



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ILMALÄMPÖPUMPPUJÄR- JESTELMÄ LABVIEW-OH- JELMALLA

TEKIJÄ: Oskari Könönen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Oskari Könönen			
Työn nimi Ilmalämpöpumppujärjestelmä LabVIEW-ohjelmalla			
Päiväys	31.5.2019	Sivumäärä/Liitteet	44/2
Ohjaajat Olli-Pekka Kähkönen ja Ari Mikkonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savonia-AMK			
Tiivistelmä Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää ja parantaa ilmalämpöpumppujärjestelmää Savonia-ammattikorkeakoululle, jotta on mahdollista hallita lämmintä ja viileää ilmaa koulun laboratorioympäristössä. Työn tarkoituksena oli tehdä toimiva laboratoriotyö energiatekniikan opetuksen käyttöön käyttäen LabVIEW-ohjelmaa. Laboratoriotyössä mitattiin ilmalämpöpumpun antoteho ja COP-arvot sekä lämmityksessä että jäähdytyksessä.  Opinnäytetyössä käytettiin LabVIEW-ohjelmointikieltä, National Instruments-laitteita, IP-Poweria ja energiamittaria. Työssä LabVIEW-ohjelmointikielellä täytyi luoda toimiva koodi, jolla voidaan mitata ilmalämpöpumpun tuotama lämpötila ja tallentaa kyseinen lämpötila. National Instruments-laitteet auttoivat myös tekoälyn kanssa, jotta oli mahdollista saada yhteys ilmalämpöpumpun ja LabVIEW-ohjelman välille. Opinnäytetyön liitteinä ovat laboratoriotyön ohje ja LabVIEW-ohjelmointikielen käyttöohje.			
Avainsanat Ilmalämpöpumppu, LabVIEW, COP			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author Oskari Könönen			
Title of Thesis Air source heat pump with LabVIEW software			
Date	31.5.2019	Pages/Appendices	44/2
Supervisors Olli-Pekka Kähkönen and Ari Mikkonen			
Client Organisation /Partner Savonia-AMK			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to develop and improve the air source heat pump system at Savonia University of Applied Sciences in order to manage warm and cool air in the school's laboratory environment. The aim of this thesis was to make a working laboratory task for the use of energy technology teachings by using LabVIEW software. The purpose of the laboratory task is to measure the output power and COP of the air source heat pump both in heating and cooling.</p> <p>LabVIEW programming language, National Instruments devices, IP-Power and energy meter were used in the thesis. In the thesis a functional code had to be created in LabVIEW programming language in order to measure and store the temperature produced by the air source heat pump. In the thesis National Instruments devices help with artificial intelligence in making the connection between the air source heat pump and the LabVIEW program. A laboratory task guide and LabVIEW programming language manual are attached in this thesis.</p>			
Keywords Air source heat pump, LabVIEW, COP			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	KÄSITTEET.....	7
2.1	Lyhenteet.....	7
2.2	Yksiköt.....	7
3	ILMALÄMPÖPUMPPU .....	8
3.1	Komponentit.....	9
3.2	Toimintaperiaate.....	10
3.3	Lämmityskäyttö .....	10
3.4	Jäähdytyskäyttö.....	11
3.5	Lämpökerroin ja kylmäkerroin .....	12
4	ILMALÄMPÖPUMPUN ARVOT .....	14
4.1	COP-arvo.....	14
4.2	SCOP .....	14
4.3	EER .....	15
4.4	SEER.....	15
5	LABVIEW .....	16
5.1	Historia .....	16
5.2	LabVIEW kieli .....	16
5.3	LabVIEW pääkäsitteet .....	17
5.3.1	LabVIEW ympäristö .....	17
5.3.2	LabVIEW VI .....	18
5.3.3	LabVIEW G-ohjelmointi .....	20
5.3.4	LabVIEW datavirta.....	23
5.4	LabVIEW Laitteisto .....	23
5.4.1	Laitteisto-ohjaimet.....	24
5.4.2	Ajurien saatavuus.....	24
5.4.3	LabVIEW-laiteohjainten käyttäminen .....	25
6	TYÖ.....	26
6.1	LabVIEW .....	26
6.1.1	LabVIEW projekti .....	26
6.1.2	LabVIEW suunnittelu .....	28

6.1.3	LabVIEW-ohje.....	30
6.2	National Instruments.....	32
6.2.1	NI cRIO-9073.....	33
6.2.2	NI 9217.....	34
6.2.3	NI MAX.....	35
6.3	IP-Power.....	36
6.4	Ilmalämpöpumppu.....	38
6.5	Laboratoriotyöohje.....	39
7	TULOKSET.....	41
7.1	Mittaukset.....	41
7.2	Kaavat.....	42
7.3	Testaukset.....	43
7.4	Tulokset.....	43
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	44
	LIITE 1: LABORATORIOTYÖ TEHTÄVÄ.....	45
	LIITE 2: LABVIEW-KÄYTTÖOHJE.....	46

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Savonia-ammattikorkeakoulun ilmalämpöpumppujärjestelmää. Kyseistä aihetta ehdottivat Olli-Pekka Kähkönen ja Ari Mikkonen.

Työn edetessä on tarkoitus kehittää ja parantaa ilmalämpöpumppuohjelmaa Savonia-ammattikorkeakoululle, jotta on mahdollista hallita lämmintä ja viileää ilmaa koulun laboratorioympäristössä. Työn tarkoituksena on tehdä toimiva laboratoriotyö energiatekniikan opetuksen käyttöön. Laboratoriotyössä on tarkoitus mitata laitteen antoteho ja COP-arvot, sekä lämmityksessä että jäähdytyksessä.

Työssä täytyy tutustua ilmalämpöpumppujärjestelmään, sen toimintaperiaatteeseen, komponentteihin, kylmäaineisiin, sähkösyöttöön, sekä ohjelmistoon, joilla säädetään kyseistä laitetta ja prosessia. Työssä käytetään LabVIEW-ohjelmistoa, jolla mitataan kyseistä ilmalämpöpumppujärjestelmää.

## 2 KÄSITTEET

### 2.1 Lyhenteet

COP = Coefficient of Performance  
Ilmalämpöpumpun lämpökerroin

SCOP = Seasonal Coefficient of Performance  
Lämmityskauden lämpökerroin

ERR = Energy Efficiency Ratio  
Kylmäkerroin

SEER = Seasonal Energy Efficiency Ratio  
Vuotuinen kylmäkerroin

LabVIEW = Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench  
Visuaalinen ohjelmointikieli

NI = National Instruments  
LabVIEW-ohjelmointiin kuuluva tekoäly

### 2.2 Yksiköt

$Q_H$  = Lämmitetty lämpömäärä

$Q_C$  = Viilennetty lämpömäärä

$\varepsilon$  = Suorituskyky

$\varepsilon_H$  = Lämmityksen suorituskyky

$\varepsilon_C$  = Jäähdytyksen suorituskyky

$\varepsilon_{Hmax}$  = Maksimilämpökerroin

$\varepsilon_{Cmax}$  = Maksimikylmäkerroin

$W$  = Ulkoinen työ

$T_H$  = Lämmitettävän tilan absoluuttinen lämpötila

$T_C$  = Jäähdytettävän tilan absoluuttinen lämpötila

$P$  = Antoteho

$Q$  = Lämpömäärä

$m$  = Lämpötila

$\rho$  = Ilman tiheys

$qV$  = Tilavuusvirta

$c$  = Ominaislämpökapasiteetti

$\Delta T$  = Lämpötilan muutos

### 3 ILMALÄMPÖPUMPPU

Ilmasta saatu lämpö höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Kun nestemäinen kylmäaine muuttuu höyryksi, siihen sitoutuu lämpöenergiaa (lämpötila noin 0 °C). Kompressorin imee höyrystyneen kylmäaineen höyrystimestä ja puristaa sitä pienempään tilaan. Silloin kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat. Kuuma, noin sata-asteinen, korkeapaineinen kylmäainehöyry johdetaan lauhduttimeen. Lämmitysverkoston vesi tai huoneilma jäädyttää kylmäainehöyryä, joka muuttuu takaisin nestemäiseksi. Silloin vapautuu lämpöä, joka siirtyy lämmitysverkostoon. Jäähdytetty, nestemäinen kylmäaine kulkee vielä paineenalennusventtiilin kautta ennen kuin se palaa jälleen höyrystimeen. Painealennusventtiili alentaa kylmäaineen painetta ja laskee sen lämpötilan noin -10 °C:een. (Motiva 2008.)

Ulkoilmapumppu koostuu tavallisimmin kahdesta osasta: sisä- ja ulkoyksiköstä. Ulkoyksikössä on ilmasta lämpöä ottava patteri (höyrystin), kompressorin ja automatiikan ohjauslaitteita. Sisäyksikössä on puhallinpatteri, joka kierrättää lämmitettävää tai jäähdytettävää ilmaa. Usein puhallinissa on useita tehoportaita, tarkoituksena lähinnä vähentää vedontunnetta ja puhallinääntä pienen lämmöntarpeen aikana. Kun ulkoilmaa jäädytetään, ilman kosteus huurtuu lämpöä ottavan patterin pinnoille. Huurtuminen on voimakkainta, kun ulkolämpötila on nollan asteen seutuvilla. Koska huurre haittaa lämmön siirtymistä ja ilman virtausta, on se ajoittain poistettava sulattamalla. (Motiva 2008.)

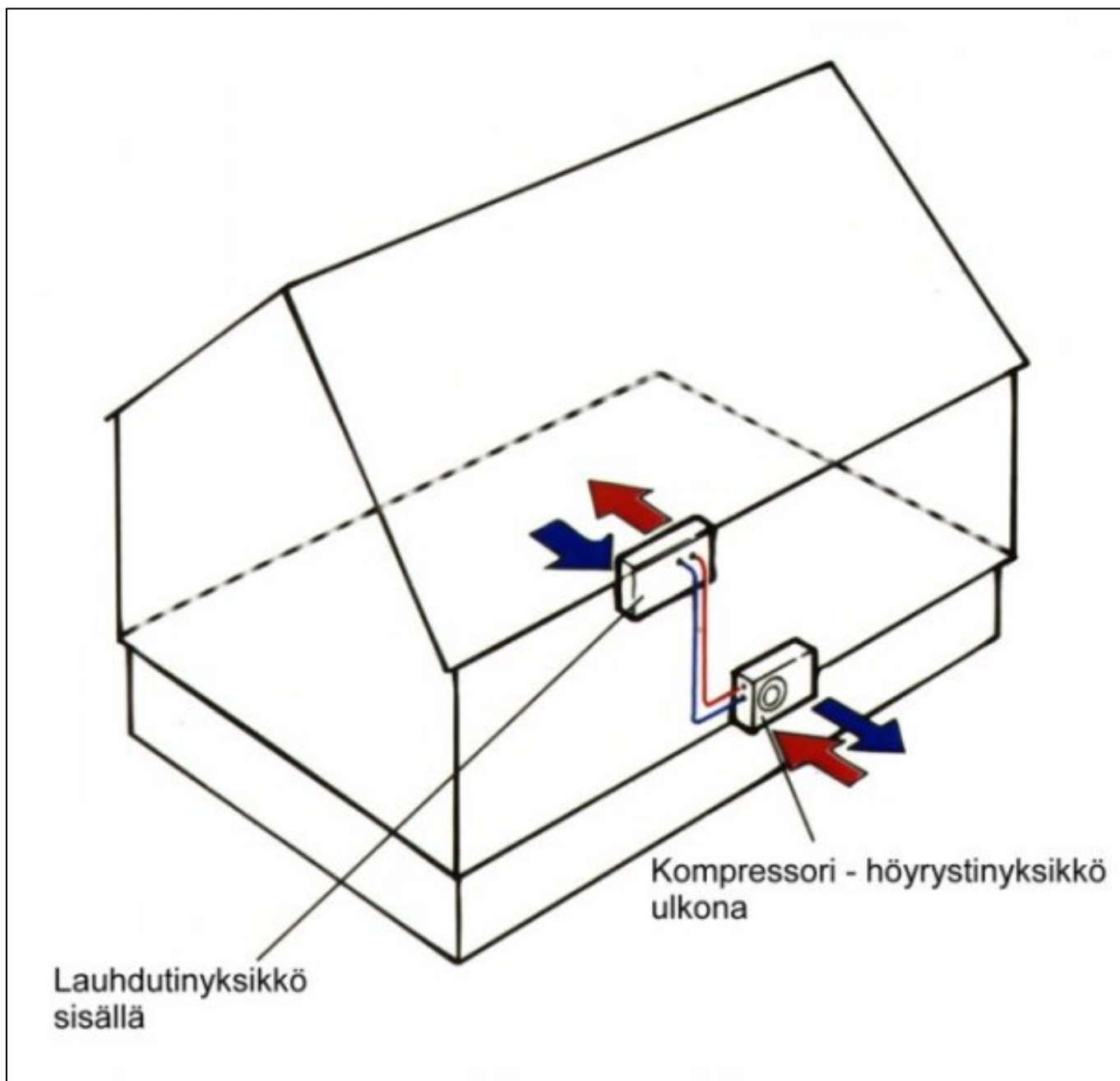
Ilmalämpöpumpulla siirretään lämpöenergiaa ulko- ja sisäyksikön avulla, joko sisätilan lämpötilan säätelyyn siirtämällä lämpöä ulkoilmasta sisäilmaan tai siirtämällä viileää ilmaa jäädyttämällä sisäilman. Ilmalämpöpumpuilla ilmoitetaan suorituskerroin COP (Coefficient of Performance) yksiköllä, joka vastaa yhtä kilowattitunnilla sähköä saadaan siirrettyä COP-kertoimen verran kilowattituntia lämpöä. COP-kerroin vaihtelee laitteiden välillä, sekä ilman lämpötilan mukaan. (Tuottolämpö 2016.)

Kompressorin sähkömekaanisella työllä hyväksi käytetään laitteen putkistossa kiertävää kylmäaineen olomuodon muutosta, jolla siirretään lämpöä kahden kennon välillä. Kylmäaine muuttuu nesteestä höyryksi ensimmäisessä kennossa (höyrystin), jolloin se sitoo lämpöä itseensä voimakkaasti ja vapauttaa lämpöä toisessa kennossa (lauhdutin), jossa se tiivistyy takaisin nesteeksi. Kennojen välillä lämpöä siirretään kaasun mukana (konvektiolla) nopeasti paikasta toiseen. Tehokkaan järjestelmän tavoitteena on saavuttaa maksimaalinen olomuodonmuutos molemmissa kennoissa niiden läpi kulkevalle lämmön välittämistä vastaavalle kylmäaineelle. Tätä kylmäaineen hyödynnettävää molekyylien energiatasojen siirtämistä tilasta toiseen kutsutaan faasimuutokseksi. Ilmalämpöpumppu on näin suora sovellus termodynamiikan 1. ja 2. säännön hyödyntämistä käytäntöön. (Tuottolämpö 2016.)



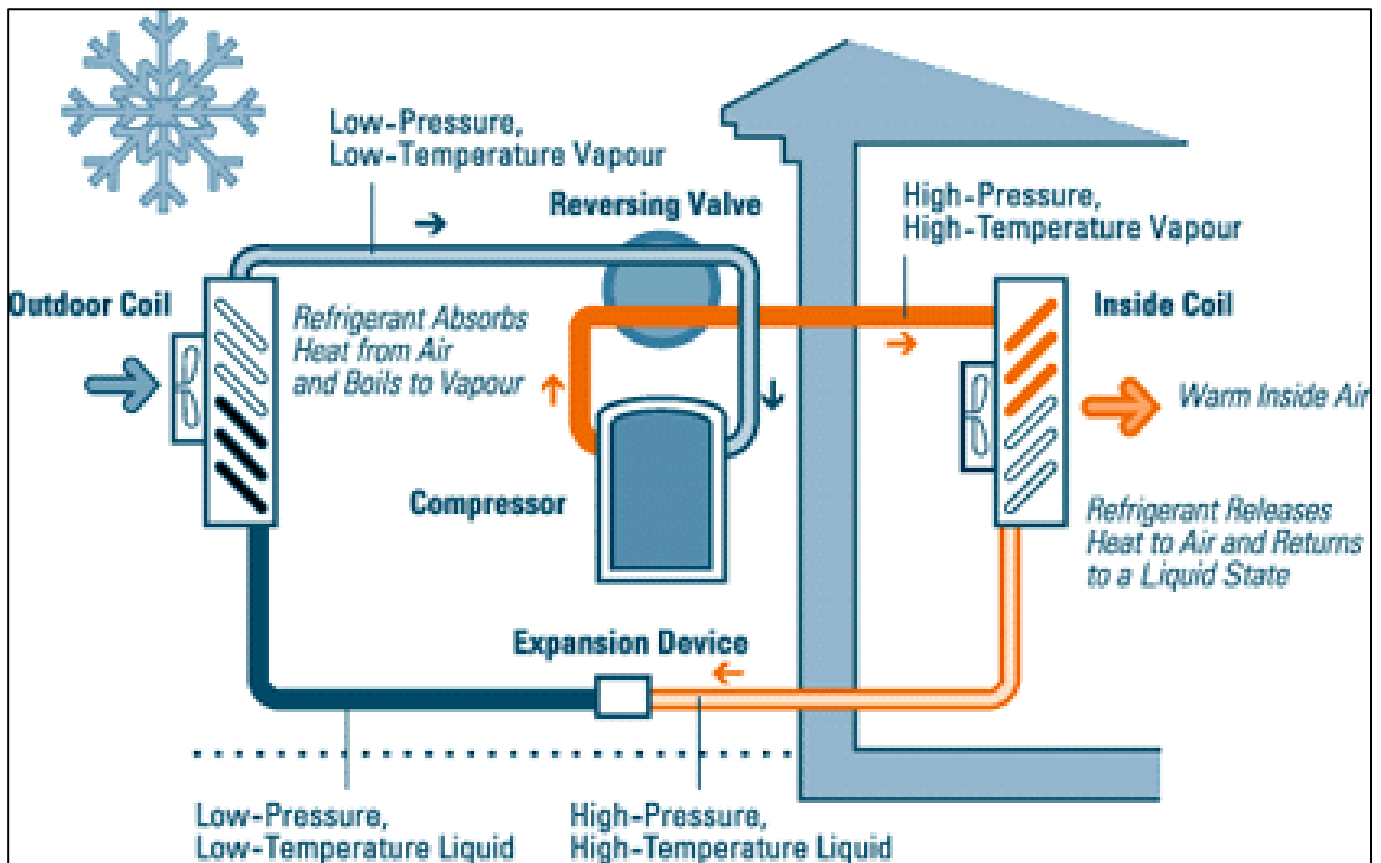
### 3.1 Komponentit

Ilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä (KUVA 1), jotka yhdistetään toisiinsa eristetyillä kylmäaineputkilla. (Ilmalämpöpumput 2018.)



