

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Energiatekniikka / Automaatio- ja prosessitekniikka

Teemu Harju

MAAKAASUKONDENSSEIKATTILAN HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2014

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Energiatekniikka

HARJU, TEEMU

Opinnäytetyö

Työn ohjaajat

Toimeksiantaja

Huhtikuu2014

Avainsanat

Maakaasukondenssikattilan hyötysuhteen määrittäminen

50 sivua

Pt. tuntiopettaja Hannu Sarvelainen

Tuoteryhmäpäällikkö Harri Mielonen

Gasum Energiapalvelut Oy

hyötysuhde, kondenssikattila, maakaasu,  
aurinkoenergia, laskentaohjelma

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kahden toisistaan poikkeavan maakaasukondenssikattilan hyötysuhteet ja valmistaa näiden hyötysuhteiden selvittämiseen tarkoitettu jatkuvatoiminen laskentasovellus. Opinnäytetyö tehtiin Gasum Energiapalvelut Oy:n tilauksesta.

Mielenkiintoisen selvityksestä teki se, että tarkoituksena ei ollut laskea kondenssikattiloiden optimihyötysuhdetta, vaan kattilan normaalilämmityskäytössä oleva hyötysuhde. Samalla perusteella käyttökohteet sisälsivät hyvin tavanomaisia, käyttömukavuutta parantavia lämmitysratkaisuja, joiden vaikutusta hyötysuhteeseen päästiin tarkkailemaan.

Hyötysuhteiden selvittämistä varten tehty laskenta rakennettiin Microsoft Excelin pohjalle. Laskennan tarkoituksena oli laskea kattilan hyötysuhde kohteesta sinne asennettujen mittausten perusteella. Laskennan tarkoituksena oli olla jatkuva, jolloin pystyttiin luomaan pitkiä mittaussajaksoja.

Tuloksena työstä saatiin kaksi erillistä laskentasovellusta mittauskondenssikattiloiden hyötysuhteiden laskemiseksi. Työn tilaajan puolesta molemmat laskennat täyttivät niille asetetut vaatimukset.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Technology

HARJU, TEEMU

Bachelor's Thesis

Supervisors

Commissioned by

April 2014

Keywords

Efficiency Determination of Natural Gas Condensing Boiler

50 pages

Hannu Sarvelainen, Lecturer

Harri Mielonen, Product group manager

Gasum Energiapalvelut Oy

efficiency, condensing boiler, natural gas, solar power,  
calculation program

The purpose of this thesis was to determine the efficiency of two different natural gas condensing boilers and to design continuous calculation programs for these boilers. This thesis was done for Gasum Energiapalvelut Ltd.

Starting point in this thesis were that it was not supposed to determinate the optimal efficiency of these condensing boilers, but rather the efficiency in their normal usage. These condensing boilers also included very common solutions that enhance the user comfort, which gave the chance to observe their impacts on the overall efficiency.

The calculation program was made with Microsoft Excel. The purpose of calculation was to determine the efficiency of the boiler utilizing the measurements installed in the boiler system.

The results of this thesis were two separate calculation programs to determine the efficiency of condensing boilers. Both of the calculation programs met the requirements set for them.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	KONDENSSI-ILMIÖ	7
	2.1 Ilmiön hyödyntäminen kondenssikattiloissa	9
	2.2 Ilmiön hyödyntämisen hyötyjä ja haittoja	11
3	AURINKOPIIRI	12
4	KATTILAN HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITYS	16
	4.1 Suora menetelmä	17
	4.2 Epäsuora menetelmä	17
	4.3 Taseraja	18
	4.4 Hyötysuhteen määrittäminen laskennallisesti	19
	4.4.1 Energiavirrat	19
	4.4.2 Hyötysuhde	21
5	KATTILOIDEN ESITTELY JA MITTAUKSET	21
	5.1 Asennetut mittaukset	25
	5.2 Mittausdatan kerääminen ja siirtäminen	28
6	MITTAUSTULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	29
	6.1 Laskennan tarkoitus ja lähtökohdat	30
	6.2 Laskennan periaatteet	31
	6.2.1 Kiertovesi	31
	6.2.2 Käyttövesi	34
	6.2.3 Maakaasu	38
	6.2.4 Sähkö	39
	6.2.5 Aurinkopiiri	39
	6.2.6 Hyötysuhde	40
	6.3 Hyötysuhteen määrittäminen	41

7 TULOSTEN ESITYS JA POHDINTA

44

LÄHTEET

48

## 1 JOHDANTO

Maailma on monella tapaa murrostilanteessa. Maapallon rajalliset energiavarat ovat jatkuvasti vähenemään päin. Samalla energiavarojen vähetessä tarve lisäenergialle kasvaa. Toisaalta taas tietyn kaltaisten polttoaineiden käyttömäärän noustessa tulee vastaan raja, jossa aiheutamme korjaamatonta vahinkoa ilmastolle. Tästä syystä joudutaankin tasapainoilemaan kahden välillä, kun halutaan tyydyttää ihmiskunnan energian tarpeet, tekemättä samalla pysyvää vahinkoa ilmastolle. Erääksi yleisesti hyväksytyksi ratkaisuksi helpottamaan tätä tasapainottelua on noussut energiatehokkuuden kasvattaminen. Tämä suuntaus on johtanut tilanteeseen, jossa energiatehokkuuteen pyritään erinäisin tavoin, muun muassa siirtymällä hehkulampuista energiansäästölampuihin. Kondenssikattila on yksi mahdollisimman tehokkaaseen energian käyttöön pyrkivä laite. (Energiatehokkuus 2014.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kahden erilaisen maakaasukäyttöisen kondenssikattilan hyötysuhde, eli kuinka energiatehokkaita ne todellisuudessa ovat. Erityistä tässä selvityksessä on se, että hyötysuhdetta ei ole tarkoitus selvittää laboratorion tarjoamissa optimiolosuhteissa, vaan jokapäiväisessä arkikäytössä. Samalla työssä pyritään saavuttamaan laajempi kuva kattilan hyötysuhteesta, eikä vain tyytymään yksinkertaiseen ja ylipelkistettyyn tilanteeseen.

Opinnäytetyö tehdään Gasum Energiapalvelut Oy:lle osana yhtiön hyötysuhdemittausprojektia. Gasum Energiapalvelut on suomalainen lämmitysratkaisuihin erikoistunut yritys. Gasum Energiapalveluiden toimenkuvaan kuuluu muun muassa laitemyynti ja hyötysuhdemittausprojektin tuloksia on tarkoitus käyttää maakaasulla toimivien kondenssikattilaratkaisujen markkinoinnissa. Saatuja tuloksia voidaan siis käyttää tukitietona laitevalmistajan ilmoittamille tiedoille. Samalla pystytään saavuttamaan selvempi kuva kattiloiden eri ominaisuuksien vaikutuksesta kokonaishyötysuhteeseen. Projekti on käynnistynyt jo aiemmin ja tämän työn tarkoituksena on saattaa projekti tilaan, jossa pystytään tuottaa konkreettisia tuloksia. Pääosin tämä tarkoittaa sitä, että työ rajautuu hyötysuhdelaskentasovelluksen valmistamiseen ja laskennan vaatimien mittausten sijoittamiseen. (Mielonen 2013.)

Työn mittauskohteina on kaksi omakotitalokohdetta, joihin on asennettu kaksi erilaista maakaasutoimista kondenssikattilaa. Molemmat kondenssikattilat ovat saksalaisen Oertlin tuoteperheeseen kuuluvia tuotteita. Nämä kondenssikattilat ovat tuotenimiltään

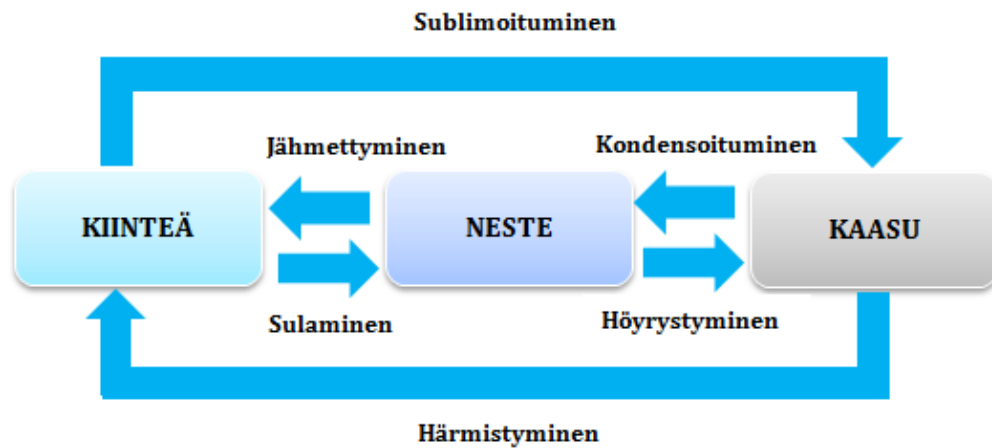
GVR140 ja OECodens. GVR140 on perinteinen maakaasukäyttöinen kondenssikattila ja OECodens on aurinkokeräimen ja maakaasukondenssikattilan kombinaatio. Koska kyseessä olevat fysikaaliset ilmiöt ja tekniset ratkaisut eivät ole täysin yksinkertaisia, niin tässä raportissa käsitellään aluksi työn vaatimaa teoriaa kondenssi-ilmion, aurinkoenergian ja hyötysuhteen määrittämisen osalta. Samalla esitellään miten näitä ilmiöitä periaatteellisesti voidaan soveltaa kattilatekniikassa. Tämän jälkeen syvennyttään tässä työssä käytettyyn laitteistoon ja asennettuihin mittauksiin. Lopuksi esitellään vielä työssä tehtyä laskentaa ja työssä saatuja tuloksia. (Mielonen 2014.)

## 2 KONDENSSI-ILMIÖ

Kondenssi-ilmion tarkasteleminen lienee hyvä aloittaa kysymyksellä, mitä on aine. Aineella on useita määritelmiä, mutta tässä työssä aineella tarkoitetaan materiaalia, joka koostuu alkuaineista tai useiden alkuaineiden yhdisteistä. Aineella on myös aina massa. Samoin on tärkeää huomata, että aineen häviämättömyyden lain mukaan aine ei voi hävitä. Toisin sanoen, jos on olemassa käsin kosketeltava, useiden eri alkuaineiden muodostama kappale, ja pystymme toteamaan sen olevan olemassa, niin sen muodostanut aine ei koskaan häviä. Tämän aine voi muuttaa olomuotoaan, se voi muuttaa koostumustaan, mutta kappaleen muodostaneet rakennehiukkaset tulevat olemaan aina olemassa. (Kiviniemi 2014.)

Kuten mainittua aine voi muuttaa olomuotoaan. Näitä olomuotoja on muutamia, mutta niistä kolme tunnetuinta ovat kiinteä, nestemäinen ja kaasu. Nämä olomuodot lienee helpointa selventää aineen nimeltä vesi avulla. Kiinteässä olomuodossaan vesi on jäätä. Silloin se on kiinteää ainetta, joka omaa tietyn muodon ja tietyn tilavuuden. Nestemäisessä olomuodossa vesi on meidän kuvakulmastamme katsottuna normaalissa olomuodossaan, eli nestemäisenä vetenä. Tässä vaiheessa vesi ei omaa enää tiettyä muotoa. Kolmantena esiin nostettuna olomuotona on kaasu, joka veden tapauksessa tarkoittaa sitä, että vesi on vesihöyryä. Tässä vaiheessa aine ei omaa enää tiettyä tilavuutta tai muotoa. Näiden olomuotojen välinen vaihtelu perustuu vallitsevaan lämpötilaan ja paineeseen. Taas helppona esimerkkinä voidaan pitää vettä, joka sulamispisteensä alapuolella on kiinteää ainetta. Sulamispiste on lämpötila, mutta kuten mainittua myös paine vaikuttaa aineen olomuotoon, joten sulamispisteen tietty lämpötila riippuu paineesta. Vedellä sulamispiste on 0 °C ilmanpaineessa (Seppänen 2006). Sulamispisteen yläpuolella aina kiehumispisteeseen asti on vesi nestemäisessä olomuoto-

dossaan. Ilmanpaineessa vesi on nestettä 0 °C ja 100 °C välillä. Kiehumispisteen ylittäessään vesi taas muuttuu vesihöyryksi eli kaasumaiseen olomuotoonsa. Kiinteän aineen muuttuessa nesteeksi, kutsutaan sitä sulamiseksi ja päinvastoin jähmettymiseksi. Nesteen muuttuessa kaasuksi puhutaan höyrystymisestä ja kaasun muuttuessa nesteeksi tiivistymisestä eli kondensoitumisesta. (ASTeL -hanke 2014.)



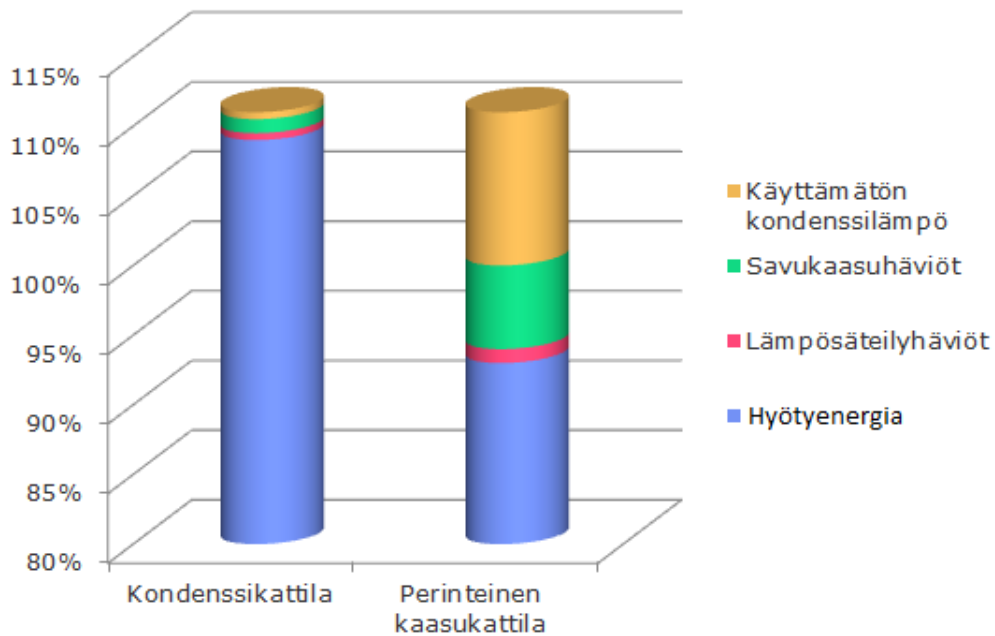
Kuva 1. Aineen olomuodon muutokset. (Mukaiillen lähde: ASTeL -hanke 2014.)

Kondensoitumisessa aine siis muuttuu olomuotoaan kaasusta nesteeksi. Tämä olomuodon vaihdos tapahtuu, kun vapaana liikkuvat kaasumaiset hiukkaset luovuttavat lämpöenergiaa ympäristöönsä ja samalla menettävät omaa liike-energiaansa. Tässä vaiheessa kaasumaiset hiukkaset alkavat kokoontua yhteen yhä suuremmiksi yksittäisiksi hiukkasiksi. Toisin sanoen kaasumaisen aineen menettäessä liike-energiaansa tarpeeksi, se alkaa kasaantua pienempään tilavuuteen, samalla tiivistyen nesteeksi. (Tiivistyminen ja haihtuminen 2014.) Eri aineilla on ainekohtaiset energiamäärät, jotka niiden on luovutettava tai saatava, että se muuttaisi olomuotoaan kaasusta nesteeksi tai päinvastoin. Tätä energiamäärää kutsutaan ominaishöyrystyslämmöksi. Koska tiivistyminen on höyrystymisen vastakohta, vastaa ominaishöyrystyslämpö nimitään huolimatta myös siirtyvää energiamäärää, joka tiivistymiseen tarvitaan. On kuitenkin muistettava, että paine vaikuttaa myös tähän energiamäärään. Ilmanpaineessa veden ominaishöyrystyslämpö on noin 2260 kJ/kg, mikä tarkoittaa sitä, että jokaista kilogrammaa kohti on vesihöyryn luovutettava 2260 kJ energiaa, että se tiivistyisi vedeksi. (Wagner 1994.)

