sijaitsevan sytytysvastuksen päälle, minkä tarkoituksena on sytyttää pelletit. Kun valovastus näkee 20 sekunnin ajan liekin valon, käynnistyy pellettipolttimen puhallinmoottori, joka saa aikaan pellettien palamisen.



Kuva 8 Yläsyöttöinen pellettipoltin (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



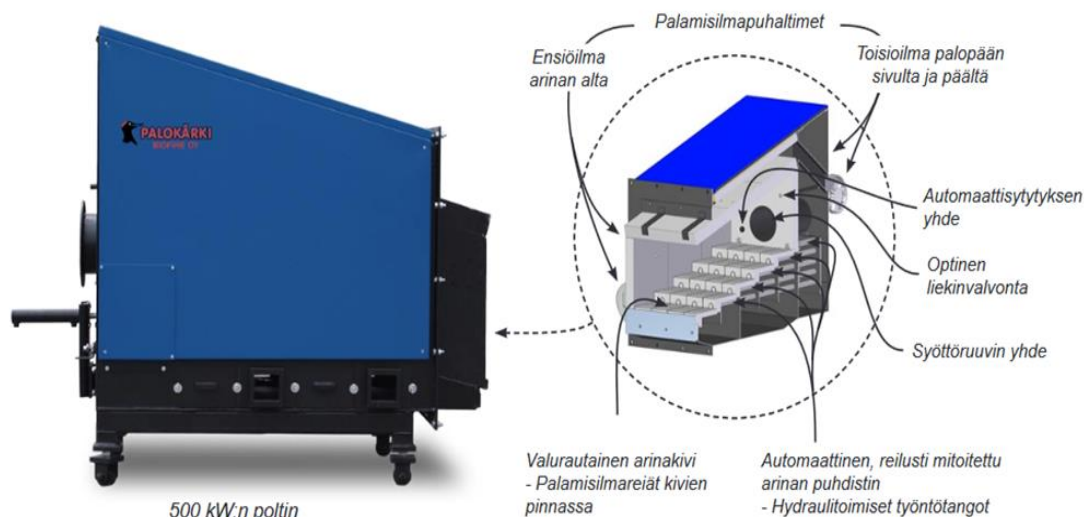
Kuva 9 Yläsyöttöinen pellettipoltin ilman ulkokuoria (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 10 Yläsyöttöisen pellettipolttimen palopää (Iiska Kaukola-Risku, 2016)

4.2.3 Vaakasyöttöinen pellettipoltin

Vaakasyöttöisiä pellettipolttimia käytetään useimmiten suurten kiinteistöjen lämmittämisessä kuten yli 200 kW kohteissa. Vaakasyöttöisessä pellettipolttimessa syöttöruuvi kuljettaa pelletin sulkusyöttimen läpi polttimen palopäähän. Palaminen tapahtuu polttimen palopäässä, ja liekki kohdistuu kattilan sisälle. Polttimen yhteydessä oleva ohjausyksikkö säätelee palamista. Tehontarpeen vaihteluihin reagoidaan nopeasti polttoaineen syötöllä ja palamispuhaltimilla, tarvittaessa lisäämällä tai vähentämällä tehoa. Vaakasyöttöisessä pellettipolttimessa palaneet pelletit työntyvät hydrauliiikan avulla toimivan arinakoneikon avulla tuhkatilaan, jossa syklonipuhdistin erottelee tuhkan tuhkanpoistoon. Tuhka kuljetetaan omalla ruuvikuljettimella tuhka-astiaan. (Biofire www-sivut, 2016.)



Kuva 11 Vaakasyöttöinen pellettipoltin (Biofire, 2016)

5 PELLETTIN VARASTOINTI- JA KULJETUSVAIHTOEHDOT

5.1 Pellettivarasto

Pellettilämmityksen toiminnan kannalta yhtenä edellytyksenä on kunnan varasto. Varastoja on olemassa useita malleja ja niiden sijoittamiseen on eri vaihtoehtoja. Varastoa pohdittaessa täytyy ottaa huomioon käyttäjien vuotuinen kulutus, pelletin toimitustapa, pelletin kuljetus polttimelle sekä varaston täyttöväli. Pelletit on mahdollista varastoida samaan kattilahuoneeseen. Rajoituksena on, että pellettejä voidaan varastoida maksimissaan vain 500 litraa, johon tuen paloteknisistä syistä. Varastoinnin voi hoitaa viereisestä tilasta, josta pelletit kuljetetaan polttimille esim. ruuvikuljettimen avulla. Pelletit on mahdollista varastoida myös toiselle puolelle rakennusta, kosteustiiviiseen varastoon pihalle tai maanalaiseen valmissiiloon, mutta näissä varastointivaihtoehdoista kuljetus polttimille tapahtuu useimmiten imusiirtokuljetuksena kuljetusmatkan vuoksi. Pelletit on mahdollista varastoida säkkisiiloon, metallilevysiiloon, rehusiiloon, viikkosiiloon, maasäiliöön tai itse rakennettuun pellettivarastoon.

5.1.1 Säkkisiilo

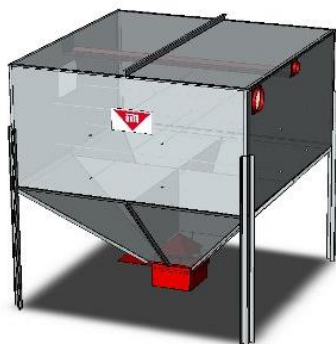
Säkkisiilot (Kuva 12) ovat metallirunkoisia ja niihin on laitettu erikoiskankaasta valmistettu säkki, jonne pelletit varastoidaan. Säkkisiilot ovat tiiviitä ja pitävät kosteuden loitolla päästään kuitenkin ilmaa läpi. Tämän tyyppinen siilo tyhjenee hyvin, ja pelletin loppuessa suu vaihtaa muotoaan. (Pellettienergiaa [www-sivut](http://www.sivut), 2016.)