KUVA 1. Sisä- ja ulkoyksiköt. (Ilmalämpöpumput 2018.)

Ilmalämpöpumppu koostuu kolmesta pääkomponentista: Höyrystinkelasta, kompressorista ja lauhduttimesta (KUVA 2). Höyrystinkela on sovitettu ulkopuolisen seinän ulkopuolelle. Siellä se vastaanottaa lämpöä ulkoilmasta. Kompressorit työntää jäähdytyskaasua puristamalla sitä järjestelmän läpi, kunnes se on halutussa lämpötilassa. Kuuma jäähdytysaine kulkee sitten lauhduttimen läpi, jossa jäähdytysaineen lämpö siirretään ilmaan.



KUVA 2. Ilmalämpöpumpun komponentit (REUK 2018.)

### 3.2 Toimintaperiaate

Tekniikka on yksinkertaistettuna tuttu jääkaapeista ja pakastimista. Lämpöpumpun ulkoyksikkö jäähdyttää ulkoilmaa samaan tapaan, kuin jääkaapin sisäosaa ja siirtää lämpimän ilman huoneilmaan. Ilmalämpöpumppu koostuu kahdesta osasta: ulkoyksiköstä ja sisäyksiköstä. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikön höyrystinpatterin läpi puhalletaan ilmaa noin tuhat kuutiota tunnissa, jolloin ilma jäähtyy noin 5 °C asteen verran. Jäähtymisessä kaapatulla energialla höyrystetään ilmalämpöpumpun suljetussa piirissä kiertävä kylmäaine. Ulkoyksikössä sijaitseva kompressor puristaa höyryn kovempaan paineeseen ja lämpötilaan, jolloin ulkoyksikkö työntää lämmenneen kylmäainehöyryn sisäseinän yksikköön. Sisäseinän yksikössä kylmäaine lauhtuu nesteeksi ja luovuttaa ulkoilmasta otetun sekä kompressorin puristukseen käytetyn energian talon lämmitykseen. Ilma puhalletaan talon sisäilman lämmitykseen ilmalämpöpumpun sisäyksikön lauhdutinpatterin läpi. Lopuksi lauhtunut kylmäaine palautuu ulkoyksikköön uudelleen höyrystettäväksi. (Motiva 2010.)

### 3.3 Lämmityskäyttö

Lämmityskäytössä pumppu hyödyntää ulkoilman sisältämää lämpöenergiaa. Pumpussa on kaksi lämmönvaihdinta: höyrystin ja lauhdutin. Höyrystimessä lämpöä siirtyy ulkoilmasta kylmäaineeseen ja lauhduttimessa kylmäaineesta huoneilmaan. Kylmäaine liikkuu höyrystimen ja lauhduttimen välillä kompressorin avulla. (Motiva 2010.)

Lämmityskäytössä ulkoyksikön kennossa sijaitseva kylmäaine sitoo lämpöenergiaa höyrystymisen aikana, jolloin kenno kylmenee ulkoyksikön höyrystimen avulla. Kylmäaine sitoo höyrystyessään paljon lämpöä, kun kylmäaineen olomuoto muuttuu nesteestä kaasuksi, sekä ulkoyksikön puhallin siirtää ilmaa kennon läpi tehostaen lämmönsiirtokykyä. Sisäyksikön kennolla höyry tiivistetään myöhemmin nesteeksi ja samalla se luovuttaa ulkoa saadun lämpöenergian pois. Kompressorin tuottaa sisäyksikön kennolle tarvittavan ylipaineen ja ulkoyksikön kennolle alipaineen. (Tuottolämpö 2016.)

Kompressorin painaa höyryn sisäyksikön kennoon, jossa se paineen vaikutuksesta tiivistyy nesteeksi ja yksikön kenno lämpenee. Tämän prosessin jälkeen kennon läpi puhalletaan ilmaa, jolloin se lämpenee. Neste jatkaa sisäyksikön jälkeen ulkoyksikön kennoon. Nesteen jatkaessa ulkoyksikön kennoon tulee vastaan kuristin, joka hidastaa nesteen menoa ja säilyttää kompressorin paineen. Uusimmissa ilmalämpöpumpuissa käytetään kuristimen apuna jopa tarkemmin automatiikalla ohjattavaa paisuntaventtiiliä kompressorityyppinä scroll-kompressoria. (Tuottolämpö 2016.)

### 3.4 Jäähdytyskäyttö

Nelitieventtiili jäähdytyskäytössä muuttaa kylmäaineen virtauksen suuntaa ja sisäyksikön kennossa höyrystyvä kylmäaine sitoo lämpöenergiaa, joten kenno kylmenee. Sisäyksikön puhallin kierrättää sisäilmaa kennon läpi, jolloin se viilenee. Ulkoyksikössä sijaitseva kylmäaine tiivistyessään luovuttaa sisäyksikön kennolta saamansa lämpöenergian ulkoilmaan ulkoyksikön kennon ja puhaltimen avulla. Kylmäaine virtaa siis vastakkaiseen suuntaan, kuin lämmityskäytössä ja samalla höyrystin ja lauhdutin vaihtavat keskenään paikkaansa. (Tuottolämpö 2016.)

Lämmityskäytössä sulatussyklit aika ajoin katkaisevat pumpun jatkuvan lämmöntuoton, joissa prosessi käännetään hetkeksi jäähdytystilaan, jotta ulkokennoon syntyneet jääkerrostumat saadaan sulatettua puhtaaksi. Sulatussykliä tiheys ja kesto ovat tärkeitä, jotta saataisiin maksimoitua ilmalämpöpumppujen lämmöntuoton tehokkuutta talvisin. (Tuottolämpö 2016.)

## 3.5 Lämpökerroin ja kylmäkerroin

Jäähdytyskoneen tarkoitus on jäähdyttää kylmäsäiliötä. Lämpöpumpun tarkoitus on siirtää lämpöä kuumasäiliöön. Kummassakin tapauksessa koneeseen tehdyllä ulkoisella työllä  $W$  siirretään kylmäsäiliöstä lämpö määrää  $Q_C$  pois ja kuumasäiliöön siirretään energiamäärä  $Q_H = Q_C + W$  (Kaava 1). Tämän toiminnan tehokkuutta kuvaa parhaiten suhde  $Q_C/W$  (Kaava 2), jota kutsutaan jäähdytyskoneen kylmäkertoimeksi ja  $T_C/(T_H - T_C)$  (Kaava 3), jota kutsutaan jäähdytyskoneen ehdottomaksi maksimiarvoksi.

$$Q_H = Q_C + W \quad (1)$$

$Q_H$  = Lämmitetty lämpö määrä

$Q_C$  = Viilennetty lämpö määrä

$W$  = Ulkoinen työ

$$\varepsilon_C = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \quad (2)$$

$\varepsilon_C$  = Jäähdytyksen suorituskyky

$Q_H$  = Lämmitetty lämpö määrä

$Q_C$  = Viilennetty lämpö määrä

$W$  = Ulkoinen työ

Kylmäkertoimen ehdoton maksimiarvo on.

$$\varepsilon_{Cmax} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (3)$$

$\varepsilon_{Cmax}$  = Maksimikylmäkerroin

$T_H$  = Lämmitettävän tilan absoluuttinen lämpötila

$T_C$  = Jäähdytettävän tilan absoluuttinen lämpötila

Lämpöpumpun tarkoitus on siirtää mahdollisimman suuri lämpömäärä  $Q_H$  kuumasäiliöön mahdollisimman pienellä työllä  $W$ . Tämän toiminnan tehokkuutta kuvaa parhaiten kuumasäiliöön siirretyn lämpömäärän  $Q_H$  suhde käytettyyn ulkoiseen työhön  $W$ . Tätä suhdetta kutsutaan lämpöpumpun lämpökertoimeksi  $Q_H/W$  (Kaava 4) ja lämpöpumpun ehdottomaksi maksimilämpökertoimeksi  $T_H/(T_H - T_C)$  (Kaava 5).

$$\varepsilon_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (4)$$

$\varepsilon_H$  = Lämmityksen suorituskyky

$Q_H$  = Lämmitetty lämpömäärä

$Q_C$  = Viilennetty lämpömäärä

$W$  = Ulkoinen työ

Lämpöpumpun ehdoton maksimilämpökerroin on.

$$\varepsilon_{Hmax} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (5)$$

$\varepsilon_{Cmax}$  = Maksimikylmäkerroin

$T_H$  = Lämmitettävän tilan absoluuttinen lämpötila

$T_C$  = Jäähdytettävän tilan absoluuttinen lämpötila

Jos lämpöpumpun lämpökerroin on 3, se tarkoittaa, että lämpöenergiaa saadaan kuumasäiliöön kulutettuun energiaan verrattuna kolminkertainen määrä. (Hautala ja Peltonen 2009, 192-193.)

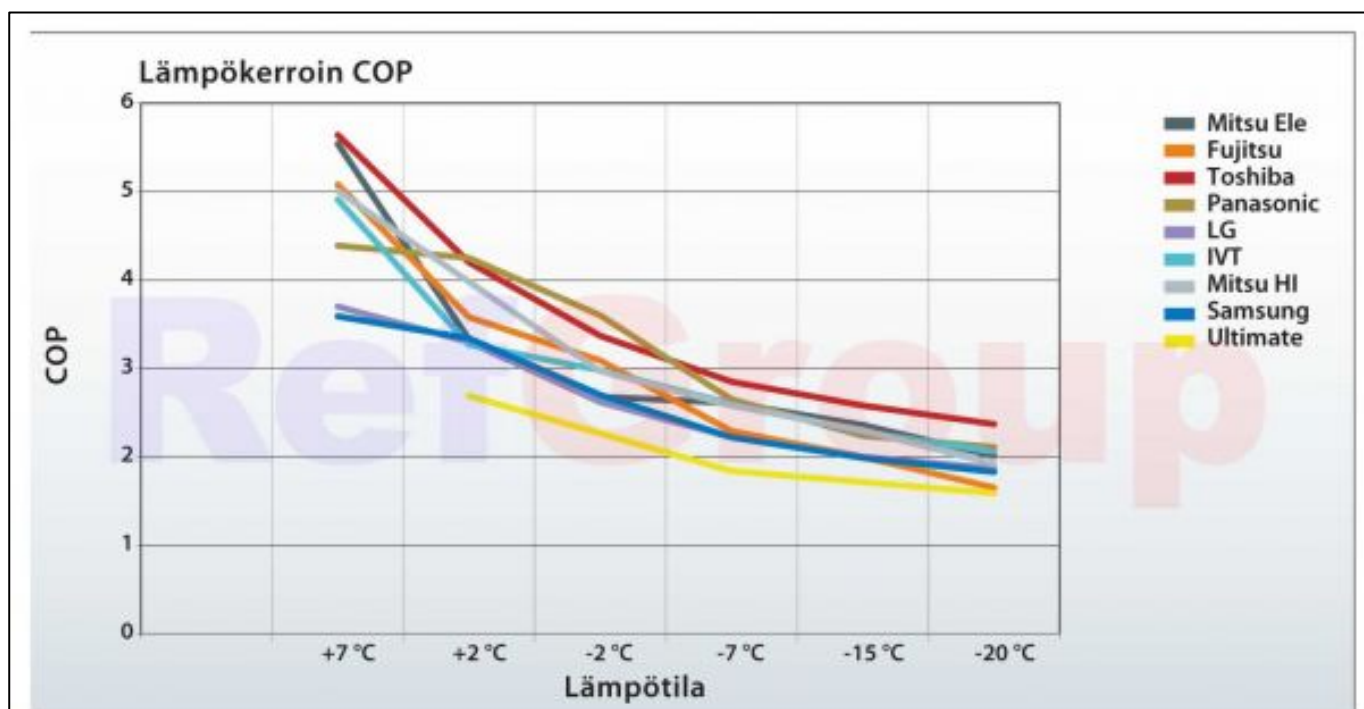
## 4 ILMALÄMPÖPUMPUN ARVOT

### 4.1 COP-arvo

Ilmalämpöpumpun lämpökerroin COP (Coefficient of Performance) kertoo, kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi (KUVA 3). (Ilmalämpöpumput 2018.) Esim. COP 5 tarkoittaa, että laite tuottaa yhdellä kilowatilla sähköenergiaa 5 kilowattia lämpöenergiaa.

### 4.2 SCOP

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) tarkoittaa lämmityskauden lämpökerrointa, joka lasketaan erikseen jokaiselle määrätulle lämmityskaudelle, koska sovellettavat lämpötilavälit, mitoituskuormat ja perusmitoituslämpötilat ovat lämmityskausikohtaisia (KUVA 4). Lämmityskausia on neljä, jotka on jaettu omille ulkolämpötila alueille. Eurooppa on jaettu lisäksi kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, Etelä-Eurooppaan, Keski-Eurooppaan ja Pohjois-Eurooppaan. Suomessa lasketaan Pohjois-Euroopan ilmastovyöhykkeen standardien mukaisesti. SCOP kertoo myös lämmityskauden lämpökerroimen, jolla saadaan selville ilmalämpöpumpun vuosittainen lämpökerroin. (Ilmalämpöpumput 2018.)



KUVA 3. Lämpötilan vaikutus COP arvoon (Ilmalämpöpumput 2018.)

## 4.3 EER

Ilmalämpöpumpuille ja ilmastointilaitteille ilmoitetaan myös ERR (Energy Efficiency Ratio) eli kylmäkerroin. Mitä korkeampi luku on, sitä energiataloudellisempi laite on. (Ilmalämpöpumput 2018.)  
Esim. 5 EER tarkoittaa, että yhdellä kilowatilla sähköverkosta saadaan tuotettua 5 kilowattia jäähdytystehoä.

## 4.4 SEER

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) on jäähdytyksen vuotuinen kylmäkerroin (KUVA 4). (Ilmalämpöpumput 2018.) SEER toimii teoreettisesti samalla tavalla kuin SCOP, mutta lämpökertoimen laskemisen puolesta lasketaan kylmäkerroin.

	<b>SEER</b>	<b>SCOP</b>
<b>A+++</b>	SEER $\geq$ 8,50	SCOP $\geq$ 5,10
<b>A++</b>	6,10 $\leq$ SEER < 8,50	4,60 $\leq$ SCOP < 5,10
<b>A+</b>	5,60 $\leq$ SEER < 6,10	4,00 $\leq$ SCOP < 4,60
<b>A</b>	5,10 $\leq$ SEER < 5,60	3,40 $\leq$ SCOP < 4,00
<b>B</b>	4,60 $\leq$ SEER < 5,10	3,10 $\leq$ SCOP < 3,40
<b>C</b>	4,10 $\leq$ SEER < 4,60	2,80 $\leq$ SCOP < 3,10
<b>D</b>	3,60 $\leq$ SEER < 4,10	2,50 $\leq$ SCOP < 2,80
<b>E</b>	3,10 $\leq$ SEER < 3,60	2,20 $\leq$ SCOP < 2,50
<b>F</b>	2,60 $\leq$ SEER < 3,10	1,90 $\leq$ SCOP < 2,20
<b>G</b>	SEER < 2,60	SCOP < 1,90

KUVA 4. SEER ja SCOP energialuokat (Ilmalämpöpumput 2018.)

## 5 LABVIEW

Nimi LabVIEW on lyhennetty sanoista: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. LabVIEW on visuaalinen ohjelmointikieli: se on järjestelmäkehitysalusta ja -kehitysympäristö, jonka tarkoituksena oli mahdollistaa ja kehittää kaikkia järjestelmän muotoja. National Instruments on kehittänyt LabVIEW:n työstökeskukseksi testauslaitteiden ohjaukseen. Sen sovellukset ovat kuitenkin levinneet paljon laajemmalle pelkästä testauslaitteistoista koko järjestelmän suunnitteluun ja toimintaan. LabVIEW on graafinen suunnittelutiedonsiirtokieli, jota kutsutaan joskus nimellä "G", jota ei pidä sekoittaa G-koodiin. (Electronics-notes 2018.)

### 5.1 Historia

Jeff Kodosky tunnetaan maailmanlaajuisesti insinöörien ja tutkijoiden LabVIEW:n isänä. Hän perusti National Instrumentsin vuonna 1976. Hän on jatkanut mentorointiaan maailmanlaajuisessa R&D organisaatiossa ja edistänyt graafisen järjestelmän suunnittelun lähestymistapaa LabVIEW:n kautta. (NI 2018.)

LabVIEW käynnistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1986 työkaluna tiedemiehille ja insinööreille automaattien mittaamisen helpottamiseksi. Tavoitteena oli, että työkalu olisi yhtä tuottava tutkijoille ja insinööreille, kuin laskentataulukot olisivat rahoitusanalytikoille. (Electronics-notes 2018.)

### 5.2 LabVIEW kieli

LabVIEW käyttää graafista käyttöliittymää, joka mahdollistaa eri elementtien yhdistämisen toisiinsa, jotta saadaan tarvittava virtaus. LabVIEW on lähinnä ympäristö, joka mahdollistaa ohjelmoinnin G:ssä. Tämä on National Instrumentsin luoma graafinen ohjelmointikieli, joka alun perin kehitettiin kommunikoidaan GPIB:n (General Purpose Interface Bus) kautta, mutta sen jälkeen sitä on päivitetty huomattavasti. Nykyisin G:tä voidaan käyttää automaattisissa testaussovelluksissa, yleisessä tiedonhankinnassa, ohjelmoinnissa jne.

