

Jani-Petteri Heino

## **TULOILMAN ESILÄMMITYS MAAPIIRILLÄ**

# **TULOILMAN ESILÄMMITYS MAAPIIRILLÄ**

Jani-Petteri Heino  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Jani-Petteri Heino  
Opinnäytetyön nimi: Tuloilman esilämmitys maapiirillä  
Työn ohjaaja: Mikko Niskala  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014  
Sivumäärä: 33 + 4 liitettä

---

Opinnäytetyön tilaaja on Oulun kaupunki, ja työn tarkoituksena on selvittää tuloilman esilämmityspatterin lämmitysteho maapiiristä saadulla lämmöllä lämmityskaudella. Tutkimuksen kohteiksi otettiin Oulun alueelta yhdeksän pientaloa, joissa kaikissa on erillinen esilämmityspatteri ja maapiirin pituus on noin 200 metriä.

Mittaukset suoritettiin kohteissa lyhytkestoisina. Ensiksi ilman ja maapiiriliuoksen virtauksista otettiin kertamittaus. Tämän jälkeen lämpötila-anturit jätettiin kohteeseen mittaamaan ilman ja maapiiriliuoksen lämpötiloja 1–5 päivän ajaksi. Mittausten tuloksista laskettiin esilämmityspatterien lämmitystehot. Lämmitystehot laskettiin kahdesta eri lämpötilasta, vertailukelpoisesta ja maksimi lämpötilasta. Kohteiden vertailukelpoiset tulokset saatiin, kun kohteen tarkasteltava lämpötila ennen tuloilman esilämmityspatteria oli  $-10^{\circ}\text{C}$ . Kohteiden maksimiteho saatiin laskettua käyttämällä kunkin kohteen kylmintä lämpötilaa.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tuloilman esilämmitys maapiirillä on energiaa säästävää kaikissa kohteissa. Maaperän kosteudella ja asennusvyvydellä on myös huomattava merkitys maapiiristä saatavalle energialle.

Tutkimuksen yhteydessä selvitettiin myös parhaimmat lämmitystehot antaneen kohteen teoreettinen energiansäästö esilämmityspatteria käytettäessä. Tulosten mukaan energiansäästö on huomattavaa verrattuna tilanteeseen, jossa esilämmityspatteria ei olisi asennettu.

---

Asiasanat: Maalämpö, ilmanvaihto, mittauslaitteet, vertailu

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää Arto Kiviojaa Oulun kaupungin rakennusvalvonnasta sopivien kohteiden järjestämisestä, mittausaikojen sopimisesta asukkaiden kanssa ja kohdetietojen keräämisestä.

Oulussa 2.1.2014

Jani Heino

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 MAALÄMPÖ	8
2.1 Maapiiri esilämmityksessä	9
2.2 Esilämmitysjärjestelmä	12
3 ILMANVAIHTO	13
3.1 Ilmanvaihtokone	13
3.2 Esilämmitys	14
4 KOHTEET	15
4.1 Kohde A	15
4.2 Kohde B	15
4.3 Kohde C	16
4.4 Kohde D	16
4.5 Kohde E	16
4.6 Kohde F	17
4.7 Kohde G	17
4.8 Kohde H	17
4.9 Kohde I	18
5 MITTAUKSET	19
5.1 Lämpötilamittaukset	19
5.2 Ilmavirtamittaukset	20
5.2.1 Balometri	20
5.2.2 Kuumalanka-anemometri	21
5.2.3 Siipipyöranemometri	22
5.3 Maapiiriliuksen nopeuden mittaus	23
6 TULOKSET	25
7 POHDINTA	30
LÄHTEET	32

## LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Kohdetiedot

Liite 3 Mittauspöytäkirjat ja tulokset

Liite 4 Jälkilämmityspatterin energiankulutus

# 1 JOHDANTO

Työn tilaaja on Oulun kaupunki ja työn tavoitteena on selvittää, millä teholla esilämmityspatteri lämmittää tuloilmaa lämmityskaudella maapiiristä keräämällään lämmöllä.

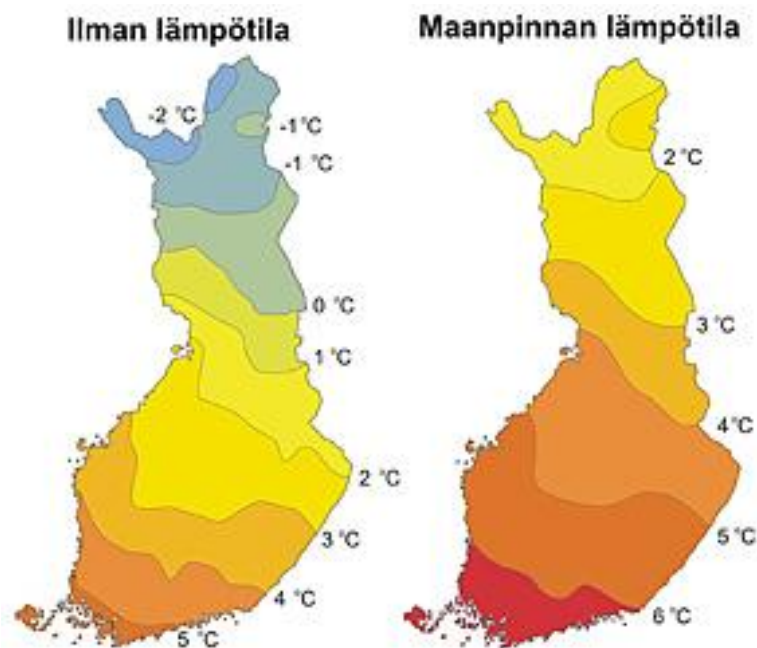
Työssä käsitellään yleisesti maalämpöä ja ilmanvaihtoa, minkä jälkeen esitellään kohteet ja mittaustavat. Tutkimuksen kohteiksi otettiin Oulun alueelta yhdeksän pientaloa, joissa kaikissa on erillinen esilämmityspatteri ennen ilmanvaihtokonetta ja maapiirin pituus on noin 200 metriä. Kohteissa tehtiin ilmalle ja maapiiriliukselle lämpötila- ja virtausmittaukset ja laskettiin lopuksi esilämmityspatterien tehot kerätyistä tiedoista.

Viimeisenä osiona työssä on tulokset ja pohdintaa, joissa verrataan eri kohteiden tuloksia keskenään ja pohditaan järjestelmän toimivuutta. Myös parhaan kohteen energian säästöä tutkittiin ja verrattiin tilanteeseen, jossa esilämmityspatteria ei olisi asennettu.

## 2 MAALÄMPÖ

Maalämmöllä tarkoitetaan auringosta saatavaa energiaa eli lämpöä, jonka kalio, maaperä ja vesistö varastoivat. Suomessa aurinko lämmittää maaperää noin 10 metrin syvyyteen. (1.) Maaperästä saadaan myös geotermistä energiaa toisin sanoen geotermistä lämpöä, jota syntyy maan sisäosissa tapahtuvien radioaktiivisten hajoamisten aiheuttamasta lämmöstä. Tämä maansisäinen lämpö johtuu maan kuoren ylempiin kerroksiin. (2.)

Suomessa maanpinnan keskilämpötila on suhteellisen alhainen ja se laskee, mitä pohjoisemmaksi mennään. Koko Suomessa keskilämpötila on kuitenkin 2–6 °C ja muutaman asteen korkeampi kuin ilman keskilämpötila (kuva 1). Maanpinnan keskilämpötila on tärkeä tietää mitoittaessa maalämpöjärjestelmää. Vaikka maanpinnan lämpötila vaihtelee paljonkin, lämpötila vakiintuu ja tasoittuu jo noin 14–16 metrin syvyydessä ollen vuoden ympäri maanpinnan keskilämpötilan luokkaa. (3.)



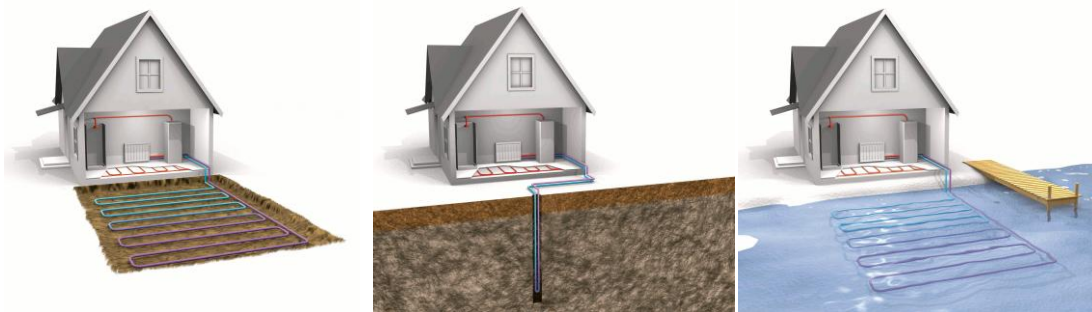
KUVA 1. Vuoden keskilämpötilat ilmalle ja maanpinnalle (3)

Maalämpö soveltuu oikein mitoitetuna hyvin niin pientalojen kuin suurien kiinteistöjen ja niiden käyttöveden lämmitykseenkin. Maalämpöjärjestelmä on sitä kannattavampi, mitä suurempi on kiinteistön energiankulutus. (4.) Järjestelmän



kaksi tärkeintä osaa ovat maalämmön keruujärjestelmä ja maalämpöpumppu. Ilman lämpöpumppuakin voi maalämpöjärjestelmän toteuttaa, mutta järjestelmän tarkoitus on toimia tukijärjestelmänä jollekin toisella lämmitysjärjestelmälle esimerkiksi suorasähkölle ja kaukolämmölle. Tukijärjestelmällä voidaan esimerkiksi esilämmittää tai -jäähdyttää ilmastointikoneelle menevää ulkoilmaa.

Lämpöä voidaan kerätä joko vaakaputkistolla eli maapiirillä tai pystyputkistolla lämpökaivosta. Lämmönkeruuputkisto asennetaan joko pintamaahan, peruskallioon tai veteen ja ympäröivä elementti lämmittää putkiston sisällä kiertävää jäätymätöntä liuosta (kuva 2). Liuos on yleensä teollisuusalkoholin ja veden seos, kaliumformiaattiliuos tai betaäinipohjainen seos (5, s. 3). Keruupiirissä on oma pumppu, joka kierrättää lämpöä siirtävää liuosta. Lämmönkeruupiiri mahdollistaa myös kiinteistön jäähdytyksen kesäaikaan. (4.) Keruuputkiston pituus riippuu kiinteistön lämmitystarpeista, lämpöpumpun koosta ja maaperän, kallion tai vesistön ominaisuuksista. (6.)



*KUVA 2. Maalämmön keruujärjestelmät: vasemmalla maapiiri, keskellä lämpökaivo ja oikealla veteen asennettu vaakaputkisto (6)*

## **2.1 Maapiiri esilämmityksessä**

Maapiiri asennetaan maaperän pintaosiin noin yhden metrin syvyyteen 1,5 metrin putkivälillä. Putki asetetaan mutkittelevaan muotoon (kuva 2) lämmön keräämisen maksimoimiseksi ja tilankäytön tehostamiseksi. (6.) Putket ovat yleensä tavallista muovista vesijohtoputkea, halkaisijaltaan 40–50 mm. Putkista saatava keskiteho vaihtelee välillä 5–20 W/m (7, s. 79). Mikäli maapiiristä otetaan liikaa lämmitystehoa ja maaperä viilenee liikaa, ei se välttämättä ehdi lämmitä kesän aikana takaisin normaalilämpötilaansa. Maapiirialueen aurinkoi-

suus ja varjoisuus kesällä ja lumipeitteen paksuus talvella vaikuttavat otettavan energian määrään lisäävästi tai vähentävästi (7, s. 79). Maaperästä otettavan lämmön määrään vaikuttaa oleellisesti myös kosteus. Veden jäätymislämpö kasvattaa maaperän kykyä varastoida lämpöenergiaa lämpötilamuutosta kohden. (8, s. 385.)

Taulukoista 1, 2 ja 3 ja kuvasta 3 nähdään maaperän kosteuden merkitys maapiirin pituuteen, tarvittavaan maa-alaan ja saataviin tehoihin. Kosteampi maaperä, tässä tapauksessa savi, tarvitsee pienemmän maa-alan putkistolle, mutta antaa enemmän tehoa.