Aineen muuttuessa kiinteästä nesteeksi ja nesteestä höyryksi, aineeseen sitoutunut energian määrä kasvaa. Energian määrän kasvu taas ilmenee aineen lämpötilan nousuna. Energian tuotannon kannalta katsottuna savukaasuissa usein karkaankin ilmoille vesihöyryä, mikä tarkoittaa sitä, että osa polttoaineen antamasta energiasta karkaa vesihöyrynä taivaalle. Tämän energian talteenottoon on kehitetty useita eri tekniikoita. (Virrankoski 2014.) Tässä työssä käsitellään näistä tekniikoista yhtä, joka perustuu savukaasuissa olevan veden tiivistämiseen ja näin sen sisältämän energian talteenottoon.

## 2.1 Ilmiön hyödyntäminen kondenssikattiloissa

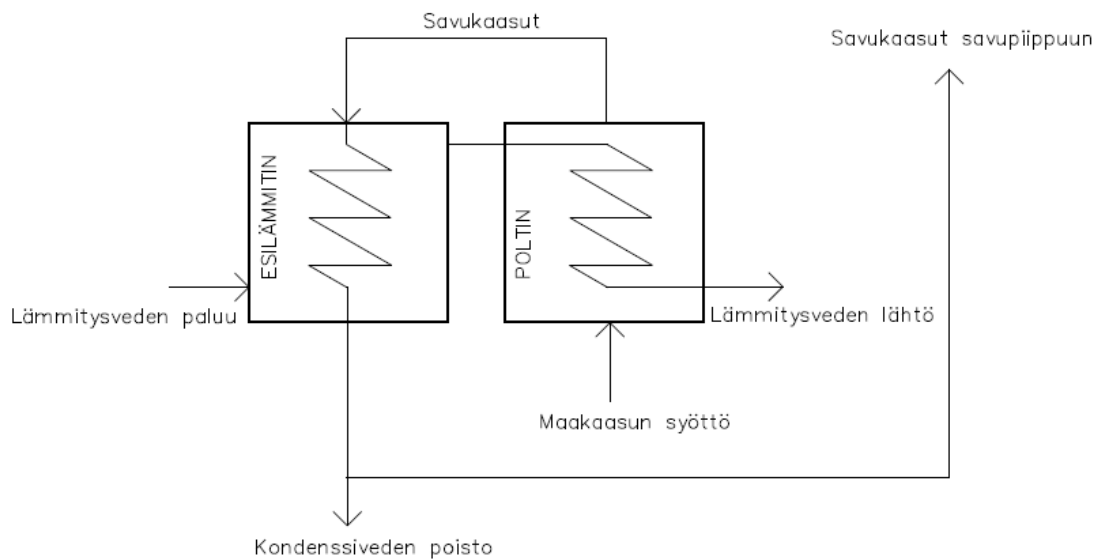
Kondenssikattilat ovat kattiloita, joiden tarkoituksena on hyödyntää kondenssi-ilmiötä ja näin parantaa polttoaineesta talteen saadun energian määrää. Maakaasu kondenssikattiloissa on noin 100 % vuosihyötysuhde ja palamishyötysuhde on noin 108 % alhaisilla lämmitysohjelmilla. Hyvä hyötysuhde kondenssikattiloissa pohjautuu kondenssi-ilmiöön. Kattiloissa lauhdutetaan vesihöyryä savukaasuista, jolloin savukaasuista vapautuu veden höyrystymislämmön verran energiaa. Tämä vapautunut energia voidaan hyödyntää kattilassa. Hyötysuhde kondenssikattilassa on noin viisitoista prosenttia perinteistä kaasukattilaa korkeampi. (Seppänen 1995.)



Kuva 2. Kondenssikattilan ja perinteisen kaasukattilan hyötyenergian ja häviöiden osuudet. (Gasum Oy 2014.)

Kondenssikattilat saavuttavat perinteistä kattilaa suuremman hyötysuhteen hyödyntämällä energiaa, joka yleensä pääsee karkaamaan savukaasujen mukana pois systeemis-

tä. Käytännössä kondenssikattilassa savukaasut ohjataan alaspäin lämmönsiirtimeen, jossa näillä lämpimillä savukaasuilla esilämmitetään lämmitysvedtä. Lämmönsiirtimessä savukaasut ovat kuumempia kuin esilämmitettävä lämmitysvesi. Savukaasut viilenevät ja niissä oleva vesihöyry tiivistyy nestemäiseen muotoonsa samalla luovuttaen energiaa lämmitysvedelle. Tämän jälkeen tiivistynyt vesi poistetaan lämmönvaihtimen alaosassa ja ohjataan viemäriin. Kaasumaisessa muodossa olevat savukaasut sen sijaan ohjataan savukaasukanavan kautta ulos. Esilämmitetty lämmitysvesi taas ohjautuu polttokammion lämmönsiirtimeen, jossa se lämmitetään haluttuun lämpötilaan. (Mielonen 2014.)



Kuva 3. Kondenssitekniikan periaatekuva.

Lämmityskäytössä kondenssikattila on erityisen sopiva ratkaisu maakaasulle, koska Suomessa käytettävä maakaasu on verrattain puhdas polttoaine, sisältäen noin 98 % metaania. Myös loput kaksi prosenttia ovat suurimmilta osin muita hiilivetyjä. Näin ollen poltossa syntyneet palamistuotteet ovat lähes yksinomaan hiilidioksidia ja vettä. Rikkiä Suomessa käytössä oleva maakaasu ei sisällä käytännössä lainkaan. Rikki tulee usein esteeksi hyödyntäessä kondenssitekniikkaa muilla polttoaineilla, kuten öljyllä. Koska kondenssivesi ja rikki muodostavat keskenään hyvin happaman yhdisteen, muodostuu näin vakava syöpymisriski. Öljyä voidaan kuitenkin käyttää kondenssikattilan polttoaineena, jos syöpymisriskiin on kunnolla varauduttu. Maakaasu on ongelmattomampi polttoaine kondenssikattiloille. (Seppänen 1995.)

## 2.2 Ilmiön hyödyntämisen hyötyjä ja haittoja

Verrattuna perinteisempään puhallinpoltintekniikkaan kondenssi-ilmiön hyödyntäminen kattilan toiminnassa tuo muutamia merkittäviä hyötyjä. Näistä tärkein lienee energiatehokkuus. Kondenssikattiloista saadaan huomattavasti parempi hyötysuhde kuin perinteisemmistä malleista. Tämä vaikuttaa pienentävästi lämmityskustannuksiin, kun samasta energiamäärästä voidaan ottaa suurempi määrä lämpöä hyötykäyttöön. Kondenssikattilan hyviin puoliin kuuluu myös kompaktius. Kattilaan yhteyteen kuuluu yleensä kaikki tarvittavat varusteet, kuten käyttövesivaraaja, paisunta-astia, kiertovesipumput sekä varoventtiilit. Näin ei voi olettaa perinteistä puhallinpoltinkattilaa hankittaessa. Kondenssikattiloihin kuuluu myös yleensä oma automaatiojärjestelmä, joka ohjaa kattilan toimintaa. Kondenssikattiloiden tapauksissa säästytään myös erillisten automaatiolaitteiden kustannuksilta. Kokonaisinvestointina kondenssikattila vastaa puhallinpoltinkattilaa varusteineen, joten merkittävää rahallista eroa investoinnin osalta ei välttämättä tule. (Mielonen 2014)

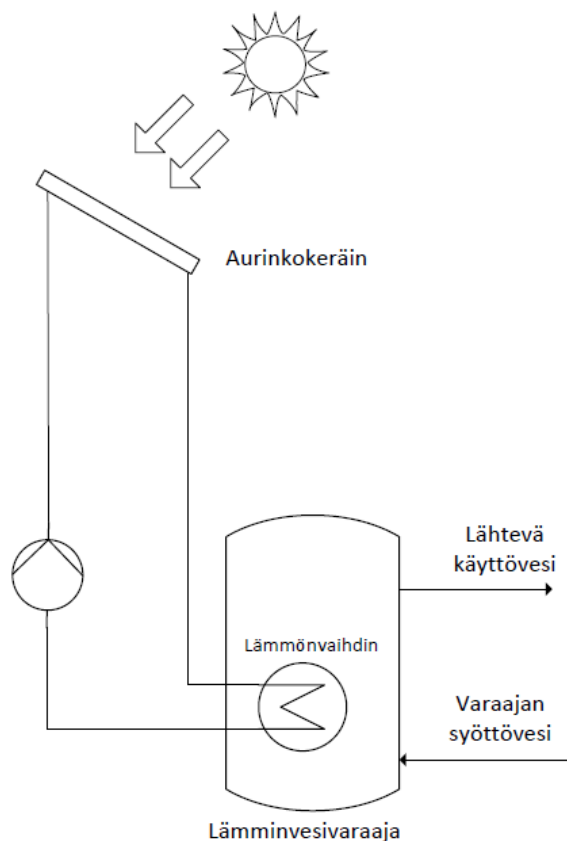
Kondenssitekniikan hyödyntäminen lämmityskattiloissa ei ole kuitenkaan täysin ilman negatiivisia puolia. Kondenssikattiloissa syntynyt kondenssivesi on aina jossain määrin hapanta riippumatta polttoaineesta. Maakaasua poltettaessa kondenssivesi ei ole tekemisissä rikin kanssa, jolloin happamuus ei välttämättä aiheuta suuria ongelmia. Maakaasukondenssikattiloissa kondenssiveden pH arvo on noin 3,5. Toisaalta, kun kattilaa ajetaan lämpötilaohjelmalla, jossa lähtevä lämmitysvesi on poikkeuksellisen korkeassa lämpötilassa, niin savukaasut eivät välttämättä kokonaisuudessaan kondensoidu lämmönsiirtimessä, vaan vasta savukaasukanavassa. Tällöin savukaasukanavaan jää hapanta kondenssivettä, joka ei pääse poistumaan normaalia kondenssiveden poistoon käytettyä kanavaa. Tällaisen käytön jatkuessa savukaasukanavaan voi jäädä merkittäviä määriä hapanta kondenssivettä, joka voi aiheuttaa haittaa kattilan rakenteille. Tavallisilla lämpötilaohjelmilla tällaista ongelmaa ei ole havaittu, mutta esimerkiksi lämmitysveden lämpötilan ollessa 80 °C ja paluuveden lämpötilan ollessa 60 °C tiivistyy osa kondenssivedestä vasta savukaasukanavassa. Kondenssikattiloihin suositellaan yhden tai kahden vuoden huoltoväliä, jolloin myös mahdollisiin happamuusongelmiin pystytään puuttumaan. (Mielonen 2014)

### 3 AURINKOPIIRI

Nykyisin maailman energiantarve on jatkuvassa nousussa. Energiaa tarvitaan muun muassa liikennöintiin, teollisuuteen ja kotien lämmittämiseen. Suurimmilta osin tätä valtavaa ja koko ajan kasvavaa energian tarvetta on tyrehdytetty fossiilisilla polttoaineilla. Vasta viime vuosikymmeninä päätään ovat nostaneet uusiutuvat energianlähteet. Nämä ovat kuitenkin joutuneet painimaan riittämättömyytensä tuomien ongelmien kanssa. On kuitenkin selvää, että fossiilisilla polttoaineilla ei pystytä ruokkimaan ihmiskunnan energiatarpeita loputtomiin ja tämän vuoksi uusiutuvat energialähteet saavuttavat koko ajan enemmän suosiota. (World energy demand and economic outlook 2013.) Uusiutuvilla energioilla tarkoitetaan energianlähdettä, joka uusiutuu jatkuvasti ja on hyödyntäjänsä kantilta katsottuna loputon energiavara. Tästä esimerkkinä mainittakoon tuulienergia. Tuulella olevan liike-energian talteenotto luo energiaa, mutta tämän energian talteen ottaminen ei vaikuta tuulen syntymiseen. Toisin sanoen tuulta tulee syntymään jatkossakin ja sen liike-energia voidaan jälleen hyödyntää. Näin ollen energiavara on ehtymätön. Yksi tunnetuimmista uusiutuvista energianlähteistä tuulivoiman lisäksi on aurinkoenergia. Auringon lämpösäteilyn sisältämän energian talteen ottaminen ei vaikuta auringon kykyyn tuottaa energiaa ja tästä syystä aurinkoenergian voidaan katsoa olevan ehtymätön energianlähde eli uusiutuva energiavara. (Bratley 2014.)

Auringon energiaa voidaan hyödyntää muutamalla eritavalla. Näistä tunnetuimmat lienevät aurinkokenno ja aurinkokeräin. Aurinkokennossa auringosta saapunut säteily pystytään muuttamaan sähköksi hyödyntämällä Albert Einsteinin tunnetuksi tekemää valosähköistä ilmiötä. Tässä ilmiössä auringonsäteissä olevat fotonit irrottavat aineesta negatiivisesti varautuneita elektroneja, joiden liike on sähköä (Lehto 2007). Aurinkokeräin on sen sijaan toimintaperiaatteeltaan hieman tavanomaisempi ja helpommin sisäistettävä. Aurinkokeräimessä auringonsäteillä lämmitetään jotakin ainetta, joka kerää itseensä lämpöenergiaa ja luovuttaa sen myöhemmin ympäristöönsä. Kaupallisessa käytössä aurinkokeräimissä käytetään yleensä lämmönsiirtonestettä keräämään ja siirtämään tätä lämpöä. Toisaalta hyvin yksinkertainen esimerkki aurinkokeräimestä on kivitalo, joka kerää itseensä lämpöä lämpimänä päivänä ja luovuttaa keräämänsä lämpöä ympäristöönsä myöhemmin ympäröivän ilman kylmetessä. (Motiva Oy 2009.)

Aurinkokeräinsovellukset toteutetaan yleensä siten, että keräin sijoitetaan aurinkoiselle paikalle. Omakotitalouksissa, kuten tämän työn kohteen tapauksessa, paras paikka keräimelle löytyy yleensä katolta. Suomen olosuhteissa keräin asetetaan 30–60 asteen kulmaan ja samalla yrittäen kohdistaa se kohti etelää. Tällä tavalla auringon lämpöenergiasta pystytään hyödyntämään mahdollisimman suuri osa. Suomessa kaksi yleisintä aurinkokeräintyyppiä ovat tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin. Tasokeräimessä läpinäkyvän tason alle on asennettu levymäinen pinta, joka toimii itse keräimenä. Keräimessä kiertää lämmönsiirtonestettä, joka lämpenee auringon vaikutuksesta. Lämmennyt lämmönsiirtoneste ohjataan lämminvesivaraajaan, jossa lämmönsiirtimen avulla nesteessä oleva energia otetaan talteen. Tyhjiöputkikeräin toimii hyvin samankaltaisesti. Tässä keräimenä toimii kuitenkin lämmönkeruuputkisto tason sijaan. Lämmönsiirtoneste johdetaan lämmönkeruuputkiin, joita aurinko lämmittää. Samalla lämpöenergia sitoutuu lämmönsiirtonesteeseen ja se voidaan ohjata tasokeräimen tapaan lämminvesivaraajan lämmönsiirtimeen. Suomessa aurinkopiiri sovelluksissa käytetään lähes pääsääntöisesti lämmönsiirtoa varten tarkoitettuja nesteseoksia. Tällä tavalla pystytään, estämään piirissä kulkevan nesteen jäätyminen talvikuukausien aikana. (Motiva Oy 2009.)



Kuva 4. Aurinkopiirin periaate.

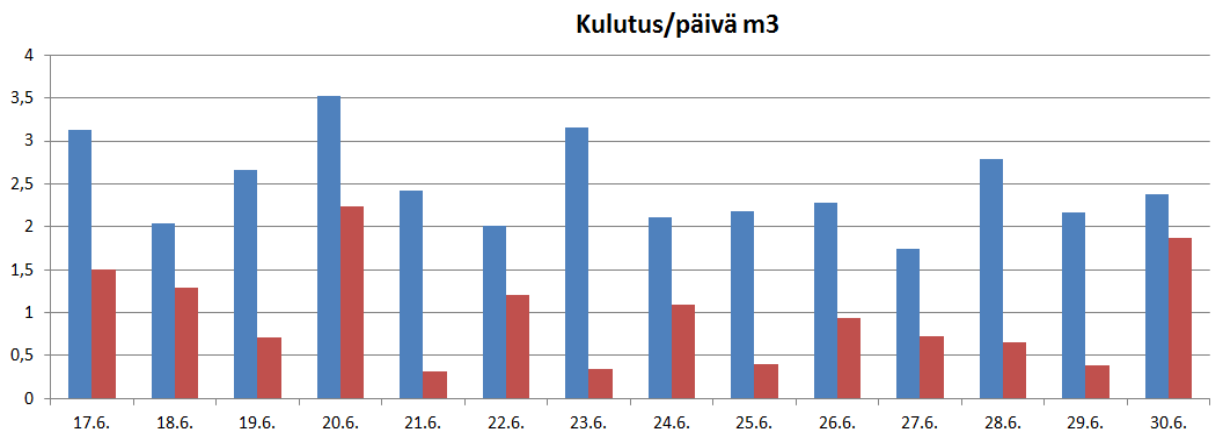


Kuva 5. Tyhjöputkikeräin.