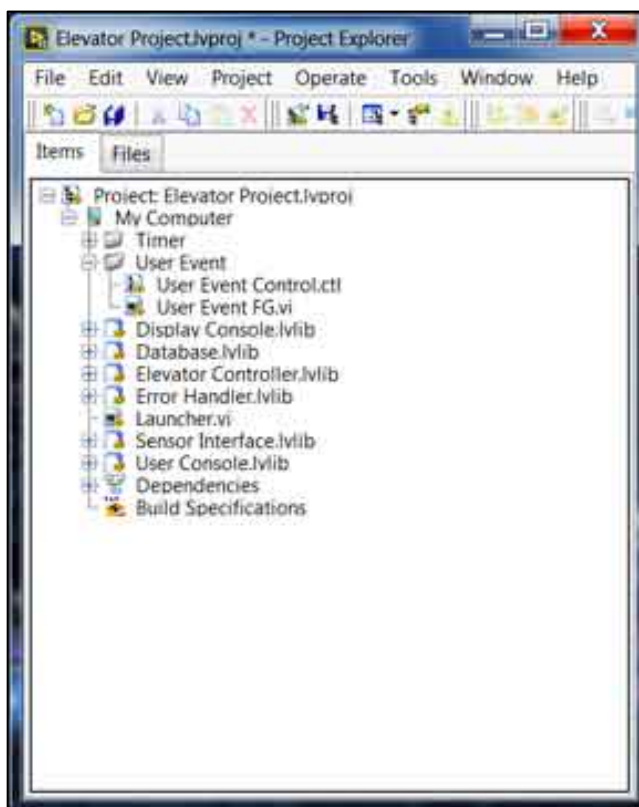
LabVIEW on pääsääntöisesti käyttöliittymä G:lle. Kuitenkin ohjelmiston kehittymisen myötä, LabVIEW-termi on nyt synonyymi G-kielen kanssa. LabVIEW tarjoaa myös monia muita toimintoja, kuten virheenkorjauksen, automaattisen monisäikeen, sovellusten käyttöliittymän, laitteistohallinnan ja käyttöjärjestelmän käyttöliittymän. Tällä tavoin LabVIEW toimii portaalina monenlaisiin tiloihin ja yhdistää ne yhdeksi elementiksi, jota on helppo hallita. LabVIEW toimii Windowsilla, OS X (Apple) ja Linux-alustoilla, joten se sopii useimpiin tietojenkäsittelyjärjestelmiin. (Electronics-notes 2018.)



## 5.3 LabVIEW pääkäsitteet

### 5.3.1 LabVIEW ympäristö

LabVIEW:ssä on useita elementtejä ja käsitteitä, jotka ovat avainasemassa ympäristönsä muotoon ja toimintaan. LabVIEW-ympäristö on ekosysteemi, jossa LabVIEW on olemassa. Se sisältää erilaisia elementtejä, joita tarvitaan LabVIEW-ohjelmiston kehittämiseen. LabVIEW-ympäristö koostuu LabVIEW VI-ohjaimesta (Project Explorer), ohjelmistotyökaluista, virheenkorjausominaisuuksista, malleista, valmiista näytteistä ja laitteiden ohjaimien helppokäyttöisestä käyttöliittymästä (KUVA 5). Project Explorer on lähtökohta kaikille sovelluksille. Sinne kaikki koodimuodot, kirjasot ja datatiedostot tallennetaan helppoa hallintaa ja käyttöä varten. Tyyli on tuttu sekä Windows- että Apple-käyttöjärjestelmän käyttäjille. Se on myös, minne mikä tahansa tallennusvälineisiin asennettava ohjelmointi tallennetaan.



KUVA 5. LabVIEW-Project Explorer ikkuna (Electronics-notes 2018.)

LabVIEW-ympäristössä on hyvä valikoima työkaluja yleisten ohjelmien kehittämiseen:

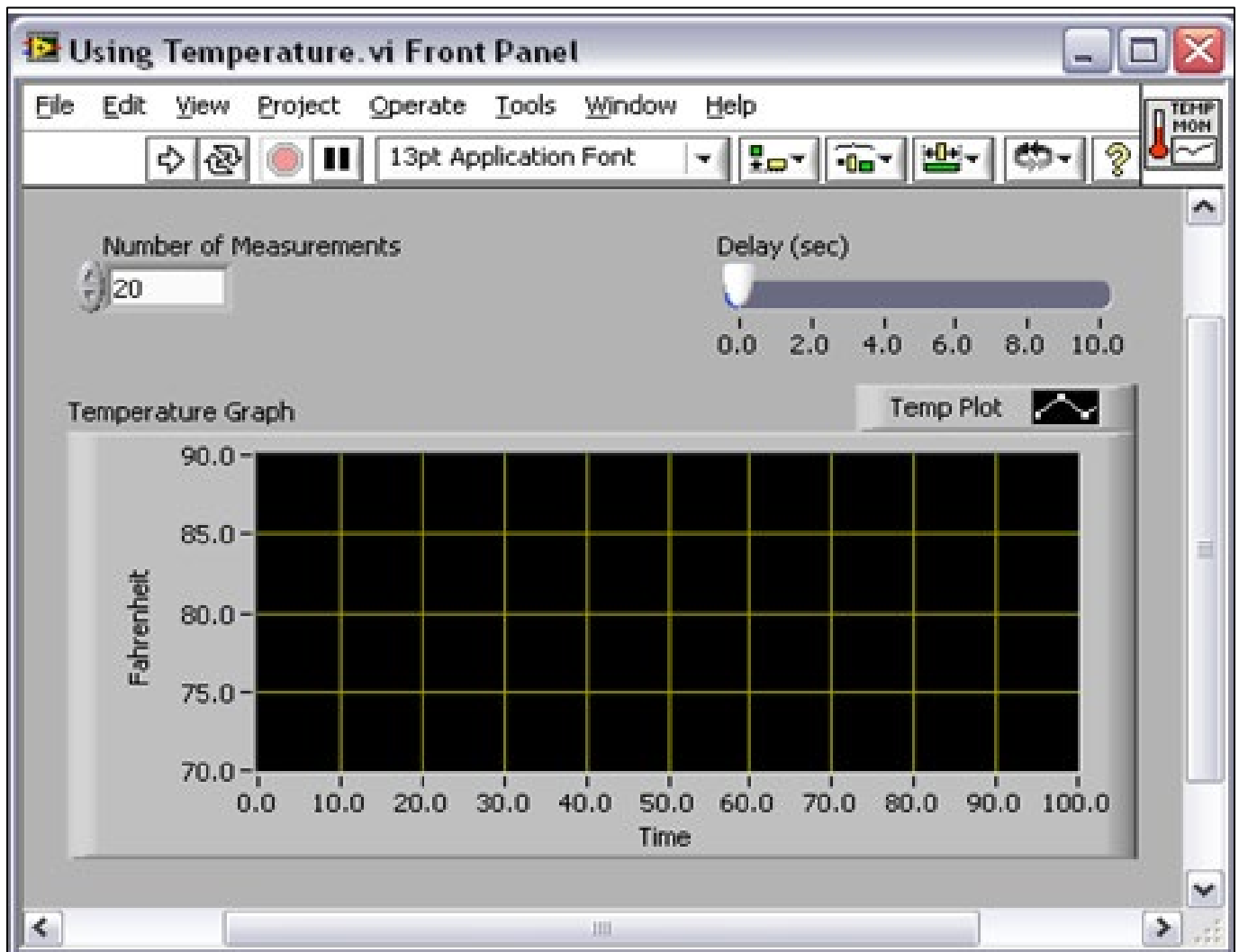
- **Templates & sample projects:** Tämä työkalu sisältää joitain yleisiä mallipohjia, joita voidaan käyttää hankkeiden käynnistämiseen yhdessä joidenkin valmiiden projektien kanssa, joilla voidaan nähdä, kuinka projektit voivat toimia tai olla mukautettuja tietyille sovelluksille.
- **Example finder:** Tässä on useita satoja koodinpätkiä, jotka havainnollistavat monenlaisten tehtävien takana olevaa menetelmää. Näitä voidaan käyttää tai räätälöidä tarvittaessa.
- **Debugging tools:** Virheenkorjaus on olennainen osa minkä tahansa projektin kehityksessä. LabVIEW-ympäristö tarjoaa kattavia työkaluja helpottamaan ohjelmien nopeassa virheenkorjauksessa. Työkalut sisältävät elementtejä, kuten koettimia, raja-arvoja, askeleita, suorituksen korostuksia (kyky hidastaa suoritusta nähdäkseen kuinka järjestelmä toimii ja eristää ongelmat dynaamisesti).
- **Hardware manager (measurement & automation explorer):** Tämä on LabVIEW:n täydentävä työkalu. Sen avulla ajureita voidaan hallita, päivittää ja seurata. Se mahdollistaa myös yhteyden laitteiston valvonnan tarkistuksen ennen ohjelman suorittamista.
- **Source control:** LabVIEW-ympäristössä on useita työkaluja kokoonpanon hallintaan. Tämä mahdollistaa, että suuremman ryhmät pystyvät työskentelemään sovelluksilla samalla säilyttäen kunnollisen kokoonpanon hallinnan.
- **LabVIEW tools network:** Tämä LabVIEW-ympäristön elementti mahdollistaa erikoistyökalujen lataamisen tiettyihin sovelluksiin. Jotkut toimittavat National Instruments, kun taas toiset voivat toimittaa NI-kumppanit. (Electronics-notes 2018.)

### 5.3.2 LabVIEW VI

LabVIEW VI (Virtual Instrument) on LabVIEW-ympäristön olennainen osa. VI:t ovat yksittäisiä koodimoduuleja, jotka muodostavat täydellisen sovelluksen. Sovellus voi olla yhtä yksinkertainen kuin yksittäinen VI, mutta yleensä useampia lisätään ja jotkin sovellukset voivat käyttää sataa VI:tä tai enemmän riippuen sovelluksesta. VI tarjoaa visuaalisen menetelmän algoritmin luomiselle ja sitä voidaan käyttää itsenäisesti tai laajemmassa yleisohjelmassa. Yhdessä näkökulmassa LabVIEW-virtuaalista välinettä voidaan verrata aliohjelmaan, jota käytetään joissakin ohjelmointikielissä.

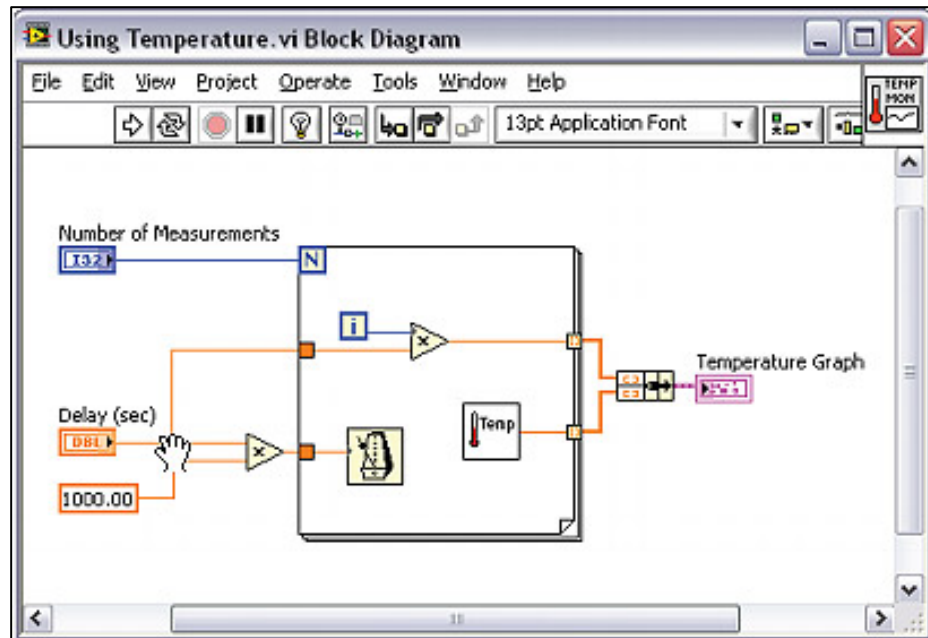
LabVIEW VI:ssä on kaksi pää elementtiä:

- VI Front Panel: LabVIEW-etupaneeli on mitä sovelluksen käyttäjä näkee (KUVA 6). Sen avulla käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa VI:n kanssa, syöttämään ohjaimia ja näkemään sovelluksen tuloksia. Sitä voidaan verrata testivälineen etupaneeliin tai laitteiston muihin varusteisiin. LabVIEW VI etupaneeli voidaan rakentaa alusta asti käyttämällä erilaisia ohjaimia, indikaattoreita ja tietotyyppejä. LabVIEW VI etupaneelit voidaan kokonaan muokata. Kokonaan muokatulla etupaneelilla on mahdollista yksinkertaistaa toimintoja antamaan täsmälleen mitä tarvitset ilman tarpeettomia säätöjä, joita ei ehkä tarvita.



KUVA 6. LabVIEW VI Front Panel (National instruments 2008.)

- VI Block Diagram: LabVIEW VI lohkokaaviossa VI:n toiminnallisuus on ohjelmoitu G-kielelle (KUVA 7). Lohkokaavio määrittelee toiminnot ja samalla tarjoaa siitä visuaalisen esittelyn. Tällä tavoin lohkokaavio on samanlainen kuin ohjelman vuokaavio. Lohkokaaviossa on siihen liittyvä toimintojen paletti, jossa kaikki ohjelman rakentamiseen tarvittavat elementit löytyvät. Tämä mahdollistaa nopean ja tarkan ohjelmoinnin.



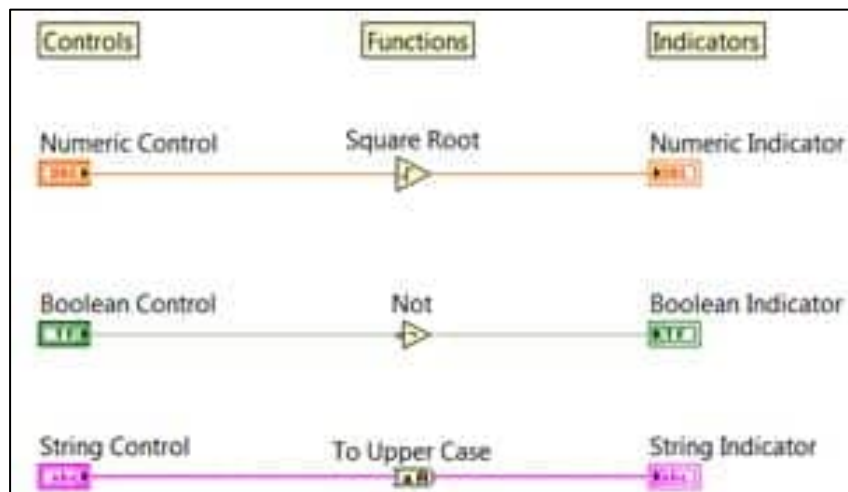
KUVA 7. LabVIEW VI Block Diagram (National Instruments 2008.)

### 5.3.3 LabVIEW G-ohjelmointi

LabVIEW-ohjelmointi hyödyntää graafisia tekniikoita ja tällä tavoin on paljon helpompi rakentaa esityksiä, joita voidaan tarkastella samalla tavalla kuin prosessin todellisia virtauksia. Kuten mikä tahansa muu kieli, LabVIEW-ohjelmointi vaatii oppimisprosessia ja harjoitusta, jotta voi saavuttaa mahdollisimman tehokkaan ja nopean tuloksen. Siitä huolimatta on mahdollista saada nopeita tuloksia tuntemalla kaksi pääkonseptia: G-ohjelmointi (lohkokaavioelementit) ja datavirta.











LabVIEW-ohjelmointi suoritetaan virtuaalisen instrumentin lohkokaaaviona. G-ohjelmointi on LabVIEW-ohjelmointikielen tekninen nimi, mutta nykyään termiä ei käytetä kovinkaan usein ja LabVIEW-nimitys on kehittynyt niin kieleksi kuin itse ohjelmistoksi. Kaikilla ohjelmointikielillä on inputs, actions ja outputs. LabVIEW-ohjelmoinnissa nämä tunnetaan nimellä controls, functions ja indicators (KUVA 8):

- Controls: Etupaneelissa olevalla LabVIEW-ohjauksella on lohkokaaavion vastaava elementti. Käyttäjä voi syöttää tietoja ohjausohjelmaan käytettäväksi yleisessä ohjelmassa. Ohjaimet on mahdollista liittää tiettyyn toimintoon. Ohjauksia voidaan käyttää, jos erilaiset tietotyypit ovat: single, double, string, jne. Ohjauspaneeliin pääsee etupaneelin ikkunasta valitsemalla View >> Controls palette. Vaihtoehtoisesti sinne voidaan päästä napsauttamalla hiiren kakospainiketta missä tahansa tyhjässä tilassa etupaneelin ikkunassa. LabVIEW-ohjelmoinnin Controls-paletti on jaettu eri luokkiin – ne voidaan altistaa tarpeen mukaan, jotta jotkin tai kaikki näistä luokista voidaan näyttää sovelluksen vaatimusten mukaisesti.
- Functions: LabVIEW-toiminnot otetaan lohkokaaavion functions-paletilta, jolloin niille annetaan syötteitä ja ne suoritettavat toiminnon. LabVIEW:ssä on laaja valikoima erilaisia toimintoja, jotka ulottuvat yksinkertaisesta matematiikasta videoprosessointiin, spektrianalyysiin ja vastaaviin.
- Indicators: LabVIEW-indikaattorit ovat samankaltaisia kuin ohjaimet, joissa on etupaneelin vastapuoli, jossa ne näyttävät lohkokaaavion lähdön käyttäjälle.