*TAULUKKO 1. Pientalon maalämpöpumpun maapiirin tarvitsemia putkien pituuksia ja maa-aloja, kun vuosienenergian tarve on 25 000 kWh ja lämpöpumpun lämpökerroin on 2,5 (8, s. 386)*

Sijainti	Maaperä	Putken pituus, m	Maa-ala, m <sup>2</sup>
Etelä-Suomi	Savi	215–250	320–375
	Hiekka	330	500
Pohjois-Suomi	Savi	330–375	500–560
	Hiekka	750–1000	1130–1500

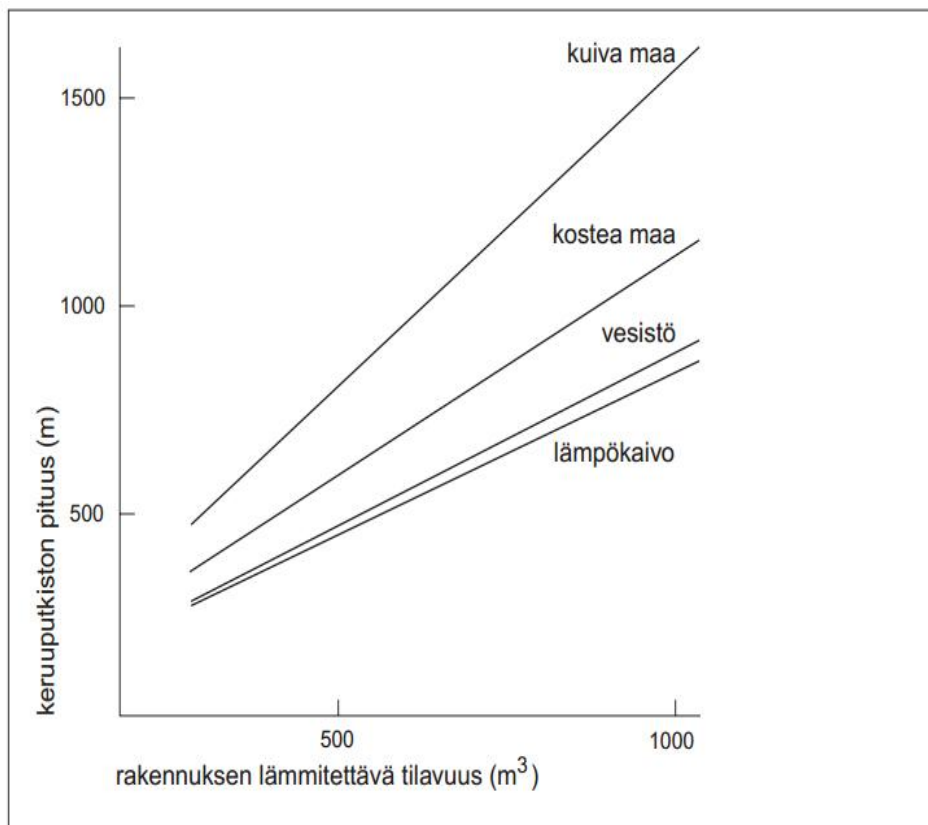
Taulukkoon 2 on laskettu taulukon 1 pohjalta energia ja teho. Vertailtaessa taulukon 2 arvoja taulukon 3 arvoihin nähdään arvojen olevan saman suuntaisia. Taulukon 2 arvot ovat hieman varovaisempia.

*TAULUKKO 2. Energiat ja keskitehot taulukosta 1*

Sijainti	Maaperä	Energia, kWh/m	Teho, W/m
Etelä-Suomi	Savi	47–40	13–11
	Hiekka	30	9
Pohjois-Suomi	Savi	30–27	9–7
	Hiekka	13–10	4–3

TAULUKKO 3. Maasta vaakaputkistolla saatava energia ja maksimiteho (7, s. 79)

Sijainti	Maaperä	Energia, kWh/m	Teho, W/m
Etelä-Suomi	Savi	50–60	20
	Hiekka	30–40	14
Pohjois-Suomi	Savi	30–35	14
	Hiekka	0–10	5



KUVA 3. Esimerkki putkistopituuksista eri lämmönkeruujärjestelmillä (5, s. 2)

## 2.2 Esilämmitysjärjestelmä

Järjestelmä koostuu kolmesta pääkomponentista: maapiiristä, kiertovesipumpusta ja itse esilämmityspatterista. Maapiiri kytketään kupariputkella esilämmityspatteriin talon tekniseen tilaan tulevasta maapiirin noususta. Kiertovesipumppu asennetaan esilämmityspatterin paluupuolen putkeen kierrättämään maapiiriliuosta. Järjestelmään asennetaan myös paisunta-astia kompensoimaan liuoksen lämpölaajenemista, varoventtiili estämään paineen liiallista nousua, painemittari järjestelmän paineen seuraamiseen ja täyttöventtiili maapiiriliuoksen lisäystä varten. Myös lämpömittarit meno- ja paluupuolen putkiin voidaan asentaa maapiiriliuoksen lämpötilan seuraamisen helpottamiseksi.

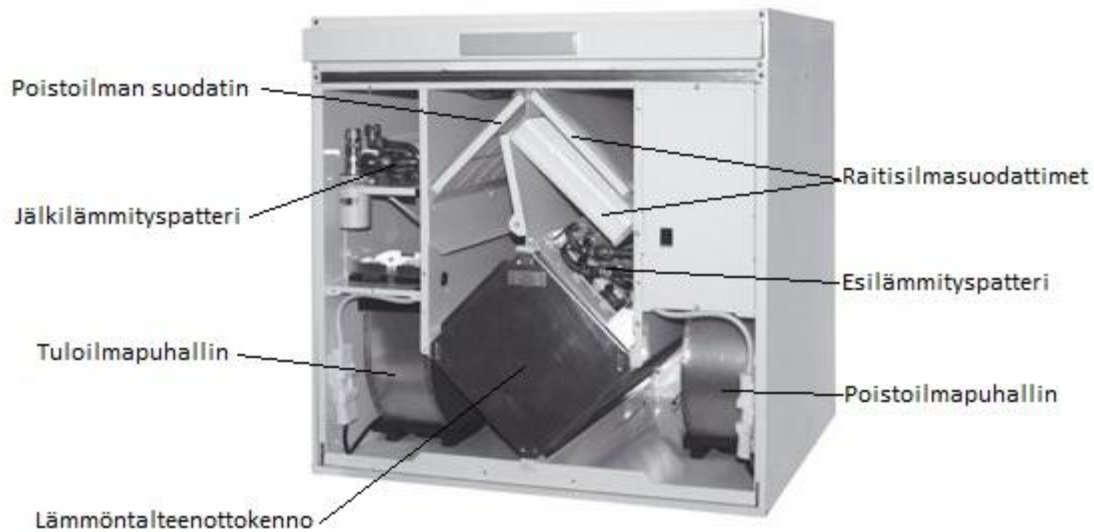
### **3 ILMANVAIHTO**

Ilmanvaihto tarkoittaa tapahtumaa, jossa tilaan tulee ja sieltä poistuu ilmaa. Ilmanvaihdon toteutukseen on monia vaihtoehtoja. Nykyisessä rakennuskannassa yleisimmät ilmanvaihtojärjestelmät ovat painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää tilassa sopivaa ilmanlaatua. (9, s. 207.) Haluttaessa parempaa ilmanlaatua sekä lämpötilan ja kosteuden säätöä käytetään ilmanvaihtoon ilmastointikonetta (9, s. 332).

#### **3.1 Ilmanvaihtokone**

Ilmanvaihtokoneen tehtävänä on tuoda suodatettua ja lämmityskaudella lämmitettyä tuloilmaa kiinteistön puhtaisiin tiloihin. Puhtaita tiloja ovat esimerkiksi makuuhuoneet, olohuone ja sauna. Näistä tiloista ilma kulkeutuu tiloihin, joista se kosteana tai likaantuneena poistetaan ulos jäteilmana. Ilmaa poistetaan saunasta, pesuhuoneesta, WC-tiloista, kodinhoituhuoneesta ja vaatehuoneista. Keittiössä liesituuletin tai erillinen huippuimuri-liesikupuyhdistelmä toimii käryjen poistajana. (10.)

Pientalossa ilmanvaihtokoneen perusosat ovat tulo- ja poistoilmapuhaltimet, raitis- ja poistoilmasuodattimet, lämmöntalteenottokenno ja jälkilämmityspatteri (kuva 4). Lämmöntalteenottokenno siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan lämmityskaudella, ja jälkilämmityspatteri lämmittää lopuksi tuloilman haluttuun lämpötilaan. Kesällä poistoilma ohjataan kennon ohi. Lämmöntalteenotolla saadaan aikaan energian säästöä.



*KUVA 4. Ilmanvaihtokone Vallox Digit 2 SE (11)*

### **3.2 Esilämmitys**

Esilämmityspatterin tehtävänä on lämmittää ilmanvaihtokoneeseen tulevaa raitisilmaa ennen lämmöntalteenottoa. Esilämmityksellä pyritään energian säästöön ja parempaan lämmöntalteenottokennon toimivuuteen lämmityskaudella. Energian säästöön vaikuttaa käytetty esilämmityspatterin lämmitysmuoto. Maalämmön keruupiirin nestettä käytettäessä saadaan hyötykäytettyä lämpöenergia taloudellisemmin kuin esimerkiksi sähköllä, jos asennuskustannukset jätetään huomioimatta. Esilämmityksellä saadaan tehokkaasti estettyä LTO-kennon jäätymisestä aiheutuvia käyttökatkoja ja pienennettyä jälkilämmityspatterin tarvitsemää lämmitysenergian määrää, kun ulkolämpötila on alhainen.

## 4 KOHTEET

Kohteiksi valikoitui yhdeksän pientaloa Oulun alueelta. Kohteissa tehtiin ilmalle ja maapiiriliuokselle lämpötila- ja virtausmittaukset ja laskettiin lopuksi esilämmityspatterien tehot kerätyistä tiedoista.

Kaikissa kohteissa on erillinen esilämmityspatteri ennen ilmanvaihtokonetta. Maapiirin pituus on noin 200 metriä ja putkistona käytetään korkeatiheyksistä polyeteeniputkea (PEH) halkaisijaltaan 40 mm. Tosin asennussyvyudessa ja asennuspaikassa on vaihtelua. Piirejä on asennettu niin talon alle kuin pihallekin. Maapiirien liuksina kohteissa käytetään joko glykoli- tai etanoli-vesiseosta. Asukkaita pyydettiin pitämään ilmanvaihtokone mittausten ajan samassa tehossa, jossa sitä normaalistikin pidetään. Luettelo kohteiden tiedoista on liitteessä 2.

### 4.1 Kohde A

Kohteen A huoneistoala on 128 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 45 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Vallox MLV -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 3 kuukautta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee talon alla noin 1,5 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on märkää hienoa hiekkaa. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 45 % etanolia ja 55 % vettä. Maapiiriliuksen pumppu on Grundfosin Alpha 2L 25-60 180, joka oli asetettu teholle 3/4.

### 4.2 Kohde B

Kohteen B huoneistoala on 188 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 50 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Vallox MLV -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 3 kuukautta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee puoliksi talon alla ja puoliksi pihalla noin 1,5 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on hienoa hiekkaa. Liuoksena käy-

tetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 30 % etanolia ja 70 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Wilon Yonos Pico, joka oli asetettu täysteholle.

#### **4.3 Kohde C**

Kohteen C huoneistoala on 167 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 45 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 200-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 2 vuotta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee pellolla noin 1,2 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on silttiä. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 30 % etanolia ja 70 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin UPS 25-40 180, joka oli asetettu teholle 1/3.

#### **4.4 Kohde D**

Kohteen D huoneistoala on 179 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 50 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 200-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin vuoden ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkistosta 160 m sijaitsee talon alla ja noin 40 m pihalla noin 1,5 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on märkää silttiä. Liuoksena käytetään glykoli-vesiseosta seossuhteella 50 % glykolia ja 50 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin Alpha 2 25-40 180, joka oli asetettu teholle 3/4.

#### **4.5 Kohde E**

Kohteen E huoneistoala on 165 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 50 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 200-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin vuoden ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee talon alla noin 1,5 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on märkää silttiä. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta



seossuhteella 60 % etanolia ja 40 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin Alpha 2 25-40 180, joka oli asetettu teholle 3/4.

#### **4.6 Kohde F**

Kohteen F huoneistoala on 120 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 45 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 200-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin vuoden ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee talon alla noin 3,5 m maanpinnasta pohjaveden alapuolella. Maaperä putkiston ympärillä on märkää hiekkaa. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 30 % etanolia ja 70 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin UPS 25-60 180, joka oli asetettu teholle 3/4.

#### **4.7 Kohde G**

Kohteen G huoneistoala on 150 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pandion eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 50 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 200-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 2 vuotta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee talon alla noin 2 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on märkää silttiä. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 50 % etanolia ja 50 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin Alpha 2 25-60 180, joka oli asetettu täysteholle.

#### **4.8 Kohde H**

Kohteen H huoneistoala on 146 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent HP Green Air Pelican, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 40 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Veab CWK 250-3-2.5 -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 5 vuotta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee pihalla nurmikon alla noin metrin maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on silttimoreenia. Liuoksena käytetään glykoli-

vesiseosta seossuhteella 50 % etanolia ja 50 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Grundfosin Alpha 2 25-60 180, joka oli asetettu täysteholle.

#### **4.9 Kohde I**

Kohteen I huoneistoala on 123 m<sup>2</sup> ja ilmanvaihtokoneena on Enervent Pingvin eco EDE, joka oli mittausten aikana asetettu tehoon 50 %. Ilmanvaihtokoneelle tulevan ilman esilämmityspatterina käytetään Vallox MLV -patteria. Järjestelmä oli ollut käytössä noin 2 kuukautta ennen mittauksia.

Maapiiriin keruuputkisto sijaitsee talon alla noin 2,5 m maanpinnasta. Maaperä putkiston ympärillä on märkää silttiä. Liuoksena käytetään etanoli-vesiseosta seossuhteella 50 % etanolia ja 50 % vettä. Maapiiriliuoksen pumppu on Wilon Yonos Pico, joka oli asetettu täysteholle.

## 5 MITTAUKSET

Mittaukset tehtiin loppukeväästä, ajanjaksolla 20.3.–5.4.2013. Kohteissa mitattiin neljää eri lämpötilaa. Tuloilman lämpötilaa mitattiin ennen ja jälkeen esilämmityspatterin. Maapiiriliuoksen lämpötilat mitattiin esilämmityspatterin menoja paluupuolelta. Lämpötilojen lisäksi mitattiin ilmastointikoneelle tulevan raatisilman ilmavirta ja esilämmityspatterille menevän maapiiriliuoksen nopeus.