Kuva 12 Säkkisiilo (Pellettienergiaa, 2016)

5.1.2 Metallilevysiilo

Metallilevysiilot (Kuva 13) ovat materiaaliltaan metallia ja ne kasataan usein paikan päällä metallilevyistä. Metallilevysiiloja on mahdollisuus saada erikokoisia. Valmiista metallilevysiiliöstä löytyvät valmiit yhteen säiliön täyttöön ja pellettien kuljettamiseen polttimille. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)



Kuva 13 Metallilevysiilo (Pellettienergiaa, 2016)

5.1.3 Maasäiliö

Maasäiliö (Kuva 14) sijoitetaan nimensä mukaisesti maan alle. Maasäiliöt ovat materiaaliltaan muovia ja metallia. Säiliöt tehdään kosteustiiviiksi, etteivät pelletit saa kosteutta varastoinnin yhteydessä. Maasäiliöt on myös ankkuroitava maahan, jotta maanpaine ja routa eivät saa nostettua säiliöitä ylös maasta. (Pellettienergiaa [www-sivut](#), 2016.)



Kuva 14 Maasäiliö (Pellettienergiaa, 2016)

5.1.4 Viikkosiilo

Viikkosiilot (Kuva 15) ovat välivarastoja, jotka riittävät viikon mittaiseen lämmitystarpeeseen. Viikkosiiloja täytetään päävarastosta niiden tyhjentyessä. Usein kuljetus päävarastosta viikkosiiloon tapahtuu pneumaattisesti. Viikkosiilo sijoitetaan useimmiten kattilahuoneeseen, sillä sen tilavuus ei ylitä 500 litraa. (Pellettienergiaa [www-sivut](#), 2016.)



Kuva 15 Viikkosiilo (Pellettienergiaa, 2016)

5.1.5 Rehusäiliö

Pelletit on mahdollista varastoida myös rehusäiliöihin (Kuva 16), kun pellettejä pitää varastoida suuri määrä. Maaseudulla tämän tyyppinen varastoratkaisu on hyvin yleinen. Pelletit kuljetetaan polttimelle ruuvikuljettimella tai pneumaattisesti siirtomatkaista riippuen. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)



Kuva 16 Rehusäiliö (Pellettienergiaa, 2016)

5.1.6 Itse rakennettu pellettisäiliö

Itse rakennettu pellettisäiliö on mahdollista rakentaa, ja siihen löytyy tarkat ohjeet Motivalta ja RT-kortista (52–10876 (2006).). Molempien ohjeiden päätarkoituksena on saada säiliöstä mahdollisimman paloturvallinen, pölytiivis sekä kosteustiivis. (Motiva www-sivut, 2016.)

5.2 Pelletin siirto varastosta polttimelle.

Pelletin siirron tehtävä on kuljettaa oikea määrä pellettejä varastosta pellettipolttimelle. Kuljettimena voi olla joko siirtoruuvi tai pneumaattinen siirto.

5.2.1 Siirtoruuvi

Siirtoruuvi (Kuva 17) kuljettimena voi olla joko spiraali- tai ruuvikuljetin. Kuljettimessa liikkeelle saavan voiman saa aikaan moottori (Kuva 18), joka sijaitsee kuljettimen yhteydessä. Moottorin toimintakäskyt, kuten kuljettimen tuontiajan sekä sytytysannoksen suuruudet, tulevat pellettipolttimen ohjausyksiköltä. Moottorin mitoitus perustuu kuljettimen pituuteen. Spiraali- tai ruuvikuljetinta käyttäessä täytyy siirtoetäisyyden varastosta polttimelle olla lyhyt, koska muuten kuljetin ei ole teknisesti toimiva. Yleensä tämän tyyppisiä kuljetinvaihtoehtoja käyttäessä siirtomatka kannattaa maksimissaan olla 3-4 metriä. Jos siirtomatka kasvaa liian pitkäksi, kannattaa rakentaa välivarasto ja toinen spiraali- tai ruuvikuljetin. Kun kuljettimen siirtomatka kasvaa liian pitkäksi, voi aiheutua epätasaisia pellettiannoksen määriä, jotka puolestaan voivat aiheuttaa käyttöhäiriöitä joissakin pellettipoltinmalleissa. Spiraali- tai ruuvikuljetinta asentaessa täytyy ottaa muutama asennustekninen asia huomioon: 1) kuljettimen kaltevuus saa olla enintään 45 astetta ja 2) laitteiden täytyy olla huollettavissa.