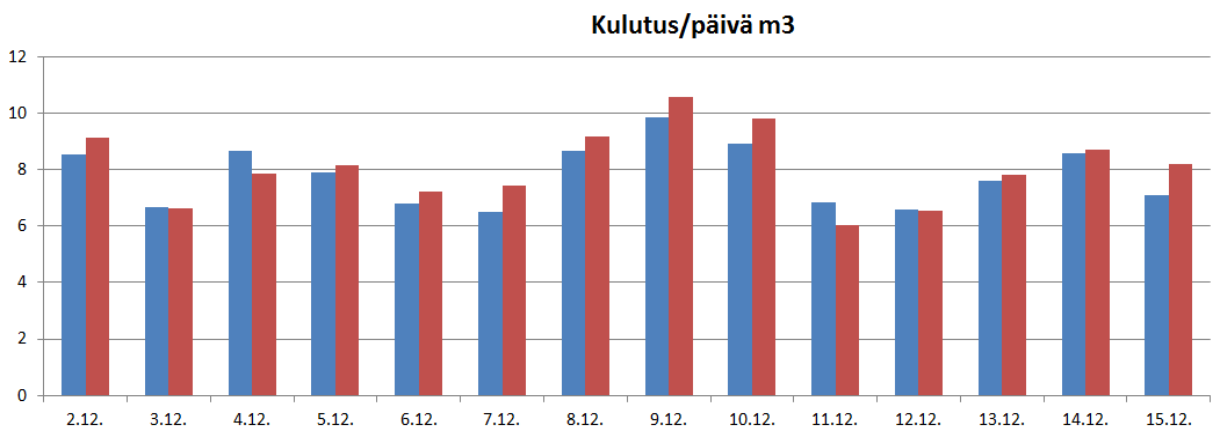
Auringon säteilystä saatua lämpöenergiaa voidaan siis hyödyntää kodin energian tarpeiden täyttämiseen. Käytännössä Suomen oloiloissa aurinkoenergiasta saatava lämpö on kuitenkin yhdistettävä rinnakkain jonkin toisen polttoaineen kanssa, jotta kiinteistön lämmitystarpeisiin pystyttäisiin täysin vastaamaan. Auringon energiaa voidaan kuitenkin hyödyntää lämmityskattiloissa pienentämään lämmityskustannuksia. Tähän pyrittäessä kattilajärjestelmän automatiikka on keskeisessä roolissa. Tämä on tärkeää, jotta aurinkoenergian kanssa rinnakkain olevaan polttoaineeseen ei turvauduta liian aikaisin. Eli aurinkopiirin systeemiin tuomaa energiaa halutaan hyödyntää mahdollisimman paljon ja tehokkaasti, jolloin toisen käytössä olevan polttoaineen kuluja pystytään pienentämään. Nykyisin markkinoilla on kuitenkin aurinkopiirin ja vaikkapa maakaasukondenssikattilan kombinaatioita, jossa automatiikka on tehty alun alkaen vastaamaan tätä systeemiä. (Mielonen 2013.) Eräs tällainen kattila on muun muassa tässäkin työssä tarkastelussa oleva Oertlin OECodens.

Järjestelmän ollessa kunnossa, aurinkopiirin avulla pystytäänkin tekemään rahallista säästöä, kun rinnakkaisen polttoaineen kulutusta saadaan pienennettyä. Aurinkoenergia on myös puhdasta ja uusiutuvaa energiaa. Tästä huolimatta aurinkopiirin mukaan ottaminen on huomattavan suuri investointi verrattuna esimerkiksi maakaasulla toimivaan kondenssikattilaan tai puhallinpoltinkattilaan. Aurinkopiiri on kallis vaihtoehto, kun huomioidaan, että aurinkoenergiaa voidaan käyttää vain rinnakkaisena energian

lähteenä. Aurinkopiiri vaatii myös jonkun verran ylimääräisiä huoltotoimenpiteitä. Suomen talvessa keräimet on luonnollisesti pidettävä puhtaana lumesta, jotta auringon säteet pääsisivät keräimelle asti. Samalla aurinkopiirin painetta tulisi tarkastaa säännöllisin väliajoin, jotta aurinkopiirin tehokas toiminta pystytään takaamaan. Aurinkokeräimissä sijaitsevat anturit olisi myös hyvä tarkastaa ajoittain, jotta automatiikka toimisi todellisten mittaustulosten perusteella ja rinnakkaispoltoainetta ei käytetä ennen kuin siihen todella on tarvetta. Vaikka aurinkopiirillä pystytään luomaan todellisia säästöjä lämmityskustannuksissa, on kyseessä kuitenkin jossain määrin käyttäjältään vaivaa vaativa järjestelmä ja samalla huomattava investointi. Osittain tästä syytä aurinkokeräinpiirit eivät ole saavuttaneet kovin suurta suosiota lämmityskustannuksien karsijana. (Mielonen 2014.)



Kuva 6. Kondenssikattilan (sinisellä) ja aurinko-kondenssikattilan (punaisella) kulutuslukemat kahdesta samankaltaisesta kulutuspiisteestä kahden kesäviikon ajalta. (Gasum Paikallisjakelu Oy 2014.)



Kuva 7. Kondenssikattilan (sinisellä) ja aurinko-kondenssikattilan (punaisella) kulutuslukemat edellisen kuvan kulutuspiisteestä kahden talviviikon ajalta. (Gasum Paikallisjakelu Oy 2014.)

#### 4 KATTILAN HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITYS

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voi luoda, eikä hävitä. Vain ja ainoastaan energian muotoa pystytään muuttamaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että energiaa on maailmankaikkeudessa vakiomäärä ja vain jo olemassa olevaa energiaa pystytään hyödyntämään muuttamalla sen muotoa. Toisin sanoen aineeseen on sitoutunut energiaa. Tätä ainetta polttamalla siihen sitoutunut energia muuttuu muotoaan lämmöksi. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan polttoainetta polttamalla voidaan siis saada enintään se määrä energiaa, joka siihen on sitoutunut. (Wiksten 2009.)

Hyötysuhde on suhdeluku, jolla kuvataan sitä energiamäärää, joka alkuperäisestä energialähteestä saadaan hyödynnettyä. Hyötysuhteen ollessa 50 %, niin puolet lähtötilan energiasta saadaan muutettua hyötykäyttöön. Hyötysuhteesta on kuitenkin huomattava, että se ei sodi termodynamiikan pääsääntöjä vastaan, sillä energiaa ei koskaan häviä. 50 prosentin hyötysuhteella toinen puolikas lähtötilan energiasta muuttuu energiaksi, jota ei vain kyseisessä tilanteessa pystytä hyödyntämään. Maakaasua poltettaessa perinteisessä puhallinpolttokattilassa, suurin osa siihen sitoutuneesta energiasta muuttuu lämmöksi, mutta kattilateknisistä syistä tätä lämpöä karkaa savukaasujen mukana taivaalle ja kattilan läpi johtumalla ympäristöön. Tällöin kaikkea maakaasuun sitoutunutta energiaa ei saada hyötykäyttöön. (Wiksten 2009.)

Euroopassa kattilahyötysuhteen määrittämiseen käytetään yleisesti DIN 1942 standardia. Tämän standardin mukaan hyötysuhde määritetään laskemalla kattilasta saatavan ja siihen syötettävän energian suhdetta. Kattilaan syötettävän energian määrää selvittäessä esiin nousee polttoaineen lämpöarvo. Lämpöarvolla tarkoitetaan sitä energiamäärää, jota polttoaine sisältää yhtä kilogrammaa kohden. Lämpöarvoja on olemassa kahdenlaisia, alempi ja ylempi lämpöarvo. Ylempi lämpöarvo on polttoaineen sisältämä energiamäärä, kun polttoaine palaa täydellisesti ja poltosta syntyneiden savukaasujen vesihöyry lauhtuu ja luovuttaa höyrystymislämpöä vastaavan energian. Alemmalla lämpöarvolla kuvataan sitä energiamäärää, joka polttoaineesta vapautuu, kun poltosta vapautunut vesi pysyy vesihöyrynä, eikä sitä jäähdytetä. Standardin DIN 1942 mukaisesti Euroopassa hyötysuhteen laskemiseksi käytetään polttoaineen lämpöarvona alempaa lämpöarvoa. (Huhtinen 2004.)

#### 4.1 Suora menetelmä

Systeemin hyötysuhdetta määrittäessä tarkastellaan systeemiin siirtynyttä energian määrää ja siitä poistunutta energian määrää. Ensimmäisen termodynamiikan pääsääntön mukaisesti, energia ei häviä ja sisään menevän energian määrä on yhtä suuri ulos tulevan energian määrän kanssa. Ainoastaan energian muoto tai sen hyödyllisyys käyttäjälle voi vaihdella. Hyötysuhteen määrittämiseen voidaan käyttää kahta erilaista laskentamenetelmää. Näistä ensimmäinen on niin sanottu suora menetelmä. Tässä menetelmässä tarkastellaan hyötykäyttöön valjastetun energian määrää ja verrataan sitä syötettyyn energian määrään. Näin voidaan muodostaa suhde sille, kuinka paljon syötetystä energiasta päätyy tarkoitettuun käyttöön. (Huhtinen 2004.)

Tarkasteltaessa suoran menetelmän energiavirtoja todellisessa elämässä, esimerkiksi kotitalouslämmityskattilassa, pidetään kattilan polttoaineina toimivia energioita, kuten vaikka maakaasua ja sähköenergiaa, sisään tulevana energiana. Lämmityskattilan tehtävänä on luoda lämmintä käyttövettä ja lämmintä kiertovettä kiinteistön lämmitykseen. Toisin sanoen kaikki energia, joka siirtyy lämpimän käyttövedeen ja lämpimään kiertoveteen, ovat siirtyneet hyötykäyttöön. (Huhtinen 2004.)

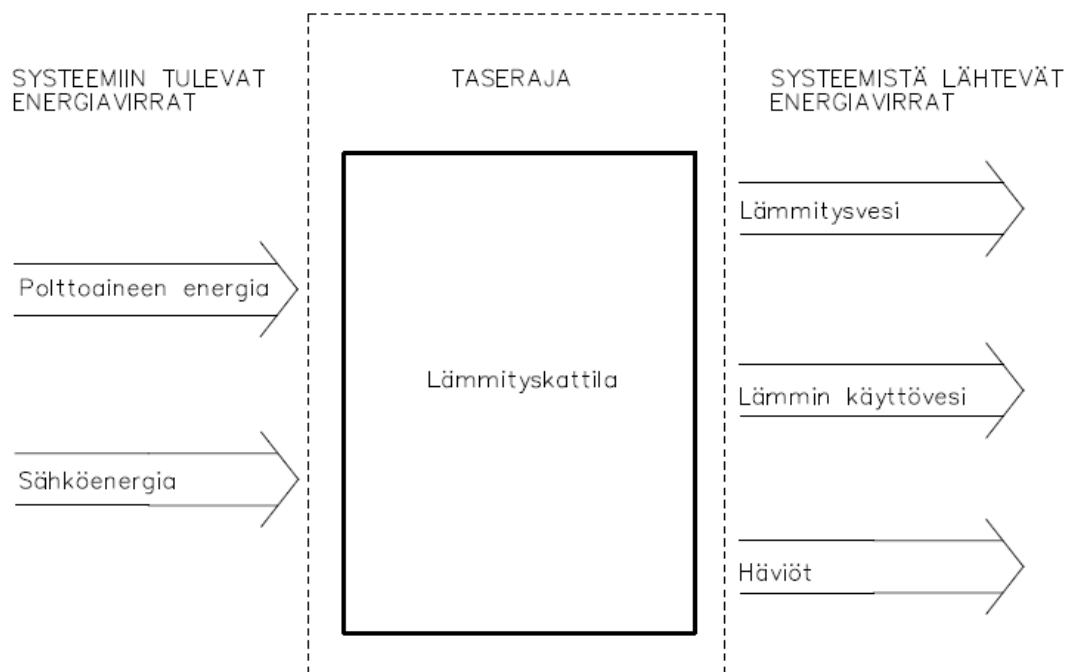
#### 4.2 Epäsuora menetelmä

Epäsuora menetelmä on toinen yleinen tapa tutkia systeemin hyötysuhdetta. Tässä menetelmässä tutkitaan suoran menetelmän tavoin systeemistä lähteviä ja siihen saapuvia energiamääriä. Erona suoraan menetelmään on se, että nyt ollaan kiinnostuneita energiasta, joka katoaa häviöiden mukana pois eikä näin päädy tarkoituksensa mukaiseen käyttöön. Kun systeemistä häviöiden mukana hävinneet energiat on selvitetty, verrataan sitä syötettyyn energiaan. Näin saadaan suhdeluku energialle, joka ei päätynyt hyötykäyttöön. Kun tämä suhdeluku vähennetään maksimi hyötysuhteesta, saadaan systeemin hyötysuhde. Tämä maksimihyötysuhde on yleensä 100 prosenttia. (Huhtinen 2004.)

Aikaisemman esimerkin mukaisesti häviöksi joutuneet energiavirrat tarkoittaisivat pääsääntöisesti savukaasuihin päätynyttä energiaa tai säteily- ja johtumishäviöitä kattilan pinnasta ympäristöön. Nämä tekijät muodostavat pääosan syntyvistä häviöistä. Sisään tulevat energiavirrat taas ovat vastaavat kuin suorassa menetelmässä, eli polttoaine ja kattilan vaatima sähköenergia. (Huhtinen 2004.)

### 4.3 Taseraja

Taserajalla tarkoitetaan niitä rajoja, jossa systeemiin tuleva ja siitä lähtevä energiavirta katsotaan olevan systeemissä. Hyötysuhdetta laskettaessa energiavirtoja tarkastellaan nimenomaan taserajojen kohdalta. Kattiloiden hyötysuhteessa taseraja usein määritetään niin, että kattila fyysisenä kappaleena toimii systeeminä ja sen reunat taserajana. Näin ollen syötetty polttoaine tuo energiaa systeemiin ja hyötykäyttöön saatu ja häviöihin mennyt energia taas ylittävät taserajan toiselta puolelta. (Huhtinen 2004.)



Kuva 8. Taseraja.

Taseraja tulisi aina määrittää tapauskohtaisesti ja sovitusta taserajasta tulisi ilmoittaa tulosten yhteydessä. Taseraja luonnollisesti kannattaa määrittää myös niin, että sen ylittävät energiavirrat pystytään jotenkin selvittämään, joko laskennallisesti tai mittaamalla. Erityisesti kotitalouksien lämmityskattiloissa säteily- ja johtumishäviöiden määrittäminen voi olla hankalaa, jos taseraja on määritetty kattilan pinnaksi. (Huhtinen 2004.)