KUVA 8. LabVIEW ohjelmointi controls, functions, indicators (Electronics-notes 2018.)

Lohkokaavion sisällä kaikki LabVIEW-ohjelmointielementit eli ohjaimet, indikaattorit ja toiminnot liitetään yhteen. Tämä saadaan aikaan käyttämällä "wires" (KUVA 9). Tietoja voidaan katsoa kulkevan näiden johtojen läpi. On olemassa erilaisia lankatyyppejä, jotka on osoitettu esityksen värillä ja tyylillä.

Data Type	Scalar	1D Array	2D Array	Color
Numeric - Floating Point				Orange
Numeric - Integer				Blue
Boolean				Green
String				Pink

KUVA 9. LabVIEW wires (National Instruments 2011.)

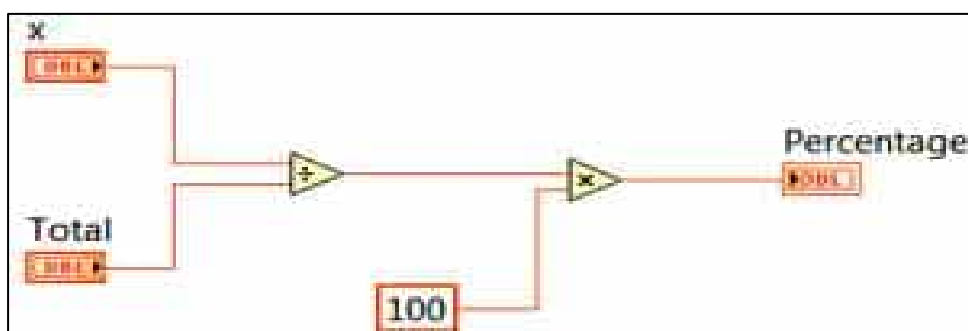
Jokaisella langalla on yksi tietolähde, mutta se on mahdollista viedä useille VI:lle ja toiminnoille, jotka lukevat tiedot. Johdot ovat erivärisiä, tyylisiä ja paksuisia riippuen niiden tyypeistä, kuten edellä on esitetty. Ne voivat olla:

- Numeric integer (sininen)
- Numeric floating point (oranssi)
- Boolean (vihreä)
- String (pinkki)

Langan ulkonäkö osoittaa, onko se skalaari, 1D-ryhmä tai 2D-ryhmä. LabVIEW-näytöllä rikkoutunut johto näyttää mustalta katkoviivalta, jossa on punainen X keskellä. Rikkoutuneita johtimia esiintyy useista eri syistä. Yksi yleinen syy on, kun johdetaan kaksi kohdetta, joiden tietotyypit ovat yhteensopimattomat.

### 5.3.4 LabVIEW datavirta

Tekstipohjaisella ohjelmoinnilla toteutusjärjestys määräytyy rivien järjestysten mukaan – ne suoritetaan peräkkäin. Esimerkkejä näistä kielistä ovat Visual Basic, C ++, Java ja monet muut. Graafisessa ohjelmoinnissa datavirta on asetettu kaavion sisälle (KUVA 10). Tämän käsitteen sisällä toimintoa ei pystytä suorittamaan, ennen kuin se on saanut kaikki syötteet. Kun sillä on kaikki syötteet, se suorittaa toiminnot ja siirtää sen lähdön seuraavalle solmulle. Alla olevassa kaaviossa datavirtaa vasemmalta oikealle ja tämä tarkoittaa sitä, että kertolaskufunktiota ei voida suorittaa, ennen kuin jakotoiminto on suoritettu loppuun. Tällöin toteutusjärjestys on asetettu. On huomattava, että toteutus seuraa varsinaista datavirtaa eikä sijaintia ikkunassa.



KUVA 10. LabVIEW datavirta (Electronics-notes 2018.)

LabVIEW-tietovirran käsitteen hallitseminen voi viedä niiltä hieman aikaa, jotka ovat tottuneet tekstipohjaisiin ohjelmiin, mutta kun tämä on tehty, sitä on helppo käyttää ohjelmointikielenä.

### 5.4 LabVIEW Laitteisto

LabVIEW pystyy hallitsemaan laitteita ja vastaanottamaan myös vastauksia niistä. Tämän saavuttamiseksi tarvitaan liitäntä, jonka avulla LabVIEW voi muodostaa yhteyden laitteeseen tai välineeseen. Näitä rajapintoja kutsutaan LabVIEW-ohjaimiksi ja näissä ohjaimissa on laaja kirjasto, jotka ovat käytettävissä LabVIEW-ekosysteemin sisällä.

### 5.4.1 Laitteisto-ohjaimet

Laiteohjain tarjoaa liitännän LabVIEW-ohjelmiston ja sen laitteen tai välineen välille, jota se tarvitsee hallita tai josta vastaanottaa tietoja. LabVIEW-laiteohjain on olennaisesti joukko ohjelmistorutiineja, jotka mahdollistavat tietojen lähettämisen laitteelle tai välineelle ja siitä vastaanotetuista tiedoista. Kokonaisuohjaimessa on yksittäisiä alirutiineja, jotka mahdollistavat erilaisten tehtävien suorittamisen. Näihin kuuluvat: laitteen määrittäminen, lukeminen, kirjoitus ja laitteen tai välineen laukaiseminen. Laiteohjaimet yksinkertaistavat instrumenttien hallintaa ja vähentää LabVIEW-ohjelman kehitysaikaa poistamalla tarvetta oppia jokaisen instrumentin ohjelmistoprotokollan. LabVIEW-ohjain ottaa LabVIEW:n komennon ja muuntaa ne laitteeseen tarvittaviin ohjeisiin lähettämällä ne kyseiselle käyttöliittymälle, oli kyseessä USB, sarja, Wi-Fi, Ethernet, GPIB tai mikä tahansa muu sovellus, jota kyseinen laite käyttää.

LabVIEW-ohjaimia kehitetään useille eri välineille. Jotkut näistä ovat kehittäneet National Instruments, yritys joka kehittää ja omistaa LabVIEW:n, mutta muita ajureita voivat kehittää kolmannen osapuolen valmistajat. Jotkut LabVIEW-ohjaimet voivat sisältää kaikki laitteeseen sovellettavat kaukosäätimet ja laitteeseen sovellettavat erilaiset liitännät. Toisilla saattaa olla rajoitettu määrä ohjeita tai kykyjä. Lisäksi monet ovat maksuttomia, mutta muille saattaa aiheutua kustannuksia. Se riippuu laitteiden, valmistajien ja koodin kehittäjistä. Useimmat niistä ovat kuitenkin LabVIEW-ekosysteemin sisällä ilman lisämaksua. LabVIEW tarjoaa laajan tuen LabVIEW-ajureita käyttäville laitteille. Nämä laiteohjaimet voidaan kirjoittaa useilla eri tavoilla: LabVIEW, LabWindows/CVI ja ne käyttävät joko Virtual Instrumentation Software Architecture, VISA tai Interchangeable Virtual Instrument, IVI, protokollaa.

### 5.4.2 Ajurien saatavuus

National Instruments tekee tuhansia laiteajureita ladattavaksi NI instrument – ohjainverkkoon, ID-Net:iin tai suoraan LabVIEW:n sisälle. Lisäksi monet laitevalmistajat saattavat myös ajaa ajureita porttien kautta omilla sivuillaan. Useilla yrityksillä ja organisaatioilla, jotka käyttävät LabVIEW:tä, se maksaa näiden laitteiden ja välineiden valmistajille LabVIEW-ohjainten saatavuuden, jotta ne voivat parantaa tuotteidensa kilpailukykyä.



### 5.4.3 LabVIEW-laiteohjainten käyttäminen

LabVIEW:n ja instrumenttiohjaimien sisältö koostuvat VI:n tai Virtual Instrumentin joukosta. Jokainen VI vastaa tiettyä operaatiota, kuten välineen tai laitteen määrittämistä, lukemista, kirjoittamista tai laukaisemista. Käyttämällä tätä lähestymistapaa välineiden tai laitteiden ohjelmointi yksinkertaistuu huomattavasti, koska se ohittaa ohjelmoinnin ongelmat alhaisella kielellä.

On kaksi tapaa löytää ja ladata LabVIEW-ohjaimia NI LabVIEW-ekosysteemistä:

- NI Instrument Driver Finder: Tätä menetelmää voidaan käyttää LabVIEW 8.0 tai uudemmissa versioissa. Valitse Tools >> Instrumentation >> Find Instrument Drivers käynnistääksesi laiteohjaimien etsinnän. Tämä työkalu etsii IDNetistä määritellyn laiteohjaimen.
- IDNet: Vanhemmille LabVIEW-versioille ennen 8.0 on tarpeen etsiä suoraan IDNetistä.

LabVIEW-instrumenttiohjaimia on laaja valikoima ja ne tarjoavat yhteyden liitäntöjen, oheislaitteiden ja instrumenttien välille. Nämä ovat keskeinen osa koko LabVIEW-ekosysteemiä ja tarjoavat helpon tavan hallita laitteita ja käyttää tietoja niiltä tai etälaitteilta.

## 6 TYÖ

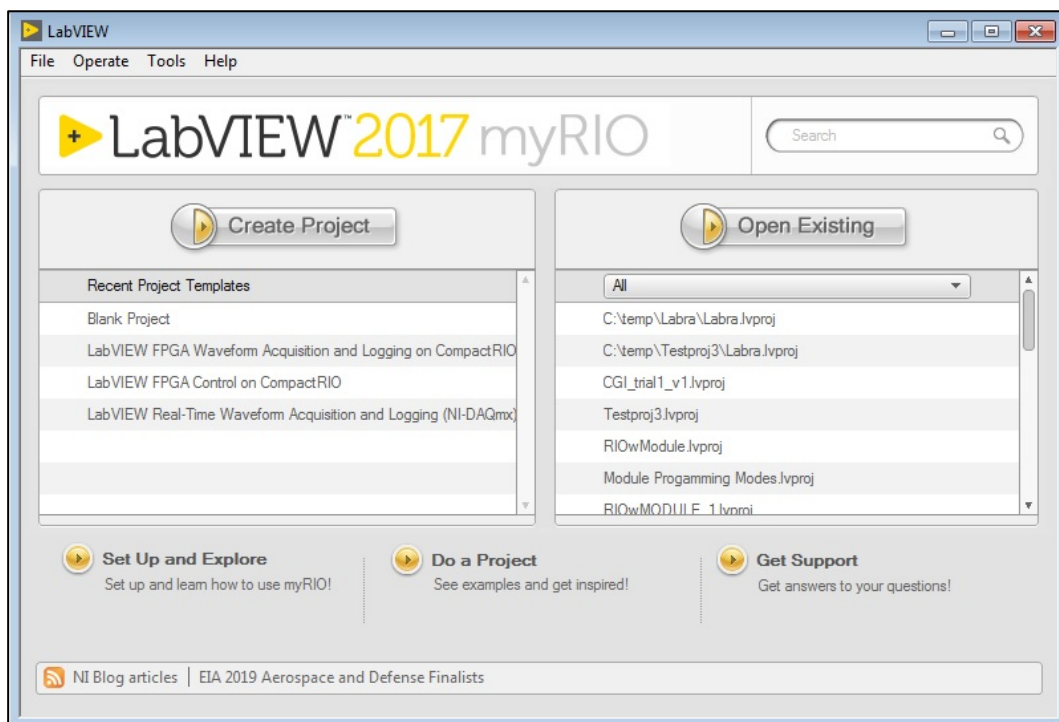
Työn aikana täytyi käyttää LabVIEW-ohjelmaa, National Instruments ohjainta ja IP-Power, jotta olisi mahdollista päästä haluttuun lopputulokseen. LabVIEW-ohjelmalla täytyi luoda koodi, jolla voidaan mitata termoantureilla ilmalämpöpumpun lämpötiloja kylmä- että lämpökäynnillä. National Instruments ohjaimella voidaan luoda LabVIEW:n tiedostot ja ohjaimet, joilla saadaan ilmalämpöpumppua ohjattua. IP-Powerilla voidaan mitata ilmalämpöpumpun tuottama teho (kW), kuinka monta ampeeria virtaa laite kuluttaa ja lämpötilan.

### 6.1 LabVIEW

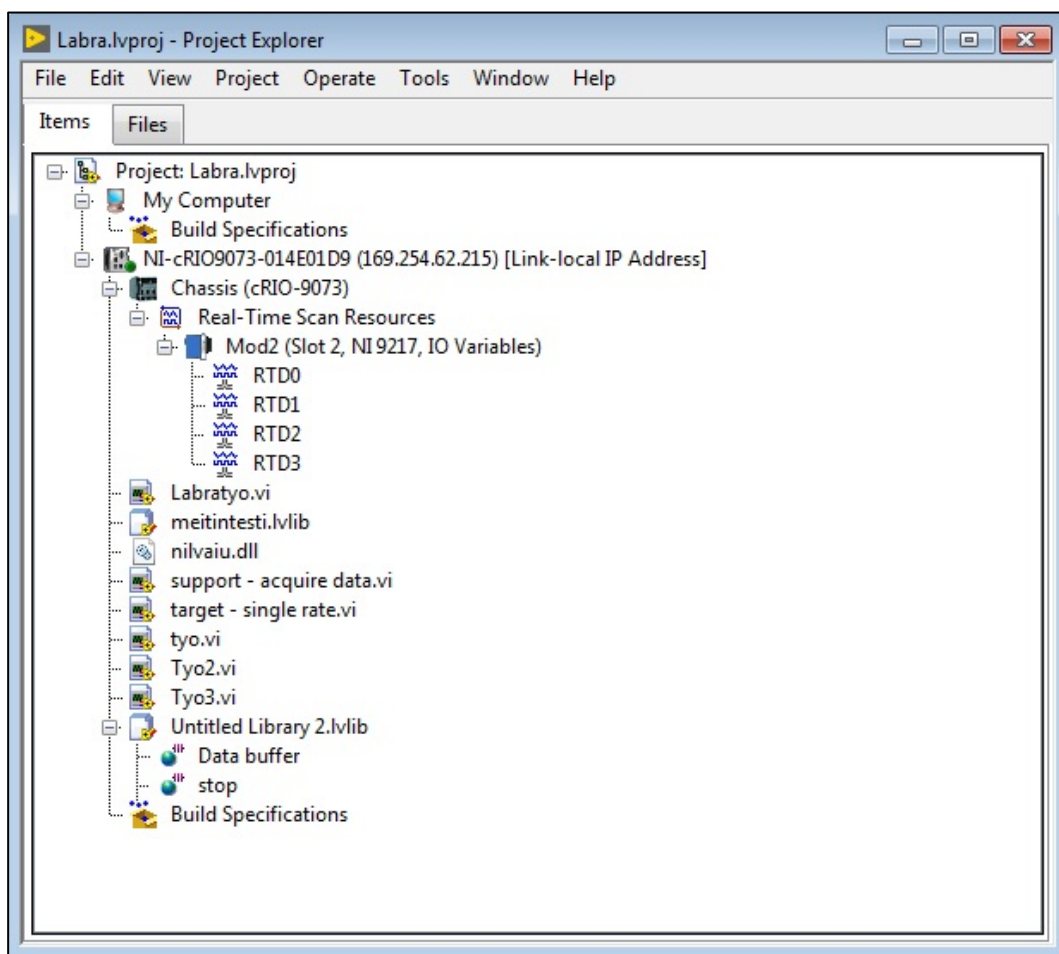
LabVIEW-ohjelmalla oli tarkoitus luoda koodi, jolla voidaan mitata neljää eri lämpötilaa ilmalämpöpumpusta, kun laite on kylmä- tai lämpökäynnillä. Alussa ohjelmistoon täytyy tutustua ja opetella peruskomennot ja periaatteet nettivideoiden avulla. Opettelun jälkeen ohjelmalla täytyy luoda muutama harjoituskoodi, jonka jälkeen voi aloittaa varsinaisen koodin luomisen. Ensimmäinen koodi, joka luotiin ei toiminut, koska sovelluksessa käytettiin DAQ.mx koodipaloja ja National Instruments-ohjain, jota käytettiin koodaamisen aikana ei tunnistanut DAQ.mx paloja. Ensimmäinen koodi jätettiin ja kehitettiin uutta koodia, joka luotiin ilman DAQ.mx paloja, mutta kyseinen koodi koitui monimutkaiseksi eikä aika olisi riittänyt kyseisen koodin luomiseen. Uutta koodia suunnitellessa, joka olisi helppo ja nopea luoda, opettaja Antti Achrenius auttoi ja lähetti linkin, jossa oli idea ja ohjeet uudelle koodille. Sen avulla kehitettiin koodi, joka saatiin toimimaan ja koodiin asennettiin neljä anturipalaa, joilla voi mitata ilmalämpöpumpun lämpötiloja.

#### 6.1.1 LabVIEW projekti

LabVIEW-ohjelman luominen alkaa LabVIEW-sovelluksen etusivulta, jossa voi luoda uuden projektin tai avata olemassa olevan projektin (KUVA 11). Kyseisessä projektissa käytettiin LabVIEW-FPGA projektia, koska käytössä oleva National Instruments-ohjain toimii kyseisen asetuksen kanssa. Projektin luomisen jälkeen, Project Explorer ikkunaan luodaan tarpeelliset toiminnot ja elementit, jolla saadaan haluama projekti toimimaan (KUVA 12). Kyseiseen projektiin lisättiin National Instruments-ohjain, johon on neljä anturia kiinnitetty, labratyo.vi joka on projektin koodaus ja jossa on koodaukseen liittyviä elementtejä, jotka täytyi erikseen lisätä koodiin.