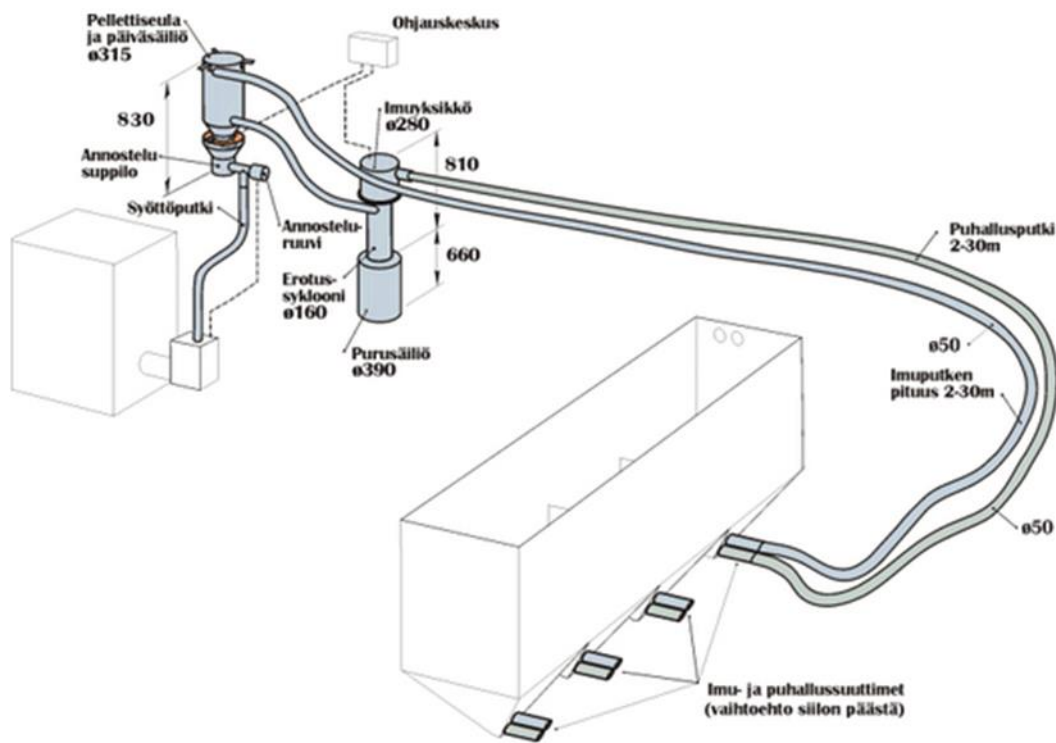
Kuva 17 Syöttöruuvi ja moottori (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 18 Syöttöruuvien moottori (Iiska Kaukola-Risku, 2016)

5.2.2 Pelletin imusiirto

Pelletin pneumaattinen siirto eli imusiirto (Kuva 19) on vaihtoehto, jos pelletin siirtomatka polttimelle kasvaa todella pitkäksi, koska pelletti-imurilla pystytään siirtämään pellettejä jopa 30 metrin matkalta. Pneumaattinen siirto voidaan toteuttaa joko ali- tai ylipaineella, eli puhallin tai imuritoimisesti. Toiminta perustuu imurissa olevaan imuyksikköön, mikä muodostaa suuren alipaineen ja imee pellettejä noin 50 mm halkaisijaltaan olevissa taipuisissa letkuissa kattilahuoneiden välivarastoihin esim. maasäiliöistä. Välivarastoihin on asennettu anturit tai kytkimet, jotka käynnistävät imurin automaattisesti, kun pelletin määrä vähenee välivarastoissa merkittävästi. (Pellettienergiaa www-sivut, 2016.)



Kuva 19 Pelletin imusiirto (Pellettienergiaa, 2016)

6 PELLETTILÄMMITYKSEN KUSTANNUS

6.1 Lämmitysjärjestelmän kustannuksien muodostuminen

Lämmitysjärjestelmää valittaessa täytyy muistaa, että kustannukset muodostuvat energian hinnoista, investointikustannuksista sekä laitteistojen huolto- ja ylläpitokustannuksista. Öljyn hinnankehitys on suomalaisista täysin riippumaton asia, ja tämän vuoksi öljyn hinta vaihtelee ajankohdasta riippuen. Puupellettien hinta on puolestaan pysynyt melko tasaisena ajankohdasta riippumatta. Energian hinnoiltaan öljy ja pelletit eroavat toisistaan, sillä öljyn hinta on 0,100 €/kWh ja puupellettien puolestaan 0,042 €/kWh. (HT Enerco www-sivut, 2016.)

Investointikustannuksiltaan öljylämmitys ja pellettilämmitys eivät eroa hirveästi toisistaan, mikäli molemmista lämmitysjärjestelmistä asennetaan perustasoinen lämmitysjärjestelmä. Tekniseen tilaan kohdistuu molemmissa lämmitysjärjestelmissä yhtä paljon töitä. Öljylämmityksen investointi koostuu öljysäiliöstä, öljypolttimesta, öljykattilasta ja mahdollisesta automaatiosta. Valitsin vertailuun öljylämmityksestä Oilonin JuniorPro 15-30 kW öljypolttimen, Jäspin Eco-17 Lux öljykattilan, Li-Plastin 1500 l öljysäiliön valuma-altaalla sekä Oumanin lämmönsäätimen. Öljylämmityspaketin kokonaishinnaksi muodostui 5500 €. Pellettilämmitys puolestaan koostuu pellettisiilosta, syöttöruuvista, pellettipolttimesta, pellettikattilasta ja mahdollisesta automaatiosta. Valitsin vertailuun Megathermin pellettipoltimen 15-30kW sisältäen: (1,5m syöttöruuvin, ohjausyksikön ja termostaattianturit), Jäspin pellettikattilan, 7M3 metallilevypellettisiilon sekä Oumanin lämmönsäätimen. Pellettijärjestelmän hinnaksi muodostui 6500 €, joten pellettilämmitysjärjestelmä oli investointikustannuksiltaan noin 1000 € kalliimpi kuin öljylämmitys. (Taloon.com www-sivut, 2016.)

Laskelmissa on käytetty annuiteetilaskentamenetelmää lämmitysjärjestelmän lainan takaisinmaksun määrittämiseksi. Annuiteetti sisältää korkokannan mukaisen koron sekä lainaajan, minkä avulla pystytään laskemaan vuotuinen lämmitysjärjestelmän lainan lyhennys.

Lämmitysjärjestelmä takaisinmaksuun vaikuttaa oleellisesti korkokanta, mutta sen määrittäminen 15 vuodeksi on todella haasteellista. Yleinen korkokanta on kuitenkin tällä hetkellä todella matala, joten lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuajan laskennassa on korkona käytetty 2 %.

$$c_{n/i} = \frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$c_{n/i}$ = annuiteetti

i = korko

n = laskenta-aika

Kunnossapitokustannukset ovat sekä öljylämmityksessä että pellettilämmityksessä lämmityskautta kohden melko edulliset. Pellettilämmityksessä uusittavia komponentteja ovat pellettipolttimen sytytysvastus, puhallin sekä kuljettimen kulutusosat. Öljylämmityksen uusittavia komponentteja ovat mm. öljypolttimen suuttimet, puhallin ja öljypumppu. Kun lämmitysjärjestelmät huolletaan ja puhdistetaan säännöllisesti toimivat ne luotettavasti ja taloudellisesti. Öljylämmityksen vuotuisena kunnossapitokustannuksena on laskelmissa käytetty 50 € ja pellettilämmityksen kunnossapitokustannuksena on puolestaan laskelmissa käytetty 150 €.