#### 4.4 Hyötysuhteen määrittäminen laskennallisesti

Tässä työssä hyötysuhteet on selvitetty hyödyntämällä suoraa menetelmää, eli hyötysuhde muodostuu systeemiin sisään ja siitä hyödyksi saatavien energiavirtojen suhteesta. Sisään tulevat energiavirrat määritetään laskemalla systeemiin tulevien energiavirtojen energiasisältö. Systeemistä lähtevät energiavirrat määritetään taas tarkastelemalla energiamäärää, joka kattilasta saadaan hyötykäyttöön tai sitä energiamäärää, jonka kattila käyttää hyötykäyttöön menevän veden lämmittämiseen. Tässä työssä energiamäärät on esitetty tasoitettuna tehoina mittausajanjaksolle. Energian ja tehon suhde nähdään kaavasta 1.(Mäkelä 2005.)

$$Q = \frac{\phi}{t} \quad (1)$$

jossa	$Q$	lämpöenergia	[J]
	$\phi$	teho	[W]
	$t$	mittausajanjakso	[s]

##### 4.4.1 Energiavirrat

Kattilaan sisään menevät energiavirrat lasketaan huomioimalla polttoaineen energiasisältö ja syötetyn polttoaineen määrä kaavasta 2.(Mäkelä 2005.)

$$\phi_{pa} = q_{mpa} H \quad (2)$$

jossa	$\phi_{pa}$	maakaasun polttoaineteho	[W]
	$q_{mpa}$	maakaasun massavirta	[kg/s]
	$H$	maakaasun alempi lämpöarvo	[J/kg]

Toisessa tämän työn mittauskohteista käytetään maakaasun lisäksi toista energian lähdettä tehostamaan kattilan toimintaa, aurinkolämpöä. Tässä on kyseessä suljettu piiri, joka saa energiansa auringosta. Koska kyseessä on suljettu piiri, niin voimme laskea tämän piirin lämmitystehon hyödyntämällä piirissä liikkuvan nesteen sen hetkistä massavirtaa, lämpötilaeroa varaajan lämmönvaihtimen tulon ja lähdön puolella, sekä aurinkopiirinesteen ominaislämpökapasiteettia. (Mäkelä 2005.)

$$\Phi_{au} = q_{mau} c_{pau} \Delta T_1 \quad (3)$$

jossa	$\Phi_{au}$	aurinkopiiristä saatava lämmitysteho	[W]
	$q_{mau}$	aurinkopiirinesteen massavirta	[kg/s]
	$c_{pau}$	aurinkopiirinesteen (Tyfocor LS) ominaislämpökapasiteetti	[J/kg°C]
	$\Delta T_1$	aurinkopiirinesteen lämpötilaero ennen ja jälkeen lämminvesivaraajan lämmönvaihtimen	[°C]

Kattilasta lähtevät energiavirrat taas määritetään veden lämpötilaeroja ja massavirtaa hyödyntäen. Kattilasta lähtevät energiavirrat jakautuvat kahteen päävirtaan. Toinen sioutuu lämmitysveteen ja toinen käyttöveteen. Laskentakaavat eivät itsessään näiden kahden välillä eroa, mutta periaateajatus eroaa jonkin verran. Lämmitysveteen mennyt energia voidaan määrittää kaavalla 4. (Mäkelä 2005.)

$$\Phi_{lv} = q_{mlv} c_p \Delta T_2 \quad (4)$$

jossa	$\Phi_{lv}$	lämmitysveden lämmittämiseen kulunut teho	[kg]
	$q_{mlv}$	lämmitysveden massavirta	[kg/s]
	$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti	[J/kg°C]
	$\Delta T_2$	kiertoon lähtevän ja sieltä palaavan veden lämpötilaero	[°C]

Sen sijaan käyttöveden lämmittämiseen mennyt teho määritetään kaavalla 5. (Mäkelä 2005.)

$$\Phi_{kv} = q_{mkv} c_p \Delta T_3 \quad (5)$$

jossa	$\Phi_{kv}$	käyttöveden lämmittämiseen kulunut teho	[W]
	$q_{mkv}$	käyttöveden massavirta	[kg/s]
	$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti	[J/kg°C]
	$\Delta T_3$	lähtevän lämmitysveden ja systeemiin tulevan syöttöveden lämpötilaero	[°C]

#### 4.4.2 Hyötysuhde

Polttoaineiden joukkoon tulee tässä vaiheessa lisätä vielä kattilan ottama sähkö, joka saadaan mittaamalla. Kun systeemin energiavirrat ovat selvillä, voidaan hyötysuhde määrittää sijoittamalla edellä saadut tulokset kaavaan 6. Tapauksessa, jossa lämmityskattilaan ei ole kytketty aurinkopiiriä, jätetään auringon tuoman tehon nolaksi. (Mäkelä 2005.)

$$\eta = \frac{\Phi_{lv} + \Phi_{kv}}{\Phi_{pa} + \Phi_{au} + \Phi_{sä}} \quad (6)$$

jossa	$\eta$	systeemin hyötysuhde	
	$\Phi_{sä}$	kattilan ottama sähköteho	[W]

## 5 KATTILOIDEN ESITTELY JA MITTAUKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kattiloiden hyötysuhdetta maakaasukäyttöisillä kondenssikattiloilla. Mittauskohteiksi tähän työhön oli valittu GVR140 ja OECodens malliset kondenssikattilat. Mittauskohteista mielenkiintoisia tekee se, että kyseessä ei ole laboratorio-olosuhteissa suoritettavat mittaukset, vaan jokapäiväisessä arkikäytössä olevat kattilat. Hyötysuhdelaskennan tuloksellisena tavoitteena olikin selvittää tämän kaltaisessa käytössä olevien kattiloiden hyötysuhteet. Laboratorio-

olosuhteissa ja todellisessa käytössä olevien kattiloiden tekniset toteutukset eroavat toisistaan jonkin verran. Arkikäytössä olevissa kattiloissa on muun muassa useita tausekohtaisia sovellusratkaisuja, joita laboratoriomittauksissa ei ole järkevää toteuttaa.

Toisessa tässä työssä tarkasteltavista kohteista käytetään Oertlin valmistamaa GVR140 kondenssikattilaa. Polttoaineena kattila käyttää maakaasua. Kattilassa on noin 130 litran lämminvesivaraaja. GVR140 on suhteellisen pienikokoinen kiinteistön lämmitysjärjestelmä, sillä kattila-varaaja-yhdistelmä vie lattiapinta-alaa noin 0,5 m<sup>2</sup> ja painoa tälle pakettile kertyy noin 150 kg. Lämmitysohjelmalla 40/30 °C kattilalle on ilmoitettu nimellishyötysuhteeksi 109 %. Suuri hyötysuhde kattilassa saavutetaan hyödyntämällä savukaasuja lämmitysveden esilämmitykseen ja hyödyntämällä kattilan laajaa modulointialuetta. Tällä tarkoitetaan sitä, että kattilan lämmitysteho voi vaihdella tarpeen mukaan 4,2 - 24,5 kW alueella. Tämä takaa sen, että ylimääräistä lämpöä tuotetaan mahdollisimman vähän tai ei ollenkaan. (Gasum Oy 2012.)

GVR140 kattilaan on mahdollista yhdistää sovellus, joka kierrättää lämmintä käyttövedettä lähelle käyttöpistettä. Näin pystytään takaamaan lämpimän käyttöveden nopea saatavuus. GVR140 kattilajärjestelmä sisältää myös kattilan ohjausjärjestelmän, joka ajaa kattilaa lähtevän ja palaavan lämmitysveden lämpötilan mukaan. Lämpötilaohjelman lämpötilat voidaan asettaa käyttäjän tarpeille sopiviksi. (Mielonen 2014.)



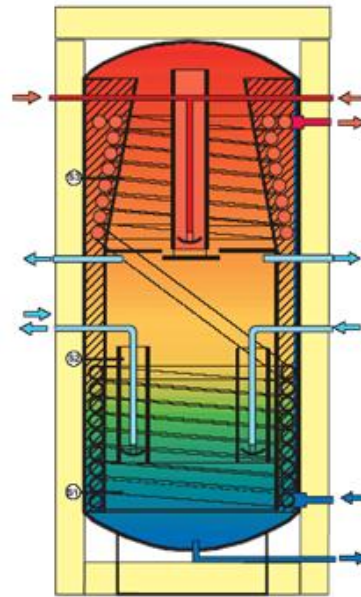
Kuva 9. GVR140 kattila ja lämmityskeskus.

OECodens on Oertlin valmistama maakaasukäyttöinen kondenssikattila. Kattilaan on lisätty mahdollisuus lisätä mukaan aurinkopiiri, jonka avulla pystytään hyödyntämään auringosta saatavaa energiaa kotitalouden lämmityksen ja lämminvesitarpeiden vastaamiseen. Kattila on lähtökohtaisesti suunniteltu tätä mahdollisuutta varten. OECodens on siis niin sanottu hybridikattila, jossa auringosta talteen saatava energia ja maakaasu toimivat rinnakkain. Kattilassa on suuri 470 litran vesitilavuus. Tätä tilavuutta käytetään kattilan lämminvesivaraajana. Kattila sisältää myös kattilan ohjausjärjestelmän ja ei tarvitse erillistä automatiikkaa ohjaamaan kattilan toimintaa. Lämmitysohjelmalla 40/30 °C OECodens kattilan nimellishyötysuhde on 109 %. (Oertli Thermique S.A.S. 2012.)

Lämminvesivaraajan suuri tilavuus auttaa säilömään aurinkopiiristä saatavaa lämpöä. Tämä perustuu siihen, että parhaimmillaan aurinkopiiri tuo jatkuvasti lämpöä lämminvesivaraajaan, vaikka tarvetta lämpimälle käyttövedelle olisi harvemmin. Varaajan suureen vesitilavuuteen pystytään varaamaan paljon lämpöenergiaa, näin parantaen aurinkopiiristä saatavaa hyötyä. Tämän kattilan tapauksessa kondenssi-ilmiötä hyödynnetään lämmitysveden esilämmittämiseen. Savukaasut ohjataan erilliseen lämmönvaihtimeen, joka esilämmittää lämmitysvettä, näin vähentäen polttoaineen kuluusta. OECodens kattilajärjestelmään on myös integroitu mahdollisuus ylläpitää lämpimän käyttöveden kiertoa, jossa lämmintä käyttövettä tuodaan lähemmäs käyttöpisteitä. Mikäli käyttö ei sillä hetkellä ole, vesi palautetaan takaisin varaajaan. Koska OECodens kattilassa on suuri lämminvesivaraaja, niin varaajan vettä lämmittäessä varaajan veteen syntyy selviä lämpötilaeroja. Tällöin kattilan yläpäässä vesi on kuuminta ja alapäässä kylmintä. Varaajassa on tällöin neljä päälämpöaluetta. Kuvan 8 mukaisesti näemme, että alueilta 1 ja 2 otetaan lämmintä käyttövettä. Alueelta 3 otetaan tarvittaessa kiinteistön lämmitykseen tarvittavaa vettä ja pohjalta, alueelta 4, tarvittaessa kylmää vettä. (Mielonen 2014.)

### principle of the four heat areas

-  ● Area 1: domestic hot water standby area
-  ● Area 2: domestic hot water area
-  ● Area 3: space heating standby area
-  ● Area 4: cold water standby area



Kuva 10. OECodens kattilan varaajan lämpöalueet. (Gasum Oy 2014.)



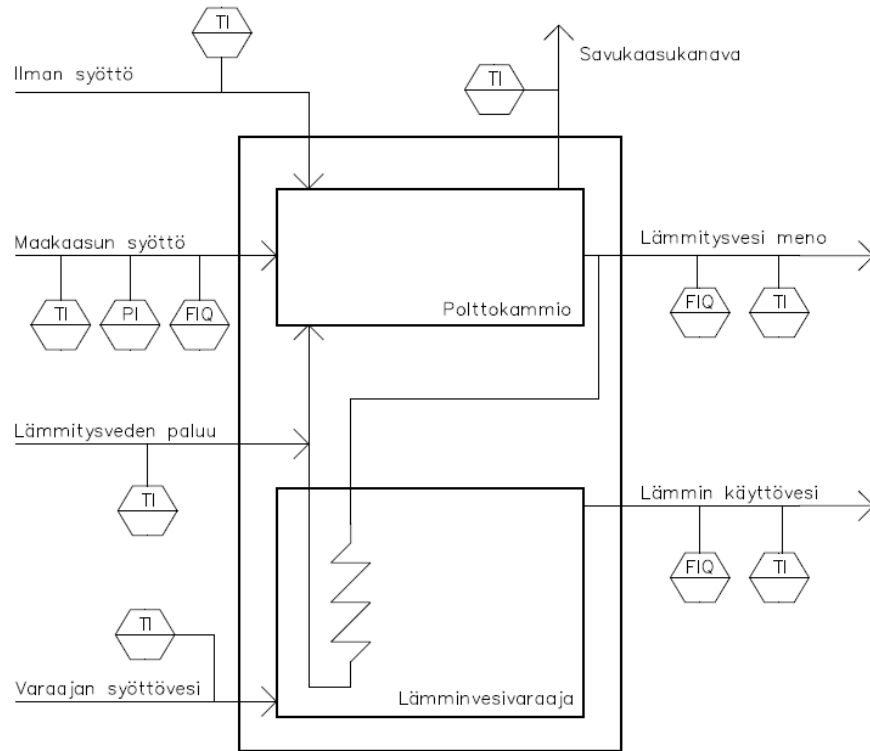
Kuva 11. OECodens lämmityskattila.

## 5.1 Asennetut mittaukset

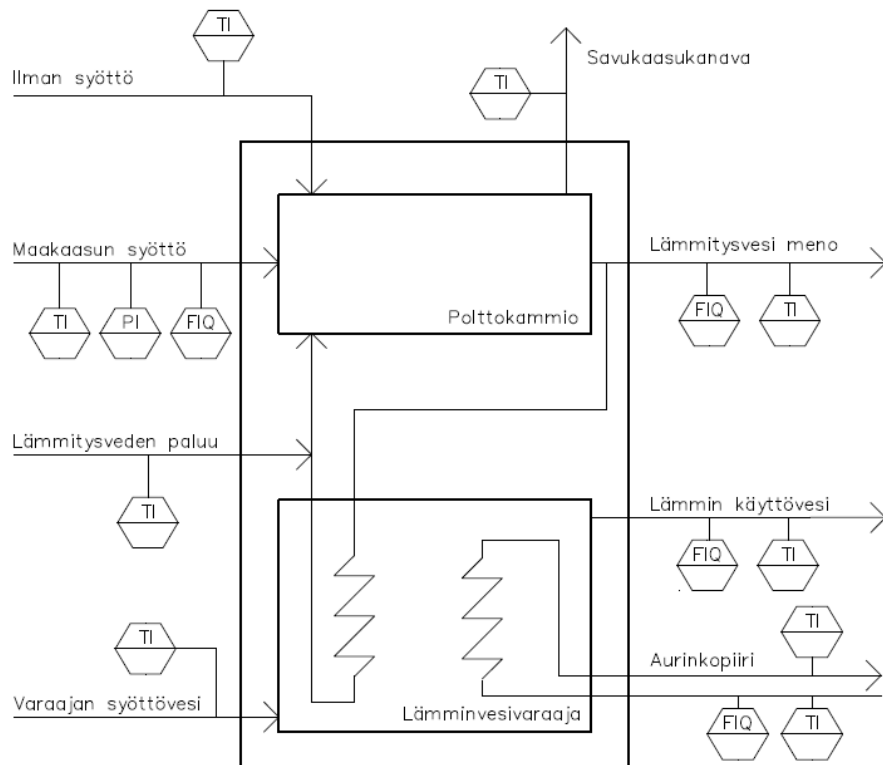
Työn päätarkoituksena on määrittää kondenssikattiloiden hyötysuhteet. Hyötysuhteella tarkoitetaan anto- ja ottoenergioiden keskinäistä suhdetta. Koska on mahdotonta suoraan mitata systeemin hyötysuhdetta, niin on käytettävä apumittauksia. Näiden mittausten avulla voidaan laskennallisesti määrittää systeemille hyötysuhde. Hyötysuhteen määritelmästä voidaan purkaa termejä ja näin selvittää yksittäisiä tekijöitä, joita pystytään mittaamaan perinteisin keinoin. Energian määrä voidaan kuvata ajanjaksolle tehona ja teho pystytään laskemaan aineenvirtauksille käyttämällä mitattavia suureita ja vakioita. Toisin sanoen, jos kaikille systeemistä lähteille ja sinne tuleville virtauksille määritetään keskimääräinen teho, niin pystytään määrittämään hyötysuhde.

Voidaan ajatella, että yksittäiset mittaukset toimivat hyötysuhteen rakennuspalikoina. Työssä tarkoituksena on kuitenkin suorittaa jatkuvaa mittausdataa. Toisin sanoen kattilapiireistä kerätään jatkuvasti mittausdataa. Dataa kerätään mittauksista tietyn ajanjakson välein, eli mittarista saadaan tietyllä ajanhetkellä mittarissa sillä hetkellä olevan lukeman. Ajanjaksoksi työn molemmissa mittauskohteissa valikoitui 2 minuuttia. Mittausaikaväli valittiin tämän pituiseksi, jotta mittausdataa saataisiin mahdollisimman usein. Tällä välillä pystyttiin myös pitämään tietojenkäsittely suhteellisen helppona. Valittu mittausväli takaa myös sen, että suljetuissa piireissä saadaan tiettyä tilannetta vastaavat mittaustulokset.

GVR140 mittauskohteessa hyötysuhteeseen vaikuttaa neljä eri energiavirtaamaa. Maakaasun syöttö ja sähkönsyöttö tuovat kattilaan energiaa ja kiertovesipiiri ja käyttövesipiiri vievät kattilasta energiaa hyötykäyttöä varten. OECodens kattilassa sisältää samat energiavirtaamat, mutta kattilaan syötetään energiaa myös aurinkolämmön avulla. Mittaamalla eri arvoja energiavirtauksista voidaan määrittää kuinka paljon energiaa mittauspisteen ohi on kulkeutunut.



Kuva 12. Periaatekuva kohteen GVR140 mittauksista.