KUVA 11. LabVIEW aloitusnäyttö



KUVA 12. LabVIEW Project Explorer

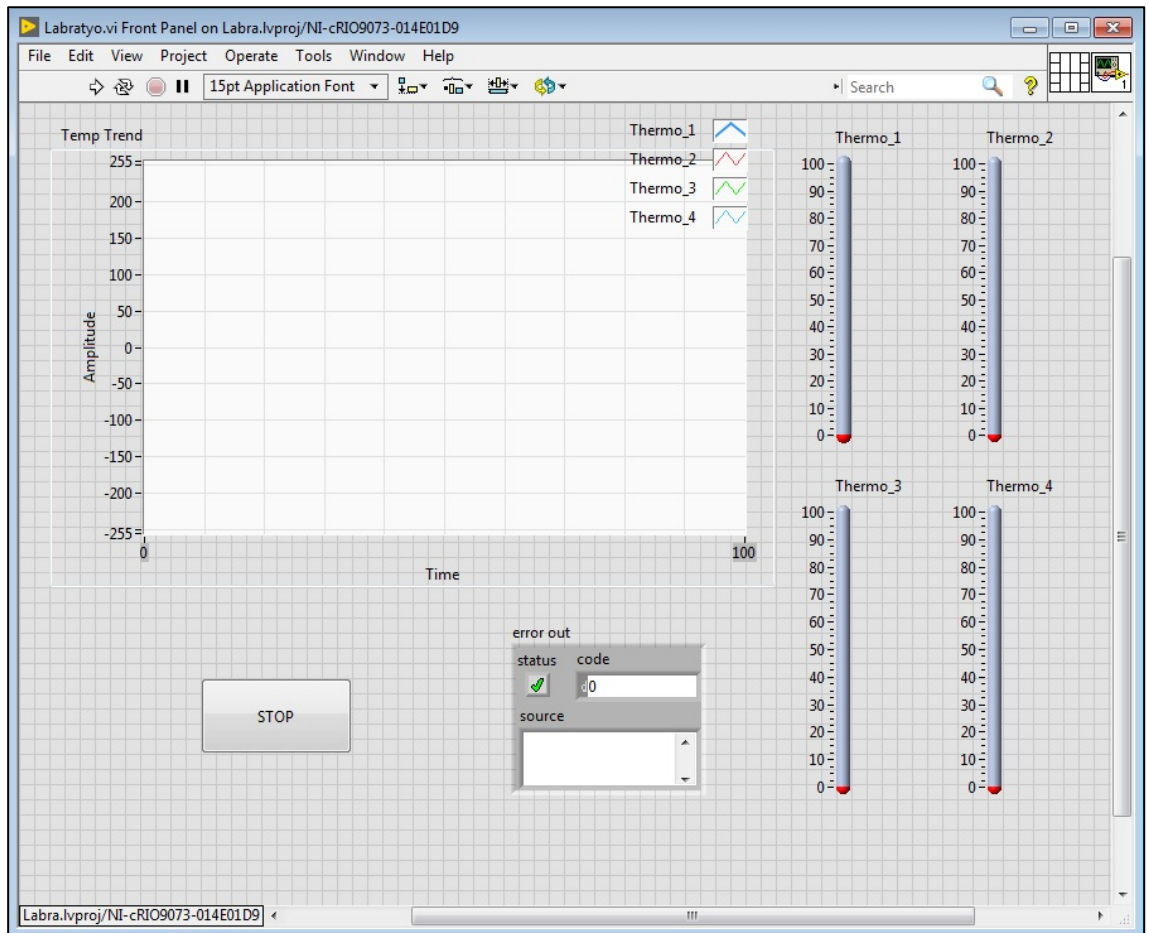
### 6.1.2 LabVIEW suunnittelu

Suunnitelma oli luoda helppo ja yksinkertainen sovellus LabVIEW-ohjelmalla, jotta opiskelijat, jotka eivät ole ikinä käyttäneet LabVIEW-ohjelmaa, pystyvät ohjaamaan ohjelmaa ja saamaan tuloksia ilmalämpöpumpusta ongelmitta käyttäen LabVIEW-ohjelman Front Panelia (KUVA 13). Ohjelmaan täytyi luoda neljä anturia, jotka asennetaan ilmalämpöpumpun tulo- ja lähtöpuhaltimiin, jolloin saadaan mitattua ilmalämpöpumpun kylmä- ja lämpökertoimet. Ohjelmaan täytyi myös koodata ominaisuus, joka tallentaa mitatut lämpötilat Excel-taulukkoon, josta lämpötilat voi mittauksien jälkeen ottaa laskuja varten talteen.

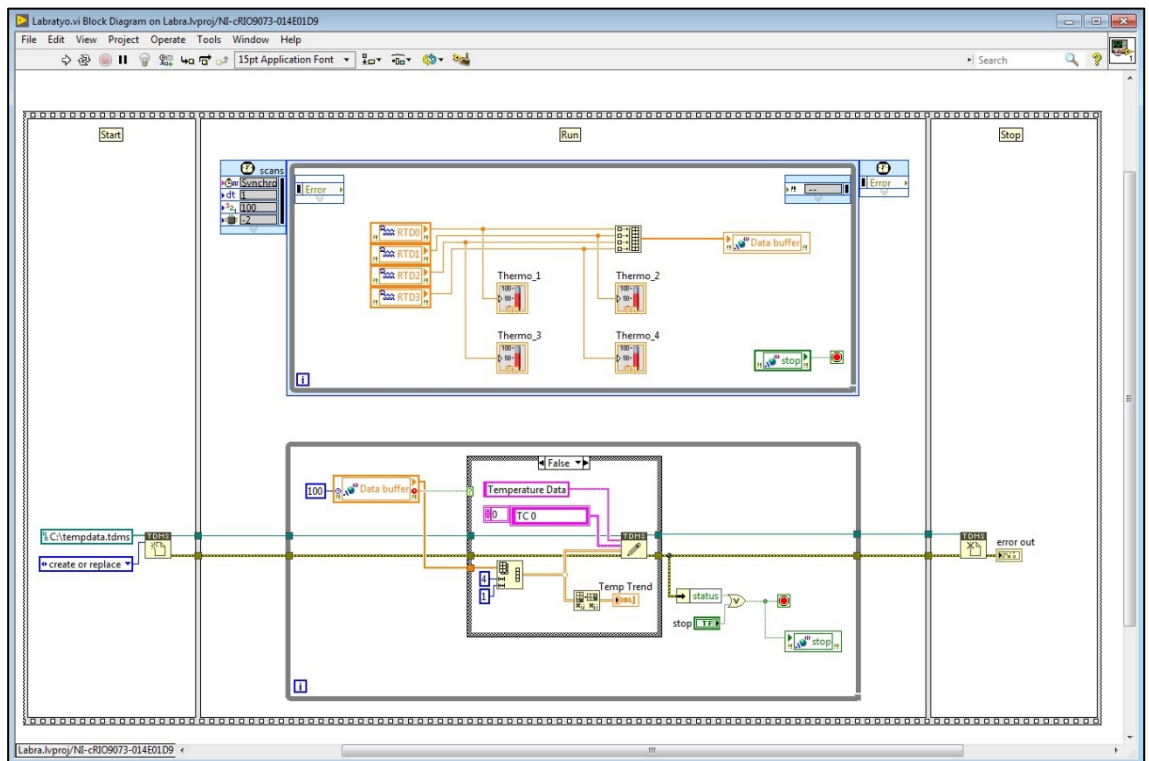
LabVIEW-ohjelmalla luodaan kolmen kehyksen rakennelma Block Paneliin, joissa on käynnistys, ohjelmansuoritus ja lopetus (KUVA 14). Näillä rakennelmilla ohjelmalla voidaan mitata ilmalämpöpumpun lämpötiloja tarkasti ja sammuttaa ohjelma, kun mittaukset ovat valmiita. Ohjelman suorituskehukseen luodaan ajastettusilmukka, joka mahdollistaa koodin synkronoinnin eri aikaväleillä, kuten skannaus, joka lukee ilmalämpöpumpun antureiden lämpötilat ja lähettää koodin näytettäväksi. Ajastettusilmukkaa täytyi muokata ilmalämpöpumpun vaatimuksiin ja kokeisiin sopiviksi, kuten asentaa silmukan toiminnoksi skannauksen synkronointi, jolloin ohjelman silmukka skannaa ilmalämpöpumpun arvot reaaliaikaisesti, sekä mittaa viimeisimmät ja tarkimmat arvot. Ajastetun silmukan jälkeen asennettiin ohjelma mittaamaan skannauksia 100-ms tarkkuudella.

Asetuksien jälkeen valitaan LabVIEW:n Project Explorer ikkunasta ilmalämpöpumpun anturit ja asennetaan ne ajastetun silmukan sisälle, jossa antureista mitataan lämpötilaa 100-ms välein. Antureiden asennuksen jälkeen luodaan kaksi while loop ohjainta ja asennetaan molemmat ohjelman suorituskehukseen, joista toisen sisälle asennetaan ilmalämpöpumpun anturit. While loop ohjain auttaa pitämään anturien ja mittauksien tiedonkeruun erillään, jotta ohjelmalla voi kerätä tiedot talteen samanaikaisesti. Prosessi on tehtävä, koska tiedonkeruussa kestää enemmän aikaa kuin anturien mittauksissa, jolloin tiedonkeruu kappaleita hukkuu ajoituksen takia. While loop ohjainten jälkeen luodaan data buffer ohjain, jonka avulla ohjelmasta saadaan kerättyä antureiden tuottama tulos talteen. Asennetaan data bufferi samaan lohkokon antureiden kanssa ja yhdistetään anturit data bufferiin build array -funktion (toiminnon) avulla. Asennuksen jälkeen luodaan kopio data bufferista ja asennetaan se alempaan lohkokon, jossa ohjain kerää tulokset talteen Excel-tiedostoa varten. Uudelle data bufferille luodaan ajastin, jonka avulla ohjain tallentaa tulokset 100-ms välein Excel-tiedostoon.

Data bufferien jälkeen luodaan TDMS-ohjaimet, jotka luovat ja tallentavat antureiden tuottamat tulokset TDMS-tiedostoksi. Excelliin täytyi ladata lisäosa, jonka avulla TDMS-tiedostot voidaan siirtää Excelliin ja lukea sovelluksen tuottamat tulokset. Jotta TDMS-ohjain toimisi LabVIEW-ohjelmassa, täytyi alempaan while loop ohjaimen luoda koodi, jonka avulla ohjelma kykenee luomaan, laskemaan ja tallentamaan antureiden tulokset. Koodin luomisen jälkeen, yhdistetään TDMS-ohjaimien johdotukset koodiin ja luodaan TDMS-ohjaimelle polku, mihin sovellus tallentaa tallentamat tiedostot.



KUVA 13. LabVIEW Front Panel



KUVA 14. LabVIEW Block Panel

### 6.1.3 LabVIEW-ohje

LabVIEW-ohjelmalle täytyi luoda käyttöohjeet, jotta uudet opiskelijat voisivat helposti ja nopeasti aloittaa mittaamaan laboratoriotyön lämpöarvoja (KUVA 15). LabVIEW-ohjeen ideana oli, että opiskelijoiden täytyisi mahdollisimman vähän käyttää aikaa LabVIEW-ohjelman ja NI-laitteiden parissa, jotta saisivat lämpöarvotulokset. LabVIEW-ohjeessa ohjeistetaan käyttäjää, kuinka LabVIEW-sovellus löydetään, avataan, suoritetaan mittaukset, mihin mittaukset tallentuvat ja kuinka mittauksia voidaan käyttää.

Ensimmäisenä LabVIEW-ohjeessa käsketään käyttäjää avaamaan Windowsin käynnistä valikko, josta käyttäjä etsii NI LabVIEW 2017 sovelluksen ja avaa kyseisen sovelluksen. Kun LabVIEW-sovellus aukeaa käyttäjälle, hänen täytyy avata laboratorioprojekti-tiedosto, jossa sijaitsee ilmalämpöpumpun mittaukseen vaadittava koodi. Jos käyttäjän LabVIEW-aloitusikkunaan ei ilmesty laboratorioprojekti-tiedostoa, hänelle on ohjeistettu vaihtoehtoinen ratkaisu, jossa käyttäjää ohjeistetaan löytämään laboratorioprojekti-tiedosto tietokoneelta. Kun käyttäjä on avannut laboratorioprojekti-tiedoston, hänelle avautuu laboratorioprojektin ikkuna, jossa sijaitsee LabVIEW-sovelluksen koodi ja NI-laitteiden asetuksia. Käyttäjää ohjeistetaan avaamaan NI-cRIO9073 väli-ikkuna, jossa sijaitsee laboratoriotyö ja avaamaan kyseinen tiedosto.

Laboriotyö-tiedoston avaamisen jälkeen, käyttäjälle ohjeistetaan ilmalämpöpumpun kaukosäätimen käyttö. Kaukosäätimellä käyttäjä pystytään käynnistämään ilmalämpöpumppu painamalla kaukosäätimen OFF/ON painiketta, valitsemaan halutun lämmitys- tai jäähdytysasetuksen, puhallustehon lämpötilan, puhallustehon voimakkuuden ja puhalluksen suunnan. Ohjeessa käyttäjää ohjeistetaan käynnistämään ilmalämpöpumppu kaukosäätimen OFF/ON-painikkeella, jonka jälkeen hänen täytyy valita kaukosäätimen MODE-painikkeella HEAT-vaihtoehto, jolloin ilmalämpöpumppu puhalttaa lämmintä ilmaa. Lämpimän ilman mittaamisen jälkeen käyttäjää ohjeistetaan painamaan kaukosäätimen MODE-painiketta ja valitsemaan COOL-vaihtoehto, jolloin ilmalämpöpumppu puhalttaa jäähdyttävää ilmaa. Mittauksien jälkeen käyttäjää ohjeistetaan sammuttamaan ilmalämpöpumppu painamalla kaukosäätimen OFF/ON-painiketta.

Laboriotyö-tiedoston avaamisen ja kaukosäätimen ohjeiden jälkeen, käyttäjälle avautuu LabVIEW-sovelluksen "Front Panel", jossa käyttäjä voi aloittaa ilmalämpöpumpun mittaamisen, seurata termopariantureiden lämpötiloja ja lopettaa mittaamisen, kun työ on valmis. Käyttäjää ohjeistetaan LabVIEW-sovelluksessa painamaan ikkunan yläalaidassa sijaitsevaa "run" toimintoa, jolla ohjelman saa käynnistymään. Kun "run" toimintoa on painettu, käyttäjälle avautuu "Deployment Progress" ikkuna, jossa ohjelma käy koodin läpi ja tarkistaa, että nykyinen koodi on toimintakykyinen. Koodin tarkastamisen jälkeen, ohjelma ilmoittaa käyttäjälle "Deployment completed successfully", joka tarkoittaa, että koodi toimii, käyttäjä voi sulkea koodin tarkastusikkunan ja ohjelma voi aloittaa toimintansa. Toiminnan aikana ohjelma alkaa automaattisesti mittaamaan termoparien lämpötiloja ja esittää lämpötilat LabVIEW-ohjelman "Front Panelin Temp Trend" kaaviossa. Kun käyttäjä on mitannut halutut lämpötilat, häntä ohjeistetaan painamaan "Front Panel" ikkunassa "STOP" painiketta, jolloin ohjelma pysähtyy ja mittaukset on tallennettu TDMS-tiedostolle.

Mittauksien jälkeen käyttäjää ohjeistetaan avaamaan Windowsin käynnistä valikosta Computer ikkuna. Computer ikkunan avaamisen jälkeen käyttäjää ohjeistetaan avaamaan drive (levyasema) nimellä "files (\\169.254.62.215\DavWWWRoot)" ja avata kyseisen driven sisältä tempdata TDMS-tiedosto, jossa sijaitsee LabVIEW-sovelluksella mitatut ilmalämpöpumpun lämpötila-arvot. Jos käyttäjä ei löydä edellä mainittua drivea, häntä ohjeistetaan avaamaan Computer ikkunan ylävalikosta "Map network drive". Valinnan jälkeen käyttäjälle avautuu uusi ikkuna, jossa käyttäjää ohjeistetaan valitsemaan tyhjä drive, kirjoittamaan folder valikkoon "http://169.254.62.215/files", jättämään "reconnect at logon" valintalaatikko tyhjäksi ja hyväksymään "connect using different credentials" valintalaatikko. Valintojen jälkeen käyttäjä painaa "Finish" nappia ikkunan alalaidassa, jonka jälkeen ohjelma kysyy käyttäjätunnusta ja salasanaa, johon kirjoitetaan käyttäjätunnukseksi: admin ja salasana laatikko jätetään tyhjäksi. Tempdata TDMS-tiedoston avaamisen jälkeen, tiedosto siirtää automaattisesti LabVIEW-sovelluksella mitatut lämpötila-arvot Excel-tiedostolle, jossa käyttäjä voi seurata 100-ms tarkkuudella LabVIEW-sovelluksen mittaamia lämpötiloja. Kyseinen LabVIEW-ohje on lisätty opinnäytetyön liitteeksi.



KUVA 15. LabVIEW-ohje



## 6.2 National Instruments

Kyseisessä opinnäytetyössä käytettiin National Instruments laitteiden NI cRIO-9073-ohjainta ja ohjaimen asennettua NI-9217 input moduulia (KUVA 16). Kyseisillä ohjaimilla on mahdollista ohjelmoida ilmalämpöpumpua ja luoda toimivat koodit LabVIEW-sovellukseen. National Instruments laitteet täytyi yhdistää ethernet liittimellä, jotta yhteyden muodostaminen olisi mahdollista (KUVA 17).



KUVA 16. National Instruments



KUVA 17. NI ethernet liittämä



### 6.2.1 NI cRIO-9073

NI cRIO-9073-ohjaimen on mahdollista asentaa kahdeksan erillistä ohjain moduulia, joilla pystytään luomaan monenlaisia koodeja ja ohjelmia omaan LabVIEW-sovellukseen (KUVA 18). Kyseisen ohjaimen etupaneelissa on kuusi kytkintä, joilla pystytään vaikuttamaan ohjaimen tai erillisten sovellusten tekoälyyn.