6.2 Lämmitysenergian kulutus kohteessa

Määrittäessäni rakennuksen vanhan lämmitysjärjestelmän lämmitysenergian kulutusta sain tietoon, että viimeisien vuosien aikana öljyä oli kulunut vuodessa noin 3500 l. Tässä menetelmässä kuitenkin tulee virheitä, koska todellisuudessa öljyä kuluu lämmityksessä enemmän talvella kuin kesällä, sillä kesäkuukausina öljyä kuluu käytännössä vain käyttöveden tuottamiseen. Käyttämällä laskelmissa lämmityskautena koko kalenterivuotta, lämmitysenergian kulutuksen laskeminen kuitenkin helpottui.

Lämmitysenergian kulutuksen laskelmien johdosta päästään laskemaan, kuinka paljon pellettejä tarvittaisiin lämmityskautena. Laskelmien kautta saadaan tietoon, että pellettejä tulisi kulumaan uudessa pellettilämmitysjärjestelmässä noin 8080 kg vuodessa. Uudessa lämmitysjärjestelmässä pellettikattila oli hieman ylimitoitettu pellettipolttimeen nähden, minkä avulla pystyttiin välttämään lämminvesivaraajan käyttö, koska lämmityskattilan oma vesitila riittää päivittäisen käyttöveden kattamiseen. Varastoinnin kannalta koko vuoden pelletit tulisivat tarvitsemaan noin 12 m³ varastotilan, mikäli haluttaisiin varastoida koko vuoden pelletit samaan tilaan kerrallaan.

Lämmitysenergiankulutus öljylämmityksellä ja pellettilämmityksellä:

Lähtötiedot:

Polttoöljyn lämpöarvo: 10 kWh/l

Vuosittainen öljymäärä: 3500 l

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde öljykattilalle: 90 %

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde pellettikattilalle: 87 %

Pelletin lämpöarvo: 4,7 kWh/kg

Pelletin irtotiheys: 650 kg/m³

Öljykattilan kuluttama energian määrä vuodessa:

Vuosittainen öljymäärä x Polttoöljyn lämpöarvo

$$= 3500 \text{ l} \times 10 \text{ kWh/l} = 35\,000 \text{ kWh} = 35 \text{ MWh}$$

Rakennuksen lämmitykseen kulunut todellinen energiamäärä:

Öljykattilan kuluttama energiamäärä x Öljykattilan hyötysuhde

$$= 35 \text{ MWh} \times 0,9 = 31,5 \text{ MWh}$$

Energiankulutus uudella pellettikattilalla:

Rakennuksen lämmitykseen kulunut todellinen energiamäärä

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde pellettikattilalle

$$= \frac{31,5 \text{ MWh}}{0,87} = 36,207 \text{ MWh} = 36\,207 \text{ kWh}$$

Vuosittainen pellettien määrä:

Energiankulutus uudella pellettikattilalla

Pelletin lämpöarvo

$$= \frac{36\,207 \text{ kWh}}{4,7 \text{ kWh/kg}} = 7703,6 \text{ kg}$$

Vuosittainen tilantarve m³:Vuosittainen pellettien määrä

Pelletin irtotiheys

$$= \frac{7703,6 \text{ kg}}{650 \text{ kg/m}^3} = 11,9 \text{ m}^3$$

Liitteessä 1 on laskettu, kuinka paljon lämmitysenergiaa kuluu uudessa pellettilämmitysjärjestelmässä, kun vanhassa öljylämmityksessä öljyä kului noin 3500l lämmityskautta kohden. Rakennuksen lämmitykseen kulunut todellinen energiamäärä öljylämmityksessä oli 31,5 MWh vuodessa. Öljylämmityksen energiamäärän pohjalta laskettiin pellettilämmityksen energiankulutus, joka oli 36,2 MWh vuodessa. Öljykattilan hyötysuhteena on laskelmissa käytetty 90 % ja pellettikattilan puolestaan 87 %.

Liitteessä 2 on laskettu pellettilämmityksen kokonaiskustannus sisältäen investointikustannukset, lämmitysenergian kustannukset ja kunnossapitokustannukset 15 vuoden ajalle. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksun korkona on käytetty 2 % korkoa. Pellettilämmityksen kokonaiskustannukseksi kertyi 2277,9 € vuodessa.

Liitteessä 3 on laskettu öljylämmityksen kokonaiskustannus sisältäen investointikustannukset, lämmitysenergian kustannukset ja kunnossapitokustannukset 15 vuoden ajalle. Lämmitysjärjestelmän takaisinmaksun korkona on käytetty 2 % korkoa. Öljylämmityksen kokonaiskustannus oli 2872,6 € vuodessa.