### 5.1 Lämpötilamittaukset

Lämpötilamittauksissa käytettiin Kimon KISTOCK KT-210 AO -dataloggeria, johon oli liitetty 4 kappaletta ulkoisia antureita. Loggeriin oli ohjelmoitu ennen mittauksia sekä lämpötilojen mittaus- ja tallennusväli että loggerin käyntiaika. Tiedonkeruun päätyttyä mittaustulokset siirrettiin ja tallennettiin tietokoneelle KILOG-ohjelmalla. Ohjelma antaa valmiin kaavion ja taulukon kerätyistä lämpötiloista. Lopuksi loggeri ohjelmoitiin uudelleen seuraavaan mittaukseen.

Kahdella anturilla mitattiin maapiiriliuoksen lämpötiloja meno- ja paluuputkessa. Anturit asennettiin nippusiteillä putkien pintaan ja mahdolliset lämpöeristeet kiinnitettiin takaisin paikoilleen. Ilman lämpötilaa, esilämmityspatterin molemmilta puolilta, mitattiin kahdella jäljelle jääneellä anturilla ilmanvaihtokanavan sisältä. Anturit pyrittiin asentamaan mahdollisimman keskelle ilmanvaihtokanavaa. Antureita asennettiin mahdollisimman paljon suodatinkoteloiden luukuista. Näin anturien asennuksessa vältettiin ylimääräisten reikien tekoa ja olemassa olevien eristeiden irrottamista. (Kuva 5.)



*KUVA 5. Loggeri ja anturit asennettuna kohteessa H*

## **5.2 Ilmavirtamittaukset**

Ilmavirtamittauksissa käytettiin balometriä, kuumalanka-anemometriä ja siipipyöräänemometriä. Balometrilla mitattiin ilman tilavuusvirtaa suoraan kohteen raitisilmasäleiköstä. Kuumalankaa käytettiin ilmavirran nopeuden mittaamiseksi kanavasta, jos suojaetäisyysvaatimukset täytyivät. Siipipyöräänemetrillä mitattiin yhden kohteen ilmavirran nopeutta raitisilmasäleiköstä, koska kahta muuta mittaustapaa ei pystytty käyttämään.

### **5.2.1 Balometri**

Mittauksissa käytetty balometri oli malliltaan Alnor 150 (kuva 6), ja se soveltui hyvin kenttämittauksiin keveytensä ja helppokäyttöisyytensä ansiosta. Tilavuusvirran mittaus tapahtuu mittausosassa kiinteästi sijoitetuilla antureilla useasta mittauspisteestä virtauspoikkipinnan alueella (12, s. 9).

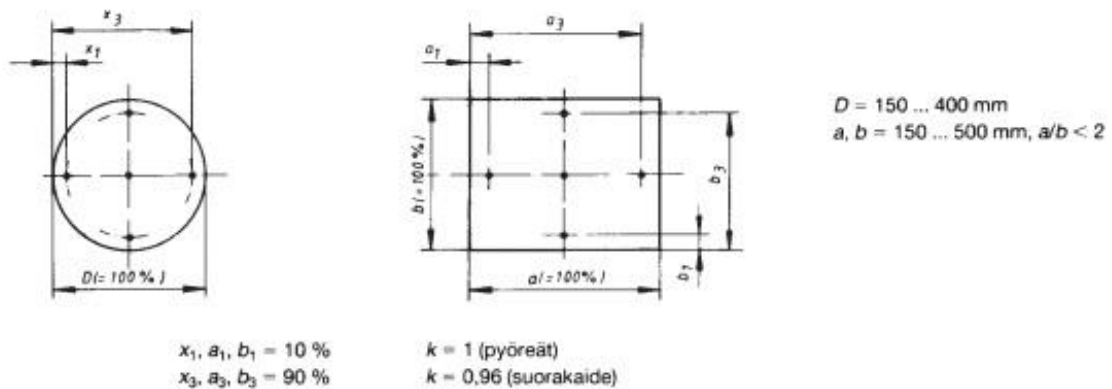
Mittaus aloitettiin pingottamalla balometrin huppu ja valitsemalla ilmavirran suunta ohjauspaneelista. Tämän jälkeen balometri asetettiin raitisilmasäleikön ympärille ja otettiin tulos ylös ohjauspaneelin näytöstä.



KUVA 6. Alnor 150 -balometri (13)

### 5.2.2 Kuumalanka-anemometri

Kohteissa, joissa suojaetäisyydet täytyivät, mitattiin ilmavirran nopeus kuumalangalla kanavasta viiden pisteen menetelmällä (kuva 7). Kanavaan porattiin kaksi reikää 90°:n kulmassa toisiinsa nähden. Näin päästiin mittaamaan ilmavirran nopeutta oikeista kohdista.



KUVA 7. Viiden pisteen menetelmän mittausohjeet pyöreälle ja kantikkaalle kanavalle (14, s. 5)

Mittauksissa käytettiin TSI VelociCalc plus 9555 -mittaria ja kuumalankamittauskärkeä (kuva 8). Mittari on helppokäyttöinen ja näyttää nopeuden heti

käynnistyyään. Ilmavirran nopeus tasoittuu näytöllä nopeasti, ja tasoittuneet tulokset saatiin kirjattua ylös ja laskettua keskiarvo.



*KUVA 8. TSI VelociCalc plus 9555 ja mittauskärki*

### **5.2.3 Siipipyöräänemometri**

Siipipyöräänemometri on ilmastointiteknisissä mittauksissa yleisesti käytetty mekaaninen mittari (kuva 9). Herkästi laakeroitu siipipyörä pyörii ilmavirran vaikutuksesta sitä nopeammin, mitä nopeammin ilma liikkuu. Siipipyörän pyörimisnopeus on lähes suoraan verrannollinen ilman virtausnopeuteen. (12, s. 8.)



*KUVA 9. Airflow LCA 6000 -siipipyöräänemometri*

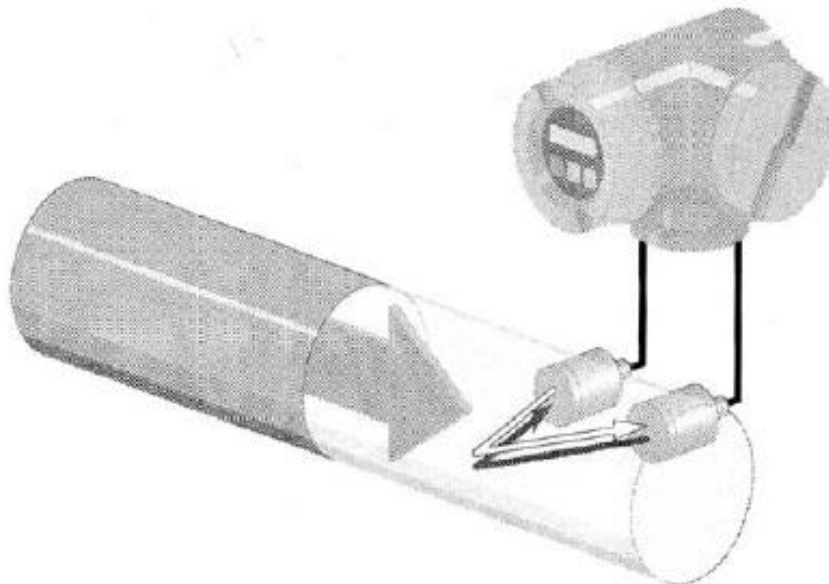
Kohteessa H ilmavirran keskinopeus mitattiin raitisilmasäleiköstä viidestä eri kohdasta. Raitisilmasäleikön rimoitus oli erittäin harva ja tukkoisuusastetta ei

näin ollen otettu laskuissa huomioon. Mitatuista arvoista laskettiin ilmavirran nopeuden keskiarvo.

### 5.3 Maapiiriliuoksen nopeuden mittaus

Ultraäänimittaus on hyvä valinta silloin, kun mitattavana olevassa putkessa ei ole luontaista mittauskohdetta, kuten säätöventtiiliä. Ultraäänisignaali suunnataan lähetinelementillä virtaavaan nesteeseen. Laite rekisteröi ääniviestin taaajuuden muutoksen ja siitä riippuvan matka-ajan. Mittatiedot takaisin heijastuvasta äänisignaalista siirretään vahvistimen kautta laskentayksikköön, joka käsittelee tulokset. Pinta-asenteiset lähetinelementit asetetaan suoralle putkiosuudelle huomioiden riittävät suojaetäisyydet. (15, s. 3–4.)

Asennettaessa lähetinelementtejä on hyvä huomioida myös putkessa mahdollisesti oleva sakka ja ilma, jotka aiheuttavat tulosten vääristymistä. Esimerkiksi vaakaputkessa mahdollinen sakka on kerääntynyt putken pohjalle ja ilma putken yläosaan. Näin ollen asennus tulee tehdä siten, että ultraäänisignaali ei kulje putken pohjan ja yläosan kautta. (Kuva 10.) (15, s. 3–4.)



*KUVA 10. Havainnekuva mittaustilanteesta (15, s. 4.)*

Mittauksissa käytettiin Portaflow 300 -ultraäänimittaria (kuva 11). Lähetinelementit kiinnitettiin putkeen ja liitettiin värikoodatuin johdoin mittariin. Mittariin

asetettiin ensiksi putken materiaali, ulkohalkaisija ja seinämän paksuus. Seuraavaksi valittiin jo valmiiksi mittarissa ollut mitattava liuos tai manuaalisesti asetettiin äänennopeus halutussa liuoksessa. Tämän jälkeen mittari antoi etäisyyden, jolla lähetinelementtien on oltava toisistaan. Edellä mainittujen kohtien jälkeen ultraäänimittari alkaa antaa reaaliaikaista tietoa maapiiriliuoksen nopeudesta.



*KUVA 11. Portaflow 300 -ultraäänimittari*



## 6 TULOKSET

Tavoitteena oli selvittää kohteiden esilämmityspatterien todelliset tehot sekä ilman että maapiiriliuoksen avulla. Teho saadaan laskettua molemmissa tapauksissa kaavalla 1 (9, s. 193).

$$\dot{Q} = c_p * \rho * q_v * (t_2 - t_1) \quad \text{KAAVA 1}$$

$\dot{Q}$  = teho (kW)

$c_p$  = ilman / maapiiriliuoksen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$\rho$  = ilman / maapiiriliuoksen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$q_v$  = ilman / maapiiriliuoksen tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$t_2$  = ilman / maapiiriliuoksen korkeampi lämpötila (°C)

$t_1$  = ilman / maapiiriliuoksen matalampi lämpötila (°C)

Ilman ominaislämpökapasiteettina käytetään arvoa 1 kJ/kg°C ja tiheytenä arvoa 1,3 kg/m<sup>3</sup> (16). Ilman ominaislämpökapasiteetti ja tiheys pidetään vakiona, koska lämpötilat mittaushetkillä olivat 0–(–20) °C. Liuoksien ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet saadaan CoolPack-ohjelmalla. Ilman tilavuusvirta saatiin suoraan balometristä, mutta kuumalangalla ja siipipyöräänemometrillä mitattaessa saatiin vain ilman nopeus. Ultraäänimittarilla saadaan selvitettyä liuoksen nopeus putkessa. Tilavuusvirta saadaan kaavalla 2, johon pinta-ala saadaan kaavalla 3 (17).

$$q_v = v * A \quad \text{KAAVA 2}$$

$q_v$  = ilman / maapiiriliuoksen tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$v$  = ilman / maapiiriliuoksen nopeus (m/s)

$A$  = ilmanvaihtokanavan / liuosputken pinta-ala (m<sup>2</sup>)

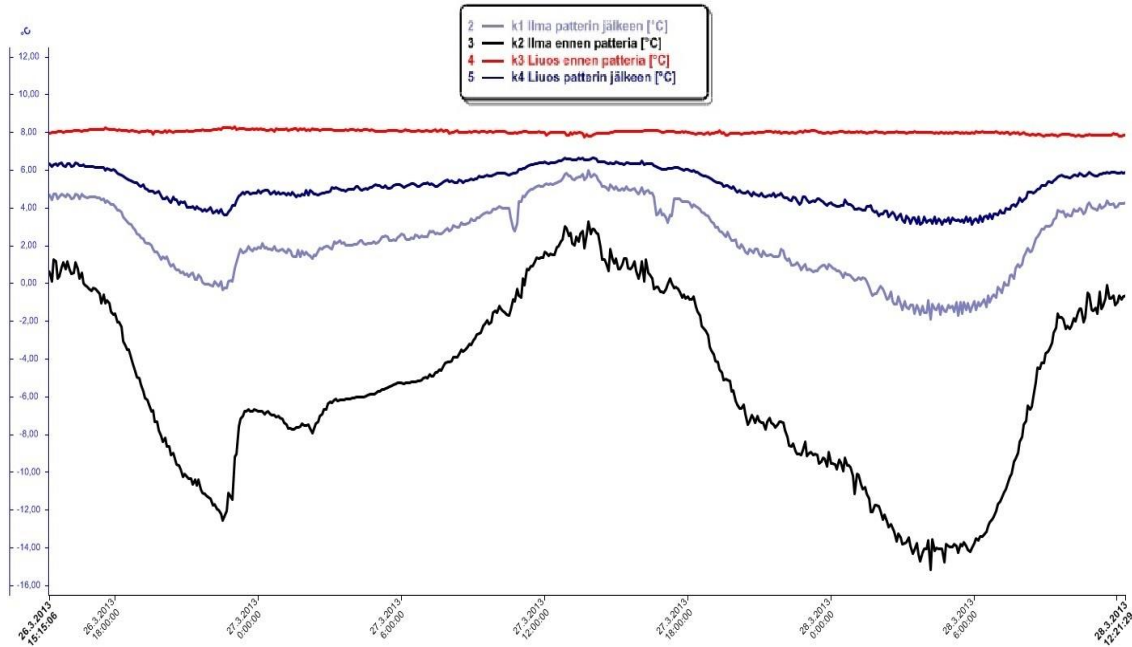
$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{KAAVA 3}$$

$A$  = ilmanvaihtokanavan / liuosputken pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$\pi$  = 3,1416

$d$  = ilmanvaihtokanavan / liuosputken sisähalkaisija (m)

Lämpötilat saadaan kohteittain KILOG-ohjelman kaaviokuvasta ja taulukosta sekä ilmalle että liuokselle. Kuvassa 12 on esimerkki kaaviosta, jonka ohjelma on tehnyt kerätyistä lämpötilatiedoista.