- **SAFE MODE Switch:** SAFE MODE-kytkimen sijainti määrittää, käynnistyykö LabVIEW Real-Time kone käynnistyksen yhteydessä. Jos kytkin on OFF-asennossa, LabVIEW Real-Time kone käynnistyy. Kytkin on pidettävä OFF-asennossa normaalin käytön aikana. Jos kytkin on ON-asennossa käynnistyksen yhteydessä, cRIO käynnistää vain olennaiset palvelut joita tarvitaan kokoonpanon päivittämiseen ja ohjelmiston asentamiseen.
- **CONSOLE OUT Switch:** Sarjaliitäntäohjelman avulla voi lukea IP-osoitteen ja laiteohjelmiston version CONSOLE OUT-kytkimellä. Jotta on mahdollista lukea IP-osoite ja laiteohjelmiston versio, täytyy kytkeä sarjaportti tietokoneeseen nollamodeemikaapelilla, jonka jälkeen varmistetaan, että sarjaportin pääteohjelmaan on määritetty oikeat asetukset ja asennetaan kytkin ON-asentoon. Normaali operaation aikana kytkin pidetään OFF-asennossa.
- **IP RESET Switch:** Paina IP RESET-kytkin ON-asentoon ja käynnistä ohjain uudelleen, jos haluat nollata IP-osoitteen ja muut TCP/IP-asetukset tehdasasetuksiin.
- **NO APP Switch:** Paina NO APP-kytkin ON-asentoon estääksesi LabVIEW RT-sovelluksen käynnistyksen aloituksessa. Jos haluat sovelluksen käynnistyvän aloituksen aikana, paina NO APP-kytkin OFF-asentoon, luo sovellus LabVIEW-Builder-sovelluksen avulla ja määritä sovelluksen käynnistys LabVIEW:n aloituksessa. Jos sovellus on valittu käynnistymään sovelluksen aloituksen yhteydessä, paina NO APP-kytkin ON-asennosta OFF-asentoon.
- **USER1 Switch:** USER1-kytkimellä voit määrittää sovelluksesi.
- **NO FPGA Switch:** Paina FPGA-kytkin ON-asentoon estääksesi LabVIEW-FPGA-sovelluksen lataaminen käynnistyksen yhteydessä. NO-FPGA-kytkin ohittaa CompactRIO-nollausasetuksia. Käynnistyksen jälkeen voit ladata FPGA:lle ohjelmistosta riippumatta kytkimen asennosta.

NI cRIO-9073-ohjain asennettiin laboratoriotilan seinään, jossa se on hyvin näkyvillä ja johdotukset on helppo asentaa. Ohjaimen on asennettu kaapeli, joka antaa ohjaimelle 24VDC jännitettä ja ohjain on maadoitettu. Ohjain saa nettiyhteyden ethernet-kaapelilla, joka on yhdistetty koulun reitittimeen. Kyseisessä ohjaimessa SAFE MODE, IP RESET, NO APP, USER1 ja NO FPGA kytkimet on asennettu ON-asentoon ja CONSOLE OUT kytkin OFF-asentoon.



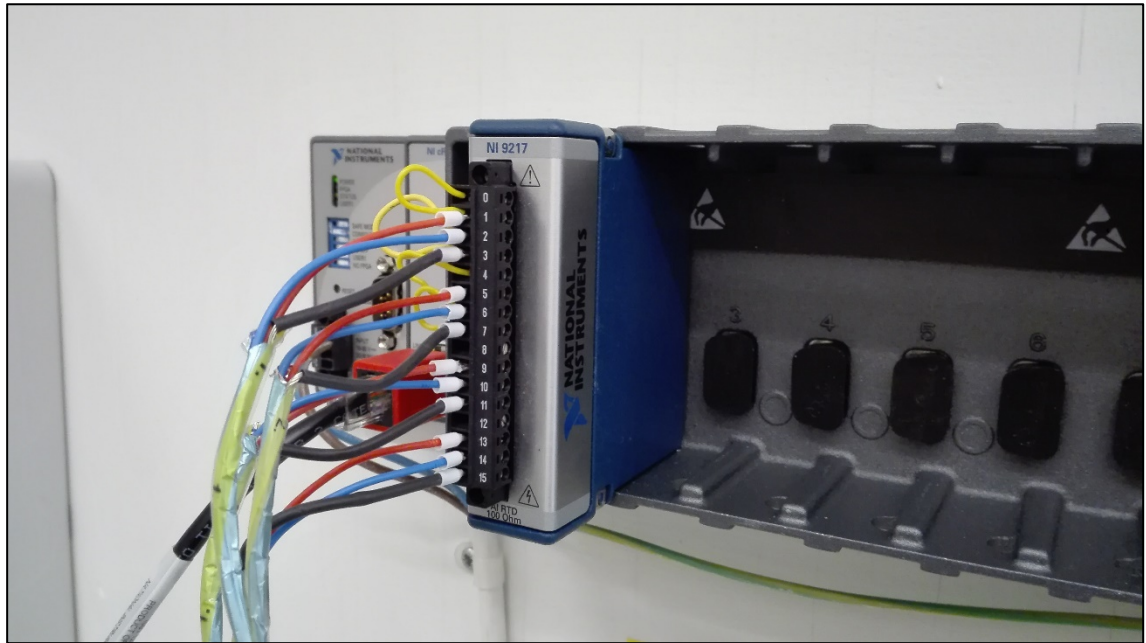
KUVA 18. NI cRIO-9073

### 6.2.2 NI 9217

NI 9217-ohjaimella pystytään mittaamaan laitteiden lämpötiloja (KUVA 19). Ohjaimella pystytään mittaamaan kahdenlaisia näytteitä: suuria näytteiden lukumääriä ja suuria näytteiden resoluutioita. Ohjaimessa on 16-johtojen asennus paikkaa ja paikoilla on neljä erilaista signaali vaihtoehtoa.

- COM: Eristetty maadoitus.
- EX: Jännitelähteen yhteys.
- RTD+: Positiivisen lämpötilan ilmaisiliitin.
- RTD-: Negatiivisen lämpötilan ilmaisiliitin.

Ohjaimen asennuksessa käytettiin 3-johdotuksen ja 4-johdotuksen liitännää. Kahden anturin johdotukset asennettiin 4-johdotuksen liitännällä ja toiset kaksi anturin johdotusta 3-johdotuksen liitännällä. 4-johdotuksen liitännällä asennetaan ilmalämpöpumpun tuloaukulle ja 3-johdotuksen liitännät asennetaan ilmalämpöpumpun puhallusaukulle.



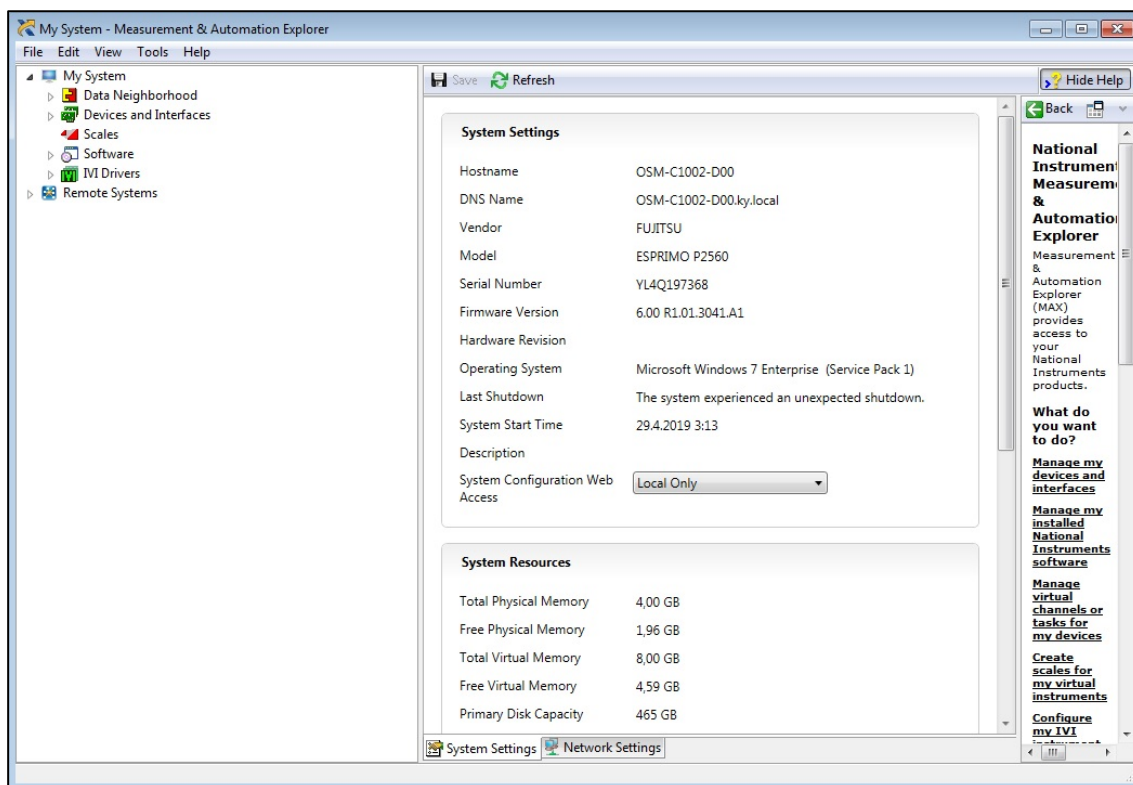
KUVA 19. NI 9217

### 6.2.3 NI MAX

NI MAX (Measurement & Automation Explorer) on ilmainen ohjelmisto, joka asennetaan automaattisesti National Instruments-ohjelmiston ja laiteohjainten kanssa (KUVA 20). NI MAX-ohjelmalla on mahdollista:

- Määrittää National Instruments laitteistoa ja ohjelmistoa.
- Varmuuskopioida tai toistaa kokoonpanotiedostoja.
- Luoda tai muokata kanavia, tehtäviä, rajapintoja, vaakoja ja virtuaalisia instrumentteja.
- Suorittaa järjestelmän diagnostiikkaa ja suorittaa testipaneeleja.
- Tarkastaa järjestelmään liitetyjä laitteita ja välineitä.
- Päivittää National Instruments-ohjelmistoa.

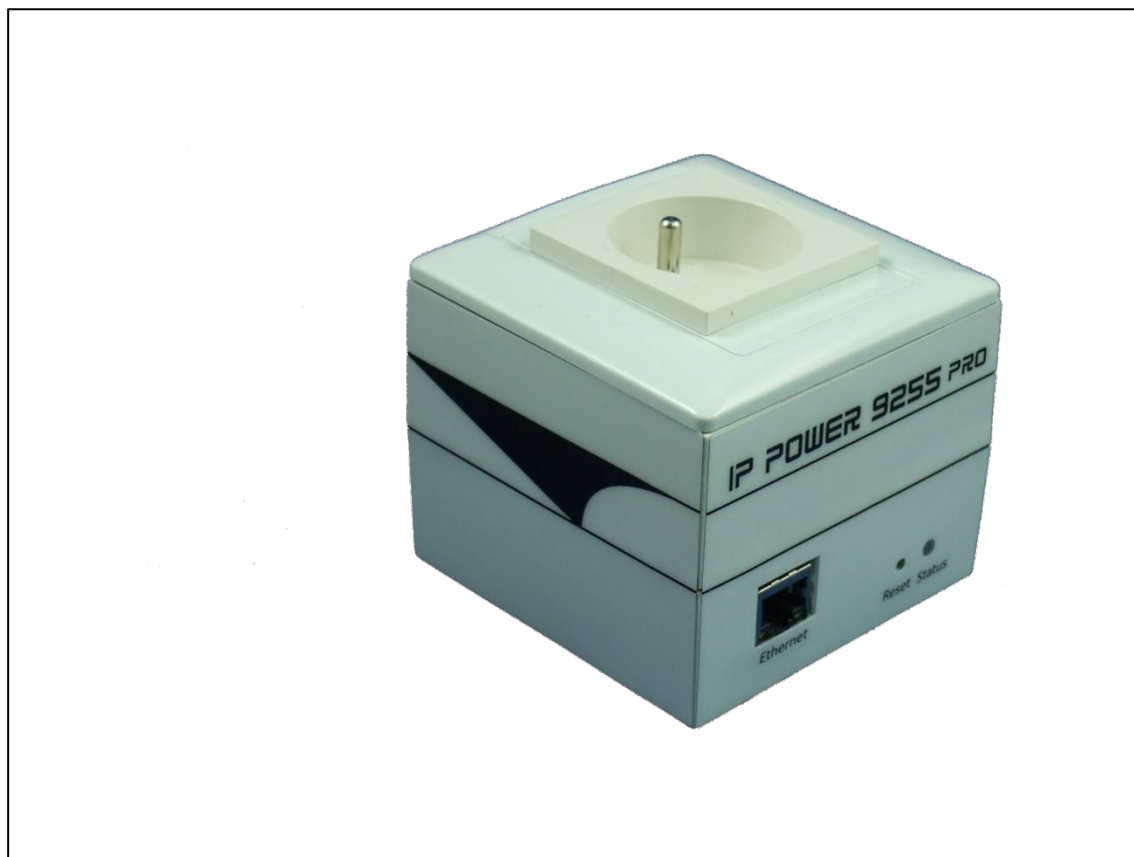
Kyseisessä opinnäytetyössä käytettiin NI MAX-ohjelmistoa määrittämään National Instruments-ohjaimet ja varmistamaan ohjaimen sisäisen IP-osoitteen. NI MAX-ohjelmistoon täytyi asentaa Remote Systems valikosta ohjelmia, joilla saatiin käyttöön työkaluja LabVIEW-sovellukseen, joka helpotti opinnäytetyön kulkua.



KUVA 20. NI MAX

### 6.3 IP-Power

Kyseisessä opinnäytetyössä käytettiin IP-Power 9255pro laitetta, jolla pystytään seuraamaan montako ampeeria virtaa ilmalämpöpumppu kuluttaa ja mikä on laitteen sisäinen lämpötila (KUVA 21). Käytettävän laitteen suurin sallittava virtalähde on 8A. IP-Power laitteeseen on mahdollista lisätä energiamittari, jolla on mahdollista mitata laitteen jännitetasoa ja energiankulutuksen kilowattituntia tunnuksella (KUVA 22). IP-Power laitteessa on ominaisuus, joka suojaa relelähteitä ja varoittaa käyttäjää äänimerkillä ja valolla, kun laitteen ampeeri määrä yhtäkkiä kasvaa. Laitteessa on virtajännitesuojaus, joka suojaa laitetta suurilta jännitteiltä ja tehonvuoetoesto, joka sammuttaa laitteen, jos tehonvuoto ylittää 3mA.



KUVA 21. IP-Power 9255pro (Aviosys 2019.)



KUVA 22. IP-Power ja energiamittari



## 6.4 Ilmalämpöpumppu

Kyseisessä opinnäytetyössä käytettiin ilmalämpöpumppua, jonka malli on Panasonic R410A. Kyseisen pumpun sisäyksikkö on CS-UW12GKE (KUVA 23) ja ulkoyksikkö CU-UW12GKE (KUVA 24). Kyseisen ilmalämpöpumpun teho on jäähdytyksellä 3,30 kW ja lämmityksellä 3,70 kW. Laitteen nimellisvirta on 5,0 A jäähdytyksellä ja 4,8 A lämmityksellä. EER on 3,05 ja COP on 3,49, jolloin laitteen energiatehokkuusluokka on B (KUVA 25).



KUVA 23. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö CS-UW12GKE



KUVA 24. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö CU-UW12GKE

## Tekniset tiedot (jäähdytys / **lämmitys**)

Malli, sisäyksikkö (ulkoyksikkö)		CS-UWI2GKE (CU-UWI2GKE)
Teho, jäähdytys / lämmitys	kW	3,30 / <b>3,70</b>
Omakäyttöteho	kW	1,08 / <b>1,06</b>
Nimellisvirta	A	5,0 / <b>4,8</b>
EER / COP	W/W	3,05 / <b>3,49</b>
Energiatohokkuusluokka	A–G	<b>B / B</b>
Kosteudenpoistoteho, maks.	l/h	1,9
Ilmavirta, maks.	m <sup>3</sup> /h	540 / <b>552</b>
Äänenpainetaso, min.–maks. (ulkoyks.)	dB(A)	32–39 (49) / <b>31–39 (50)</b>
Jännite, vaihe/taajuus	V, Ø/Hz	230, 1/50
Kylmäaine	tyyppi	R410A
Neste-/kaasuputki Ø	tuumaa	1/4 / 3/8
Putkipituus, min.–maks.	m	3–10
Mitat, sisäyksikkö (k x l x s)	mm	280 x 799 x 183
Mitat, ulkoyksikkö (k x l x s)	mm	540 x 780 x 289
Paino, sisä-/ulkoyksikkö	kg	9 / 30

KUVA 25. Ilmalämpöpumpun tekniset tiedot (Hameenilmalämpö 2009.)

Opinnäytetyössä ilmalämpöpumpun täytyi asentaa lämpötila-anturit laitteen tulo- ja puhallusil-malle, joilla on mahdollista mitata laitteen lämpötiloja kylmä- ja lämpökäynnillä. Kun ilmalämpöpumpun puhaltama jäähdyttävää tai lämmittävää ilmaa, anturit lähettävät saadun lämpötilan National Instruments-ohjaimelle, josta lämpötilan saa siirrettyä LabVIEW-ohjelmalle. National Instruments käsittelee lämpötilan ja lähettää arvot oman sovelluksensa kautta LabVIEW-ohjelmalle, jossa lämpötiloja voidaan seurata ja tallentaa.