7 MITTAUKSET

7.1 Mittausjärjestelyt

Pellettilämmitysjärjestelmän optimointi suoritettiin ennalta kerrotussa projektikohteessa (Kuva 20). Pellettikattila nuohottiin ja pellettipoltin puhdistettiin ennen mittauksia. Optimoinnin aluksi säädettiin pellettipolttimen ohjausyksikköön sytytysannoksen suuruus / ruuvikierukan asteluku sekä pellettipolttimen ylä- ja alarajat (Kuva 21). Ylä- ja alarajojen arvot vastaavat kattilan vesitilan lämpötiloja, milloin pellettipoltin automaattisesti käynnistyy ja sammuu. Ylärajaksi asetettiin 92 °C ja alarajaksi puolestaan 81 °C. Nämä arvot pidettiin vakiona kaikissa suoritetuissa mittauksissa. Pelletin tilavuusvirta ruuvikierukassa saatiin selville mitta-astian ja sekuntikellon avulla. Tilavuusvirran laskennassa otettiin huomioon ruuvikierukan syöttötuontiaika, joka oli kaikissa mittauksissa 17 sekuntia. Pellettikattilasta mitattiin saavukaasuanalysointilaitteella savukaasujen lämpötila, CO₂-pitoisuus, CO-pitoisuus sekä palamisen hyötysuhde. Savukaasuanalysointilaitteen kennot huuhdeltiin jokaisen mittauskerran välissä. Näiden mittausten lisäksi määritettiin myös nokiluku nokilukupumpulla jokaisen mittauksen aikana. Mittaukset suoritettiin kolmella eri ohjausyksikön ilmamäärän asetusarvolla sekä kolmella eri turbulenssielimien lukumäärällä.

Pellettilämmitysjärjestelmän optimoinnin pohjalta tehdyt mittaukset suoritettiin polttimen palamisjakson aikana, kun kattilan vesitilan lämpötila oli noin 85 °C. Jokaisen mittausjakson jälkeen odotettiin, että kattilan vesitilan lämpötila kohoaisi pellettipolttimen ylärajaksi ennalta määritettyyn 92 celsiusasteeseen, minkä jälkeen seurasi taukovaihe pellettipolttimessa. Taukovaiheen aikana säädettiin turbulenssielimien lukumäärää pellettikattilassa ja ilman asetusarvoa pellettipolttimessa. Ilman asetusarvot pellettipolttimessa toimivat käänteisessä järjestyksessä, sillä matalilla arvoilla puhallin puhalsi enemmän ilmaa ja korkeimmilla vähemmän. Pellettipoltin käynnistyi automaattisesti pellettikattilan vesitilan lämpötilan laskiessa alle 81 celsiusasteen, vesitilan lämpötila saatiin laskemaan nopeammin päästämällä kuumaa käyttövedettä vesikalusteista. Pellettikattilan vesitilan lämpötilan laskeminen ylärajasta kohti alarajaa vaatii noin 60 litran kuumen käyttöveden käytön.

Pellettikattilan savukaasulämpötilat eivät saisi olla mittauksissa liian korkeat, koska silloin savukaasujen mukana kuljettama lämpö karkaisi savupiipun kautta ulkoilmaan. Liian alhaiset ilmamäärät pellettipolttimessa puolestaan saavat aikaan kattilan nokeentumiseen, mikä saattaa aiheuttaa häiriöitä lämmitysjärjestelmässä. Pellettilämmitysjärjestelmän optimoinnin avuksi tehtyjen mittausten pohjalta valittiin parhaat asetukset pellettipolttimelle sekä oikea määrä turbulensselimiä pellettikattilalle, minkä pohjalta suoritettiin pellettikattilan ns. suoran hyötysuhteen määrittämien. Hyötysuhteen määrittämistä varten mitattiin TA-CMI mittarilla patteriverkoston veden tilavuusvirta sekä kattilasta lähtevän ja palaavan veden lämpötilat.



Kuva 20 Pellettilämmitysjärjestelmä (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 21 Pellettipolttimen ylä- ja alarajat (Iiska Kaukola-Risku, 2016)

7.2 Mittauslaitteet

Mittauslaitteet

1. Kattilan (Jäspi) liittyvät kiinteät mittalaitteet (Kuva 22)
2. Savukaasuanalysaattori (Kuva 23)
3. TA-CMI (Kuva 24)
5. Pellettipolttimen (Viking) ohjausyksikkö (Kuva 25)
6. Rullamitta
7. Nokikuvapumppu (Kuva 26)

8. Infrapunalämpömittari (Kuva 27)



Kuva 22 Kattilan (Jäspi) kiinteät mittalaitteet (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 23 Savukaasuanalysaattori (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 24 TA-CMI (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 25 Pellettipolttimen (Viking) ohjausyksikkö (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 26 Nokikuvapumppu (Iiska Kaukola-Risku, 2016)



Kuva 27 Infrapunälämpömittari (Iiska Kaukola-Risku, 2016)

7.3 Mittaustulokset

TAULUKKO 1 Pellettikattila kahdella turbulenssielimellä (tehdasasetus)

Mittaus 1			Mittaus 2			Mittaus 3		
Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C
Turbulenssielimien määrä	2	kpl	Turbulenssielimien määrä	2	kpl	Turbulenssielimien määrä	2	kpl
Palamisilman asetusarvo	8		Palamisilman asetusarvo	7		Palamisilman asetusarvo	9	
Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s
Hiilidioksidi-pitoisuus	8,22	%	Hiilidioksidi-pitoisuus	8,61	%	Hiilidioksidi-pitoisuus	7,86	%
CO	82	ppm	CO	73	ppm	CO	92	ppm
Palamisen hyötysuhde	93,9	%	Palamisen hyötysuhde	93,1	%	Palamisen hyötysuhde	96,1	%
Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C
Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C
Savukaasulämpötila	102,8	°C	Savukaasulämpötila	104,6	°C	Savukaasulämpötila	100,5	°C
Nokiluku	4		Nokiluku	4		Nokiluku	4	
Kattilan vaipan lämpötila	22,6	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,5	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,3	°C

TAULUKKO 2 Pellettikattila ilman turbulensselimiä

Mittaus 4			Mittaus 5			Mittaus 6		
Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C
Turbulensselimien määrä	0	kpl	Turbulensselimien määrä	0	kpl	Turbulensselimien määrä	0	kpl
Palamisilman asetusarvo	8		Palamisilman asetusarvo	7		Palamisilman asetusarvo	9	
Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s
Hiilidioksidipitoisuus	8,57	%	Hiilidioksidipitoisuus	9,43	%	Hiilidioksidipitoisuus	7,95	%
CO	425	ppm	CO	139	ppm	CO	987	ppm
Palamisen hyötysuhde	82,8	%	Palamisen hyötysuhde	86,3	%	Palamisen hyötysuhde	91,6	%
Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C
Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C
Savukaasulämpötila	170,5	°C	Savukaasulämpötila	192,4	°C	Savukaasulämpötila	161,2	°C
Nokiluku	1		Nokiluku	0		Nokiluku	1	
Kattilan vaipan lämpötila	22,6	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,5	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,3	°C

TAULUKKO 3 Pellettikattila yhdellä turbulenssielimellä

Mittaus 7			Mittaus 8			Mittaus 9		
Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C	Kattilaveden lämpötila	85	°C
Turbulenssielimien määrä	1	kpl	Turbulenssielimien määrä	1	kpl	Turbulenssielimien määrä	1	kpl
Palamisilman asetusarvo	8		Palamisilman asetusarvo	7		Palamisilman asetusarvo	9	
Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s	Sytytysannoksen nopeus	0,0072	l/s
Hiilidioksidi-pitoisuus	7,54	%	Hiilidioksidi-pitoisuus	8,25	%	Hiilidioksidi-pitoisuus	7,32	%
CO	155	ppm	CO	135	ppm	CO	198	ppm
Palamisen hyötysuhde	91,9	%	Palamisen hyötysuhde	91,2	%	Palamisen hyötysuhde	91,3	%
Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C	Pellettipolttimen yläraja	92	°C
Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C	Pellettipolttimen alaraja	81	°C
Savukaasulämpötila	128,8	°C	Savukaasulämpötila	131,2	°C	Savukaasulämpötila	116,9	°C
Nokiluku	1		Nokiluku	1		Nokiluku	2	
Kattilan vaipan lämpötila	22,6	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,5	°C	Kattilan vaipan lämpötila	22,3	°C

7.4 Mittaustulosten käsittely

Projektikohteen pellettilämmitysjärjestelmän optimoinnin ensimmäiset kolme mittausta (TAULUKKO 1) toteutettiin kahdella turbulenssielimellä, mikä oli lämmityskattilan alkupe-
räinen tehdasasetus. Pellettipolttimen eri ilmanasetusarvosta riippuen voitiin huomata, että savukaasulämpötilat olivat 100,5–104,6 °C välillä ja hiilidioksidipitoisuudet olivat 7,86–8,61 %. Lämpöä ei siis karannut savukaasujen mukana ulkoilmaan merkittävästi. Kuitenkin nokilukua määrittäessä pystyttiin havainnollistamaan, että jokainen tehdasasetuksen mittausta johti 4 arvon nokilukuun pellettipolttimen ilmanasetusarvosta riippumatta, joten pellettikattila tulisi nokeentumaan todella nopeasti kahdella turbulenssielimellä.

Seuraavat mittaukset (TAULUKKO2) suoritettiin ilman lämmityskattilan turbulenssielimiä. Savukaasulämpötilat olivat tällöin 161,2–192,4 °C ja hiilidioksidipitoisuudet vaihtelivat 7,95–9,43 % välillä. Mittauksista pystyttiin havaitsemaan, että savukaasujen mukana karkasi todella suuri määrä lämpöä ulkoilmaan. Nokiluku oli ilman turbulenssielimiä todella alhainen, koska nokiluku vaihteli 0-1 arvon välillä jokaisella pellettipolttimen ilmanasetus arvolla. Ilman turbulenssielimiä pellettilämmityskattila ei tulisi nokeentumaan kovinkaan paljoa, mutta savukaasujen mukana kuljettaman suuren lämpömäärän vuoksi lämmitysjärjestelmä ei tulisi koskaan toimimaan mahdollisimman taloudellisesti.

Viimeiset mittaukset (TAULUKKO3) tehtiin yhdellä lämmityskattilan turbulenssielimellä. Mittauksista voidaan havainnoida, että savukaasulämpötilat vaihtelivat 116,9–131,2 °C välillä. Hiilidioksidipitoisuudet olivat näillä asetuksilla noin. 7,32–8,25 %. Nokiluku oli arvoltaan 2 palamisilman asetusarvolla 9, kuitenkin palamisilman asetusarvolla 8 ja 7 nokiluvuksi saatiin vain 1. Viimeinen mittausta yhdellä turbulenssielimellä ja pellettipolttimen ilman asetusarvolla 8 osoittautui lämmityskattilaa parhaiten palvelevaksi, koska savukaasujen mukana ulkoilmaan ei karannut merkittävää määrää lämpöä ja nokiluku oli tällä ilman asetusarvolla hyvin alhainen. Nämä asetukset jätettiin voimaan projektikohteen lämmitysjärjestelmään ja niiden pohjalta päätettiin suorittaa pellettikattilan suoran hyötysuhteen määrittäminen.

Mittaustulokset etenivät mielestäni loogisesti, sillä palamisilmaa annettaessa enemmän pieneni jokaisessa mittaustilanteessa häkäpitoisuus ja savukaasujen lämpötila puolestaan kasvoi. Savukaasujen lämpötila ja nokiluku olivat suoraan verrannolliset turbulenssielimien määrään, minkä pystyi mittaustuloksista huomaamaan. Kattilan tehdasasetuksilla kattila tuntui antavan äärettömän suuria nokilukuja, jonka pystyi aistimaan myös teknisen tilan huonontuvassa huoneilmassa. Ilman turbulenssielimiä nokiluvat olivat hyvin alhaiset, mutta savukaasujen lämpötilat nousivat erittäin korkeiksi, joten ulkoilmaan karkasi merkittävä määrä lämpöä hukkaan. Yhdellä turbulenssielimellä olevat mittaustulokset osoittautuivat lämmitysjärjestelmää parhaiten palvelevaksi, minkä vuoksi oli loogista jättää ne voimaan projektikohteen lämmitysjärjestelmään. Savukaasuanalysaattorin ilmoittamat palamisen hyötysuhdeluvut olivat pääasiassa jokaisessa mittaustilanteessa yli 90 %, joten voidaan olettaa, että kattilapoltinyhdistelmä toimi projektikohteessa melko hyvin.

Mittauksissa haasteellisuutta aiheutti oikean mittauskohdan löytäminen savukaasuanalysaattorilla mitattaessa, sillä projektikohteen savuhormi ei ollut pyöreä vaan epäkeskeinen. Jos mittauksissa savukaasuanalysaattorin mittapää oli lähelläkään hormin sisäreunoja, antoi savukaasuanalysaattori epäuskottavia lukemia ja mittaustulokset muuttuivat epä johdonmukaisesti. Savukaasuanalysaattorin mittaukset suoritettiin tämän vuoksi kahteen kertaan projektikohteessa, jotta saavutettiin realistiset tulokset.

7.5 Laskelmat

Pellettikattilan optimoinnin mittausten pohjalta suoritettiin suoran hyötysuhteen määrittäminen. Optimoinnin kautta selvitettiin parhaat mahdolliset asetukset pellettipolttimelle sekä oikea lukumäärä turbulenssielimiä pellettikattilalle. Pellettilämmitysjärjestelmässä jätettiin ne asetukset voimaan, mitkä mittauksissa osoittautuivat pellettikattilaa parhaiten palvelevaksi. Näitä arvoja käytettiin lähtötietoina (TAULUKKO 4) suoran hyötysuhteen määrittämiseksi. Hyötysuhteen laskemista varten tarvitsi selvittää myös patteriverkoston veden virtausnopeus sekä kattilasta lähtevän ja palaavan veden lämpötilat. Patteriverkoston veden lämpötiloja säädettiin Ouman lämmönsäätimellä vastaamaan olosuhteita, jotka tulisivat vallitsemaan myös lämmityskaudella.

Pellettilämmitysjärjestelmän suoran hyötysuhteen määrittämistä varten täytyi ottaa selville laskentakaavoilla pellettikattilan polttoaineen teho, savukaasuhäviöt, pellettikattilan lämpöhäviöt ympäristöön sekä vesiteho. Näiden laskelmien kautta saatiin selvitettyä pellettikattilan suora hyötysuhde (TAULUKKO 5). Laskelmien avulla saatiin määritettyä, että projektiokohteen pellettilämmityskattila toimii noin 89 % hyötysuhteella, mitä voidaan pitää pellettikattilalle hyvänä tuloksena.

Kattilaan tuleva polttoaine teho (Φ_{po})

$$\Phi_{po} = \rho * H_i * q_{vp}$$

ρ = pelletin tiheys (650 kg/m³)

H_i = pelletin tehollinen lämpöarvo (20,0 MJ/kg)

q_{vp} = pelletin tilavuusvirta (dm³/s)

Savukaasuhäviöt Siegertin kaavalla (Φ_{sk}):

$$\Phi_{sk} = \frac{0.57 * (t_{sk} - t_{pi})}{CO_2 \% \cdot 100} \cdot \Phi_{po} \quad (\text{kW})$$

Φ_{sk} = savukaasuhäviö, (kW) (polttoaine tehosta)

0.57 = polttoaineesta riippuva kerroin (pelletti)

t_{sk} = savukaasulämpötila (°C)

t_{pi} = palamisilman lämpötila (°C)

CO_2 = savukaasun CO_2 (%)

Kattilan lämpöhäviöt ympäristöön (Φ_{lh}):

$$\Phi_{lh} = \alpha_u * (t_p - t_i) * A \quad (\text{kW})$$

Φ_{lh} = kattilan lämpöhäviöt ympäristöön (W)

α_u = ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin (15 W/m²K)

t_p = kattilan pinnan lämpötilojen keskiarvo (°C)

t_i = ympäristön ilman lämpötila (°C)

A = kattilan vaipan pinta-ala (m²)

Vesiteho (Φ_v):

$$\Phi_v = m_v * c_v * \Delta t = \rho_v q_v * c_v * \Delta t \quad (\text{kW})$$

m_v = kattilaveden massavirtaus (kg/s)

c_v = veden ominaislämpökapasiteetti (4.2 kJ/kg°C)

Δt = $t_m - t_p$ (°C)

t_m = kattilasta menevän (lähtevän) veden lämpötila (°C)

t_p = kattilaan palaavan veden lämpötila (°C)

ρ_v = veden tiheys (kg/m³)

q_v = veden tilavuusvirtaus (m³/s)

Kattilan ns. suora hyötysuhde, η_s (polttoaineesta veteen siirtyvä teho)

$$\eta_s = \Phi_v / \Phi_{po}$$

TAULUKKO 4 Pelletikattilan hyötysuhteen määrittämisen lähtötiedot

Lähtötiedot		
Käytetyn pelletin tiheys	650	kg/m ³
Kattilan vaipan pinta-ala	3,95	m ²
Käytetyn pelletin lämpöarvo	17	Mj/kg
Pellettiannoksen virtausnopeus	0,00072	l/s
Polttoaineesta riippuva kerroin (pelletti)	0,47	
Savukaasun lämpötila	128,8	°C
Palamisilman lämpötila	22,5	°C
CO ₂	9,28	%
Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin	15	W/m ² K
Kattilan pinnan lämpötila	22,6	°C
Ympäristön lämpötila	21,4	°C
Veden ominaislämpökapasiteetti	4,2	kJ/kg°C
Veden tiheys	999,3	kg/m ³
Veden tilavuusvirta	0,000181	m ³ /s
Kattilasta lähtevän veden lämpötila	50	°C
Kattilaan palaavan veden lämpötila	41	°C

Laskelmat		
Kattilaan tuleva polttoaineen teho	7,95	kW
Savukaasuhäviöt	0,68	kW
Vesiteho	8,36	kW
Suora hyötysuhde	86 %	

(HT Enerco www-sivut, 2016.)

8 YHTEENVETO

Lopputyöni tavoitteena oli selvittää parhaat mahdolliset asetukset pellettilämmitysjärjestelmään Kauhajoella sijaitsevaan 164 m² omakotitaloon, jotta kyseisellä lämmitysjärjestelmällä saavutettaisiin paras mahdollinen hyötysuhde. Aiemmin tässä vuonna 1996 peruskorjatussa rakennuksessa oli ollut käytössä öljylämmitys, joka oli tullut elinkaarensa päähän. Pysin käymään hyvin kokonaisvaltaisesti läpi pellettilämmitystä, koska yhtenä lopputyöni tavoitteena oli toimia oppimateriaalina pellettilämmityksestä koulutuskeskus Sedun LVI-puolen opiskelijoille. Työssäni käydään läpi myös öljy- ja pellettilämmityksen kustannuksellisia eroja.

Mittauksien pohjalta päädyin suosittelemaan tehdasasetuksia poikkeavaa lukumäärää pellettikattilan turbulenssielimissä. Suosittelin yhtä turbulenssielintä kahden sijaan, koska tehdasasetuksilla pellettikattila olisi tullut nokeentumaan pian käyttöönoton jälkeen. Pellettipolttimen ilman asetusarvona käytettiin arvoa 8, sillä se palveli pellettikattilaa parhaiten. Mittaustuloksien avulla saadut parhaat asetukset jätettiin projektikohteen lämmitysjärjestelmään voimaan. Parhaiden mittaustulosten pohjalta määritettiin pellettikattilan suora hyötysuhde.

Pellettilämmitys oli käyttökustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto verrattuna öljylämmitykseen. Investointikustannuksiltaan öljylämmitys oli puolestaan hieman halvempi vaihtoehto, jos molemmista vaihtoehdoista asennettiin perustasoinen lämmitysjärjestelmä. Rakennuksen vuotuisen energiankulutuksen määrittämiseksi käytettiin hyödyksi vanhoja öljynkulutustietoja. Vanhat kulutustiedot olivat saatavissa hyvin helposti ja kattavasti.

Opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen projekti ja se opetti paljon uutta pellettilämmitysjärjestelmästä, vaikka minulla olikin suhteellisen hyvät pohjatiedot kyseisestä lämmitysjärjestelmästä.

LÄHTEET

Vapo, 2005. Pellettikirja. Helsinki. Vapo

Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Anjalankoski. Solverpalvelut Oy.

LVI-kortti 11–10406. 2006. Puupellettilämmitys. Rakennustieto Oy.

Pellettienergiaa www-sivut. Viitattu 2016. www.pellettienergia.fi

Motiva www-sivut. Viitattu 2016. www.motiva.fi

Biofire www-sivut. Viitattu 2016. www.biofire.fi

Imexwood www-sivut. Viitattu 2016. www.imexwood.fi

Vapo www-sivut. Viitattu 2016. www.vapo.fi

Taloon.com www-sivut. Viitattu 2016 www.taloon.com

Tukes www-sivut. Viitattu 2016 www.tukes.fi

Pellet teknisk www-sivut. Viitattu 2016 www.pelletsteknik.se

Pellettilämmitys www-sivut. Viitattu 2016 www.lammitysjarjestelmat.com

Kaukora www-sivut. Viitattu 2016 www.kaukora.fi

Bioenergianeuvoja www-sivut. Viitattu 2016 www.bioenergianeuvoja.fi

Ariterm www-sivut. Viitattu 2016 www.ariterm.fi

Propellet www-sivut. Viitattu 2016 www.propellet.fi

Liite 1

TAULUKKO 5 Öljylämmityksen energiankulutus

Arvioitu vuosittainen öljymäärä	3500	l
Polttoöljyn lämpöarvo	10,0	kWh/l
Valmistajan ilmoittama hyötysuhde öljykattilalle	90 %	
Öljykattilan kuluttama energian määrä vuodessa	35000	kWh
	35	MWh
Rakennuksen lämmitykseen kulunut todellinen energiämäärä	31,5	MWh

TAULUKKO 6 Pellettilämmityksen energiankulutus

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde pellettikattilalle	87 %	
Pelletin lämpöarvo	4,7	kWh/kg
Pelletin irtotiheys	650	kg/m ³
Energiankulutus uudella pellettikattilalla	36,2	MWh
	36206,9	kWh
Pellettejä tarvittava määrä vuodessa	7703,6	kg
Pellettien vuosittainen tarve m³	11,9	m ³

LIITE 2

TAULUKKO 7 Pellettilämmityksen kustannus

Pelletti- lämmitys			
Lämmön- tarve	36	MWh/ vuosi	
Laskenta- aika	15	vuotta	
Korko	2	%	

Hankinta kustannus	Poltto- aineen hinta	Hyöty- suhde	Energia tiheys	Energian hinta	Energian hinta	Kunnossa- pito kustannus	Investointi kustannus	Kokonais- kustannus
€	€/tn	%	MWh/tn	€/MWh	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
6500	254	87	4,7	54,0	1702,3	150	171,5	2023,9

LIITE 3

TAULUKKO 8 Öljylämmityksen kustannus

Öljylämmitys			
Lämmöntarve	36	MWh/vuosi	
Laskenta-aika	15	vuotta	
Korko	2	%	

Hankinta kustannus	Polttoaineen hinta	Hyötysuhde	Energia tiheys	Energian hinta	Energian hinta	Kunnossapito kustannus	Investointi kustannus	Kokonaiskustannus
€	€/l	%	MWh/l	€/MWh	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
5500	0,85	90	0,01	85	3060,0	50	145,1	3255,1