*KUVA 12. Kohteen F Lämpötilatiedot*

Kohteiden mittauspöytäkirjat ja kohdekohtaiset tulokset ovat liitteessä 3. Tulokset laskettiin kahdesta lämpötilasta. Yhdeksi lämpötilaksi valittiin  $-10\text{ °C}$ , koska kaikissa kohteissa päästiin tähän lämpötilaan. Toiseksi lämpötilaksi valittiin kylmin mahdollinen, josta saadaan maksimiteho. Taulukossa 4 esitetään tulokset tiivistettynä. Tehot laskettiin myös ilmapirrasta tuloilmavirtaa kohden, ilmapirrasta putkimetriä kohden ja maapiirin putkimetriä kohden.

TAULUKKO 4. Esilämmityspatterien tehot

**Tehot (-10°C)**

	Teho	Teho/tuloilmavirta	Teho/putkimetri	Teho	Teho/putkimetri
	Ilmavirta			Maapiiri	
	W	W / l/s	W / m	W	W / m
Kohde A	827	12,2	4,1	782	3,9
Kohde B	683	8,5	3,4	575	2,9
Kohde C	748	10,7	3,7	413	2,1
Kohde D	867	11,7	4,3	314	1,6
Kohde E	792	9,9	4,0	752	3,8
Kohde F	931	13,7	4,7	966	4,8
Kohde G	1277	12,2	6,4	413	2,1
Kohde H	883	12,6	4,9	557	3,1
Kohde I	516	12,9	2,6	498	2,5

**Tehot (maksimi)**

	Teho	Teho/tuloilmavirta	Teho/putkimetri	Teho	Teho/putkimetri
	Ilmavirta			Maapiiri	
	W	W / l/s	W / m	W	W / m
Kohde A (-10,32°C)	850	12,5	4,3	778	3,9
Kohde B (-16,94°C)	1074	13,4	5,4	990	5,0
Kohde C (-19,43°C)	1265	18,1	6,3	851	4,3
Kohde D (-15,41°C)	1156	15,6	5,8	529	2,6
Kohde E (-14,64°C)	1028	12,9	5,1	932	4,7
Kohde F (-15,13°C)	1169	17,2	5,8	1167	5,8
Kohde G (-20,20°C)	1964	18,7	9,8	788	3,9
Kohde H (-12,46°C)	1032	14,7	5,7	651	3,6
Kohde I (-13,37°C)	639	16,0	3,2	568	2,8

Taulukossa 4 olevat teho/putkimetri-tulokset ovat hyvin saman suuntaiset kuin taulukossa 2 olevat arvot. Monessa kohteessa maapiiri oli asennettu silttiin. Maaperänä siltti on kosteudeltaan saven ja hiekan välimaastossa.

Lopuksi tutkittiin parhaimman kohteen (kohde F) ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin teoreettista energian säästöä, joka saadaan käytettäessä esilämmityspatteria. Liitteeseen 4 on laskettu energiankulutus ilman esilämmityspatteria ja esilämmityspatterin kanssa. Energiankulutuksen laskemiseksi käytettiin ilmatieteenlaitoksen vuoden 1996 lämpötilatietoja Oulun alueen päivittäisistä ulkoilman lämpötilakeskiarvoista (18).

Energiankulutuksen laskemiseen tarvitaan ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton hyötysuhde. Enerventin Pandion-mallilla hyötysuhde on 79% tilavuusvirralla 68 l/s ja oletetulla tulopoistosuhteella 1 (19, s. 44). Laskuissa otettiin kuitenkin huomioon LTO:n jäätymisenesto, siten että jäteilmän lämpötila ei saa alittaa arvoa 5 °C, jolloin hyötysuhde heikkenee. LTO:n hyötysuhde ja jäteilmän lämpötila voidaan laskea poistoilman lämpötilahyötysuhteen kaavalla (kaava 4). Tilanteissa joissa jäteilmän lämpötilaksi saadaan alhaisempi kuin 5 °C, laitetaan lämpötilaksi 5 °C (9, s. 286).

$$\eta_{tp} = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{t_{p1} - t_{u1}}$$

KAAVA 4

$\eta_{tp}$  = lämmöntalteenoton hyötysuhde

$t_{p1}$  = sisäilman lämpötila (°C)

$t_{p2}$  = jäteilmän lämpötila (°C)

$t_{u1}$  = ulkoilman lämpötila (°C)

Lämpötilat esilämmityspatterin jälkeen on otettu kohteen F mitatuista lämpötiloista. Osa lämpötiloista täytyi arvioida, koska mittausten aikana ei ulkolämpötila laskenut tarpeeksi alhaiseksi.

Sisä-, jäte- ja tuloilman lämpötilat otettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osista D2 ja D5 (20; s. 6, 21; s. 24, 54). Sisäilman lämpötilana käytetään arvoa 21 °C, jäteilmalla 5 °C ja tuloilmalla 17 °C. Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila ennen jälkilämmityspatteria saadaan johdettua lämpötilahyötysuhteen kaavasta kaavalla 5 (9, s. 286).

$$t_{u2} = t_{u1} + (\eta_{tp} * (t_{p1} - t_{u1}))$$

KAAVA 5

$t_{u2}$  = ilmanlämpötila lämmöntalteenoton jälkeen (°C)

$t_{u1}$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\eta_{tp}$  = lämmöntalteenoton hyötysuhde

$t_{p1}$  = sisäilman lämpötila (°C)

Viimeisenä osiona on jälkilämmityspatterin energiankulutuksen laskeminen, joka saadaan laskettua kaavalla 1 ja kertomalla se ajalla. Ilman tiheyden arvona käytetään arvoa 1,2 kg/m<sup>3</sup>, koska lämpötilat lämmöntalteenoton jälkeen ovat suurimmaksi osaksi positiivisten lämpöasteiden puolella. Lämpötiloina käytetään LTO:n jälkeisiä lämpötiloja ja jälkilämmityspatterin jälkeistä lämpötilaa eli oletettua tuloilman lämpötilaa (17 °C). Esilämmityspatterilla varustetun järjestelmän energiankulutusta laskettaessa on laskuissa otettu huomioon myös pumpun teho (60 W). Taulukossa 5 on tulokset esitetty tiivistetysti.

TAULUKKO 5. Energiankulutus

Kohde F	Päivien lukumäärä, jolloin jälkilämmityspatteria tarvitaan	Jälkilämmityspatterin energiankulutus (kWh)
Ilman esilämmityspatteria	171	2437,5
Esilämmityspatterilla	76	391,0

## 7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää maapiiristä saatava teho tuloilman esilämmitykseen. Aluksi mittaukset oli suunniteltu tehtäväksi pidempiaikaisena seurantana tietyissä uudisrakennuskohteissa, mutta järjestelmiä ei saatu valmiiksi aikataulussa. Kohteet vaihtuivat, ja mittaukset muutettiin lyhytkestoisiksi kertamittauksiksi.

Kerätystä datasta laskettiin tehot ilmavirran ja liuospiirin avulla. Ilmavirrasta saatuja tehoja voidaan pitää tarkempina ja luotettavampina kuin liuospiiristä saatuja.

Liuoksen lämpötila mitattiin putken pinnasta. Laskettaessa tehoja se ei aiheuta virhettä, sillä menevän ja palaavan liuoksen välinen lämpötilaero on oikea, koska mittausympäristö ja -tapa ovat samat meno- ja paluupuolella. Ilman lämpötila mitattiin ilmanvaihtokanavan sisältä ja mahdollisimman keskeltä.

Ilman ominaislämpökapasiteetti ja tiheys ovat melkein vakioita mittaustemperatuureissa ja näin ollen tarkempia laskettaessa tehoja. Etanoli- ja glykolivesiliuoksien ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet ovat epätarkempia, koska veden ja käytetyn seosaineen todellista suhdetta ei tiedetty tarkasti.

Liuoksen nopeuden mittaaminen aiheutti kuitenkin eniten ongelmia. Liuokset kulkivat putkissa, joiden halkaisija oli ultraäänimittarille soveltuvien putkien alarajalla. Lisäksi monen kohteen putkissa kulki ilmaa. Liuoksille piti myös asettaa omat äänennopeudet. Ultraäänimittarin mukana tulleessa ohjeessa oli eri äänennopeudet eri nesteille, mutta ne oli annettu lämpötilassa +20 °C. Liuoksien lämpötilat olivat mittaushetkillä huomattavasti alemmat. Ilmavirran nopeuden mittaamisessa ei ollut ongelmia.

Kaikissa kohteissa järjestelmä oli toimiva ja energiaa säästävää. Kohteiden keskinäiseen vertailuun sopivia arvoja ovat taulukossa 4 olevat teho tuloilmavirtaa kohden ja teho putkimetriä kohden lämpötilassa -10 °C. Maksimilämpötilassa olevat arvot ovat esillä havainnollistamassa tehoa, joka saadaan pelkän kierto-

vesipumpun ottamalla energialla. Putkimetriä kohden olevat tehot jätetään kuitenkin huomioimatta liuoksen nopeuden epäluotettavan mittauksen vuoksi.

Kohteiden tuloksia analysoitaessa esiin nousee koko ryhmästä oikeastaan paras ja heikoin kohde. Kohteessa F on maapiiri asennettu syvimmälle koko ryhmästä ja kokonaan talon alle. Maaperä maapiirin ympärillä on märkää hiekkaa. Näillä ominaisuuksilla tehoksi tuloilmavirtaa kohden on saatu 13,7 W/l/s, joka on vertailuryhmän paras teho. Pienin teho saadaan kohteessa B. Maapiiri on asennettu puoliksi talon alle ja puoliksi pihalle noin 1,5 metrin syvyyteen. Maaperä maapiirin ympärillä on hienoa hiekkaa ja tehoksi saadaan 8,5 W/l/s.

Järjestelmä on energiaa säästävä, ja sähköä tarvitaan ainoastaan kiertovesipumpulle. Kohteessa F kiertovesipumpun teho asennossa III on 60 W, mutta teho, jonka maapiiri antaa esilämmityspatterille lämpötilassa  $-15,1\text{ °C}$  (taulukko 4, maksimitehot), on 1169 W. Kohteessa B kiertovesipumpun teho täysteolla on 18 W ja maksimiteho lämpötilassa  $-16,9\text{ °C}$  on 1074 W.

Teoreettisesti laskettu säästetyn energian määrä maapiiriä käytettäessä kohteessa F on myös erittäin hyvä. Ilman esilämmityspatteria jälkilämmityspatteri kuluttaa 2437,5 kWh ja esilämmityspatterin kanssa jälkilämmityspatteri kuluttaa vain 391 kWh. Energiaa säästetään vuodessa yli 2000 kWh.

Mielestäni järjestelmä on hyvä ja soveltuu erittäin hyvin minkä tahansa lämmitysjärjestelmän tukijärjestelmäksi. Kiinteistön rakennusvaiheessa kannattaa maapiiri asentaa mahdollisimman syvälle, oli maaperä kuivaa tai märkää. Toisaalta maapiiri asennettuna 1–2 metrin syvyyteen toimii myös hyvin.

## LÄHTEET

1. Maalämpö. Geodrill. Saatavissa: <http://www.geodrill.fi/maalampo/>. Hakupäivä 14.2.2013.
2. Geoterminen energia. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/geoterminen-energia>. Hakupäivä 14.2.2013.
3. Geoenergia. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/index.html>. Hakupäivä 17.2.2013.
4. Maalämpö. 2012. Suomen maalämpöporaus Oy. Saatavissa: <http://www.maalampoporaus.fi/maalampo.html>. Hakupäivä 14.2.2013.
5. RT 50-10755. 2001. Maalämmitys. Rakennustietosäätiö.
6. Neljä lämmönlähdettä. Thermia. Saatavissa: <http://www.thermia.fi/lampopumppu/Nelja-eri-lammonlahdetta.asp>. Hakupäivä 17.2.2013.
7. Haapalainen, Heimo 2003. Lämpöpumppujen toiminnan edellytykset, järjestelmien suunnittelu ja yleisimpiä virheitä. Enersys Oy.
8. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys, 2. päivitetty painos. Suomen LVI-liitto ry.
9. Seppänen, Olli 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 1. lisäpainos. Suomen LVI-liitto ry.
10. Ilmanvaihdon toiminta. 2010. Vallox oy. Saatavissa: <http://www.vallox.com/vallox--ilmanvaihdon-toimintaperiaate>. Hakupäivä 23.2.2013.
11. Vallox Digit 2 SE. Tekninen esite. Vallox oy. Saatavissa: <http://www.vallox.com/vallox-digit2-se>. Hakupäivä 23.2.2013.



12. LVI 014-10290. 1999. LVI-laitosten mittaukset. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
13. Alnor 150. 2013. TSI. Saatavissa: <http://www.tsi.com/Alnor-Electronic-Balometer-with-Model-APM-150-Meter/>. Hakupäivä 5.5.2013.
14. LVI 014-10190. 1992. Ilmastointi, ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksista. Rakennustietosäätiö.
15. LVI 014-10291. 1999. Lämmitysverkostojen vesivirran mittaus. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
16. Air Properties. The engineering toolbox. Saatavissa: [http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d\\_156.html](http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html). Hakupäivä 29.9.2013.
17. Tekniikan kaavasto, 4. painos. 2002. Tampere: Tammertekniikka.
18. Ilmastopalvelu. Oulun lentoaseman lämpötilakeskiarvot 1996. 2007. Ilmatieteenlaitos.
19. Ilmanvaihtolaite lämmön talteenotolla. 2012. Suunnittelu-, asennus- ja käyttöohjeet. Enervent. Saatavissa: [http://www.enervent.fi/data/fi/manuals/EDA\\_2012\\_1\\_fi.pdf](http://www.enervent.fi/data/fi/manuals/EDA_2012_1_fi.pdf). Hakupäivä 20.11.2013.
20. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 24.11.2013.
21. D5 (2007). 2006. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Määräykset ja ohjeet 2007. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Hakupäivä 24.11.2013.

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Jani-Petteri Juhani Heino

Tilaaja Oulun kaupunki

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Mikko Niskala

Työn nimi Tuloilman esilämmitys maapiirillä

Työn kuvaus Työssä tutkitaan esilämmityspatterien lämmitystehoa maapiiristä saadulla energialla lämmityskaudella. Työ suoritetaan tekemällä tarvittavat mittaukset kohteissa. Työssä tutkitaan myös energiansäästöä, joka mahdollisesti saadaan esilämmityspatteria käytettäessä

Työn tavoitteet Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää esilämmityspatterien lämmitystehot ja pohtia onko esilämmityspatterin asennus kannattavaa.

Tavoiteaikataulu Kevät 2014

Päiväys ja allekirjoitukset

Jani-Petteri Heino 2.3.2014

**Kohde A**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	45%
Huoneistoala:	128 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 200jm PEH 40, noin 1,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä hieno hiekka
Järjestelmän käyttöikä:	3 kk
Maapiiriliuos:	45/55 etanoli/vesi
Patteri:	Vallox MLV
Pumppu:	Grundfos Alpha 2L 25-60 180

**Kohde B**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	50%
Huoneistoala:	188 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 100jm ja pihalla 100jm PEH 40, noin 1,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Hieno hiekka
Järjestelmän käyttöikä:	3 kk
Maapiiriliuos:	30/70 etanoli/vesi
Patteri:	Vallox MLV
Pumppu:	Wilo Yonos PICO

**Kohde C**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	45%
Huoneistoala:	167 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Pellolla 200jm PEH 40, noin 1,2m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Siltti
Järjestelmän käyttöikä:	2 vuotta
Maapiiriliuos:	30/70 etanoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 200-3-2.5
Pumppu:	Grundfos UPS 25-40 180

**Kohde D**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	50%
Huoneistoala:	179 m <sup>2</sup>
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 160jm, pihalla 40jm PEH 40, noin 1,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä siltti
Järjestelmän käyttöikä:	1 vuosi
Maapiiriliuos:	50/50 glykoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 200-3-2.5
Pumppu:	Grundfos Alpha 2 25-40 180

**Kohde E**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	50%
Huoneistoala:	165 m <sup>2</sup>
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 200jm PEH 40, noin 1,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä siltti
Järjestelmän käyttöikä:	1 vuosi
Maapiiriliuos:	60/40 etanoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 200-3-2.5
Pumppu:	Grundfos Alpha 2 25-40 180

**Kohde F**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	45%
Huoneistoala:	120 m <sup>2</sup>
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 200jm PEH 40, noin 3,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä hiekka, pohjaveden pinnan alapuolella
Järjestelmän käyttöikä:	1 vuosi
Maapiiriliuos:	30/70 etanoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 200-3-2.5
Pumppu:	Grundfos UPS 25-60 180

**Kohde G**

IV-kone ja malli:	Enervent Pandion eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	50%
Huoneistoala:	150 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 200jm PEH 40, noin 2m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä siltti
Järjestelmän käyttöikä:	2 vuotta
Maapiiriliuos:	50/50 etanoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 200-3-2.5
Pumppu:	Grundfos Alpha 2 25-60 180

**Kohde H**

IV-kone ja malli:	Enervent HP Green Air Pelican
IV-teho mittaushetkellä:	40%
Huoneistoala:	146 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Nurmikon alla 180jm PEH 40
Putkiston ympäristö:	Silttimoreeni
Järjestelmän käyttöikä:	5 vuotta
Maapiiriliuos:	50/50 glykoli/vesi
Patteri:	VEAB CWK 250-3-2.5
Pumppu:	Grundfos Alpha 2 25-60 180

**Kohde I**

IV-kone ja malli:	Enervent Pingvin eco EDE
IV-teho mittaushetkellä:	50%
Huoneistoala:	123 m2
Putkiston sijainti ja pituus:	Talon alla 200jm PEH 40, noin 2,5m mp:sta
Putkiston ympäristö:	Märkä siltti
Järjestelmän käyttöikä:	2 kk
Maapiiriliuos:	50/50 etanoli/vesi
Patteri:	Vallox MLV
Pumppu:	Wilo Yonos Pico

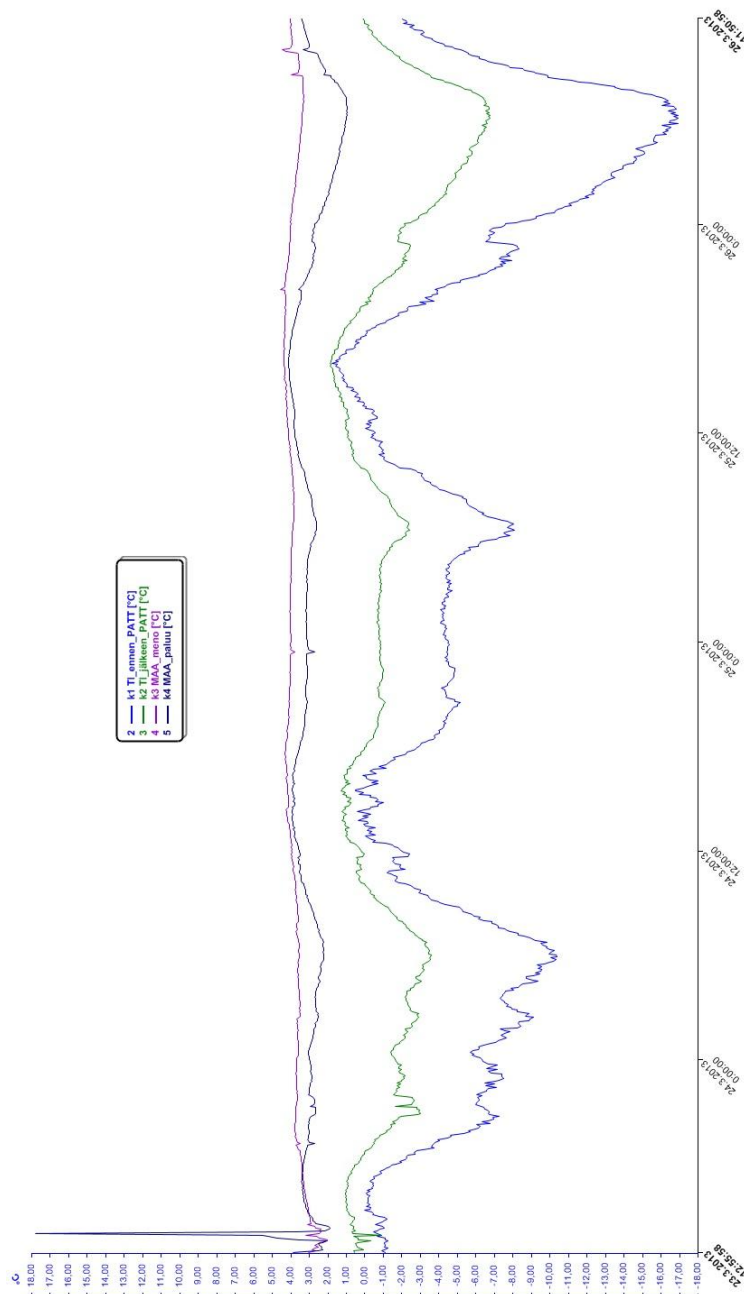
KOHDE A

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,075	kuumalanka 0,068	siipipyörä		liuoksen nopeus 0,32 m/s	putki CU22	A=	0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen			liuoksen tilavuusvirta 0,00010 m <sup>3</sup> /s			
min -10°C	-10,32	-0,7			liuos etanoli 45% vesi 55%	lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen
	-10,01	-0,66				min -10°C	5,47	3,32
							5,48	3,32
ilman ominaislämpökapasiteetti			1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti			3,85 kJ/kg°C	
ilman tiheys			1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys			935 kg/m <sup>3</sup>	
TEHO	0,850 kW			TEHO	0,778 kW			
TEHO -10	0,827 kW			TEHO -10	0,782 kW			



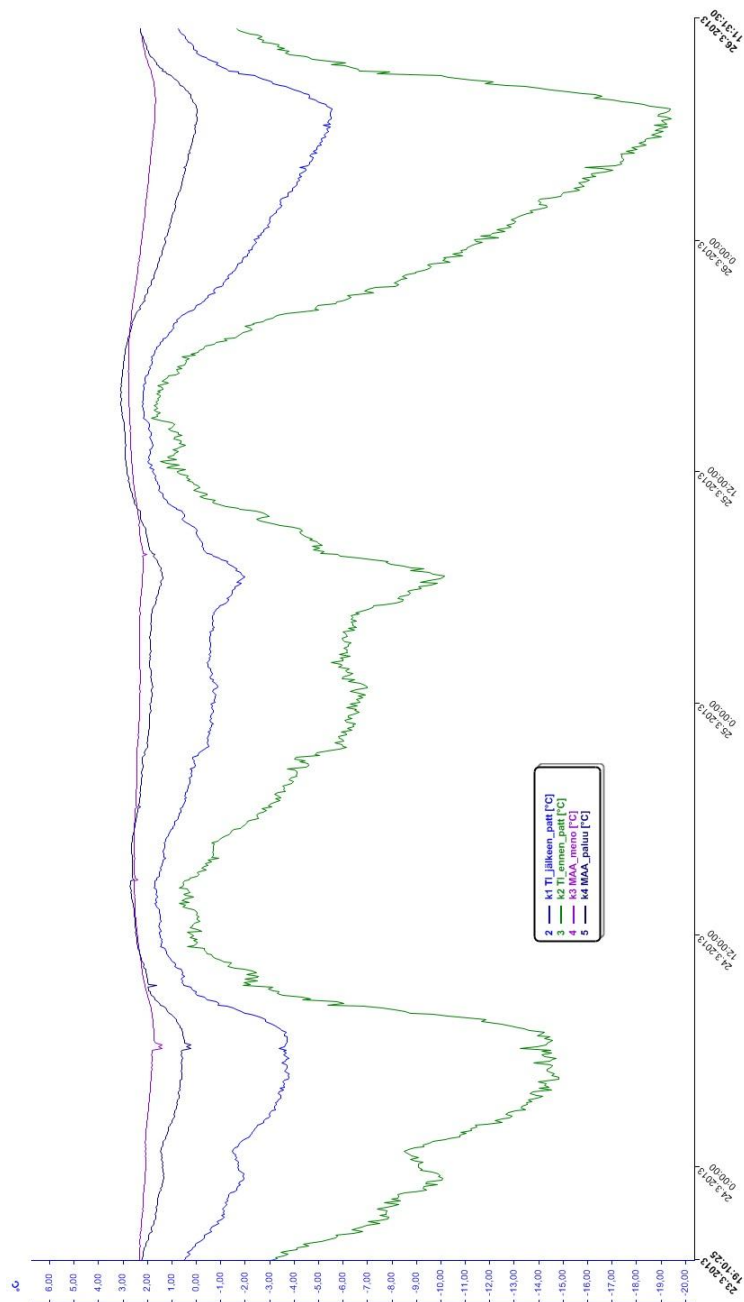
KOHDE B

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri	kuumalanka	siipipyörä		liuoksen nopeus	0,34 m/s	putki CU22	A=	0,000314159 m <sup>2</sup>
		0,08			liuoksen tilavuusvirta	1,07E-04 m <sup>3</sup> /s			
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen			liuos	etanoli 30% vesi 70%	lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen
min	-16,94	-6,61					min	3,4	1,06
-10°C	-10	-3,43					-10°C	3,59	2,23
ilman ominaislämpökapasiteetti			1 kJ/kg°C		liuoksen ominaislämpökapasiteetti		4,1 kJ/kg°C		
ilman tiheys			1,3 kg/m <sup>3</sup>		liuoksen tiheys		966 kg/m <sup>3</sup>		
TEHO	1,074 kW				TEHO	0,990 kW			
TEHO -10	0,683 kW				TEHO -10	0,575 kW			



KOHDE C

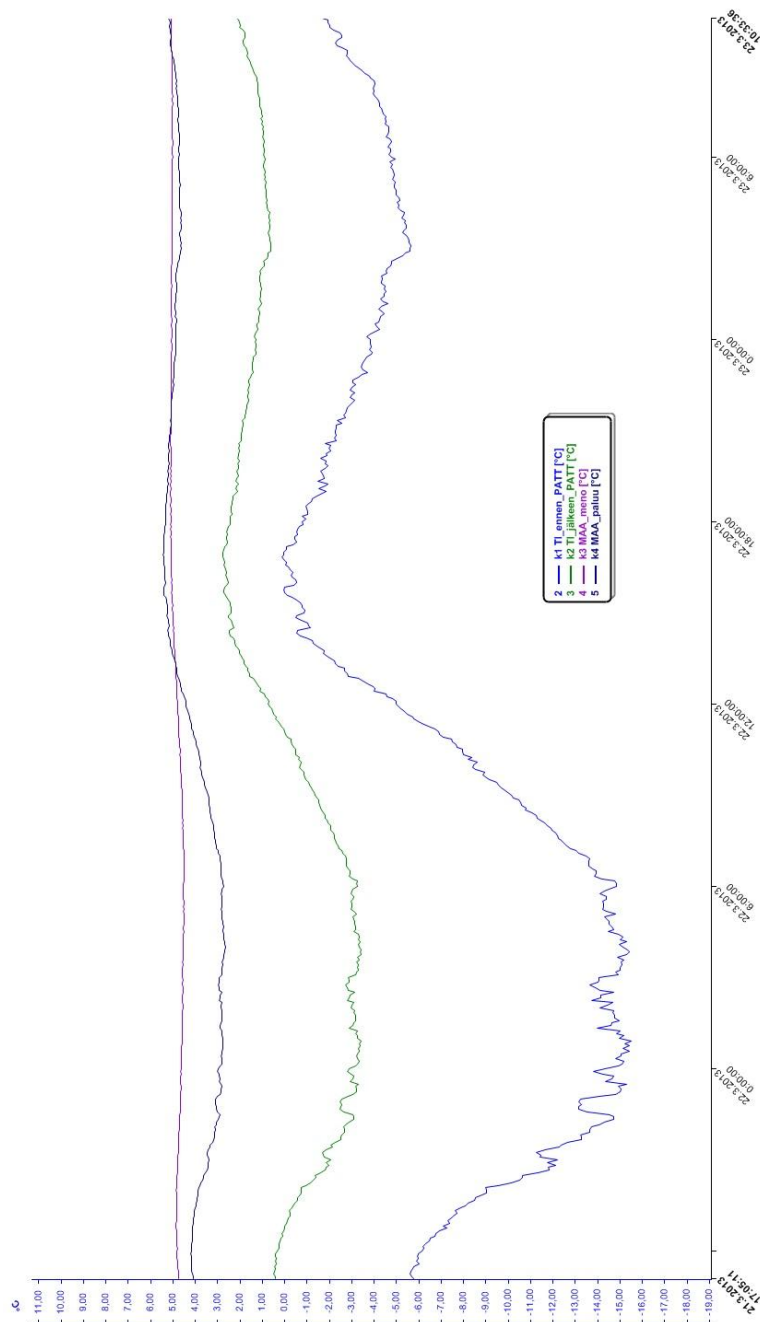
ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,07	kuumalanka	siipipyörä	liuoksen nopeus 0,4 m/s	putki CU22	A= 0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuoksen tilavuusvirta 1,26E-04 m <sup>3</sup> /s		
min -10°C	-19,43 -10,09	-5,53 -1,87		liuos etanoli 30% vesi 70%	lämpötila °C	ennen patteria
					min -10°C	patterin jälkeen
						1,69 2,34
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti		4,1 kJ/kg°C	
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys		966 kg/m <sup>3</sup>	
TEHO	1,265 kW		TEHO	0,851 kW		
TEHO -10	0,748 kW		TEHO -10	0,413 kW		





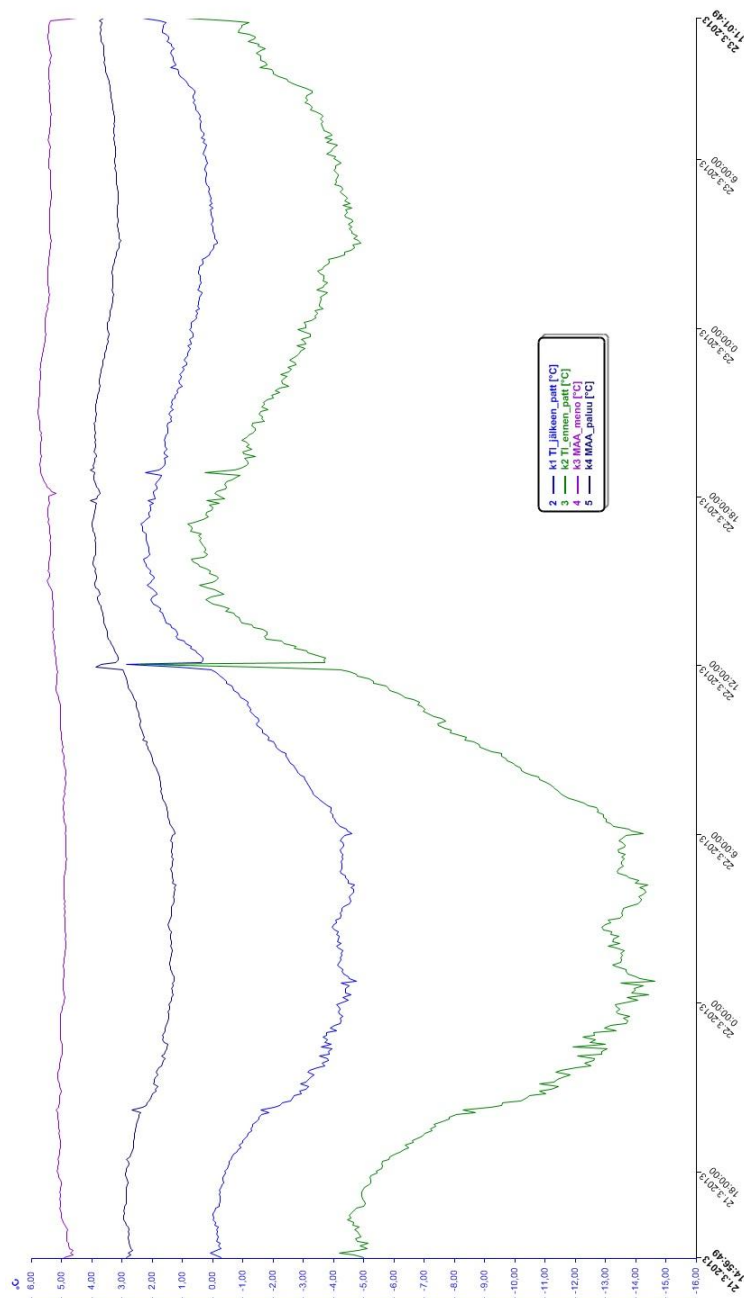
KOHDE D

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,074	kuumalanka	siipipyörä	liuoksen nopeus 0,4 m/s	putki CU18	A= 0,000201062 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuos glykoli 50% vesi 50%	lämpötila °C	ennen patteria
min -10°C	-15,41 -10,15	-3,39 -1,14			min -10°C	2,76 3,74
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti		3,3 kJ/kg°C	
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys		1077 kg/m <sup>3</sup>	
TEHO	1,156 kW		TEHO	0,529 kW		
TEHO -10	0,867 kW		TEHO -10	0,314 kW		



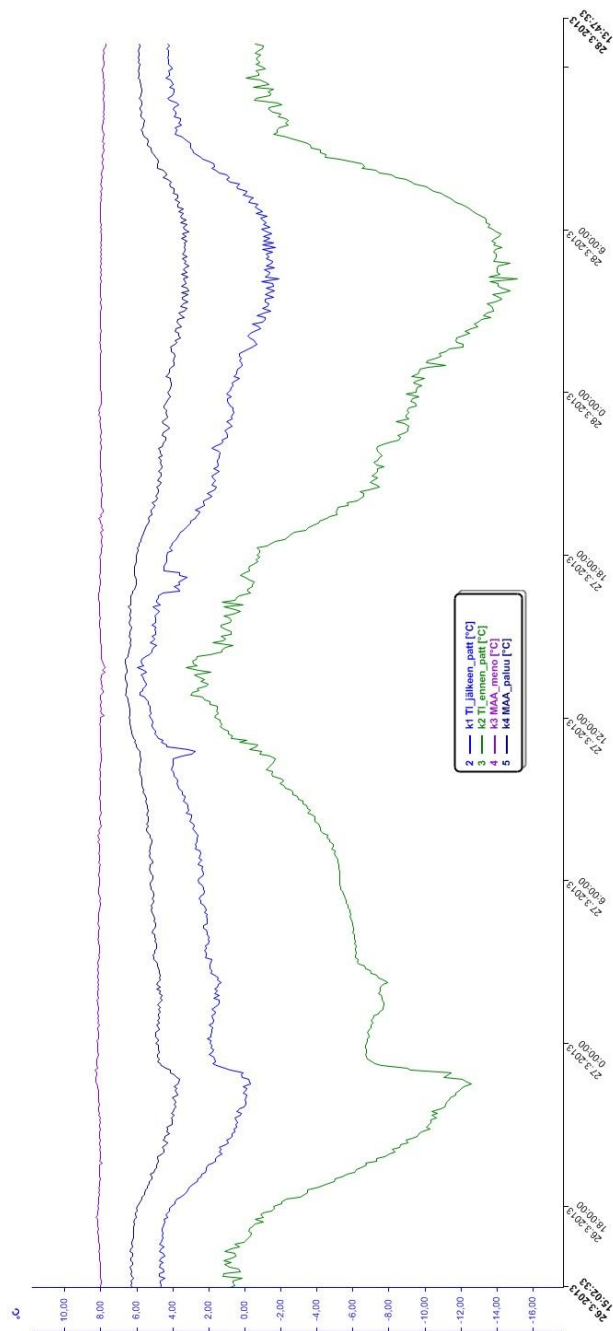
KOHDE E

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,068	kuumalanka 0,08	siipipyörä	liuoksen nopeus 0,26 m/s	putki CU22	A= 0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuoksen tilavuusvirta 8,17E-05 m <sup>3</sup> /s		
min -10°C	-14,64	-4,76		liuos etanoli 60% vesi 40%	lämpötila °C	ennen patteria
	-10,19	-2,57			min -10°C	patterin jälkeen
						4,96
						5,07
						2,11
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti		3,45 kJ/kg°C	
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys		901 kg/m <sup>3</sup>	
TEHO	1,028 kW		TEHO	0,932 kW		
TEHO -10	0,792 kW		TEHO -10	0,752 kW		



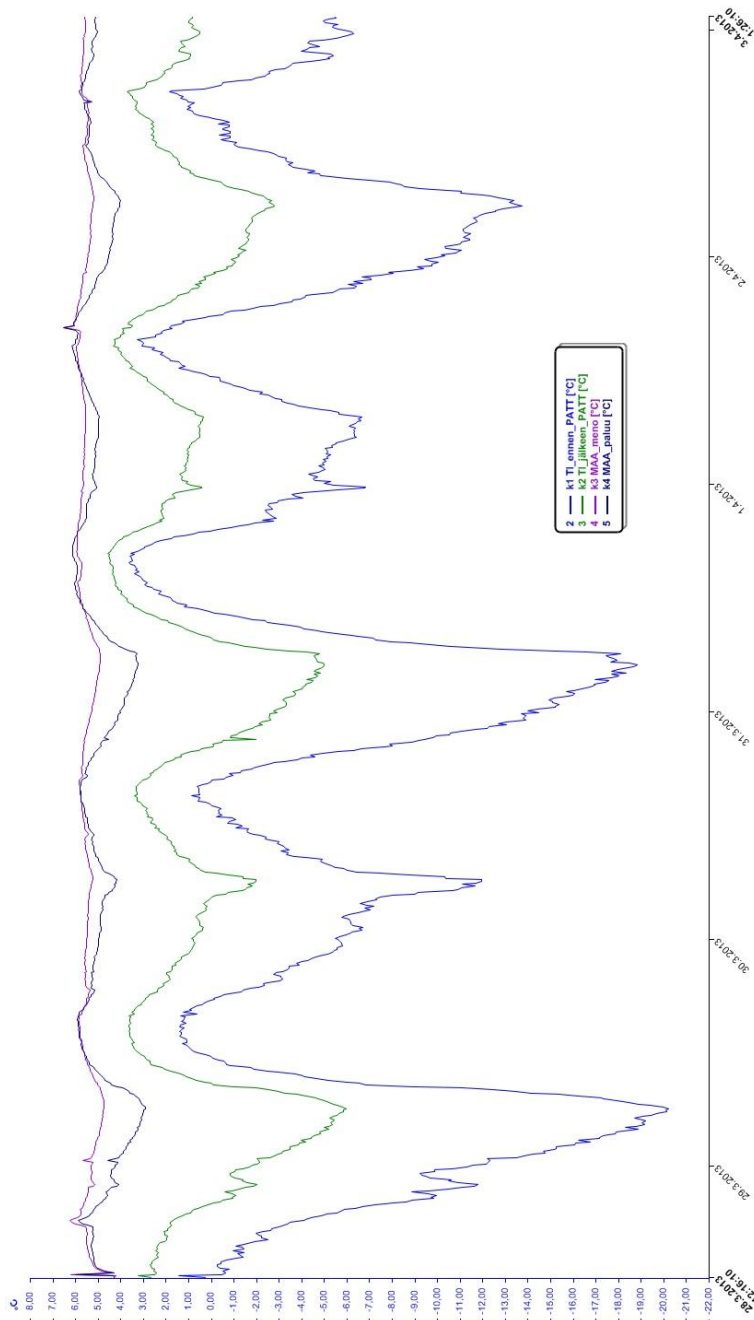
KOHDE F

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,068	kuumalanka	siipipyörä	liuoksen nopeus 0,2 m/s	putki CU22	A= 0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuoksen tilavuusvirta 6,28E-05 m <sup>3</sup> /s		
min -10°C	-15,13 -10,08	-1,91 0,45		liuos etanoli 30% vesi 70%	lämpötila °C	ennen patteria
					min -10°C	patterin jälkeen
					8,03 7,96	3,4 4,13
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti		4,18 kJ/kg°C	
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys		960 kg/m <sup>3</sup>	
TEHO	1,169 kW		TEHO	1,167 kW		
TEHO -10	0,931 kW		TEHO -10	0,966 kW		



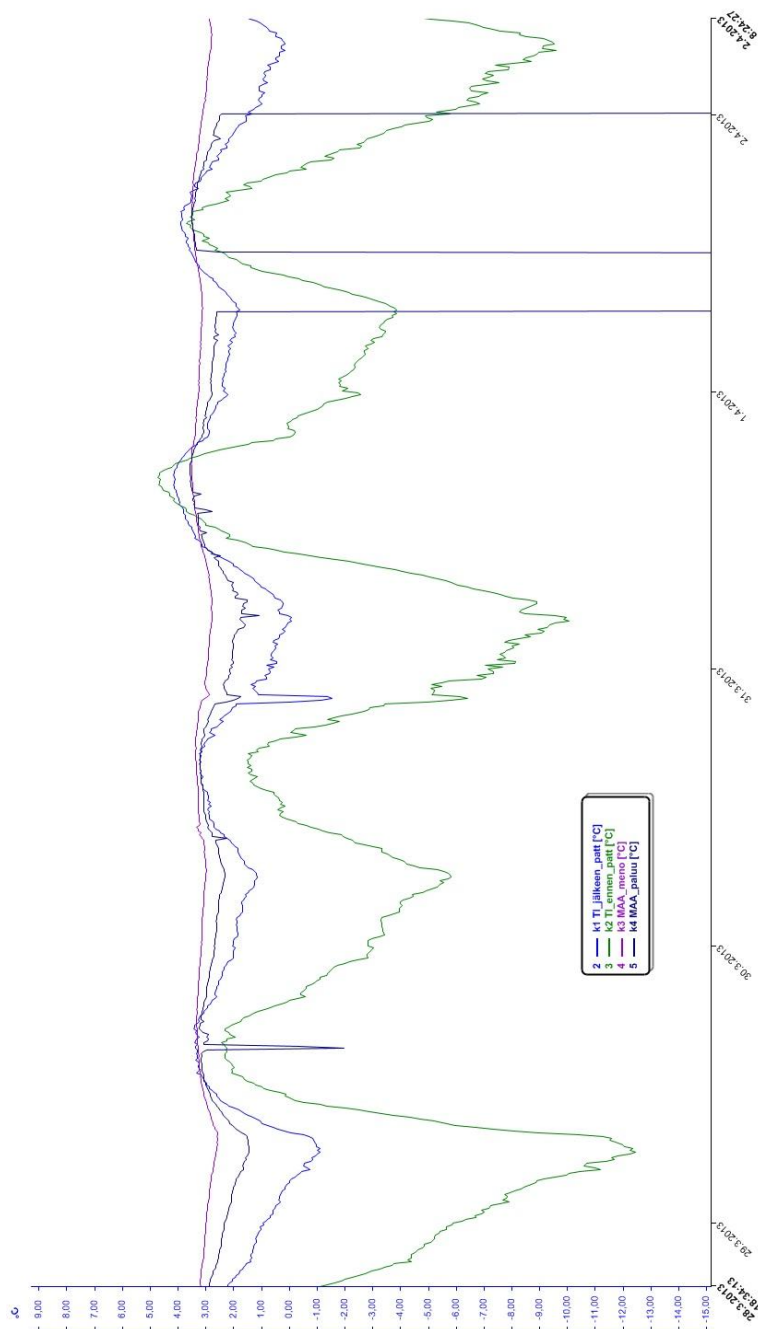
KOHDE G

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,105	kuumalanka	siipipyörä 0,106	liuoksen nopeus 0,4 m/s	putki CU22	A= 0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuoksen tilavuusvirta 1,26E-04 m <sup>3</sup> /s		
min -10°C	-20,2 -10,68	-5,95 -1,41		liuos etanoli 50% vesi 50%	lämpötila °C	ennen patteria
					min -10°C	patterin jälkeen
						4,76 5,3
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C		liuoksen ominaislämpökapasiteetti		3,7 kJ/kg°C
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>		liuoksen tiheys		926 kg/m <sup>3</sup>
TEHO	1,964 kW			TEHO	0,788 kW	
TEHO -10	1,277 kW			TEHO -10	0,413 kW	



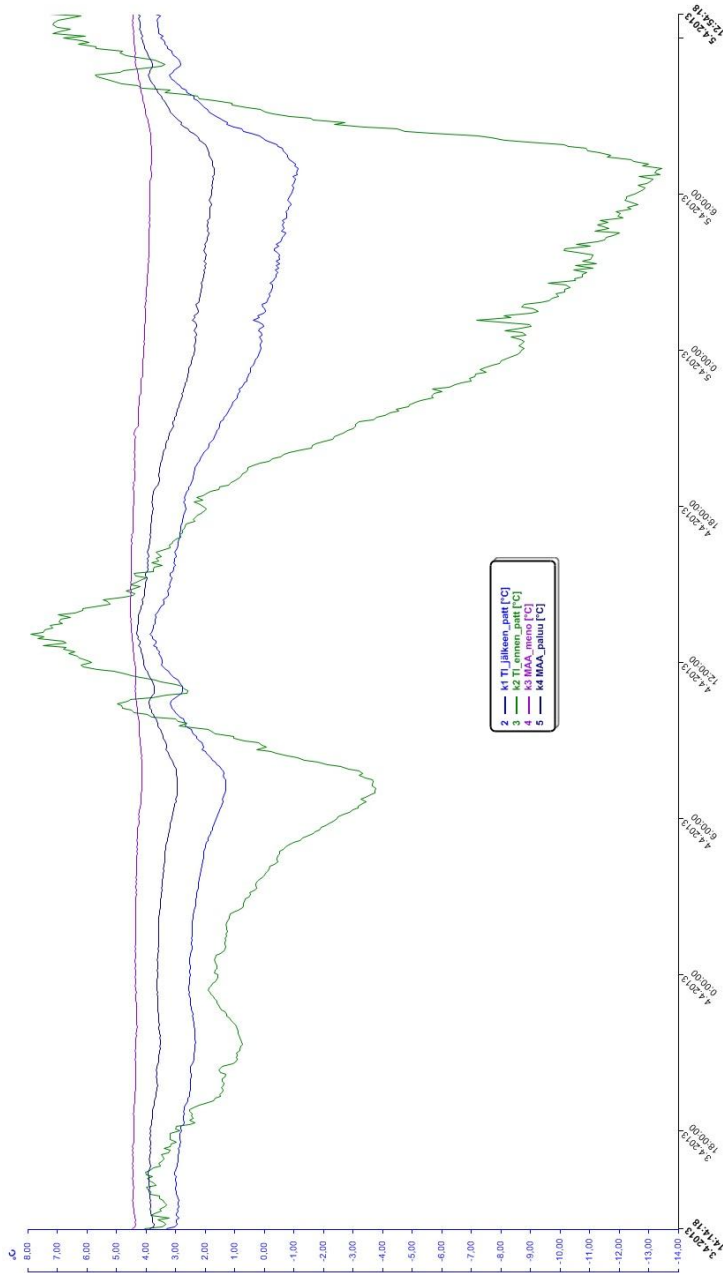
## KOHDE H

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri	kuumalanka	siipipyörä	0,07	liuoksen nopeus	0,5 m/s	putki CU22	A=	0,000314159 m <sup>2</sup>	
					liuoksen tilavuusvirta	0,000157 m <sup>3</sup> /s				
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen			liuos	glykoli 50%	vesi 50%	lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen
min	-12,46	-1,12						min	2,64	1,46
-10°C	-10,07	-0,37						-10°C	2,78	1,77
ilman ominaislämpökapasiteetti			1 kJ/kg°C		liuoksen ominaislämpökapasiteetti			3,26 kJ/kg°C		
ilman tiheys			1,3 kg/m <sup>3</sup>		liuoksen tiheys			1077 kg/m <sup>3</sup>		
TEHO	1,032 kW				TEHO	0,651 kW				
TEHO -10	0,883 kW				TEHO -10	0,557 kW				



KOHDE I

ilmavirta m <sup>3</sup> /s	balometri 0,04	kuumalanka	siipipyörä	liuoksen nopeus 0,25 m/s	putki CU22	A= 0,000314159 m <sup>2</sup>
lämpötila °C	ennen patteria	patterin jälkeen		liuoksen tilavuusvirta 7,85E-05 m <sup>3</sup> /s		
min -10°C	-13,37 -10,14	-1,09 -0,22		liuos etanoli 50% vesi 50%	lämpötila °C	ennen patteria
						patterin jälkeen
					min -10°C	3,82 4,01
ilman ominaislämpökapasiteetti		1 kJ/kg°C	liuoksen ominaislämpökapasiteetti			3,7 kJ/kg°C
ilman tiheys		1,3 kg/m <sup>3</sup>	liuoksen tiheys			926 kg/m <sup>3</sup>
TEHO	0,639 kW		TEHO	0,568 kW		
TEHO -10	0,516 kW		TEHO -10	0,498 kW		



## Ilman esilämmityspatteria

**ILMATIETEEN LAITOS**

Ilmastopalvelu

Enervent Pandion

lämpötilahyötysuhde on 68 l/s

Lpnn 5401 = **Oulu lentoasema**

Tulopoistosuhteella 1

0,79

Lämpötila jälkilämmityspatterin jälkeen

TltoMAX

17

° C

Jäteilman lämpötila

TjäteMIN

5

° C

Sisäilman lämpötila

Ts

21

° C

Päivä 24h	Ulkoilman keskilämpötila ° C	Jäteilman lämpötila ° C	Lämpötila LTO:n jälkeen ° C	LTO:n hyöty- suhde	Jälkilämmityspatterin tarvitsema energia kWh
25.12.1996	-28,80	5,00	-12,80	0,32	58,36
8.2.1996	-22,50	5,00	-6,50	0,37	46,02
24.12.1996	-21,00	5,00	-5,00	0,38	43,08
23.12.1996	-20,70	5,00	-4,70	0,38	42,50
13.2.1996	-20,50	5,00	-4,50	0,39	42,11
11.2.1996	-20,30	5,00	-4,30	0,39	41,71
20.2.1996	-20,30	5,00	-4,30	0,39	41,71
12.2.1996	-20,20	5,00	-4,20	0,39	41,52
19.2.1996	-20,00	5,00	-4,00	0,39	41,13
18.2.1996	-19,70	5,00	-3,70	0,39	40,54
30.12.1996	-19,60	5,00	-3,60	0,39	40,34
10.2.1996	-19,50	5,00	-3,50	0,40	40,15
16.12.1996	-19,20	5,00	-3,20	0,40	39,56
20.12.1996	-19,10	5,00	-3,10	0,40	39,36
22.12.1996	-18,90	5,00	-2,90	0,40	38,97
6.2.1996	-18,50	5,00	-2,50	0,41	38,19
21.12.1996	-18,30	5,00	-2,30	0,41	37,80
17.2.1996	-16,90	5,00	-0,90	0,42	35,06
22.2.1996	-16,90	5,00	-0,90	0,42	35,06
5.2.1996	-15,90	5,00	0,10	0,43	33,10
7.2.1996	-15,90	5,00	0,10	0,43	33,10
9.2.1996	-15,90	5,00	0,10	0,43	33,10
18.12.1996	-15,80	5,00	0,20	0,43	32,90
17.12.1996	-15,70	5,00	0,30	0,44	32,71
4.2.1996	-15,50	5,00	0,50	0,44	32,31
2.2.1996	-14,70	5,00	1,30	0,45	30,75
28.11.1996	-14,70	5,00	1,30	0,45	30,75
14.2.1996	-14,60	5,00	1,40	0,45	30,55
21.2.1996	-14,10	5,00	1,90	0,46	29,57
19.12.1996	-14,00	5,00	2,00	0,46	29,38
11.12.1996	-13,10	5,00	2,90	0,47	27,61
14.12.1996	-11,80	5,00	4,20	0,49	25,07
23.3.1996	-11,50	5,00	4,50	0,49	24,48
29.12.1996	-11,50	5,00	4,50	0,49	24,48
2.1.1996	-11,40	5,00	4,60	0,49	24,28
26.1.1996	-10,80	5,00	5,20	0,50	23,11
6.1.1996	-10,30	5,00	5,70	0,51	22,13

27.1.1996	-10,00	5,00	6,00	0,52	21,54
15.2.1996	-10,00	5,00	6,00	0,52	21,54
28.12.1996	-10,00	5,00	6,00	0,52	21,54
5.1.1996	-9,90	5,00	6,10	0,52	21,35
16.2.1996	-9,80	5,00	6,20	0,52	21,15
15.12.1996	-9,80	5,00	6,20	0,52	21,15
29.1.1996	-9,60	5,00	6,40	0,52	20,76
3.1.1996	-9,50	5,00	6,50	0,52	20,56
27.11.1996	-9,40	5,00	6,60	0,53	20,37
6.3.1996	-8,80	5,00	7,20	0,54	19,19
23.1.1996	-8,70	5,00	7,30	0,54	19,00
22.3.1996	-8,70	5,00	7,30	0,54	19,00
12.12.1996	-8,70	5,00	7,30	0,54	19,00
23.2.1996	-8,50	5,00	7,50	0,54	18,60
21.3.1996	-8,50	5,00	7,50	0,54	18,60
31.12.1996	-8,50	5,00	7,50	0,54	18,60
13.12.1996	-8,40	5,00	7,60	0,54	18,41
2.3.1996	-8,20	5,00	7,80	0,55	18,02
25.1.1996	-7,80	5,00	8,20	0,56	17,23
28.1.1996	-7,70	5,00	8,30	0,56	17,04
8.1.1996	-7,60	5,00	8,40	0,56	16,84
3.2.1996	-7,60	5,00	8,40	0,56	16,84
24.1.1996	-7,00	5,00	9,00	0,57	15,67
3.3.1996	-6,90	5,00	9,10	0,57	15,47
17.3.1996	-6,90	5,00	9,10	0,57	15,47
10.3.1996	-6,70	5,00	9,30	0,58	15,08
18.3.1996	-6,70	5,00	9,30	0,58	15,08
1.2.1996	-6,60	5,00	9,40	0,58	14,88
24.2.1996	-6,50	5,00	9,50	0,58	14,69
19.3.1996	-6,50	5,00	9,50	0,58	14,69
28.3.1996	-6,50	5,00	9,50	0,58	14,69
26.12.1996	-6,40	5,00	9,60	0,58	14,49
4.1.1996	-6,30	5,00	9,70	0,59	14,30
29.3.1996	-6,00	5,00	10,00	0,59	13,71
13.1.1996	-5,90	5,00	10,10	0,59	13,51
1.3.1996	-5,90	5,00	10,10	0,59	13,51
31.1.1996	-5,70	5,00	10,30	0,60	13,12
12.3.1996	-5,70	5,00	10,30	0,60	13,12
27.3.1996	-5,70	5,00	10,30	0,60	13,12
22.1.1996	-5,50	5,00	10,50	0,60	12,73
11.3.1996	-5,10	5,00	10,90	0,61	11,95
8.3.1996	-5,00	5,00	11,00	0,62	11,75
10.12.1996	-5,00	5,00	11,00	0,62	11,75
13.3.1996	-4,70	5,00	11,30	0,62	11,16
24.3.1996	-4,60	5,00	11,40	0,63	10,97
19.1.1996	-4,50	5,00	11,50	0,63	10,77
9.3.1996	-4,00	5,00	12,00	0,64	9,79
1.1.1996	-3,90	5,00	12,10	0,64	9,60
5.3.1996	-3,80	5,00	12,20	0,65	9,40
12.4.1996	-3,80	5,00	12,20	0,65	9,40
13.11.1996	-3,80	5,00	12,20	0,65	9,40
21.1.1996	-3,60	5,00	12,40	0,65	9,01
11.4.1996	-3,60	5,00	12,40	0,65	9,01
26.11.1996	-3,60	5,00	12,40	0,65	9,01



9.1.1996	-3,50	5,00	12,50	0,65	8,81
12.1.1996	-3,50	5,00	12,50	0,65	8,81
25.2.1996	-3,40	5,00	12,60	0,66	8,62
14.3.1996	-3,40	5,00	12,60	0,66	8,62
20.3.1996	-3,40	5,00	12,60	0,66	8,62
7.1.1996	-3,30	5,00	12,70	0,66	8,42
1.4.1996	-3,30	5,00	12,70	0,66	8,42
14.11.1996	-3,20	5,00	12,80	0,66	8,23
30.1.1996	-3,10	5,00	12,90	0,66	8,03
2.4.1996	-3,00	5,00	13,00	0,67	7,83
4.3.1996	-2,90	5,00	13,10	0,67	7,64
15.10.1996	-2,90	5,00	13,10	0,67	7,64
18.1.1996	-2,80	5,00	13,20	0,67	7,44
10.4.1996	-2,80	5,00	13,20	0,67	7,44
19.11.1996	-2,80	5,00	13,20	0,67	7,44
11.1.1996	-2,70	5,00	13,30	0,68	7,25
29.2.1996	-2,70	5,00	13,30	0,68	7,25
11.11.1996	-2,70	5,00	13,30	0,68	7,25
16.10.1996	-2,60	5,00	13,40	0,68	7,05
3.4.1996	-2,50	5,00	13,50	0,68	6,85
10.11.1996	-2,50	5,00	13,50	0,68	6,85
25.3.1996	-2,30	5,00	13,70	0,69	6,46
20.1.1996	-2,20	5,00	13,80	0,69	6,27
1.12.1996	-2,20	5,00	13,80	0,69	6,27
7.3.1996	-2,10	5,00	13,90	0,69	6,07
12.11.1996	-1,90	5,00	14,10	0,70	5,68
25.11.1996	-1,90	5,00	14,10	0,70	5,68
29.11.1996	-1,80	5,00	14,20	0,70	5,48
14.1.1996	-1,70	5,00	14,30	0,70	5,29
31.3.1996	-1,70	5,00	14,30	0,70	5,29
2.12.1996	-1,60	5,00	14,40	0,71	5,09
28.2.1996	-1,30	5,00	14,70	0,72	4,50
26.3.1996	-1,20	5,00	14,80	0,72	4,31
13.4.1996	-1,10	5,00	14,90	0,72	4,11
17.1.1996	-1,00	5,00	15,00	0,73	3,92
16.3.1996	-1,00	5,00	15,00	0,73	3,92
27.12.1996	-1,00	5,00	15,00	0,73	3,92
10.1.1996	-0,90	5,00	15,10	0,73	3,72
26.2.1996	-0,80	5,00	15,20	0,73	3,53
25.4.1996	-0,70	5,00	15,30	0,74	3,33
26.4.1996	-0,70	5,00	15,30	0,74	3,33
30.3.1996	-0,60	5,00	15,40	0,74	3,13
5.11.1996	-0,60	5,00	15,40	0,74	3,13
15.1.1996	-0,50	5,00	15,50	0,74	2,94
7.12.1996	-0,40	5,00	15,60	0,75	2,74
16.1.1996	-0,30	5,00	15,70	0,75	2,55
15.3.1996	-0,30	5,00	15,70	0,75	2,55
24.4.1996	-0,30	5,00	15,70	0,75	2,55
18.4.1996	-0,20	5,00	15,80	0,75	2,35
18.11.1996	-0,20	5,00	15,80	0,75	2,35
8.12.1996	-0,20	5,00	15,80	0,75	2,35
1.11.1996	0,00	5,00	16,00	0,76	1,96
2.11.1996	0,00	5,00	16,00	0,76	1,96
30.11.1996	0,00	5,00	16,00	0,76	1,96

## JÄLKILÄMMITYSPATTERIN ENERGIANKULUTUS

LIITE 4/4

3.12.1996	0,00	5,00	16,00	0,76	1,96
15.4.1996	0,10	5,00	16,10	0,77	1,76
24.11.1996	0,10	5,00	16,10	0,77	1,76
4.12.1996	0,20	5,00	16,20	0,77	1,57
17.4.1996	0,40	5,00	16,40	0,78	1,18
20.4.1996	0,40	5,00	16,40	0,78	1,18
3.11.1996	0,50	5,00	16,50	0,78	0,98
27.2.1996	0,80	5,04	16,76	0,79	0,47
29.4.1996	0,80	5,04	16,76	0,79	0,47
9.11.1996	0,80	5,04	16,76	0,79	0,47
16.4.1996	1,00	5,20	16,80	0,79	0,39
9.12.1996	1,00	5,20	16,80	0,79	0,39
27.4.1996	1,10	5,28	16,82	0,79	0,35
14.10.1996	1,10	5,28	16,82	0,79	0,35
19.4.1996	1,20	5,36	16,84	0,79	0,31
23.4.1996	1,20	5,36	16,84	0,79	0,31
17.5.1996	1,30	5,44	16,86	0,79	0,27
17.10.1996	1,40	5,52	16,88	0,79	0,23
9.4.1996	1,50	5,60	16,91	0,79	0,19
30.4.1996	1,50	5,60	16,91	0,79	0,19
14.4.1996	1,70	5,75	16,95	0,79	0,10
17.11.1996	1,70	5,75	16,95	0,79	0,10
31.10.1996	1,80	5,83	16,97	0,79	0,06
4.11.1996	1,80	5,83	16,97	0,79	0,06
8.11.1996	1,90	5,91	16,99	0,79	0,02
5.12.1996	1,90	5,91	16,99	0,79	0,02

---

---

2437,493 kWh

## Esilämmityspatterilla

**ILMATIETEEN LAITOS**

Enervent Pandion  
 lämpötilahyötysuhde on 68 l/s  
 Tulopoistosuhteella 1 0,79

Lpnn 5401 = **Oulu lentoasema**

Lämpötila jälkilämmityspatterin jälkeen	TltoMAX	17	° C
Jäteilman lämpötila	TjäteMIN	5	° C
Sisäilman lämpötila	Ts	21	° C

Päivä 24h	Lämpötila		Jäteilman lämpötila ° C	Lämpötila LTO:n jälkeen ° C	Energia (sis. Pum- pun) kWh	LTO:n hyöty- suhde
	Ulkoilman keskilämpötila ° C	esilämmityspatterin jälkeen ° C				
25.12.1996	-28,80	-7,00	5,00	9,00	17,11	0,57
8.2.1996	-22,50	-5,00	5,00	11,00	13,19	0,62
24.12.1996	-21,00	-4,50	5,00	11,50	12,21	0,63
23.12.1996	-20,70	-4,50	5,00	11,50	12,21	0,63
13.2.1996	-20,50	-4,50	5,00	11,50	12,21	0,63
11.2.1996	-20,30	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
20.2.1996	-20,30	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
12.2.1996	-20,20	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
19.2.1996	-20,00	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
18.2.1996	-19,70	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
30.12.1996	-19,60	-4,00	5,00	12,00	11,23	0,64
10.2.1996	-19,50	-3,50	5,00	12,50	10,25	0,65
16.12.1996	-19,20	-3,50	5,00	12,50	10,25	0,65
20.12.1996	-19,10	-3,50	5,00	12,50	10,25	0,65
22.12.1996	-18,90	-3,50	5,00	12,50	10,25	0,65
6.2.1996	-18,50	-3,50	5,00	12,50	10,25	0,65
21.12.1996	-18,30	-3,00	5,00	13,00	9,27	0,67
17.2.1996	-16,90	-3,00	5,00	13,00	9,27	0,67
22.2.1996	-16,90	-3,00	5,00	13,00	9,27	0,67
5.2.1996	-15,90	-2,50	5,00	13,50	8,29	0,68
7.2.1996	-15,90	-2,50	5,00	13,50	8,29	0,68
9.2.1996	-15,90	-2,50	5,00	13,50	8,29	0,68
18.12.1996	-15,80	-2,50	5,00	13,50	8,29	0,68
17.12.1996	-15,70	-2,50	5,00	13,50	8,29	0,68
4.2.1996	-15,50	-1,90	5,00	14,10	7,12	0,70
2.2.1996	-14,70	-1,60	5,00	14,40	6,53	0,71
28.11.1996	-14,70	-1,60	5,00	14,40	6,53	0,71
14.2.1996	-14,60	-1,60	5,00	14,40	6,53	0,71
21.2.1996	-14,10	-1,10	5,00	14,90	5,55	0,72
19.12.1996	-14,00	-1,10	5,00	14,90	5,55	0,72
11.12.1996	-13,10	-0,90	5,00	15,10	5,16	0,73
14.12.1996	-11,80	-0,40	5,00	15,60	4,18	0,75
23.3.1996	-11,50	-0,40	5,00	15,60	4,18	0,75
29.12.1996	-11,50	-0,40	5,00	15,60	4,18	0,75
2.1.1996	-11,40	0,11	5,00	16,11	3,18	0,77

## JÄLKILÄMMITYSPATTERIN ENERGIANKULUTUS

LIITE 4/6

26.1.1996	-10,80	0,11	5,00	16,11	3,18	0,77
6.1.1996	-10,30	0,30	5,00	16,30	2,81	0,77
27.1.1996	-10,00	0,30	5,00	16,30	2,81	0,77
15.2.1996	-10,00	0,30	5,00	16,30	2,81	0,77
28.12.1996	-10,00	0,30	5,00	16,30	2,81	0,77
5.1.1996	-9,90	0,30	5,00	16,30	2,81	0,77
16.2.1996	-9,80	0,78	5,03	16,75	1,92	0,79
15.12.1996	-9,80	0,78	5,03	16,75	1,92	0,79
29.1.1996	-9,60	0,78	5,03	16,75	1,92	0,79
3.1.1996	-9,50	0,78	5,03	16,75	1,92	0,79
27.11.1996	-9,40	0,78	5,03	16,75	1,92	0,79
6.3.1996	-8,80	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
23.1.1996	-8,70	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
22.3.1996	-8,70	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
12.12.1996	-8,70	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
23.2.1996	-8,50	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
21.3.1996	-8,50	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
31.12.1996	-8,50	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
13.12.1996	-8,40	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
2.3.1996	-8,20	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
25.1.1996	-7,80	0,85	5,08	16,77	1,89	0,79
28.1.1996	-7,70	1,35	5,48	16,87	1,69	0,79
8.1.1996	-7,60	1,35	5,48	16,87	1,69	0,79
3.2.1996	-7,60	1,35	5,48	16,87	1,69	0,79
24.1.1996	-7,00	1,35	5,48	16,87	1,69	0,79
3.3.1996	-6,90	1,35	5,48	16,87	1,69	0,79
17.3.1996	-6,90	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
10.3.1996	-6,70	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
18.3.1996	-6,70	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
1.2.1996	-6,60	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
24.2.1996	-6,50	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
19.3.1996	-6,50	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
28.3.1996	-6,50	1,60	5,67	16,93	1,58	0,79
26.12.1996	-6,40	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
4.1.1996	-6,30	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
29.3.1996	-6,00	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
13.1.1996	-5,90	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
1.3.1996	-5,90	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
31.1.1996	-5,70	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
12.3.1996	-5,70	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
27.3.1996	-5,70	1,90	5,91	16,99	1,46	0,79
					<u>1,46</u>	0,79
					391	kWh