### 6.5 Laboratoriotyöohje

Laboratoriotyöohjeessa täytyi kirjoittaa parilla lauseella mitä työssä tehdään, mitä työkaluja työssä käytetään, mitä fysiikan kaavoja täytyy soveltaa ja tietoa kyseisestä työstä. Ohjeessa kerrotaan opiskelijoille laboratoriotyön tehtävät, jossa tutustutaan ja tutkitaan ilmalämpöpumpun toimintaa ja lämpötilaerojen vaikutusta ilmalämpöpumpun suorituskykyyn. Kyseisessä ohjeessa annetaan opiskelijoille esimerkki kaavoja, joita soveltamalla he voivat laskea ilmalämpöpumpun liittyviä tehtäviä ja oppivat samalla termodynamiikan 2-lakia.

Laboratoriotyöohjeessa kerrotaan opiskelijoille laitteistosta ja työn suorituksesta, jossa opetetaan opiskelijoita käyttämään LabVIEW-sovellusta, jotta he saisivat mitattua ilmalämpöpumpusta lämpötila-arvoja. Kyseisessä laboratoriotyöohjeessa ohjeistetaan opiskelijoita tutustumaan ja lukemaan LabVIEW-sovelluksen käyttöohjeet, jotka on luotu mahdollisimman käyttäjäystävälliseksi, jotta opiskelijoiden ei tarvitse erikseen opetella käyttämään LabVIEW-sovellusta ennen mittauksien suorittamista.

Ohjeessa ohjeistetaan opiskelijoita mittaamaan LabVIEW-ohjelmalla ilmalämpöpumppua maksimi lämpötilassa 5-minuutin ajan ja minimi jäähdytystilassa 5-minuutin ajan, jolloin he saavat ilmalämpöpumpusta kerätyt lämpötilat talteen Excel-tiedostolle ja voivat laskea ilmalämpöpumpun tuottamat COP-arvot lämmitys- ja jäähdytystilassa. Mittauksien aikana ohjeistetaan opiskelijoita myös mittaamaan ja laskemaan kuinka paljon energiaa (kWh) laite kuluttaa tunnissa lämmityksen ja jäähdytyksen aikana.

Ilmalämpöpumpun lämmitys- ja jäähdytysvaiheessa ohjeistetaan opiskelijoita kirjautumaan IP-Power laitteen verkkosivulle, josta opiskelijat voivat seurata ja kirjoittaa talteen laitteen sisäisen lämpötilan ja montako ampeeria virtaa laite kuluttaa lämmitys- ja jäähdytystilan aikana. IP-Power laitteelle on myös asennettu energiakulutusmittari, joka ilmoittaa hetkellisen jännite- ja kWh-arvon.

Laitemittauksien jälkeen opiskelijoiden täytyy laskea laskuja kyseiseen laboratoriotyöhön liittyen, joissa opiskelijoiden täytyy laskea ilmalämpöpumpun suorituskyky COP lämpö- ja kylmäkäynnillä, laskea ilmalämpöpumpun antoteho, tarkastaa mihin SCOP/SEER energialuokitukseen laboratorion ilmalämpöpumppu kuuluu ja tulkita sekä selvittää, millaisissa olosuhteissa ilmalämpöpumpun käyttö on edullista. Kyseinen laboratoriotyöohje on lisätty opinnäytetyön liitteeksi.

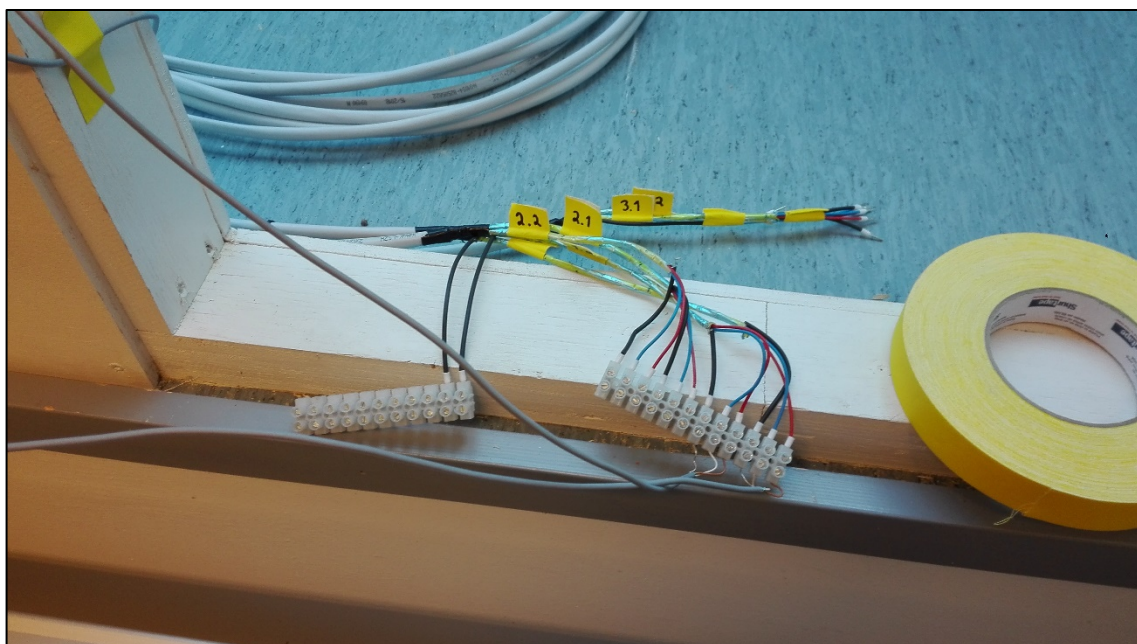


## 7 TULOKSET

Kun LabVIEW-sovelluksen koodi oli valmis, oli mahdollista testata ja tehdä mittauksia. LabVIEW-sovellus tallentaa ilmalämpöpumpun tuottamat kylmä- ja lämpöilmat Excel-taulukkoon 100-ms aikavälillä, josta lämpöarvot on mahdollista ottaa talteen ja tehdä mittauksia. Mittauksia tehtäessä, täytyi luoda kaavoja ja laskuja kyseiseen työhön liittyen, jotta tulevat opiskelija voivat oppia ja ymmärtää termodynamiikan 2-lakia.

### 7.1 Mittaukset

Mittauksissa käytettiin LabVIEW-sovelluksen koodia, National Instruments laitteita, IP-Power ja energiamittaria. Mittaukset kerättiin talteen LabVIEW-sovelluksella, joka tallensi mittaukset Excel-taulukolle. National Instruments laitteilla asennettiin anturit ilmalämpöpumpulle, josta lämpötilat saatiin kerättyä talteen, sekä NI tekoälyllä oli mahdollista siirtää kerätyt lämpötilat LabVIEW-sovellukselle. IP-Powerilla mitattiin laitteen sisäisen lämpötilan ja montako ampeeria virtaa ilmalämpöpumppu kuluttaa. Energiamittarilla saatiin mitattua ilmalämpöpumpun energiakulutuksen kilowattitunteina ja jännitystason. Mittauksen saatiin suoritettua kaikilla käytettävillä laitteilla, mutta ilmalämpöpumpun tulo- ja puhallusilman tehot ja lämpötilat jäivät mittaamatta, koska antureita ei ehditty asentaa ilmalämpöpumpulle (KUVA 26).



KUVA 26. Ilmalämpöpumpun anturit

## 7.2 Kaavat

Kaavoissa käytettiin termodynamiikan 2-lakia, lämpövoimakoneiden, jäähdytyskoneiden ja lämpöpumppujen kaavoja. Kaavat ja teoriaosuudet kyseisiin aiheisiin löytyi koulun kirjaston fysiikan kirjoista, jossa kylmäkerroin lasketaan  $Q_C/W$  (Kaava 6) yhtälöllä ja lämpökerroin lasketaan  $Q_H/W$  (Kaava 7) yhtälöllä. Kylmäkertoimen ja lämpökertoimen kaavana käytettiin yhtälöä, jotka löydettiin kirjasta: Insinöörin AMK fysiikka osa I.

$$\varepsilon_C = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} \quad (6)$$

$\varepsilon_C$  = Jäähdytyksen suorituskyky

$Q_H$  = Lämmitetty lämpömäärä

$Q_C$  = Viilennetty lämpömäärä

$W$  = Ulkoinen työ

$$\varepsilon_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (7)$$

$\varepsilon_H$  = Lämmityksen suorituskyky

$Q_H$  = Lämmitetty lämpömäärä

$Q_C$  = Viilennetty lämpömäärä

$W$  = Ulkoinen työ

Kaavoissa  $Q_C$  tarkoittaa ilmalämpöpumpun tuottamaa kylmää ilmaa ja  $Q_H$  pumpun tuottamaa lämmintä ilmaa. Ilmalämpöpumpun COP-kaavojen ja antotehon laskennassa käytettiin hyväksi kaavaa, joka löydettiin [lampopumput.info forumsivuilta](http://lampopumput.info/forumsivuilta). Kyseisessä antotehon laskennassa käytetään kaavaa, jossa lasketaan ( $\rho$ ) ilman tiheys, ( $qV$ ) tilavuusvirta, ( $c$ ) ominaislämpökapasiteetti ja ( $\Delta T$ ) lämpötilan muutos soveltaen (Kaava 8) yhtälöä ja käyttäen (Kaava 9) yhtälöä.

$$Q = mc\Delta T \quad (8)$$

$Q$  = Lämpömäärä

$m$  = Lämpötila

$c$  = Ominaislämpökapasiteetti

$\Delta T$  = Lämpötilan muutos

$$P = \rho qVc\Delta T \quad (9)$$

$P$  = Antoteho

$\rho$  = Ilman tiheys

$qV$  = Tilavuusvirta

$c$  = Ominaislämpökapasiteetti

$\Delta T$  = Lämpötilan muutos

### 7.3 Testaukset

Testauksissa täytyi varmistaa, toimiiko LabVIEW-sovellus, National Instruments laitteet, IP-Power, energiamittari ja ilmalämpöpumppu. LabVIEW-sovellukseen luotiin error-koodi, joka ilmoittaa käyttäjälle, jos ohjelma tarvitsee viankorjauksia ja missä ongelma sijaitsee. LabVIEW-sovelluksessa täytyi testata, että toimiiko ohjelman lämpötila-anturit reaaliaikaisesti, kuinka LabVIEW näyttää kaavioille tuotetut lämpöarvot, luoko ohjelma tulokset Excel-taulukolle ja tallentaako ohjelma tuotetut lämpöarvot Excel-taulukolle.

National Instruments laitteissa täytyi testata, että saiko laite muodostettua yhteyden LabVIEW-sovelluksen kanssa ja toimiiko lämpötila-anturit reaaliaikaisesti. NI-laitteissa täytyi muokata IP-osoite, jotta yhteyden muodostaminen LabVIEW-sovelluksen kanssa olisi mahdollista. IP-Power ja energiamittarilla täytyi testata, kuinka IP-Powerin verkkosivulle pääsee seuraamaan laitteen lämpötiloja ja virran kulutusta. Ilmalämpöpumpussa täytyi testata, että pumppu toimii lämmitys- ja jäähdytystilassa. Testauksien aikana asennettiin ilmalämpöpumpun kaukosäätimeen optimaaliset lämmitys- ja jäähdytystilojen mittaus lämpötilat.

### 7.4 Tulokset

LabVIEW-sovelluksen koodi saatiin toimimaan halutulla tavalla ja koodilla voidaan mitata ilmalämpöpumpun lämpötiloja lämpötila-antureilla National Instruments laitteita hyväksikäyttäen. LabVIEW-sovelluksen koodi luotiin joustavaksi, jos tulevaisuudessa halutaan mitata muidenkin laitteiden lämpötiloja, se onnistuu samoilla ohjelmistoilla ja laitteilla, joita kyseisessä työssä käytettiin. Lämpötila-antureita ei ehditty asentaa ilmalämpöpumpun tulo- ja puhallusaukole, joten tarkkoja mittauksia ei saatu ilmalämpöpumpusta mitattua. Lämpötila-anturit on testattu vaihtoehtoisilla menetelmillä, jotta saatiin varmistettua, että kyseiset lämpötila-anturit toimivat ja mittaavat lämpötila-arvoja reaaliaikaisesti.

National Instruments laitteet saatiin toimimaan ja jakamaan yhteydet LabVIEW-sovelluksen ja lämpötila-anturien välille. IP-Power toimii, kirjautuminen IP-Power verkkosivulle onnistuu ja laitteen lämpötila-arvoja ja virrankulutusta voi seurata kyseisestä verkkosivusta. IP-Poweriin kiinnitetty energiamittari toimii ja mittarilla pystytään seuraamaan laitteen jännitetasoja ja kWh-arvoja. Laboratoriotilan ilmalämpöpumppu toimii ja kaukosäätimellä pumppua pystytään säätämään puhaltamaan lämmintä- tai kylmää ilmaa, sekä millä voimakkuudella ja mihin suuntaan haluaa pumpun puhaltavan haluttua lämmitystä tai viilennystä.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AVIOSYS IP-POWER 9255PRO. [Viitattu 13-5-2019] Saatavissa: <http://www.aviosys.com/9255pro.html>

COP KAAVAT. [Viitattu 20-5-2019] Saatavilla: <https://lampopumput.info/foorumi/threads/antotehon-ja-cop-n-laskeminen.1544/>

HAUTALA, M., PELTONEN, H. 2009. Insinöörin (AMK) fysiikka osa I. Lahti: Lahden teho-opetus Oy, 192-193.

ILMALÄMPÖPUMPUN ARVOT. [Viitattu 2-7-2018] Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi>

ILMALÄMPÖPUMPUN KOMPONENTIT. [Viitattu 3-7-2018] Saatavissa: <http://www.reuk.co.uk/wordpress/geothermal/air-source-heat-pumps/>

ILMALÄMPÖPUMPUN TEKNISET TIEDOT. [Viitattu 17-5-2019] Saatavissa: [http://www.hameenilmalampo.fi/File/esite\\_panasonic\\_cs-uw12gke-2.pdf](http://www.hameenilmalampo.fi/File/esite_panasonic_cs-uw12gke-2.pdf)

ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTAPERIAATE. [Viitattu 28-6-2018] Saatavissa: <http://www.tuotto-lampo.com/ilp.html>

LABVIEW HISTORIA. [Viitattu 9-10-2018] Saatavissa: <http://www.ni.com/company/our-vision/leadership/kodosky.htm>

LABVIEW TOIMINTAPERIAATE. [Viitattu 1-10-2018] Saatavissa: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/labview/what-is-labview.php>

MOTIVA LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT ILMALÄMPÖPUMPUISSA. [Viitattu 26-6-2018] Saatavissa: <https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>

NI 9217. [Viitattu 15-5-2019] Saatavilla: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374187f.pdf>

NI CRIO-9073. [Viitattu 14-5-2019] Saatavilla: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374639f.pdf>

NI MAX. [Viitattu 16-5-2019] Saatavilla: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P9KBSA0&l=fi-FI>

## LIITE 1: LABORATORIOTYÖ TEHTÄVÄ

## Ilmalämpöpumppu

Työssä tutkitaan ilmalämpöpumpun toimintaa ja lämpötilaeron vaikutusta ilmalämpöpumpun suorituskykyyn.

Ilmalämpöpumpulla siirretään lämpöenergiaa ulko- ja sisäyksikön avulla. Sen suorituskertoimen COP (Coefficient of Performance) verran saadaan sähköä siirrettyä kilowattitunnissa.

$$\text{Antoteho } P = \rho * qV * c * \Delta T$$

$$\text{Kylmäkerroin } \epsilon_c = Q_c / (Q_H - Q_c)$$

$$\text{Lämpökerroin } \epsilon_H = Q_H / (Q_H - Q_c)$$

$$\text{COP} = P_{\text{anto}} / P_{\text{otto}}$$

## Laitteisto ja työn suoritus

(LabVIEW-käyttöohje löytyy tietokoneelta)

Mittauksissa käytetään LabVIEW-ohjelmaa, jolla mitataan ilmalämpöpumpun tuottama COP-arvot lämmityksessä, että jäähdytyksessä. Mittaa ilmalämpöpumppua max-lämpötilassa 5 min ja min-jäähdytystilassa 5 min. Mittaa kuinka paljon energiaa (kWh) laite kuluttaa lämmityksen ja jäähdytyksen aikana. Mittaamisen jälkeen ohjelma tallentaa arvot Excel-taulukkoon.