Kuva 13. Periaatekuvakohteen OECodens mittauksista.

Molemmissa kattiloissa pääasiallisena polttoaineena toimii maakaasu. Maakaasun polttoaineteho voidaan määrittää, kun tiedetään maakaasun lämpöarvo ja massavirta. Massavirta voidaan selvittää tilavuusvirran ja tiheyden avulla. Maakaasu toimitetaan jakeluverkkoa myöten käyttöpisteeseen paineistettuna ja tietyssä lämpötilassa. Laskennassa käytetään kuitenkin maakaasun arvoja normaalilämpötilassa ja normaalipaineessa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että lämpötila olisi 0 °C ja 1 bar ylipainetta. Maakaasun toimitus paine ja lämpötila eivät kuitenkaan vastaa normaaliarvoja, joten toimitettavan maakaasun lämpötila, paine ja virtaama on mittava. Näiden mittaustulosten avulla voidaan määrittää maakaasun kulutuksen normaaliarvot, joita voidaan hyödyntää laskennassa. Tämän työn mittauskohteissa maakaasun määrä normalisoidaan Cubes&Tubesin GVC 2010 määrämuuntimella. Laskennassa hyödynnetään suoraan tätä normalisoitua maakaasun kulutuslukemaa.

Molemmat kattiloista tarvitsevat myös sähköenergiaa. Tällä energialla ylläpidetään kattilan automatiikkaa ja lämmitysjärjestelmän toimilaitteita. Tällainen toimilaitte on muun muassa lämmitysveden lämpötilaa säätävä suuntaventtiili, jonka avulla lämpimään kiertoveteen sekoitetaan kierrosta palaavaa kylmää vettä. Koska kattilan ei voida katsoa toimivan ilman automatiikkaa ja toimilaitteita, on niiden vaatima energia syytä huomioida laskennassa. Sähköenergian mittaukseen työssä on käytetty Christ Elektronikin valmistamaa CLM mallista sähkömittaria.

OECodens kattilassa systeemin tuodaan energiaa vielä aurinkopiirin kautta. Kyseessä on suljettu piiri, jossa kulkee lämmönsiirtonestettä. Nesteeseen sitoutetaan energiaa aurinkokeräimissä ja se luovuttaa tätä energiaa kattilan lämminvesivaraajassa lämmönvaihtimen kautta. Sen lämpöenergian mittaamisen, joka aurinkopiiristä jää varaajaan tarvitaan lämpötila-anturi varaajan syöttö- ja lähtöpuolelle. Näin pystytään määrittämään, kuinka monta astetta neste jäähtyi varaajan lämmönvaihtimessa. Toinen aurinkopiirin tuoman energiavirran selvitykseen tarvittava tieto on tilavuusvirtaus. Koska suurempaan määrään nestettä voi sitoutua enemmän energiaa, niin on tärkeää tietää kuinka paljon lämmönsiirtonestettä piirissä milläkin hetkellä liikkuu. Näiden mittausten avulla pystymme määrittämään aurinkopiirin tuoman kokonaisenergian.

Systeemistä ulos suuntaavia virtauksia ovat kiinteistön lämmitysvesi ja lämmin käyttövesi. Nämä piirit toimivat molempien kattiloiden välillä yksi yhteen mittaustekniseltä kannalta katsottuna. Lämmitysveden lämpötilaa mitataan kattilan tulo- ja lähtölin-

jasta. Näin ollen on mahdollista määrittää se lämpötila-aste määrä, jonka piirissä kulkeva vesi jäähtyi kierron aikana. Kuten aurinkopiirissä lämmönsiirtonesteellä, niin myös tässä piirissä vedelle on määritettävä virtausmittaus, jotta pystytään selvittämään kuinka paljon vettä piirissä milläkin hetkellä liikkuu. Tämän piirin mittaukset eivät poikkea toisistaan kattiloiden välillä.

Lämpimän käyttöveden mukana hyötykäyttöön menevää energiavirtaa mitataan hyvin samankaltaisesti kuin lämmitysvettäkin. Lämpötila-anturit on kuitenkin asennettu varaajan lähtö- ja syöttölinjaan. Tämä johtuu siitä, että normaalikäytössä käyttövesipiiri ei ole suljettu piiri vaan vesi poistuu piiristä käytön yhteydessä. Syöttövesi varaajaan otetaan vesiverkosta. Tämä muuttaa hieman ajattelumallia ja käyttöveden osalta mitataan lämpötila-asteita, jonka veden lämpötila nousee lämminvesivaraajassa. Virtausmittaus on kuitenkin edellisten tapausten tapaan pakollinen osa mittauksia myös tässä piirissä. Lämpimän käyttöveden mittausten osalta kattilat eivät erkane toisistaan.

## 5.2 Mittausdatan kerääminen ja siirtäminen

Mittausten avulla pystytään selvittämään kaikki tarvittavat tiedot kattilajärjestelmän toiminnasta. Niiden avulla voi selvittää lämpimän käyttöveden kokonaiskulutuksen tai sen lämpötilan tietyllä ajan hetkellä. Tarkoituksena on kuitenkin selvittää kattilajärjestelmän hyötysuhde. Yksittäisillä mittauksilla tätä ei voi suoraan saavuttaa. Mittausdata onkin kerättävä ja koottava suuremmiksi kokonaisuuksiksi, jossa on kaikki kattilajärjestelmän mittausanturien tiedot useilta eri ajan hetkiltä. Tämän saavuttamiseksi työssä on käytetty erillistä automaatiojärjestelmää. Sen tehtävänä on kerätä mittausdata tietyin aikaväleihin ja tallentaa sen taulukkomuotoon. Tallennettuaan taulukon, erillinen internetin ja automaatiojärjestelmän yhdistävä palvelin lähettää tiedot sähköpostiin. Sähköpostista mittausdatatiedostot siirretään laskennan käyttöön. (Ouman Oy 2012.)

Mittausdataa kerääväksi automaatiojärjestelmäksi työhön valikoitui Oumanin valmistama Ouman 686 ohjausyksikkö. Tämän työn kohteiden molemmissa kondenssikattiloissa on oma sisäänrakennettu automaatiojärjestelmä kattilan ohjausta varten, joten Ouman 686 asennetaan vain mittausdatan keräämistä varten, eikä sillä ole kattilan ohjaamiseen kuuluvia tehtäviä. Hyötysuhteen selvittämiseen tarvittavat mittalaitteet kiinnitetään Ouman 686 yksikköön mittalaitteiden omilla liittimillä. Ohjelmallisesti tähän ohjausyksikköön asennetaan mittalaitteille nimet ja mahdollisesti tarvittavat laskennalliset kertoimet, samoin kuin alkulukemat. Ohjausyksikön kautta tehdään myös

datan keräämisen liittyvät asetukset, kuten mittausaikaväli. Yksi Ouman 686 yksikkö voi ottaa vastaan enintään kahdeksan mittalaitteen tietoja. Tässä työssä molemmissa kohteissa on enemmän kuin kahdeksan mittausa, joten kummassakin kohteessa mittatietoja kerätään kahdella Ouman 686 yksiköllä. (Ouman Oy 2010.)

Datan siirtämiseen käytetään myös Oumanin valmistamaa EH-net palvelinta. Se on alun perin luotu linkiksi internetin ja automaatiojärjestelmän välille. Tällä tavalla internetin välityksellä pystytään hallitsemaan ja valvomaan muun muassa kiinteistön lämmitystä tai vaikkapa ovilukitusta. Tässä työssä EH-net palvelinta käytetään kuitenkin vain mittausdatan siirtämiseen internetin yli laskentaa varten. EH-net lähettää mittausdatatiedoston kerran päivässä määritettyyn sähköpostiin. Sähköpostista tämä tiedosto siirretään Gasumin verkkoon. (Ouman Oy 2012.)



Kuva 14 ja 15. Kuvissa GVR140 kohteen kaksi Ouman 686 yksikköä ja EH-net yksikkö.

## 6 MITTAUSTULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Opinnäytetyön yritykselle suoritettavaan työvaiheeseen oli asetettu kaksi päätavoitetta. Kondenssikattiloiden hyötysuhteen selvittäminen ja laskennan tekeminen, jolla kattiloiden hyötysuhteen pystytään myös tulevaisuudessa selvittämään. (Mielonen 2013.) Työn alusta asti oli selvää, että nämä kaksi tavoitetta tulisi nitoa yhteen ja valmistaa

laskentasovellus, joka selvittää tämän hetkisen hyötysuhteen ja pystyy selvittämään sen myös jatkossa.

Yrityksen puolelta oli otettu jo ensi askeleita laskennan toteuttamista varten. Samalla oli syntynyt jonkinlainen visio, siitä mitä sen tulisi lopulta valmiina tehdä. Tarkoituksena oli siis valmistaa laskenta, joka mahdollisimman helppokäyttöisesti selvittää hyötysuhteen päivittäisistä mittauslokeista. Sen lisäksi laskennan tulisi hyötysuhteen ja muiden keskeisimpien tietojen lisäksi ilmoittaa muita kurioositeettitietoja muun muassa lämpimän käyttöveden todellinen kuluma ja savukaasuihin hukattu energian määrä. (Mielonen 2013.)

Ensimmäisiä mittausdatatiedostoja saatiin jo toisesta kohteesta. Nämä mittausdata tiedostot saapuivat sähköpostin kautta ja ne oli tallennettu taulukkomuotoon. Microsoft Excel valikoitui näin luonnollisesti pohjaohjelmaksi, jolle tämä laskenta tulitisiin tekemään. Tiedonsiirtotyyppi oli jo valittu aiemmin eikä siihen näin ollut syytä puuttua. Tiedon tallennustilana tulitisiin pitämään yrityksen sisäistä verkkoa.

## 6.1 Laskennan tarkoitus ja lähtökohdat

Microsoft Excel oli luonnollinen vaihtoehto pohjaohjelmaksi, jolle laskenta tulitisiin tekemään. Sillä ensinäkkin pystyi suoraan tulkitsemaan mittausdatatietoja, joka oli tärkeä seikka yleiseen helppokäyttöisyyteen pyrkiessä. Toinen tärkeä huomio pyrkiessä helppokäyttöisyyteen oli myös se, että Excel itsessään on erittäin helppo käyttää ja samalla jokseenkin tunnettu ohjelma alalla. Osittain näistä syistä johtuen on vaikea löytää ongelmaa, jota joku ei olisi vielä ehtinyt ratkaista. Tämän vuoksi apua laskennan tekemiseen olikin aina tarjolla ylen määrin.

Kun suoritettava ohjelma oli valittu, aloitettiin mittausdatan tarkastelu. Työssä mitattiin kahta toisistaan poikkeavan kondenssikattilan tietoja. Kattilat poikkeavat toisistaan perusrakenteiltaan jonkin verran, mutta mittauspisteet molemmissa kohteissa ovat pääpiirteittäin samat. Molemmissa kattiloissa mitattiin käyttöveden ja lämmitysveden lämpötilaeroja meno- ja paluupuolella sekä virtaamaa. Tämän lisäksi mitattiin kattilaan menevän maakaasun ja sähköenergian määrää. Toisessa kattiloista mitattiin myös virtaamaa ja meno- ja paluupuolen lämpötilaeroa aurinkopiirissä. Nämä olivat kattiloissa olevat päämittaukset hyötysuhteiden selvittämiseksi. Molempiin kattiloista kuu-

lui myös muita mittauksia, joiden avulla laskettiin kuriositeettitietoja. Tällaisia olivat esimerkiksi savukaasujen mukana hävinnyt energia.

Laskennan lopullisena tavoitteena oli siis saada aikaiseksi sovellus, joka puoliautomaattisesti kerää mittausdatan ja jalostaa sen muotoon, jonka pohjalta sovellus laskee hyötysuhteen ja muita tarpeellisia tai mielenkiintoisia tietoja lämmityskeskuksen toiminnasta. Suurimpia haasteita laskennan tekemiselle tulisi olemaan yksittäisten mittausdatatiedostojen saattaminen yksittäiseen laskentaan automaattisesti niin, että itse laskeminen voitaisiin toteuttaa. Tässä kaikessa kuitenkin auttoi hyvin valittu pohjaohjelma, Microsoft Excel, jolle sovellus tultaisiin tekemään. Kaikki tiedostojen siirtäminen ja yhdistäminen pystyttiin toteuttamaan VBA (Visual Basic for Applications) makrojen avulla. Näin pystyttiin takaamaan, että sovellus pysyisi helposti käytettävänä sen rakenteeseen perehtymättömällekin käyttäjälle. Itse laskutoimitukset tulisivat onnistumaan Excelin kattavilla perustoiminnoilla. (Mielonen 2013.)

## 6.2 Laskennan periaatteet

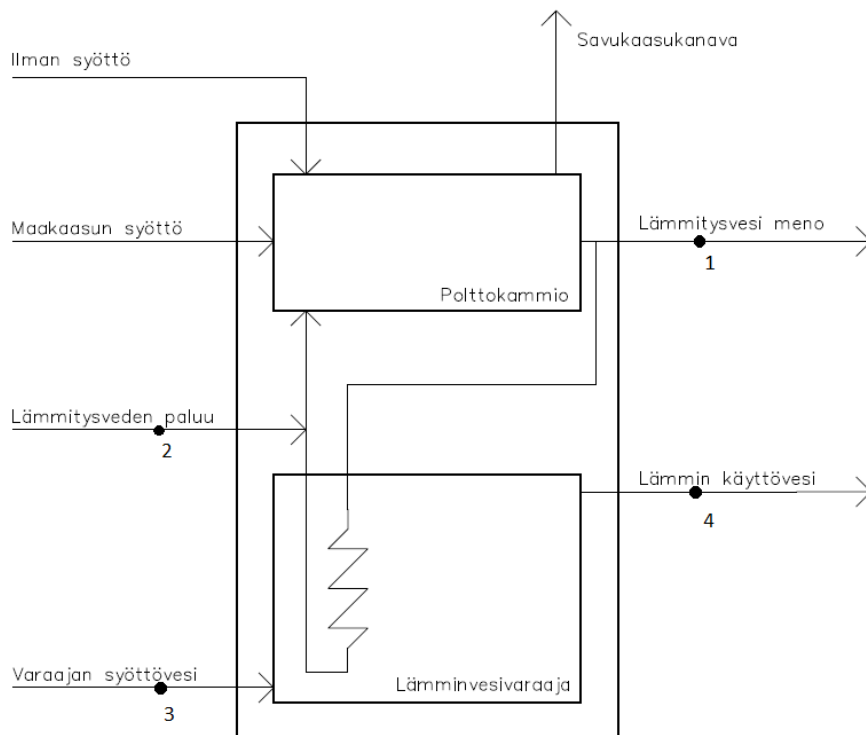
Laskentasovellusta tehtäessä turvauduttiin usein erinäisiin laskennallisiin ja muihin soveltaviin ratkaisuihin hyötysuhdetta selvittäessä. Tämä johtui pääsääntöisesti siitä, että mittauspisteet olivat normaaleissa asuinkäytöissä olevia kohteita. Tämän lisäksi yksittäisten mittausten mittauspisteet oli pääsääntöisesti jo valittu. Tämä johti siihen, että mittauskohteissa pystyi suorittamaan vain välttämättömimmät asumiseen vaikuttavasta testauksista, koska suurin osa näistä häiritsi normaalielämää. Mittauskohteisiin oli myös asennettu joitakin niin sanottuja mukavuuslisäyksiä, joilla pystyttiin vähentämään asunnon vedenkulutusta ja helpottamaan arkielämää. Lähes yhtä pääsääntöisesti näiden tehtävänä tuntui olevan hyötysuhteen selvittämisen vaikeuttaminen. Tässä luvussa onkin tarkoituksena käsitellä yksityiskohtaisemmin laskennan toimintaa sen eri osiossa ja esitellä erinäisiä ratkaisuja ja kiertoteitä tulosten selvittämiseksi.

### 6.2.1 Kiertovesi

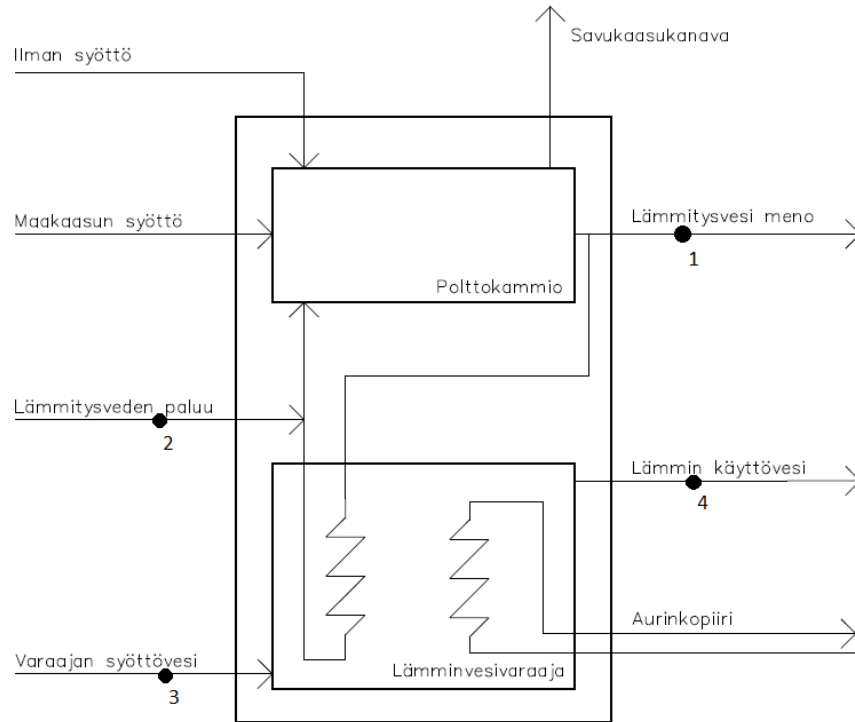
Kiertovesi on vettä, jota käytetään kiinteistön lämmittämiseen. Vesi lämmitetään kattilassa sopivaan lämpötilaan ja johdetaan kiinteistön sisäiseen lämmitysverkkoon. Tämän työn mittauskohteissa molemmissa sijaitti kaksi toisistaan erillistä lämmitysverkkoa. Näitä verkkoja kutsuttiin nimillä A ja B -piiri. Lämmitysverkot poikkesivat toi-

sistaan lämmityskohteiltaan. B-piirin tehtävänä oli lämmittää asuintiloja ja A-piirin tarkoituksena muita kuivia tiloja, kuten autotallia.

Kiertovedestä mitattiin kattilasta lähtevän veden lämpötilaa ja virtaamaa kuvan 16 ja 17 pisteestä yksi (1). Lähtevä vesi jakautuu tämän mittauspisteen jälkeen kahteen erilliseen lämmitysverkkoon. Lämmitysverkkojen paluu puolella piirit A ja B yhdistyvät ja kiertovesi johdetaan takaisin kattilaan. Kuvissa 16 ja 17 pisteen kaksi (2) kohdalta mitataan kiertoveden paluulämpötilaa.



Kuva 16. GVR140 kattilan periaatekuva.



Kuva 17. OECodens kattilan periaatekuva.

Molemmista kattiloista kirjataan kahden minuutin välein mittaustietoja. Näin ollen saadaan kiinteistöjen lämmitysverkoissa sillä hetkellä läpi kulkeneen virtaaman ja lähtö- sekä paluupuolen lämpötilat. Koska lämmitysverkossa ei tapahdu merkittäviä häviöitä ja paine lämmitysverkossa pysyy vakiona, niin voidaan todeta, että lähtevän ja palaavan veden tilavuusvirrat ovat tietyillä ajanhetkillä samat. Tiedettäessä veden lämpötilat lähtö- ja paluupuolella, voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella veden tiheys ja tämän avulla veden massavirta. Kokonaisuudessaan kiertovesipiiri on suljettu verkko, jossa kiertoveteen sitoutetaan energiaa kattilassa ja lämmitettävissä tiloissa tämä energia luovutetaan ympäristöön. Näin ollen voidaan todeta, että kiertovedestä hyödyksi saatu teho pystytään laskemaan kaavalla 4.

$$\dot{Q}_{lv} = q_{mlv} c_p \Delta T_2 \quad (4)$$

Lämmitykseen kulunut teho voidaan selvittää ensin laskemalla kokonaismassavirta ja keskimääräinen lämpötilaero. Kokonaismassavirta voidaan selvittää kertomalla keskimääräinen veden tiheys ja kokonaistilavuusvirta keskenään. On kuitenkin huomattava, että piirissä kulkeva tilavuusvirta ei ole pidemmällä ajalla vakio. Suurempi vesi-

määrä luovuttaa myös enemmän energiaa, vaikka sen lämpötilan muutos pysyisikin samana. On kuitenkin mahdollista määrittää lämpötilaerolle painotettu keskiarvo käyttämällä sen ajanhetken virtaamaa painotuskertoimena. Näin voidaan huomioida lämpötilaeroissa virtaaman muutokset ja poistaa laskennasta nollavirtausten aikana olleet lämpötilaerot. Käyttämällä lämpötilaeron painotettua keskiarvoa kaavassa 2 ja kertomalla se veden ominaislämpökapasiteetin ja veden kokonaismassavirralla saadaan mittausajalle tasoitettu teho. Kyseessä on siis kuviteltu vakioteho, joka mittausajalla vastaa samaa energiamäärää, kun todellisuudessa kiertovedestä on saatu hyödynnettyä.

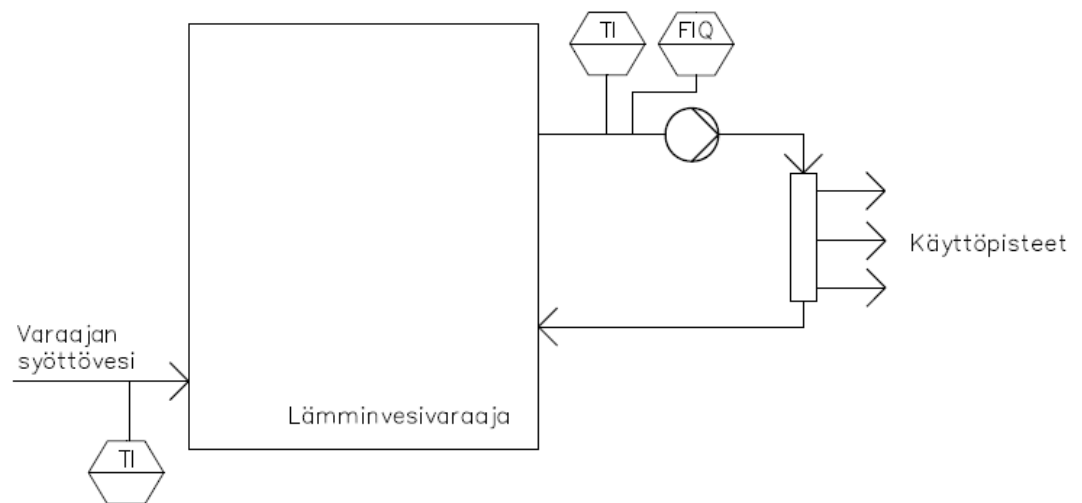
### 6.2.2 Käyttövesi

Tämän työn lämmityspisteissä kattiloita käytettiin kahteen tarkoitukseen, kiertoveden ja käyttöveden lämmittämiseen. Tavalliselle asukkaalle näistä käyttövesi lienee huomattavasti tutumpi. Käyttövedellä tarkoitetaan vettä, joka tulee asukkaan käyttöön vaikkapa vesihanasta tai suihkusta. Ajoittain kotitalouksissa on myös käyttöä lämpimälle käyttövedelle ja tämän lämpimän käyttöveden lämmitys tapahtuu kattiloiden lämminvesivaraajissa. Kiertovedestä poiketen käyttöveden vesipiiri ei ole suljettu piiri, vaan käytön jälkeen vesi poistuu piiristä. Näin ollen kattilan tulee lämmittää vesiverkosta otettua vettä. Koska käytetty vesi ei palaa systeemiin, niin ei ole mahdollista määrittää hyödyksi saatua energiamäärää suoraan kiertoveden tapaan. Näin ollen on tehtävä oletus, että kaikki energia, joka on mennyt käyttöveden lämmitykseen, on mennyt hyötykäyttöön.

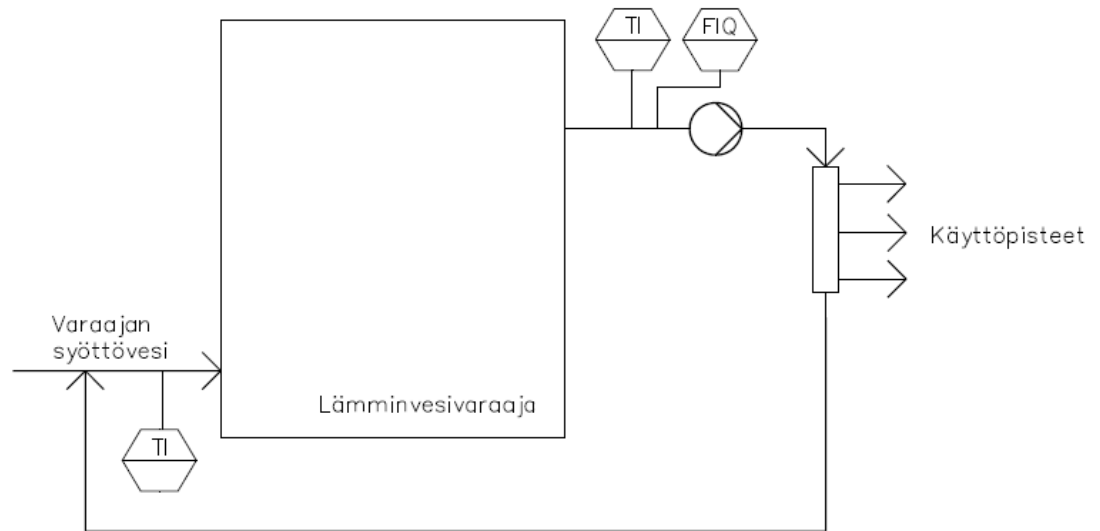
Kiertovedestä poiketen, käyttövedestä ei mitata verkkoon jäänyttä energian määrää, vaan käyttöveden lämmittämiseen kulunutta energiaa. Mittauspisteittäin tämä näyttää kuitenkin hyvin samankaltaiselta kuin kiertovesipiiri. Lämminvesivaraajaan syötetään vesiverkosta vettä, jonka lämpötila mitataan, kuvissa 16 ja 17 pisteestä kolme (3). Samalla mitataan varaajasta lähtevän käyttöveden lämpötilaa ja tilavuusvirtausta samojen kuvien pisteistä neljä (4).

Käyttövedelle käytetään kaavaa 3 määrittämän käyttöveden lämmitykseen mittausajalle kuluneen tasoitettu teho. Kuten edellä on tullut mainittua molempiin lämmitysjärjestelmiin, on asennettu niin sanottuja mukavuuslisäyksiä. Yksi tällainen lisäys on lämpimän käyttöveden kierto. Tämä kierto toteutetaan ottamalla lämminvesivaraajasta lämmintä vettä ja viemällä se jakotukkiin lähemmäs käyttöveden käyttöpiiristä kuten

suihkua. Jos käyttöpisteessä ei ole käyttöä lämpimälle käyttövedelle, se johdetaan takaisin lämminvesivaraajaan. Itse toteutus tämän työn kattiloiden välillä eroaa hieman toisistaan. GVR140 kohteessa lämpimän käyttöveden kierto palaa suoraan varaajaan. Tämä johtaa siihen, että kierron aikana mitataan lähtevän veden lämpötila ja virtaama, muttei mitään tietoa varaajaan palaavasta vedestä. Kuvassa 18 esitetään GVR140 kohteen lämminvesikierron toiminta kuvana. OECodens lämmityskohteessa, kuva 19, toimitaan edellistä vastaavasti, paitsi lämminvesikierron paluu ohjataan lämminvesivaraajan syöttölinjaan. Tällöin lämmin käyttövesikierto vaikuttaa syöttöveden lämpötilamittaukseen. Molemmat tapaukset aiheuttavat harmia hyötysuhdelaskennalle, sillä on mahdotonta todeta vesimäärä, joka poistuu kierrosta käyttökohteesta tai vesimäärää, joka palaa lämminvesivaraajaan. Jatkuva vesivirtaus ja varaajan palaava vesi sotkee myös ajatuksen, jossa käytettäisiin painokerrointa lämpötilaeron sen hetkellä virtaamalla. Molempia kohteita varten luotiin oma tilanteelle räätälöity kiertotie, jonka avulla määritetään tarpeeksi tarkka arvio käyttöveden suureista, tehon määritystä varten.



Kuva 18. Kohteen GVR140 lämpimän käyttöveden kierto.



Kuva 19. Kohteen OECodens lämpimän käyttöveden kierto.

GVR140 kohteessa ongelmaksi osoittautui se, että lämminvesikierrosta ei ollut tarjolla tarpeeksi mittaustietoa. Näin ollen oli mahdotonta määrittää varaajaan palannutta vesimäärää, tai systeemistä poistunutta vesimäärää. Varaajan syöttövedellekään ei ollut tarjolla virtausmittausta. Laskennassa tämä johti tilanteeseen, jossa käyttövedeen kulunut teho oli huomattavasti oletettua suurempi. Ratkaisuksi osoittautui korjauskertoimen määrittäminen, joka skaalaisi mittauksista lasketun tehon lähemmäs todellista kulunutta tehoa. Korjauskertoimen pystyttäisiin määrittämään, jos lämpimän käyttöveden kierto poistettaisiin käytöstä tietyksi ajaksi. Määrittämällä käyttöveden lämmitykseen tänä aikana kulunut teho ja vertaamalla sitä samanpituisen ajanjakson tehoon kierron ollessa päälle saadaan suhdeluku. Tämä kertoo riittävän tarkan arvion siitä kuinka suuri osa laskennan ilmoittamasta tehosta todellisuudessa kului käyttöveden lämmitykseen. Tämän kertoimen avulla voidaan ohittaa pidemmissä mittausjaksoissa lämminvesikierron aiheuttaman virhe tässä kohteessa.

Kun lämminvesikierron aiheuttamat ongelmat oli ratkaistu, tasoitettujen tehojen määrittäminen onnistui suoraviivaisesti. GVR140 kattilakohteessa määritetään koko virtauksesta ja veden keskimääräisestä tiheydestä massavirta ja kerrotaan sen painotetulla lämpötilaeron keskiarvolla ja veden ominaislämpökapasiteetilla. Tästä saatu teho ker-

rotaan korjauskertoimella, jolloin saadaan hyötysuhteen laskemista varten käytetty teho kaavan 5 mukaisesti.

$$\Phi_{kv} = q_{mkv} c_p \Delta T_3 \quad (5)$$

OECodens mittauskohteessa tilanne erkani edelliseen kohteeseen siinä määrin, että puutteellisten mittaustietojen sijaan saadaan päällekkäistä mittaustietoa. Tämä johtui siitä, että lämminvesikierron paluu varaajaan oli yhdistetty varaajan syöttölinjaan. Tällöin syöttöveden lämpötilamittari ei mitannut pelkästään vesijohtoverkosta tullutta vettä, vaan myös jo kertaalleen kattilan lämmittämää käyttövettä. GVR140 kohteen tapaisesti tämä johti tilanteeseen, jossa käyttöveteen kulunut teho ei voinut vastata todellisuutta. Pääosin virhettä syntyi kierron aiheuttamasta jatkuvasta virtaamasta ja siitä, että lämminvesikierrosta palaavan veden ja varaajasta lähtevän veden lämpötilaero oli hyvin pieni. Koska tarkoituksena oli käyttää tehon määrittämiseen, kiertoveden kanssa toimivaksi todettua virtauksella painotettua lämpötilojen keskiarvoa, niin lämpimän käyttöveden kierron aiheuttama virhe tulisi saada eliminoitua. Koska tällä kertaa lämminvesikierron paluu puolella oli kuitenkin lämpötilamittaus, niin selvästi virheeliset arvot oli mahdollista poistaa laskuista. Tämä yksittäisten tietojen poistaminen perustui varaajan toimintaan, jossa varaaja ottaa vesijohtoverkosta lisää vettä vain jos piirin vesimäärä laskee. On myös oletettavaa, ettei piiristä häviä vettä merkittäviä määriä muuten kuin käyttökohteissa käytön aikana. Lämminvesikierrossa paluu puolen ja lähteneen veden lämpötilaero on hyvin pieni, kun taas lämpimän käyttöveden ja vesijohtovesiverkon veden lämpötilaeron on oletetusti melko suuri. Blokkauksen tarkoituksena olikin huomioida vain virtaukset jonka ajanhetkellä lämpötilaero oli yli 25 astetta. Näin ollen valtaosa lämminvesikierron aiheuttamista virtauksista häviää laskuista. Tällöin voidaan myös käyttää suodatettuja virtauksia lämpötilaeron painotuskertoimina ja käyttää sitä kaavan 5 mukaisesti tasoitetun tehon laskemiseen.

Käyttöveteen kulunut teho määritetäänkin tämän jälkeen laskennallisesti täsmälleen aikaisemmin käsitellyn kiertoveden tapaan. Tilavuusvirrasta ja veden tiheydestä määritetään massavirta, joka kerrotaan veden ominaislämpökapasiteetilla ja lämpötilaeron painotetulla keskiarvolla. Tästä saadaan vastaukseksi hyötysuhdelaskelmissa käyttöveteen kulunut tasoitettu teho. Kuten GVR140 kohteen osalla tämä ei ole täysin tarkka tapa määrittää todellista käyttöveteen kulunutta tehoa vaan enemmänkin tarkka arvio siitä.

### 6.2.3 Maakaasu

Hyötysuhdetta on kuitenkin mahdoton määrittää pelkästään hyödyksi saadun energian avulla. Molemmat tämän työn kattiloista käyttävät pääasiallisena polttoaineenaan maakaasua. Maakaasu poltetaan kattilan polttimessa jolloin maakaasun sitoutunut kemiallinen energia muuttuu lämmöksi. Tällä lämpöenergialla taas lämmitetään kierto- ja käyttövesipiireissä kulkevaa vettä. (Mielonen 2013.)

Ennen maakaasun syöttämistä kattilaan, sen paine lasketaan sopivaan paineeseen. Tämän jälkeen maakaasun paine, lämpötila ja tilavuusvirta mitataan. Näiden mittaus-tietojen perusteella maakaasun määrämuunnin normalisoi maakaasun tilavuusvirtauksen. Tässä työssä maakaasun tilavuusvirtauksissa käytetään tätä normalisoitua arvoa ja se saadaan määrämuuntimesta.

Hyötysuhdelaskentaa varten saadaan 2 minuutin välein maakaasulle kumuloiva kuutiomäärä luku. Vertaamalla ensimmäistä saatua kulutustietoa viimeiseen, saadaan mittausajanjaksolla kuluneen maakaasun määrä. Jakamalla tämä luku mittausajalla olleella sekuntien määrällä saadaan tilavuusvirtaus. Maakaasun tiheys normaalikuutioissa on  $0,72 \text{ kg/m}^3$ . Tämän avulla voidaan selvittää maakaasun massavirta, kertomalla tilavuusvirta maakaasun normaalitiheydellä. Tämän jälkeen voidaan massavirta sijoittaa kaavaan 2, jolla saadaan maakaasussa ollut teho.

$$\Phi_{pa} = q_{mpa} H \quad (2)$$

Ennen laskutoimitusten tekoa tulee määrittää vielä maakaasun lämpöarvo. Lämpöarvolla kuvataan sitä energian määrää, joka polttoaineessa on tiettyä massaa kohden. Lämpöarvoille on olemassa erilaisia tulkintatapoja, kuten ylempi ja alempilämpöarvo. Ennen siirtymistä näiden tulkintojen tarkempaan selvennykseen on hyvä huomata, että lämpöarvo ei ole absoluuttinen lukuarvo. Se kuvaa enemmänkin energiaa, joka polttoaineesta voidaan saada talteen tietyillä realiteeteilla. Alempi lämpöarvo kuvaa sitä määrää energiaa, joka polttoaineesta saadaan talteen, kun palamistuotteet karkaavat sellaisinaan pois systeemistä. Tällöin polttoaineessa ja palamaisreaktioissa syntynyt vesi on vesihöyryä ja poistuu systeemistä höyrynä. Ylemmällä lämpöarvolla kuvataan sitä energiamäärää, joka polttoaineesta voidaan hyödyntää, jos poltosta syntyneet savukaasut jäädytetään  $25 \text{ °C}$ :een. Savukaasujen jäähtyessä ne vapauttavat energiaa jolloin voidaan kuvitella, että polttoaineesta on saatu enemmän energiaa talteen. Tästä

johtuen ylempi lämpöarvo on alempaa suurempi. Maakaasulla ylempi lämpöarvo on 55 MJ/kg ja alempi 50 MJ/kg. (Huhtinen 2004.)

Tässä työssä tarkastellaan kondenssikattiloista joissa savukaasut jäädytetään ja savukaasuissa paenneet energiat otetaan talteen ja hyötykäyttöön. Näin ollen ylempään lämpöarvon luoma tilanne kuvaisi enemmän tämän työn yksityiskohtia. Euroopassa kuitenkin käytetään yleisesti saksalaista standardia DIN 1942, jonka mukaisesti laskeissa käytetään alempaa lämpöarvoa. Näin ollen tässä työssä kaikki hyötysuhde laskennat ovat tehty tämän standardin mukaisesti. Sijoittamalla alempi lämpöarvo kaavaan 2, vastaukseksi saadaan ajanjaksolla kulunut tasoitettu teho. Koska tässä laskelmassa käytetään, niin sanotusti eri tilanteeseen tarkoitettua lämpöarvoa, voidaan vastaukseksi saada yli 100 % hyötysuhde. Teoreettinen hyötysuhde maksimi tulee olemaan ylempään ja alemman lämpöarvon keskinäinen suhde, eli maakaasun tapauksessa 110 %. (Huhtinen 2004.)

#### 6.2.4 Sähkö

Kuten mainittua maakaasu on molemmille kattiloille pääasiallinen energian lähde. Tässä työssä halutaan ottaa huomioon myös kattilan ja järjestelmän vaatimat energiat. Kattilan automatiikka vaatii sähköä toimiakseen. Samoin sähköä vaativat kattilajärjestelmien toimilaitteet, kuten pumput ja venttiilit. Tästä syystä sähkö on otettu mukaan hyötysuhteet setvimistä varten.

Kattilalle ja kattilajärjestelmiin menevää sähköenergiaa mitataan sähköenergiamittarilla. Tästä saadaan edellisten tilanteiden tapaan 2 minuutin välein mittarin läpi kulkenut kokonaissähköenergia. Vertaamalla aikaisinta ja viimeisintä mittaustietoa, saadaan mittarin läpi kulkeneen sähköenergian määrä mittaussajanjaksolla. Mittauksesta saadaan tulokseksi kilowattitunteja, jotka voidaan laskennallisesti muuttaa tasoitetuksi tehoksi mittaussajanjaksolle, kun tiedetään, että 1 kilowattitunti on 3,6 megajoulea ja energia jaettuna ajalla on teho.

#### 6.2.5 Aurinkopiiri

OECodens kohteen kattilaan on asennettu myös kolmas energianlähde. Tämä on aurinkolämpöä hyödyntävä systeemi. Tässä aurinko lämmittää katolle asennettuja aurinkokeräimiä ja niissä olevaa nestettä. Lämmitessä tähän nesteeseen sitoutuu energiaa,

joka on tarkoitus hyödyntää kotitalouden energian tarpeissa. Katolta lämmennyt neste pumpataan kattilan lämminvesivaraajaan. Lämminvesivaraajassa aurinkopiirissä kulkeva neste lämmittää varaajassa olevaa vettä näin siirtäen energiaa varaajaan. Tämän jälkeen aurinkopiirissä oleva neste ohjataan takaisin katolle. Kyseessä on suljettu piiri, eli piirissä kulkevan nesteen määrä ei normaalikäytössä merkittävästi muutu. (Mielonen 2013.)

Piiriä voidaan yksinkertaisesti ajateltuna kuvailla siten, että toisessa päässä piiriä lämmönsiirtonesteeseen ladataan energiaa ja tämän jälkeen se kulkeutuu luovuttamaan tämän energian piirin toisessa päässä. Piiri itsessäänkin siis toimii jollakin hyötysuhteella, mutta tarkoituksena on selvittää vain energiamäärä, jonka piiri luovuttaa lämminvesivaraajaan. Tästä syystä tehon määrittämiseen riittää lämpötilamittaus ennen ja jälkeen lämminvesivaraajan, sekä virtausmittaus.

$$\Phi_{au} = q_{mau} c_{pau} \Delta T_1 \quad (3)$$

Piirin luovuttama teho voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti. Laskennan kannalta ai-noana poikkeavana huomiona mainittakoon, että aurinkopiirinesteen, Tyfocor LS, ominaislämpökapasiteetti ei vastaa veden ominaislämpökapasiteettia. Aurinkopiirinesteen ominaislämpö kapasiteetti on itse asiassa veden omaa pienempi, 3,75 kJ/kg°C. Lämmönsiirtonesteen ominaislämpökapasiteetti muuttuu jossain määrin riippuen nesteen sen hetkisestä lämpötilasta. Tässä työssä on kuitenkin käytetty edellä mainittua ominaislämpökapasiteettia vakiona aurinkopiirinesteelle. (TYFOROP Chemie GmbH 2013.)

### 6.2.6 Hyötysuhde

Molempien mittauskohteiden hyötysuhde voidaan määrittää edellä käytyjen yksittäisten tekijöiden avulla. Näitä tekijöitä olivat kiertovesipiiri ja käyttövesi piiri, joissa hyödynnetään kattilan kemiallisesta energiasta muodostamaa lämpöenergiaa. Kattilaan energiaa tuovat tekijät ovat maakaasu, sähkö ja OECodens kohteessa aurinkopiiri. Nämä tuovat kattilaan energiaa, jonka avulla se tuottaa lämpöä ja ylläpitää toimintaansa. Näiden tietojen avulla pystytään määrittämään hyötysuhde molempien kohteiden kattiloille.

Yksittäisissä tekijöissä on ollut tarkoituksena määrittää se tasoitettu teho, jonka tietty tekijä ottaa tai antaa mittausajanjaksolla. Kuten aiemmin mainittua tämä tasoitettu teho ei vastaa esimerkiksi kiertoveden lämmitystehoa täsmälleen. Kyseessä on niin sanotusti kuvitteellinen teho, joka mittausajalla vastaa hyödyksi saatua energiamäärää. Näin ollen voidaan tasoitettua tehoa käyttää hyötysuhteen laskemisessa suoraan sijoittamalla saadut tehot kaavaan 6. Tästä kaavasta saadaan vastaukseksi anto- ja ottotehon suhde eli hyötysuhde.

$$\eta = \frac{\phi_{lv} + \phi_{kv}}{\phi_{pa} + \phi_{au} + \phi_{sä}} \quad (6)$$

### 6.3 Hyötysuhteen määrittäminen

Määritetään OECodens kattilan hyötysuhde edellä olleiden periaatteiden mukaisesti yhden talvipäivän ajalta. Koska kattilasta saadaan mittaustietoja 2 minuutin välein, niin yhdeltä päivältä saadaan 720 riviä mittaustietoja. OECodens mittauskohteessa on myös 14 eri mittausta joiden tietoa laskennassa käsitellään. Toisin sanoen yhdeltä päivältä saadaan yli kymmentuhatta yksittäistä mittaustietoa. Kuten aiemmin todettiin, niin lämmitysveden ja käyttöveden lämpötilaeroja painotetaan sen hetkisen virtaaman avulla, jonka jälkeen lämpötilalle määritetään painotettu keskiarvo. Mittaustietojen määrän vuoksi tässä esimerkilaskussa mittaustietojen käsittely on tehty etukäteen.

Aloitetaan hyötysuhteen laskeminen selvittämällä yksittäisten tekijöiden mittausajalle tasoitettua tehoa. Kattilasta hyötykäyttöön menee kaksi energiavirtaa. Näistä ensimmäinen on kiertovesi. Tämän mittausajalle tasoitettu teho voidaan määrittää, kun tiedetään veden keskimääräinen massavirta, sen ominaislämpökapasiteetti ja virtaamalla painotettu lähtö- ja paluueden keskimääräinen lämpötilaero.

Koska mittausantureilta saadaan massavirtauksien sijaan tilavuusvirtaamia, niin ensimmäinen tehtävä on muuttaa tilavuusvirtaus massavirtaukseksi. Tämän esimerkin mittauspäivänä kiertoveden lähtö- ja paluueden lämpötilojen mukaan kiertovesi on ollut noin 47 °C, painotettuna sen hetkellä virtaamalla. Toisin sanoen kiinteistön patteriverkostossa ja lattialämmityksessä käytetty vesi on ollut keskimäärin mainitun mukaista. Tämän lämpötilaisen veden tiheys on noin 990 kg/m<sup>3</sup>. Keskimääräinen vir-

taama mittauspäivän aikana on ollut  $0,000035 \text{ m}^3/\text{s}$ . Näiden tietojen avulla voidaan helposti todeta veden keskimääräisen massavirtauksen olevan noin  $0,035 \text{ kg/s}$ .

Kun veden keskimääräinen massavirta sekuntia kohden on tiedossa, niin seuraava vaihe on selvittää virtaamalla painotettu lähtö- ja paluuveden lämpötilaero. Tämä tarkoittaa sitä, että kiertoveden lähtö- ja paluuveden lämpötilaerosta otetaan painotettu keskiarvo käyttämällä veden sen hetkistä virtaamaa painotuskertoimena. Mittauspäivänä keskimääräinen lämpötilaero oli noin  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Veden ominaislämpökapasiteettina käytetään  $4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ . Kaavan 4 mukaisesti näiden tietojen avulla pystytään laskemaan, kuinka suurella teholla kiertovesi on kiinteistöä lämmittänyt mittauspäivänä.

$$\phi_{lv} = 0,035 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 21 \text{ }^\circ\text{C} \approx 3,1 \text{ kW} \quad (4)$$

Kiertoveden tasoitettun tehon määrittämisen jälkeen, voidaan siirtyä toiseen hyötyenergiavirtaukseen, eli käyttöveteen. OECodens kattilan tapauksessa, sen tehon määrittäminen, joka käyttövedestä saadaan, lasketaan hyvin samantapaisesti kiertoveden kanssa. Edellisten vaiheiden tapaisesti käyttöveden keskimääräiseksi massavirraksi käyttövedelle saatiin  $0,00069 \text{ kg/s}$  valittuna mittauspäivänä. Virtaamalla painotettu keskimääräinen lämpötilaero varaajan syöttöveden ja lähtevän käyttöveden välille oli noin  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Veden ominaislämpökapasiteetin pysyessä samana, voidaan kaavalla 5 määrittää se lämmitysteho, joka hyödyksi menevän käyttöveden lämmitykseen oli mittauspäivänä kulunut.

$$\phi_{kv} = 0,00069 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 38 \text{ }^\circ\text{C} \approx 0,11 \text{ kW} \quad (5)$$

Kattilasta lähtevä kiertovesi ja käyttövesi ovat ainoat hyödyksi menevät energiavirrat. Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan kattilaan syötettäviä energiavirtoja. Näistä ensimmäisenä käsitellään kattilan pääpolttoaineena käytettävää maakaasua. Mittauksien avulla saadaan tietoon kuluneen maakaasun määrä normaalikuutioina. Kuten edellisissä tapauksissa, maakaasunlämmitysteho selvittäminen alkaa muuttamalla tilavuusvirtaus massavirtaukseksi. Tämän määrittäminen sujuu lähes täysin veden kaltaisesti. Ainoana huomiona mainittakoon maakaasun vedestä poikkeava tiheys, joka on  $0,72$

$\text{kg/m}^3$ . Mittauspäivän maakaasun keskimääräinen massavirta oli  $0,00006 \text{ kg/s}$ . Eli mittauspäivänä tarkasteltava lämmityskattila käytti keskimäärin tämän verran maakaasua sekunnissa.

Maakaasun lämpöarvona käytetään  $50000 \text{ kJ/kg}$ . Näiden tietojen perusteella kaavan 2 mukaisesti voidaan määrittää maakaasulle keskimääräinen lämmitysteho.

$$\dot{\phi}_{pa} = 50000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,00006 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 3 \text{ kW} \quad (2)$$

Maakaasun lisäksi energiaa kattilalle saadaan aurinkopiirin kautta. Koska tarkasteltava mittauspäivä on talvella, niin auringosta saatava energia on melko merkityksetön hyötysuhteen kannalta. Aurinkopiirissä kulkevan lämmönsiirtonesteen tiheytenä on tässä työssä käytetty  $1035 \text{ kg/m}^3$  ja ominaislämpökapasiteettina  $3,75 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .

Mittauskohteisiin asennettujen virtausmittausten vuoksi, joudutaan aurinkopiirillekin ensin määrittämään keskimääräinen massavirta. Edellä käytyjen kohtien ja mittauksien perusteella aurinkopiirin keskimääräiseksi massavirraksi saatiin  $0,00012 \text{ kg/s}$ . Sen hetkellisellä virtaamalla painotettu lähtö- ja paluupuolen lämpötilaeroiksi saatiin noin  $7^\circ\text{C}$ . Käyttämällä kaavaa 3, voidaan määrittää se mittausajalle tasoitettu lämmitysteho, jonka aurinkopiiri on tuonut systeemiin.

$$\dot{\phi}_{au} = 0,00012 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 7^\circ\text{C} \approx 0,0032 \text{ kW} \quad (3)$$

Sähköenergian määrää mitataan suoraan mittauksella ja sähköenergian määrä saadaan suoraan laskennan käyttöön kilowattitunteina. Tämä voidaan muuttaa mittausajalla kuluneeksi tasoitetuksi tehoksi, kun tiedetään mittausvälillä olleiden sekuntien määrä. Tämä tapahtuu kertomalla kulunut energian määrä 3600:lla ja jakamalla tämä tulos mittausajan sekunneilla. Tässä tapauksessa 86280 sekuntia. Tämän ja päivän mittaus-tietojen perusteella sähkötehoksi saadaan  $0,07 \text{ kW}$

Yllä selvitettyjen tietojen avulla voidaan määrittää lämmityskattilan hyötysuhde mittauspäivänä. Hyötysuhteen laskemiseksi käytetään kaavaa 6, johon yllä selvitetyt tasoitetut tehot sijoitetaan. Valittuna mittauspäivänä OECodens kattilan hyötysuhde on ollut noin 104 prosenttia.

$$\eta = \frac{3,1 \text{ kW} + 0,11 \text{ kW}}{3 \text{ kW} + 0,0032 \text{ kW} + 0,07 \text{ kW}} \approx 1,04 \quad (6)$$

## 7 TULOSTEN ESITYS JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön pääasiallisena tarkoituksena oli tehdä laskentasovellus, jonka avulla pystytään määrittämään kahden tarkastelukohteen kattiloiden hyötysuhteet. Tämän lisäksi tehtävänä oli huolehtia, että kohteista löytyi tarvittavat mittaukset, joita hyötysuhteen laskemiseksi käytetään. Laskennan tarkoituksena on olla niin sanotusti jatkuvatoiminen, eli uusien mittaustietojen syntyessä lisätään ne edellisten tietojen joukkoon. Tällä tavalla tarkasteluväli pitenee ajan kuluessa. Tarkastelukohteiden kattilat ovat maakaasukäyttöisiä kondenssikattiloita. Toiseen tarkastelukohteista on maakaasun rinnalle lisätty aurinkoenergiaa hyödyntävä energianlähde.

Tarkastelukohteiden kattiloille laitevalmistaja ilmoittaa nimellishyötysuhteeksi 109 % 40/30 °C lämpötilaohjelmalla. Hyötysuhde laskennan tuloksi oletettiin saavan samansuuntaisia tuloksia. Lopullisten tulosten oletettiin kuitenkin poikkeavan tästä referenssituloksesta jonkin verran. Poikkeamaa oletettiin syntyvän laskennan ja mittausten epätarkkuudesta. Tämän lisäksi lähtöoletuksiin kuului, että laskennasta saadut tulokset tulisivat olemaan laitevalmistajan ilmoittamaa hyötysuhdetta pienempiä. Tämä oletus perustui siihen, että tämän työn tarkastelukohteet olivat joka päiväsessä asumiskäytössä, jolloin mittausympäristö ei ole täysin kontrolloitavissa tai tarkoitettu mahdollisen hyvän hyötysuhteen saamiseen. Kohteissa muun muassa sijaitti niin sanottuja tarpeettomia toimilaitteita, joiden tarkoituksena oli parantaa ja helpottaa elämää käyttöpiesteissä. Nämä toimilaitteet kuluttavat sähköä, lisäten näin kokonaissähkökulutusta ja heikentäen saatua hyötysuhdetta. Mittauskohteiden kattilat eivät myöskään tulisi toimimaan lämpötilaohjelmalla, jolla nimellishyötysuhteet saavutettiin. Lopullisena oletuksena laskennasta saavutettavalle hyötysuhteelle tuli olemaan muutamia prosenttiyksikköjä nimellishyötysuhdetta pienempi tulos. Tästä huolimatta lasketun hyötysuhteen oletettiin olevan yli sadan prosentin. (Gasum Oy 2012.)

Työssä onnistuttiin luomaan jatkuvatoiminen laskenta, joka puoliautomaattisesti pystyy hyödyntämään kohteista saatua mittausdataa. Laskenta antaa hyötysuhteen molempien kohteiden kattiloille huomioiden sähköenergian osuuden ja ilman sähköenergiaa. Tällä tavalla pystytään luomaan karkea käsitys siitä, kuinka suuri vaikutus yli-

määräisillä sähkölaitteilla on lopulliseen hyötysuhteeseen. Laskentaan lisättiin myös muita mittauksista johdettavia kuriositeettitietoja, kuten lämpimän käyttöveden kokonaiskulutus ja kuinka paljon lämmintä käyttövettä kohteessa kuluu henkilöä kohden. Kuriositeettitietojen tarkoituksena on tarjota käyttäjälle mielenkiintoisia huomioita kohteesta, mutta myös luoda kuvaa kohteen asukkaiden käyttötottumuksista, jotka voivat luoda merkittäviä eroja lopullisiin tuloksiin. Laskentaa varten luotiin myös käyttöliittymä, jonka avulla sitä pystytään käyttämään helposti ilman pohjatietoja laskennan toiminnasta.

Tavoitteena oli luoda jatkuvatoiminen laskenta, joka pystyisi hyödyntämään uusia mittaustuloksia päivitetyn hyötysuhteen laskemista varten. Laskenta tehtiin Microsoft Excelille, jonka rajoituksista johtuen pystytään käsittelemään enimmillään vain noin kolmen ja puolen vuoden mittaustietoja. Joten huolimatta jatkuvatoimisesta luonteestaan laskenta tulee saavuttamaan lopullisen tuloksensa viimeistään, kun enimmäismittaustietojen määrä on saavutettu. Laskennalla voitiin kuitenkin laskea alustavia hyötysuhtetuloksia, jotka eivät parin kuukauden mittauksen jälkeen vaikuttaneet juurikaan muuttuvan. Otettaessa sähköenergia mukaan laskentaan saatiin GVR140 kohteelle hyötysuhteeksi 99 % noin kolmen talvikuukauden ajalta. Ilman sähkön tuomaa energiaa kattilan hyötysuhteeksi saatiin 108 % samalla mittausajalla. OECodens kohteelle saatiin neljän kuukauden mittausajalla hyötysuhteeksi 102 %, kun sähköenergia otettiin laskuihin mukaan. Jos sähköenergia jätettiin huomioimatta, tämän kohteen hyötysuhteeksi saatiin 104 %. Saadut tulokset todettiin pääosin olevan hypoteesin mukaisia ja laskenta todettiin toimivaksi.

Ennen laskennan tekemistä tehtiin olettamus, että laskennasta saadut hyötysuhteet tulisivat olemaan alle 109 %, mutta samalla yli 100 %. Laskennan tulokset olivat tämän lähtöolettamuksen rajoissa, lukuun ottamatta GVR140 kohteen hyötysuhdetta, sähköenergian ollessa laskennassa mukana. Tässä kohteessa sähköenergian vaikutus hyötysuhteeseen oli kuitenkin melkein 10 prosenttiyksikköä ja tästä syystä hieman alakanttiin jäänyt hyötysuhde todettiin realistiseksi tulokseksi. Tulosten perusteella voitiin olettaa, että laskennan tekemisessä oli onnistuttu ja Gasum Energiapalvelut pystyisi käyttämään sitä suunniteltuun tarkoitukseensa. Onnistumisesta huolimatta tuloksiin tulee suhtautua, ainakin ennen pidempää mittausajanväliä, hieman varauksella. Laskentaa tehtäessä päädyttiin ajoittain umpikujiin, jotka kierrettiin tekemällä oletuksia tai arvioita. Tämän vuoksi laskennan tulokset eivät täysin perustu pelkkään mitta-

ustietoon, vaan myös jossain määrin arvioihin. Näiden arvioiden oletettiin kuitenkin olevan riittävän tarkkoja, jotta lopputuloksiin jäävä virhe ei olisi merkittävä. Mittauskohteista saadut tulokset tukevat myös toisiaan, huolimatta eri arvioista ja olettamuksista kohteiden välillä.

Laskennan suorittamisen ja tulosten saavuttamisen jälkeen on myös helpompi vertailla, mistä syntyy eroa laitevalmistajan ilmoittaman ja laskennan saaman hyötysuhteiden välille. Laitevalmistajan ilmoittamat hyötysuhteet saadaan hyvin tarkkoilla ja kontrolloiduilla mittaustapahtumilla. Näissä mittauksissa muun muassa lähtevän veden ja palaavan veden lämpötilan tulee olla  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n virheellä vakio yli 20 minuutin ajan. Samoin vesivirtauksen tulee pysyä vakiona  $5\%$ :n virheellä suuntaan tai toiseen. Myös syötettävän palamisilman tulee olla vakio vähintään 20 minuutin ajan  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n virheellä. Laitevalmistajan hyötysuhdemittauksista nähdään, että kyseessä on hyvin kontrolloidussa ympäristössä tehdyt melko lyhytaikaiset mittaukset. Tämän työn mittauksissa laitevalmistajan tarkkuuksiin ei päästy käytännössä koskaan. Vesivirtaamisissa ja lämpötiloissa muun muassa tuli helposti heittäytyä enemmän kuin laitevalmistajan sallii omilla mittauksissaan. Tämä oli kuitenkin otettu huomioon ennen työn aloittamista ja päätöteamuksena syntyi, että laitevalmistajan ilmoittamat tulokset ovat epäilemättä tarkempia kuin tässä työssä saadut tulokset. Tästä huolimatta yksi tämän työn perusajatuksista oli käyttää mittauspisteinä todellisessa käytössä olevia kohteita ja selvittää tällaisessa käytössä olevan lämmityskattilan hyötysuhde. Metodit laitevalmistajien ja tämän työn mittausten suorittamisen välillä ovatkin niin suuret, että niiden vertaileminen keskenään ei ole järin mielekäs. Tässä työssä saavutettujen tulosten oletettiin olevan jossain määrin pienempiä johtuen useammasta toimilaitteesta ja yleisestä kontrolloimattomuudesta, josta johtuen mittaushetkillä ei edes pyritty optimaaliseen hyötysuhteeseen. (Weisshaar 2014.)

Työssä tehty laskenta todettiin toimivaksi ja riittäväksi tarkoitustaan varten. Laskentaa ja laskennan käyttötarkoitusta voitaisiin kuitenkin vielä kehittää. Tällä hetkellä laskenta on jossain määrin hidaskäyttöinen johtuen mittaustietojen suuresta määrästä. Laskenta ei ole myös tällä hetkellä täysin automaattinen, vaan vaatii käyttäjää siirtämään mittaus-tiedot kansioon, josta laskenta pystyy niitä hyödyntämään. Jatkokehittämisen kohteita olisi muun muassa pohtia miten mittauspisteissä olevat EH-net yksiköt pystyisivät suoraan tallentamaan mittaustietojensa laskennan käyttämään kansioon. Mittauspisteitä on myös tällä hetkellä olemassa vain kaksi. Näissä kohteissa on myös erilai-

set kattilat ja lämmitysjärjestelmäratkaisut. Tästä johtuen kohteiden tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Useammalla samoja kattiloita käyttävillä mittauskohteilla saataisiin parempi kuva kyseisen lämmityskattilan hyötysuhteesta tai lämmitysjärjestelmäratkaisusta.

Pääosa tämän työn tavoitteista onnistuttiin saavuttamaan. Gasum Energiapalveluiden puolesta laskenta todettiin toimivaksi ja se vastasi tarkoitustaan. Laskennalla saadut lämmityskattiloiden hyötysuhteet olivat myös realistisia ja olettamusten mukaisia. Lopputoteamuksena voitaneenkin todeta, että työssä on onnistuttu sille luotujen tavoitteiden vaatimusten mukaisesti.

## LÄHTEET

ASTeL –hanke. Aineen olomuodot. 2014.

Saatavissa: [http://www.edu.helsinki.fi/astel-ope/aineiden\\_ominaisuudet/aineiden\\_olomuodot.htm](http://www.edu.helsinki.fi/astel-ope/aineiden_ominaisuudet/aineiden_olomuodot.htm) [viitattu 14.3.2014].

Bratley J. 2014. Renewable Energy Definition.

Saatavissa: <http://www.clean-energy-ideas.com/energy/energy-dictionary/renewable-energy-definition> [viitattu 16.4.2014]

Energiatehokkuus. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Saatavissa: <http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus> [viitattu 14.3.2014].

Gasum Oy. 2012. Oertli - Kaasupolttoiset lämmityskattilat ja kuumavesivaraajat.

Saatavissa: [http://www.klv.fi/pdf/oertli\\_esite.pdf](http://www.klv.fi/pdf/oertli_esite.pdf) [viitattu: 14.4.2014]

Gasum Oy. 2014. Oertli OECodenssolar materiaali. Ei saatavissa.

Gasum Paikallisjakelu Oy. 2014. Kulutusseurantajärjestelmä. Ei saatavissa.

Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. painos., Helsinki: Edita.

Kiviniemi A. 2014. Ihmisen ja elinympäristön kemia. Otavan opisto. Otavan opisto

Saatavissa:

[http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ke/ke1/1.\\_perusasioita\\_kemiasta/1.1\\_peruskasitteita?C:D=hNkO.g9UK&m:selres=hNkO.g9UK](http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ke/ke1/1._perusasioita_kemiasta/1.1_peruskasitteita?C:D=hNkO.g9UK&m:selres=hNkO.g9UK) [viitattu 14.3.2014].

Lehto H., Havukainen R., Leskinen J., Luoma T. 2007. Fysikka 8 aine ja säteily, 1. painos Jyväskylä: Tammi.

Mielonen H. Tuoteryhmäpäällikkö, Gasum Energiapalvelut Oy. Haastattelu 7.6.2013

Kotka: Gasum Kotkan toimipiste.

Mielonen H. Tuoteryhmäpäällikkö, Gasum Energiapalvelut Oy. Haastattelu 24.3.2014

Kotka: Gasum Kotkan toimipiste.

Motiva Oy. 2009 Pientalon lämmitysjärjestelmät.

Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon\\_lammitysjarjestelmat.pdf](http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf) [viitattu 14.3.2014].

Mäkelä M., Soininen L., Tuomola S., Öistämö J. 2005. Tekniikan kaavasto, 5. painos, Tampere: Tammer tekniikka.

Oertli Thermique S.A.S. OECODENS DUC 500 asennus- ja huolto-ohje. 2012. Versio 300022460-001-01. Gasum Energiapalvelut Oy.

Ouman Oy. 2010. Ouman EH-686 Yleiskäyttöinen ohjaus- ja valvontayksikkö.

Saatavissa: [http://www.ouman.fi/files/tuote-esitteet/eh-686\\_esite\\_print.pdf](http://www.ouman.fi/files/tuote-esitteet/eh-686_esite_print.pdf) [viitattu 6.4.2014]

Ouman Oy. 2012. EH-net palvelin Käyttöohje.

Saatavissa: [http://www.ouman.fi/files/kayttoohjeet/eh-net\\_kayttoohje.pdf](http://www.ouman.fi/files/kayttoohjeet/eh-net_kayttoohje.pdf) [viitattu 6.4.2014].

Seppänen O. 1995. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Seppänen R., Kervinen M., Parkkila I., Karkela L., Meriläinen P. 2006. maol taulukot. 2. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy

Tiivistyminen ja haihtuminen. 2014. Hiukkastieto –hanke. Hiukkastieto.fi-internetsivut.

Saatavissa: <http://www.hiukkastieto.fi/node/73> [viitattu 14.3.2014].

TYFOROP Chemie GmbH. 2013. Tyfocor LS Technical Information.

Saatavissa: [http://www.tyfo.de/docs/TI-TYFOCOR-LS\\_gb\\_2013-1.pdf](http://www.tyfo.de/docs/TI-TYFOCOR-LS_gb_2013-1.pdf) [viitattu 14.3.2014].

Virrankoski R. Fysiikka: Lämpö ja energia. 2014.

Saatavissa:

<http://www02.ooph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/index.html> [viitattu 14.3.2014].

Wagner W. 1994. Lämmönsiirto. 2. uudistetusta saksan kielisestä painoksesta suomenmennettu. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Weisshaar M. Product manager, Oertli – Rohleder Wärmetechnik GmbH. Sähköpostikeskustelu 1.2014 - 2.2014.

Wiksten R. P. 2009. Lämpövoimaprocessit. 4. painos., Helsinki: Otatieto.

World energy demand and economic outlook. 2013. U.S. Energy Information Administration.

Saatavissa: <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/world.cfm> [viitattu 14.3.2014].