IP-Power verkkosivu: <http://169.254.62.100/>

Käyttäjätunnus: admin

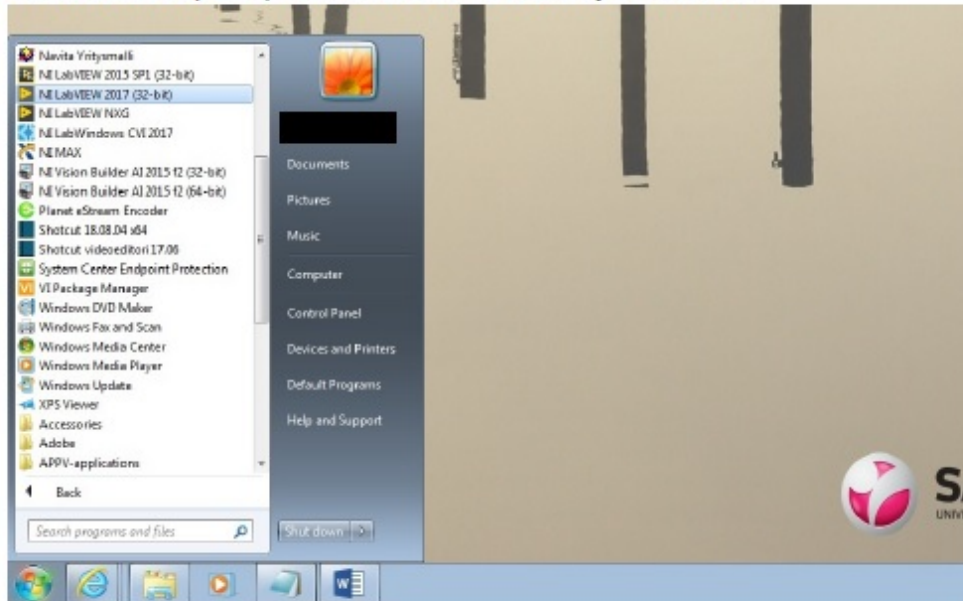
Salasana: 12345678

## Tulokset

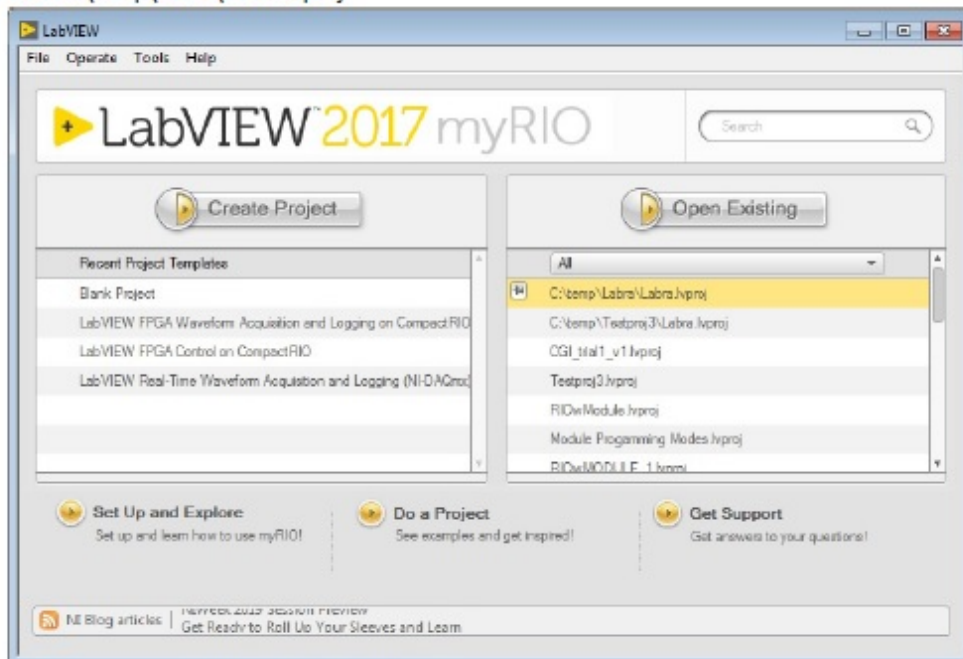
Laskekaa ilmalämpöpumpun suorituskyky COP lämpö- että kylmäkäynnillä. Laskekaa ilmalämpöpumpun antoteho. Laskekaa paljonko tehoa pumppu kuluttaa lämmityksen ja jäähdytyksen aikana IP-energiamittarista. Tarkastakaa mihin SCOP/SEER energialuokitukseen laboratorion ilmalämpöpumppu kuuluu. Tulkitkaa tuloksia ja selvittäkää, millaisissa olosuhteissa ilmalämpöpumpun käyttö on edullista.

## LIITE 2: LABVIEW-KÄYTTÖOHJE

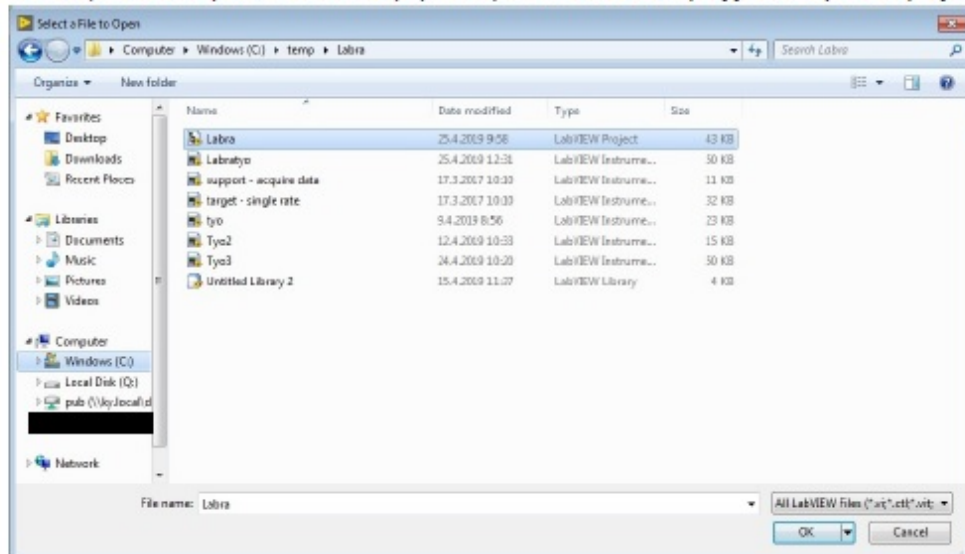
1. Etsi Windowsin käynnistä/start valikosta NI Labview 2017 ja avaa sovellus



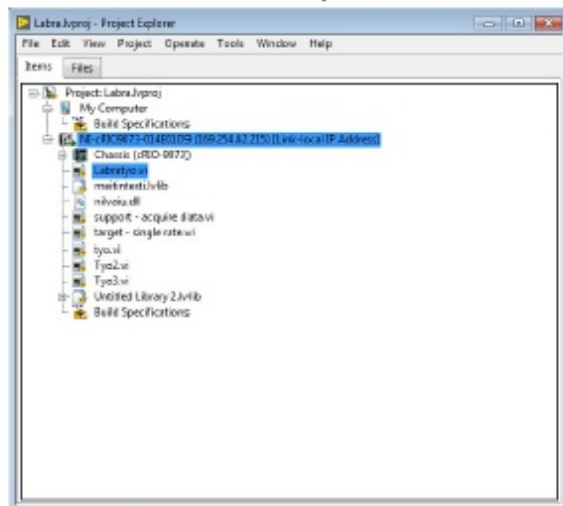
2. Avaa C:\temp\Labra\Labra.lvproj



3. Jos C:\temp\Labra\Labra.lvproj ei näy valikossa, paina kyseisessä ikkunnassa "Open Existing" valintaa, mene Computer > Windows (C:) > temp > Labra > Labra.lvproj ja avaa kyseinen projekti

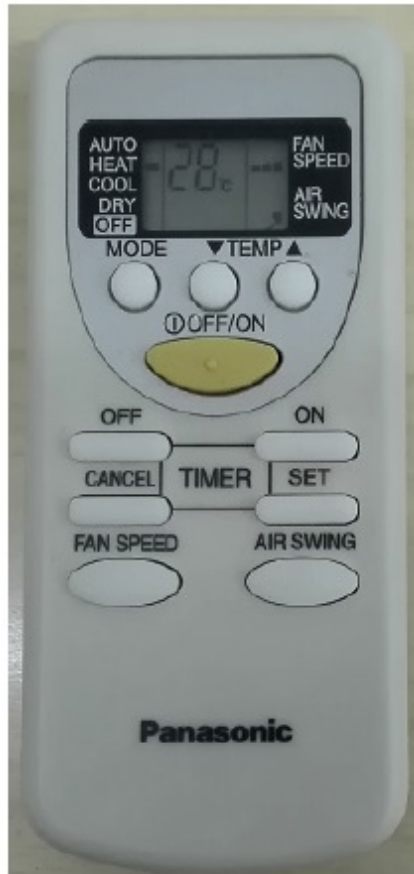


4. Avaa NI-cRIO9073 väli-ikkunat painamalla sen edessä olevaa + painiketta ja avaa Labratyo.vi





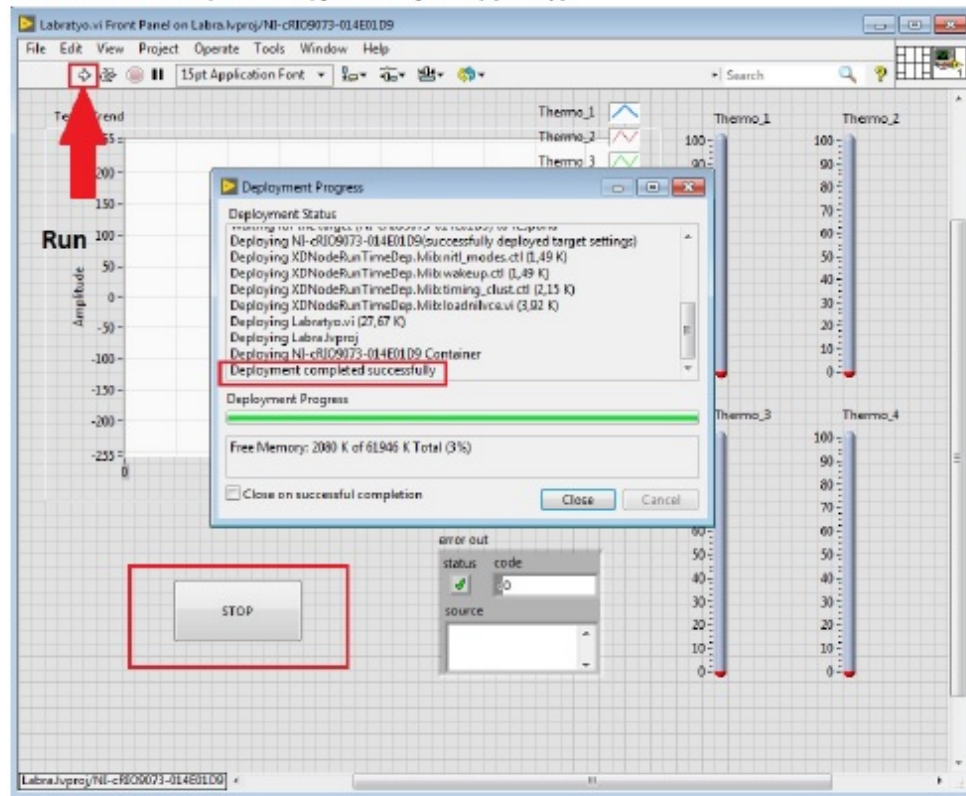
5. Käynnistä ilmalämpöpumppu painamalla kaukosäätimen keltaista OFF/ON painiketta. Käynnistyksen jälkeen paina kaukosäätimen MODE painiketta ja valitse näytön kursorilla HEAT vaihtoehto. Kun olet mitannut lämpöarvot, paina kaukosäätimen MODE painiketta ja valitse näytön kursorilla COOL vaihtoehto. Kun olet mitannut jäähdytysarvot, paina kaukosäätimen OFF/ON painiketta.



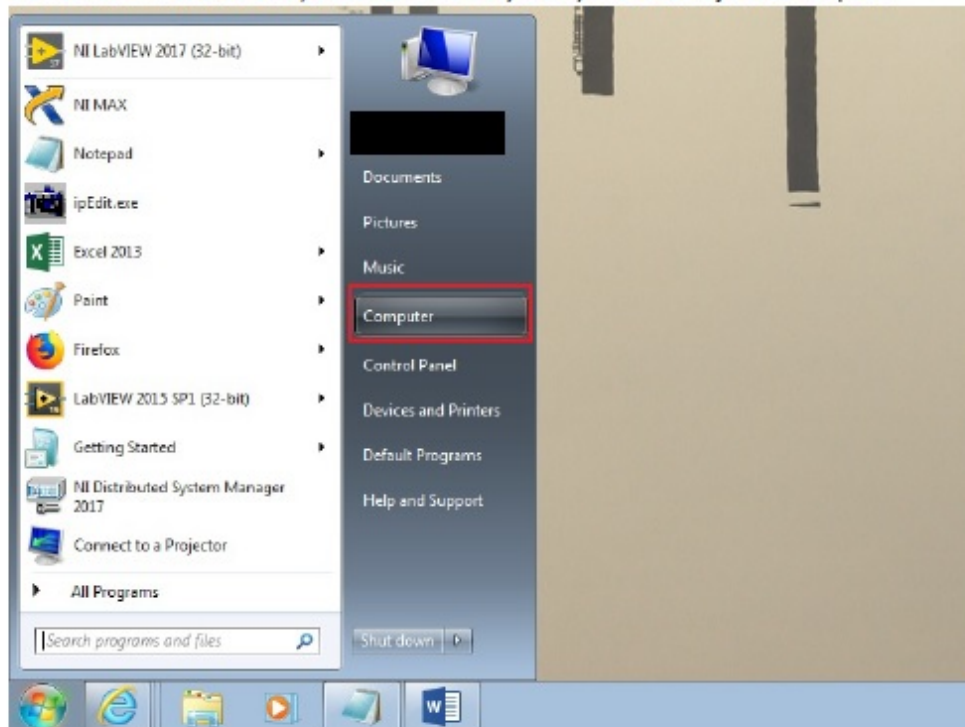


6. Kun Labratyo.vi Front Panel on auki, valitse ohjelman ylävalikosta "Run" toiminto kun haluat käynnistää projektin. Ohjelma avaa "Deployment Progress" välilehden, joka tarkistaa toimiiko projekti ongelmitta. Kun "Deployment Progress" välilehden viimeinen lause sanoo "Deployment completed successfully", projekti toimii ongelmitta ja voit painaa välilehden alalaidassa "Close" nappia.

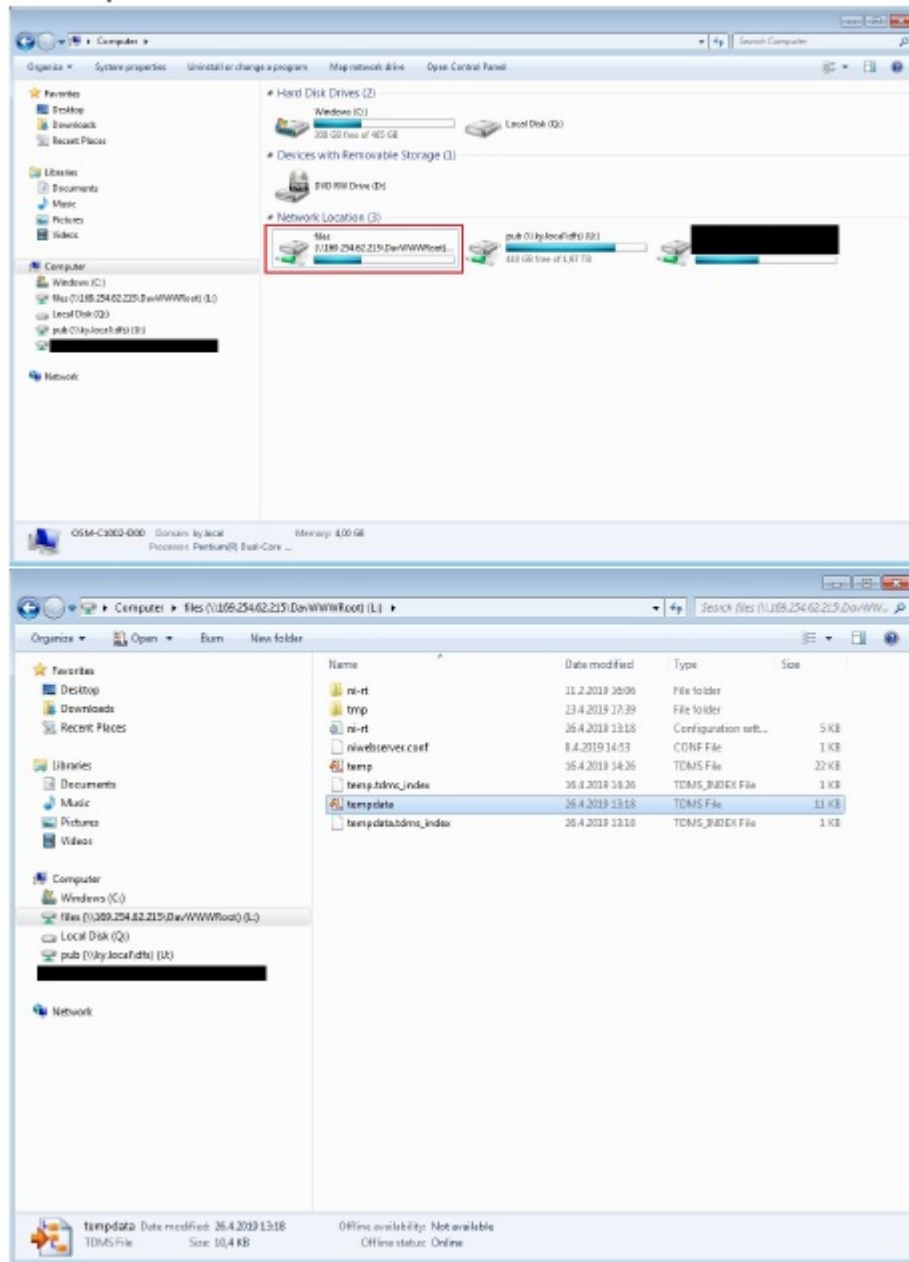
Tämän jälkeen ohjelma alkaa automaattisesti mittaamaan Thermoparien lämpötiloja ja esittää lämpötilat Front Panelin "Temp Trend" kaaviossa. Kun olet mitannut lämpötilat, paina Front Panel ikkunnassa "STOP" painiketta, jolloin ohjelma pysähtyy.



7. Kun mittaukset ovat valmiita, avaa windowsin käynnistä/start valikko ja avaa computer.



8. Computer ikkunassa avaa Network Location nimellä files (<\\169.254.62.215\DavWWWRoot>) ja avaa tempdata.TDMS tiedosto, jolloin näet Labview ohjelmalla keräämäsi tiedot Excel tiedostolla. Älä muuta tai poista mitään (<\\169.254.62.215\DavWWWRoot>) drivessa, koska ohjelma voi korruptoitua.



9. Jos kyseistä driveä ei löydy, avaa computer ikkunan ylävalikosta "Map network drive". Kun ikkuna aukeaa valitse tyhjä drive. Kirjoita Folder valikkoon <http://169.254.62.215/files>. Jätä "reconnect at logon" laatikko tyhjäksi, hyväksy laatikko "connect using different credentials" ja paina Finish nappia ikkunan alalaidassa. Jos ohjelma kysyy salasanaa, kirjoita Käyttäjätunnus: admin

Salasana:

