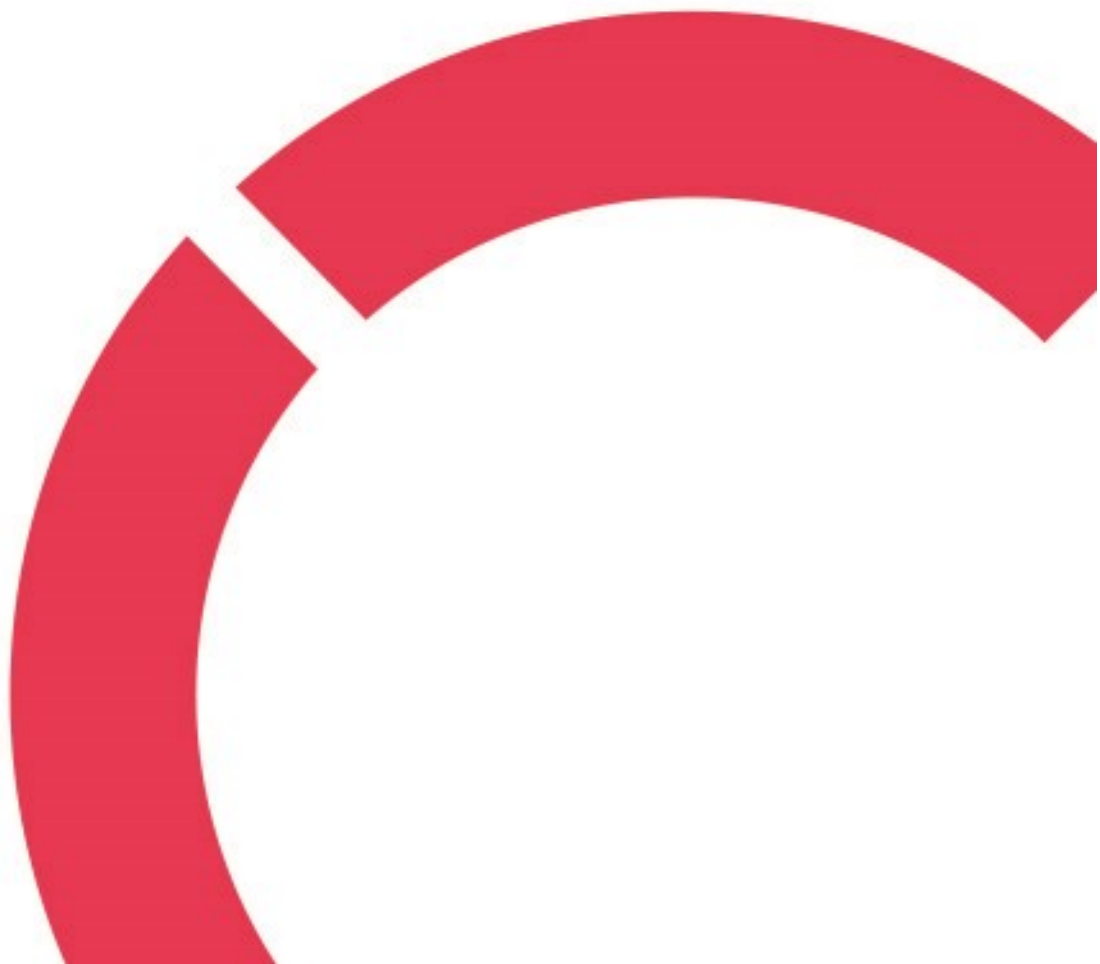


**Heini Karhumaa  
Virpi Leipivaara**

# **ILMALÄMPÖPUMPUN ANTUROINTI JA KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri  
Joulukuu 2024**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Joulukuu 2024	<b>Tekijä/tekijät</b> Heini Karhumaa, Virpi Leipivaara
<b>Koulutus</b> Sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri	<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK	
<b>Työn nimi</b> ILMALÄMPÖPUMPUN ANTUROINTI JA KÄYTTÖLIITTYMÄN OHJELMOINTI		
<b>Työn ohjaaja</b> Hannu Puomio	<b>Sivumäärä</b> 17+1	
<b>Työelämäohjaaja</b>		
<p>Työn tavoite oli tehdä Centria-ammattikorkeakoulun Vierimaantien kampuksen sähkö- ja energialaboratorion ilmalämpöpumppuun anturointi ja käyttöliittymä seuraamaan paineita ja lämpötiloja. Käyttöliittymä suunniteltiin Arduino Opta finderilla ja ohjelmointi tapahtui Arduinon omassa pilvipalvelussa.</p> <p>Työ oli osa koulun omiin energiaprojekteihin liittyvää kokonaisuutta ja jatkoa ajatellen kehittämissaasteita oli myös hyvin.</p>		
<b>Asiasanat</b> Arduino, ilmalämpöpumppu, käyttöliittymä, ohjelmointi		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> December 2024	<b>Author</b> Heini Karhumaa, Virpi Leipivaara
<b>Degree programme</b> Bachelor of Engineering, electrical and automation technology		
<b>Name of thesis</b> INSTALLING SENSORS AND PROGRAMMING OF THE AIR SOURCE HEAT PUMP		
<b>Centria supervisor</b> Hannu Puomio	<b>Pages</b> 17+1	
<b>Instructor representing commissioning institution or company</b>		
<p>The target of the thesis was to make a sensor and a user interface for the air source heat pump of the electricity and energy laboratory of the Vierimaantien campus of Centria University of Applied Sciences to monitor pressures and temperatures. The user interface was designed with Arduino Opta finder and the programming took place in Arduino's own cloud service.</p> <p>The work was partly related to the school's own energy projects and there were also many development challenges for the future.</p>		
<b>Key words</b> air source heat pump, Arduino, programming, user interface		

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

### **Alijäähdytynyt**

nestettä, joka on jäätympistettä kylmempää, mutta pysyy nestemäisenä.

### **Clausius-Rankine-prosessi**

lämpöhöyryprosessi.

### **CoolPack-ohjelmisto**

ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa erilaisia kylmähöyryprosesseja.

### **COP**

Coefficient Of Performance, kertoo, kuinka paljon energiaa ilmalämpöpumppu luovuttaa kompressorin kuluttamaan sähköenergiaan nähden.

### **EER**

Energy Efficiency Ratio, kertoo hetkellisen lämmityskertoimen.

### **Ei-korrodoiva**

ei aiheuta korroosiota eli syöpymistä.

### **Entalpia**

(H), aineen lämpösisältö eli sen sisältämän kemiallisen energian määrä jouleina.

### **Höyrystin**

Höyrystää kylmäainetta ympäristöä matalammassa lämpötilassa vakiopaineessa ja sitoo lämpöä ympäristöstä.

### **Höyrytymislämpötila**

Lämpötila, jossa neste alkaa muuttua kaasuksi.

### **Ilmanpaine**

ilman paino pinta-alayksikköä kohden.

**Kapillaariputki**

ohut putki, jossa neste liikkuu itsestään kapillaari-ilmiön ansiosta.

**Kompressori**

Imee matalassa paineessa olevan kylmäainehöyryn ja puristaa sen työllä korkeampaan paineeseen.

**Kompressoriteho**

( $P_K$ ), kompressorin vaatima teho kilowatteina.

**Kuristusventtiili**

ohjaa nesteen pienen kanavan läpi.

**Kylmäaine**

neste, joka kuljettaa lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmään.

**Kylmäntuotto**

( $q_H$ ), kuinka monta kilojoulea per kilogramma kylmää tuotetaan.

**Kylmäteho**

( $\dot{Q}_H$ ), höyrystimeen sitoutunut lämpömäärä kilowatteina.

**Käänteinen Clausius-Rankine-prosessi**

kylmähöyryprosessi.

**Lauhdutin**

Höyry nesteytyy eli lauhtuu vakiopaineessa ja luovuttaa samalla lämpöä ympäristöön.

**Lauhtuminen**

höyryn nesteytymistä.

**Lauhtumislämpötila**

lämpötila, jossa höyry alkaa nesteytymään.

**Lämmöntuotto**

( $Q_L$ ), kuinka monta kilojoulea per kilogramma lämpöä tuotetaan.

**Lämpöteho**

( $\dot{Q}_L$ ), kuinka monta kilowattia lämpöä tuotetaan.

**Massavirta**

( $\dot{m}$ ), kuinka monta kilogrammaa massaa kulkee sekunnissa tarkkailupinnan läpi.

**Ominaislämpökapasiteetti**

( $\frac{J}{kgK}$ ), kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa materiaaliin sitoutuu lämpötilaeroa ja massaa kohti.

**Otsoni**

Kaasu, jota on ilmakehässä ja joka suojaa maata ultraviolettisäteilyltä.

**Paisuntalaite**

Kylmäaineen syöttölaite, joka säättää höyrystimelle menevän kylmäaineen määrää sekä laskee kylmäaineen paineen höyrystymispaineeseen.

**R-134a**

Tetrafluorietaani, kylmäaine.

**R-32**

Difluorimetaani, kylmäaine.

**SCOP**

Seasonal Coefficient of Performance, lämpökertoimen arvo koko lämmityskauden ajalta.

**SEER**

Seasonal Energy Efficiency Ratio, jäähdytyskerroin koko jäähdytyskauden ajalta.

**Tulistunut höyry**

Höyryä, jonka lämpötila on höyrystymispistettä korkeampi.

## **Vakiopaine**

Paine pysyy samana koko prosessin ajan.

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA JA TUNNUSLUKUJA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Kylmähöyryprosessi</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 Ilmalämpöpumpun tunnuslukuja</b> .....	<b>4</b>
<b>3 PROJEKTIN ALOITUS</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1 Opinnäytetyön suunnittelu</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2 Antureiden asennus</b> .....	<b>7</b>
<b>4 KÄYTTÖLIHTTYMÄN SUUNNITTELU</b> .....	<b>12</b>
<b>5 LAITEASENNUS</b> .....	<b>14</b>
<b>6 POHDINTA</b> .....	<b>17</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>18</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Ideaalikäyryprosessi (CoolPack). .....	3
KUVIO 2. Todellisempi käyryprosessi (CoolPack). .....	3
<b>KUVAT</b>	
KUVA 1. Paineanturi.....	8
KUVA 2. T-haara.....	8
KUVA 3. Kapillaariputki.....	9
KUVA 4. Paineantureiden tunnistimet.....	9
KUVA 5. Lämpötila-anturi.....	10
KUVA 6. Lämpötila-anturit sisäyksikössä.....	10
KUVA 7. Lämpötila-anturi ulkoyksikössä suojattuna vaahtomuovilla.....	11
KUVA 8. Sisälle vietyt johdotukset.....	11
KUVA 9. Pienoisohjelmanäkymä.....	13
KUVA 10. Mallinnuskytkentä.....	14
KUVA 11. Tarvittavien komponenttien asettelu asennuskoteloon.....	15
KUVA 12. Antureiden kytkentä asennuskoteloon.....	15
KUVA 13. Valmis asennuskotelo.....	16
KUVA 14. Asennuskotelon sijainti.....	16

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheen meille tarjosi Centria-ammattikorkeakoulun Vierimaantien kampuksen tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan kehittäjä ja tuntiopettaja Riku Niva. Tavoitteenamme oli ryhtyä selvittämään prosessia, jossa sähkö- ja energialaboratoriossa ilmalämpöpumppuun asennettiin anturit seuraamaan lämpötiloja ja paineita. Antureiden ohjelmoinnissa päädyimme käyttämään tiedonsiirtomoduuli Arduino Optaa. Ohjelmointi tapahtui Arduinon omalla C++ -pohjaisella ohjelmointikielellä.

Opinnäytetyössä käymme läpi lämpövoimaprozessia ilmalämpöpumpussa sekä esittelemme Arduinolle tekemämme ohjelman lämmön ja paineen seurantaan. Haasteena työssämme oli erilaisten ilmalämpöpumpun ja tarpeen mukaisten anturivaihtoehtojen etsintä sekä eri yhdysryhmien aikataulujen yhteen sovittaminen.

Ilmalämpöpumpun anturien asennuksessa tarvitsimme sähkö- ja kylmälaiteasennusapua ja sellaista saimme Viileex Oy:ltä. Viileex Oy:n kanssa yhteydenpidon hoiti puolestamme Riku Niva. Asennus sujui suunnitelman mukaisesti ja ongelmitta.

Monestakin syystä halusimme opinnäytetyön, jolla olisi jokin tarkoitus ja tarve. Ehdotus osui omiin tarpeisiimme, koska olimme halukkaita tekemään opinnäytetyöstä laadullisen ja johonkin prosessiin liittyvän raportin. Prosessin kuvaus ja jatkohaasteet tulivat työn edetessä selvästi esille, ja tämä helpotti työn sujuvuutta ja etenemistä.

Halusimme myös suorittaa opinnäytetyöosuuden parityöskentelynä. Aihe osui meille molempien syventävien opintojen mukaan erittäin hyvin, koska toisella meistä suuntautumisvaihtoehto oli energia-tekniikka, kun taas toinen meistä suuntautui automaatiotekniikkaan.

## 2 ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA JA TUNNUSLUKUJA

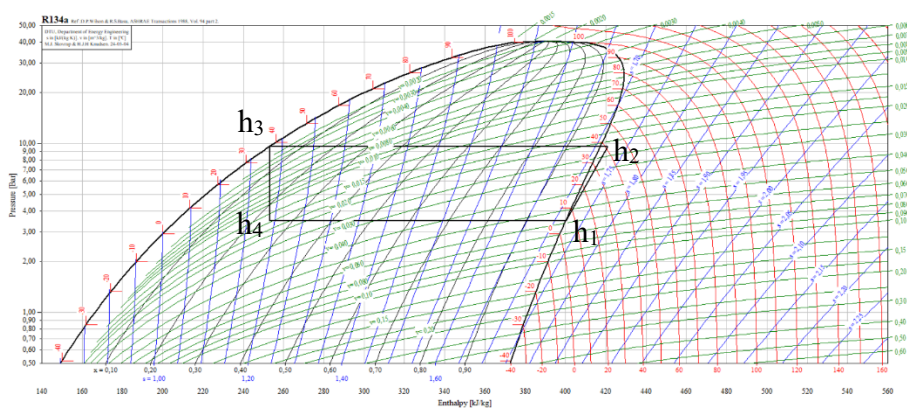
Kylmälaitteissa ja lämpöpumpuissa käytetään käänteistä Clausius-Rankine-prosessia eli kylmähöyryprosessia. Kylmähöyryprosessi saadaan aikaiseksi muuttamalla Clausius-Rankine-prosessin virtausuuntaa. Kylmähöyryprosessilla voi sekä lämmittää että jäähdyttää. Kuvioissa 1 ja 2 näkyy ideaali ja todellisempi kylmähöyryprosessi R-134a-kylmäaineella CoolPack-ohjelmistolla mallinnettuna.

### 2.1 Kylmähöyryprosessi

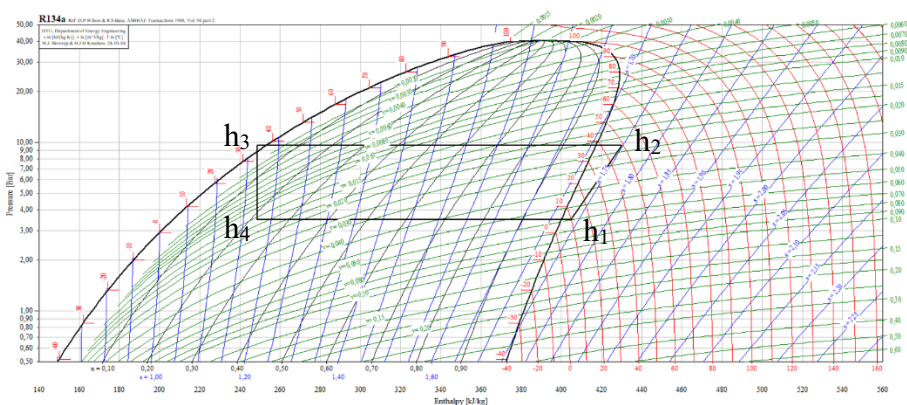
Kylmähöyryprosessiin tarvitaan aina neljä peruselementtiä: höyrystin, kompressori, lauhdutin sekä paisuntalaite. Höyrystin höyrystää kylmäainetta ympäristöä matalammassa lämpötilassa vakio paineessa ja se sitoo lämpöä ympäristöstä. Kuviossa 1 tämä prosessi on pisteiden  $h_4$  ja  $h_1$  välissä. Kompressori imee matalassa paineessa olevan kylmäainehöyryn ja puristaa sen työllä korkeampaan paineeseen, ja samalla höyryn lämpötila kohoaa (kuviossa 1 pisteiden  $h_1$  ja  $h_2$  välissä). Lauhduttimessa höyryn lämpötila on ympäristöä korkeampi ja höyry nesteytyy eli lauhtuu vakio paineessa ja luovuttaa samalla lämpöä ympäristöön. Lauhdutin sijaitsee kuvion 1 pisteiden  $h_2$  ja  $h_3$  välissä. Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen paine laskee työtä tekemättä (kuvion 1 pisteiden  $h_3$  ja  $h_4$  välissä), jolloin nesteen olomuoto muuttuu nesteen ja höyryn seokseksi ja samalla seoksen lämpötila laskee. Paisunnan jälkeen kylmäaine liikkuu höyrystimeen ja kylmähöyryprosessi alkaa alusta. Kuvion 2 pisteissä  $h_1$  ja  $h_2$  kylmäaine on osittain tulistunutta höyryä, pisteessä  $h_3$  alijäähtynyttä höyryä ja pisteessä  $h_4$  höyryn ja nesteen seosta. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2022, 25–26; Nystedt 2024; Suokko 2024.)

Todellinen kylmähöyryprosessi eroaa hieman ideaalista käänteisestä Clausius-Rankine-prosessista. Kompressoriin ei saa päästää yhtään nestepisaroita, ja tämän välttämiseksi höyryä hieman tulistetaan ennen kompressoriin menoa (kuviossa 2 piste  $h_1$ ). Tulistusta ei kuitenkaan saa olla liikaa, koska sen lisääminen lisää samalla myös kompressorin tarvitsemaa tehoa. Lisäksi kylmähöyryprosessin nestettä alijäähdytetään (kuviossa 2 piste  $h_3$ ). Ideaalisessa prosessissa alijäähtymistä olisi niin kauan, että oltaisiin samalla painetasolla höyrystymisen kanssa, mutta tämä ei ole mahdollista toteuttaa, sillä ympäristössä ei ole niin alhaisia lämpötiloja, että alijäähtyminen saataisiin ideaaliksi. Nestettä alijäähdytetään kuitenkin niin pitkälle kuin mahdollista, sillä kylmäteho suurenee poistetun lämpövirran verran. Paisuntalaite on kallis, joten sen sijasta käytetään usein kuristusventtiiliä tai kapillaariputkea. (Wikstén 2009,

138–139.) Todellinen kylmähöyryprosessi sisältää myös painehäviöitä. Kompressorissa, lauhduttimessa, höyrytimessä sekä kylmäkoneiston putkissa tapahtuu prosessin aikana painehäviöitä. (Kaappola ym. 2022, 27–28.)



KUVIO 1. Ideaali kylmähöyryprosessi (CoolPack).



KUVIO 2. Todellisempi kylmähöyryprosessi (CoolPack).

Kylmähöyryprosessissa käytetään kylmäainetta, jota kutsutaan myös jäähdykkeeksi. Ideaalisessa kylmäaineessa on sopiva höyrystyslämpötilan paine, joka on mielellään yli ilmanpaineen. Siinä on myös kohtuullinen painesuhde lauhduttimen ja höyrytimen välillä sekä pieni ominaislämpökapasiteetin suhde vakiopaineessa höyrystyslämpötilassa. Lisäksi se on myrkytön ja kemiallisesti pysyvä, ei-korrodoiva ja sekoittuu täydellisesti kompressorin voiteluöljyn kanssa. Ideaali kylmäaine antaa mahdollisuuden havaita vuodot helposti, on kohtuullisen hintainen eikä tuhoa otsonia tai lämmittä ilmastoaa. Yleensä kaikkia näistä ei saada toteutettua samassa kylmäaineessa, mutta vähiten kannattaa tinkiä laitoksen höyrystymis- ja lauhtumislämpötilasta. (Suokko 2024.) Tällä hetkellä yleisimmin käytössä olevia kylmäaineita ovat R-134a, R-404A, F-407A, R-407C sekä R-407F. Tulevaisuudessa luonnolliset

kylmäaineet, kuten propaani sekä HFO ja HFC/HFO-seokset, jotka sisältävät palavia kylmäaineita, tulevat korvaamaan nykyisin käytössä olevat kylmäaineet. (Nystedt 2024.)

## 2.2 Ilmalämpöpumpun tunnuslukuja

Kun ilmalämpöpumpusta kerätään tietoja paineesta ja lämpötilasta, voidaan niiden avulla tarkkailla ilmalämpöpumpun toimintaa eri vuorokaudenaikojen sekä vuodenaikojen mukaan. Lisäksi voidaan tarkkailla, miten laboratoriotilan käyttö vaikuttaa ilmalämpöpumpun toimintaan. Paineen ja lämpötilan avulla voidaan myös laskea erilaisia arvoja ilmalämpöpumpusta. Laskennallisia arvoja voidaan verrata valmistajan antamiin arvoihin, sillä ne usein poikkeavat hieman todellisista arvoista (Nystedt 2024).

COP (Coefficient Of Performance) eli lämpö- tai kylmäkerroin kertoo, kuinka paljon energiaa ilmalämpöpumppu luovuttaa kompressorin kuluttamaan sähköenergiaan nähden (Nystedt 2024; Perälä & Perälä 2013, 127). Sitä käytetään usein kuvaamaan lämpöpumpun tehokkuutta. Lämpökerroin lasketaan suhteutettuna lauhduttimessa luovutettu lämpömäärä eli lämpöteho kompressorin työhön (KAAVA 1). Kylmäkertoimessa suhteutetaan höyrystimeen sitoutunut lämpömäärä eli kylmäteho kompressorin tekemään työhön (KAAVA 2). Kylmäkerroin on aina yhden yksikön suurempi kuin lämpökerroin, koska lämmittäessä kompressoriteho saadaan käytettyä hyödyksi (Suokko 2024). COP on ilmalämpöpumpuilla yleensä 1–4 (Nystedt 2024). Esimerkiksi COP:n ollessa 2 tarkoittaa se, että X kWh:n sähköllä saadaan siirrettyä 2X kWh lämpöä (Suokko 2024). Kylmä- ja lämpötehot saadaan laskettua kylmäaineen massavirran ja kylmän- ja lämmöntuottojen avulla (KAAVAT 3 ja 4). Kylmän- ja lämmöntuottojen laskemiseen tarvitaan kylmähöyryprosessin entalpia-arvot, ja nämä puolestaan saadaan laskettua ilmalämpöpumpun lämpötila- ja painetietojen avulla (KAAVAT 5 ja 6). (Nystedt 2024.)

$$COP_{\text{lämpö}} = \frac{\dot{Q}_H}{P_K} \quad (1)$$

jossa  $\dot{Q}_H$  = kylmäteho (kW) ja  $P_K$  = kompressoriteho

$$COP_{\text{kylmä}} = \frac{\dot{Q}_L}{P_K} \quad (2)$$

jossa  $\dot{Q}_L$  = lämpöteho (kW) ja  $P_K$  = kompressoriteho

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot q_H \quad (3)$$

jossa  $\dot{Q}_H$  = kylmäteho (kW),  $\dot{m}$  = massavirta (kg/s) ja  $q_H$  = kylmäntuotto (kJ/kg)

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \cdot q_L \quad (4)$$

jossa  $\dot{Q}_L$  = lämpöteho (kW),  $\dot{m}$  = massavirta (kg/s) ja  $q_L$  = lämmöntuotto (kJ/kg)

$$q_H = h_1 - h_4 \quad (5)$$

jossa  $q_H$  = kylmäntuotto (kJ/kg) ja  $h$  = entalpia

$$q_L = h_2 - h_3 \quad (6)$$

jossa  $q_L$  = lämmöntuotto (kJ/kg) ja  $h$  = entalpia

EER (Energy Efficiency Ratio) kertoo hetkellisen lämmityskertoimen eli kuinka moninkertaisen määrän lämpöenergiaa lämpöpumppu poistaa tilasta omaan sähkönkulutukseen verrattuna. Mitä suurempi EER on, sitä energiatehokkaampi lämpöpumppu on. SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) on lämpökertoimen arvo koko lämmityskauden ajalta. Siinä hyötysuhdetta suhteutetaan vuodenaikoihin ja siten lämpötilan muutoksiin. SCOP mitataan yleensä neljä kertaa vuoden aikana. SCOP antaa todellisemman arvon ilmalämpöpumpun hyötysuhteesta kuin COP etenkin Suomessa, jossa lämpötilan vaihtelut ovat suuria eri vuodenaikoina. Sen avulla saadaan myös todellisempaa käsitystä ympäristövaikutuksista. SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) puolestaan on jäähdytyskerroin koko jäähdytyskauden ajalta, ja se kuvaa jäähdytyksen tehoa samalla tavalla kuin SCOP lämmitystehoa. (Mitä kausittainen tehokkuus (SKOP ja SEER) on; Mitä termit COP ja EER tarkoittavat; Perälä & Perälä 2013, 127–128; Wiher.)

### 3 PROJEKTIN ALOITUS

Saimme opinnäytetyön aiheen sähköpostilla Riku Nivalta 13.10.2023. Riku kertoi, että sähkö- ja energialaboratoriossa on ilmalämpöpumppu, josta ei tällä hetkellä voida lukea prosessin paine- ja lämpötilatietoja. Ammattikorkeakoulu haluaisi nämä tiedot omaan seurantajärjestelmään, jotta ilmalämpöpumpun prosessia ja käyttäytymistä olisi monipuolisempi seurata. Tarkoituksena oli hankkia oikeanlaiset lähettimet sekä tietojenkeruulaitteet, joihin lähettimien signaalit viedään, tai vaihtoehtoisesti hankkia tiedonkeruumoduuli ja tehdä sitä kautta oma ohjelma laitteelle. Ilmaisimme kiinnostuksemme aiheeseen ja pidimme ensimmäisen palaverin Teamsin kautta. Palaveriin osallistui lisäksi Hannu Puomio ja hänestä tuli opinnäytetyömme ohjaaja.

#### 3.1 Opinnäytetyön suunnittelu

Ensimmäinen palaveri pidettiin 20.12.2023. Kävimme palaverissa läpi opinnäytetyön aihetta ja sen teemoja sekä mietimme aikatauluja. Hannu Puomio ehdotti erilaisia logiikoita ja tiedonkeruumoduuleja, joita työssä voisi käyttää. Mietinnässä oli Linux-pohjainen logiikka web-pohjalla, anturi- ja sisääntulokortti sekä Raspberry Pi. Suunnittelu käynnistyi etsimällä oikeanlaiset lämpötila- ja paineanturit ilmalämpöpumpuun. Riku Niva oli jo alustavasti sopinut asennuksesta Viileex Oy:n kanssa. Anturit kartoitettiin tarvittavan paine- ja lämpötila-alueen mukaan ja niitä tarvittiin kaksi kumpaakin. Opinnäytetyön keskiössä oli kuitenkin käyttöliittymän teko ja siihen liittyvä analytiikka ja prosessi.

Aloimme tutkia sopivia antureita Combicoolin sivuilta, ja helmikuussa 2024 olimme saaneet valinnat tehtyä. Päädyimme valitsemaan paineanturiksi Danfoss AKS32R 0–50 bar -painelähettimen ja lämpötila-anturiksi Danfoss AKS 11 (PT1000) -lämpötila-anturin, jonka mittausalue on -40–100 °C (AKS11 (PT1000) 3,5 m 084N0027 lämpötila-anturi, AKS32R 0-50bar 060G5707 painelähetin.) Riku Niva hyväksyi valitsemamme anturit ja hoiti tilaukset.

Kävimme palaverissa Vierimaantien kampuksella maaliskuussa 2024. Kävimme läpi antureiden asennusaikaa ja sovimme, että Riku Niva on asiasta yhteydessä Viileex Oy:hyn. Kävimme katsomassa konkreettista paikkaa, johon valitsemamme laitteet tulisivat kiinni. Antureiden asennuksessa käytettäisiin samoja sisään- ja ulostuloja kuin ilmalämpöpumpulla, jolloin välttyttäisiin uusilta porauksilta ja

sähköasennuksilta. Lopulta seinään jouduttiin kuitenkin poraamaan oma 20 mm:n reikä ulkoyksikölle menevien antureiden kaapeleita varten.

Kävimme Hannu Puomion kanssa läpi tarkemmin logiikkaa. Hän ehdotti, että otettaisiin käyttöön laajempi alusta, johon voisi tulevaisuudessa liittää muitakin projekteja, esimerkiksi tuulivoiman puolelta. Oli myös mahdollista tehdä tämä projekti ensin pienemmälle alustalle ja tulevaisuudessa siirtää se osaksi isompaa alustaa. Tarkoituksena oli tehdä kaksi alustaa, joista toisesta pääsisi jokainen katsomaan, millaisia lukuja ilmalämpöpumppu antaa, ja toinen olisi salanasuojattu alusta, jossa pääsisi muun muassa muokkaamaan tietoja.

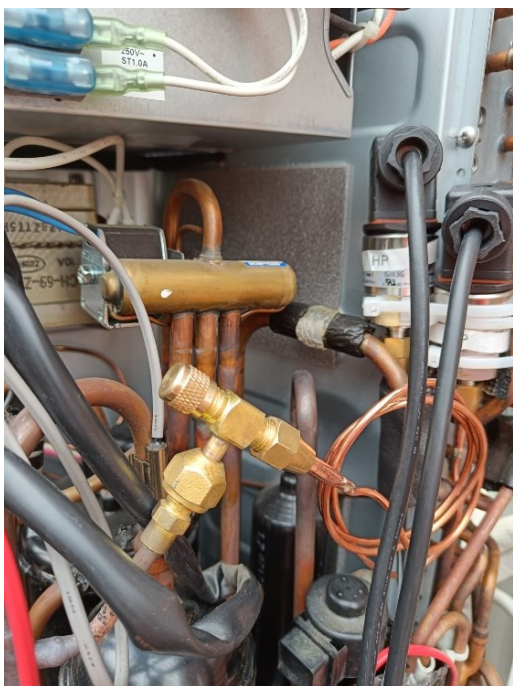
### **3.2 Antureiden asennus**

Menimme Ylivieskaan antureiden asennusta varten 30.4.2024. Paikalla oli Riku Niva sekä Viileex Oy:n kaksi asentajaa. Asennustyöt aloitettiin kytkemällä ilmalämpöpumpusta virrat pois. Ilmalämpöpumpun kylmäaine imettiin pois ja otettiin talteen asianmukaista hävitystä varten. Kylmäaineena oli R-32 ja sen lämpötila oli noin +1 °C ja paine 8 bar. Kylmäainetta oli pumpussa 720 g, kun pumpun kapasiteetti oli 760 g. Putkistoon syötettiin pieni määrä typpeä sisään, jotta se ei ime kosteutta, kun putkisto avataan. Typpeä syötettiin sen verran, että lämpötila nousi plussan puolelle.

Teimme paineantureihin johdotukset valmistajan ohjeen mukaan (KUVA 1). Paineanturit asennettiin ulkoyksikköön kompressorin molemmin puolin. Tämä antoi mahdollisuuden seurata paineita ilmalämpöpumpun lämmityskäytössä. Jos jatkossa haluttaisiin seurata paineita myös viilennyskäytössä, tarvittaisiin kaksi paineanturia lisää. Kuuma- ja kylmäkaasuputkiin asennettiin t-haara, siihen neulaventtiili ja vielä toinen t-haara. Jälkimmäinen t-haara jätti mahdollisuuden esimerkiksi analogiselle mittarille (KUVA 2). Asennuksen yhteydessä t-haaraan laitettiin tulppa. T-haaran päähän kiinnitettiin kapillaariputki, joka antoi liikkumavaraa anturin asennukselle (KUVA 3). Antureita suojattiin pehmusteilla ja ne kiinnitettiin nippusiteillä. Paineantureihin merkittiin tunnuksella LP (low pressure) matalapaineanturille ja HP (high pressure) korkeapaineanturille (KUVA 4).



KUVA 1. Paineanturi



KUVA 2. T-haara.



KUVA 3. Kapillaariputki.



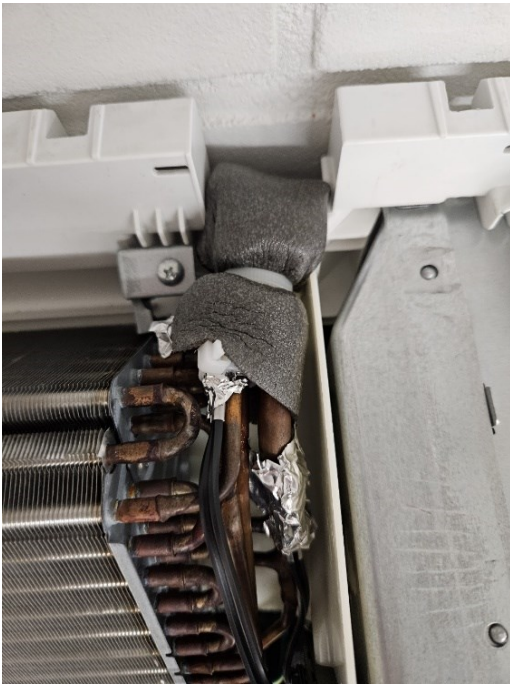
KUVA 4. Paineantureiden tunnistet.

Lämpötila-antureita asennettiin kaksi kappaletta sekä sisä- että ulkoyksikköön (KUVA 5). Lämpötila-anturit asennettiin putkistoon ennen ja jälkeen lauhduttimen (KUVAT 6 ja 7). Ulkoyksikköön käynnistettiin tyhjiö, jotta putkistosta saatiin viimeinenkin kosteus ja kylmäaine pois. Kylmän sään vuoksi pro-

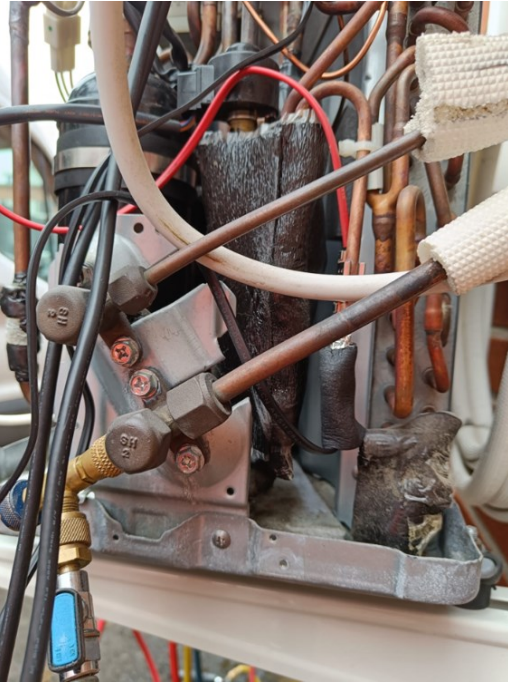
sessia yritettiin nopeuttaa kuumailmapuhaltimella. Putkiston ollessa tyhjiössä paine oli noin 2,1 millibaaria. Lopuksi ulkoyksikköön laitettiin uusi R-32-kylmäaine sisään. Laboratorioluokan seinään jouduttiin poraamaan uusi läpivienti, koska sisälle saatavia kaapeleita tuli niin paljon uusien asennuksien myötä (KUVA 8).



KUVA 5. Lämpötila-anturi.



KUVA 6. Lämpötila-anturit sisäyksikössä.



KUVA 7. Lämpötila-anturi ulkoyksikössä suojattuna vaahtomuovilla.



KUVA 8. Sisälle vietävät johdotukset.

## 4 KÄYTTÖLIITTYMÄN SUUNNITTELU

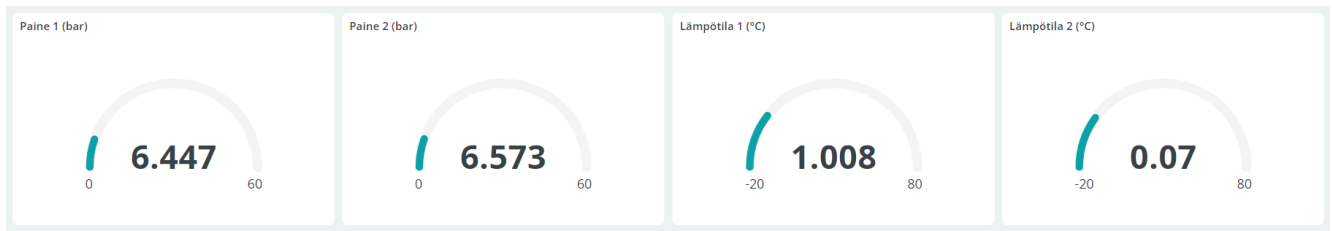
Ensin suunnitelmana oli tehdä ohjelmointi ja käyttöliittymä 8-kanavaisella ADC-Pi-kortilla ja Raspberry Pi -ohjelmoinnilla. Tämän kanssa tuli kuitenkin haasteita, ja opettaja Hannu Puomio päätti, että vaihdamme laitteen Arduino Opta Pro finderiin, jota pystyimme ohjelmoimaan Arduinon omassa pilvipalvelussa.

Saatuamme lopullisen vahvistuksen sille, mitä tiedonkeruunoduulia käytämme työssämme, pääsimme aloittamaan varsinaisen ohjelmoinnin. Tiedonkeruunoduulina toimi siis Arduino Opta finder ja teimme ohjelmoinnin Arduino Cloud -pilvipalvelussa. Käytimme ohjelmoinnissa apuna valmiita koodveja, joita löysimme Arduinon omilta sivuilta.

Käytimme tiedonkeruuseen Arduino Opta finderin analogiaulostuloja ja resoluutiona oli 16 bittiä. Analogiaportista saatava tieto muutettiin ohjelmakoodin avulla jännitetiedosta paineeksi ja lämpötilaksi. 16 bittiä on numeroina 65535. Jotta anturista saatava lukema pystyttiin muuttamaan lämpötilaksi, ulostulojännite 10 V piti jakaa bittinumerolla 65 535. Lämpötila-anturin lämpötila-alue oli  $-20\text{ °C} - 80\text{ °C}$ , eli nollakohtaan päästiin vähentämällä 2. Saatu luku piti vielä kertoa kymmenellä, että suhdeluku saatiin oikeaksi. Paineanturiin tuleva 5 V:n jännite jaettiin myös luvulla 65 535. Tämän jälkeen luvusta vähennettiin perusjännite 0,5. Saatu luku kerrottiin luvulla  $\frac{100}{4,5 - \text{perusjännite}}$ . Näin saatiin voltit muutettua baareiksi. Mittaustulos saatiin ulos sekunnin välein.

Lopullinen koodi on lopussa liitteenä. Painetieto tullaan myöhemmin Rikun Nivan ja Hannu Puomion toimesta tarkistamaan liittämällä painemittari ilmalämpöpumpun ulkoyksikköön, ja tarvittaessa koodia muokataan vastaamaan oikeita painetietoja.

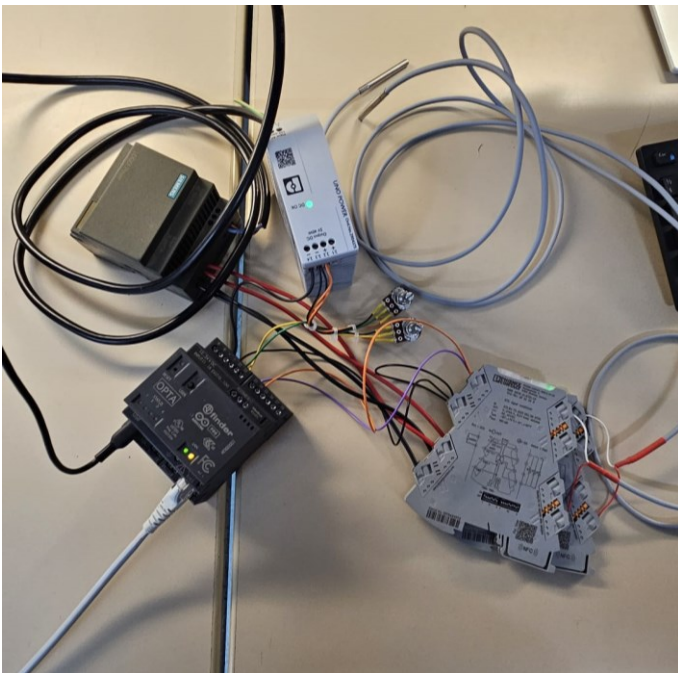
Arduinon pilvipalvelun suunnittelualusta, jossa pienoishjelmat olivat, näyttävät paine- ja lämpötilatiedot ajantasaisina (KUVA 9). Tarkoituksena oli myöhemmin tehdä tunnukset, joilla pääsee katsomaan lämpötila- ja painetietoja ilman, että tietoja pääsee muokkaamaan. Näin saatuja tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi opiskelijoiden tulevissa laboratoriotyöskentelyissä.



KUVA 9. Pienoisohjelmanäkymä.

## 5 LAITEASENNUS

Teimme Hannu Puomion kanssa Arduino Opta finderiin mallinnuskytkennät ja liitimme siihen kiinni kaksi paineanturia, ja lopussa myös kaksi lämpötila-anturia (KUVA 10). Näin pääsimme kokeilemaan ohjelmointikoodia ennen varsinaista ilmalämpöpumpun antureiden kytkemistä. Kytkentään asennettiin virtalähteeksi UNO POWER ja logiikkamoduuliksi Siemens LOGO! power. Lämpötila-anturit kytkettiin Phoenix Contactin MINI MCR-2-RTD-UI -muutimen kautta tiedonkeruun moduuliin.

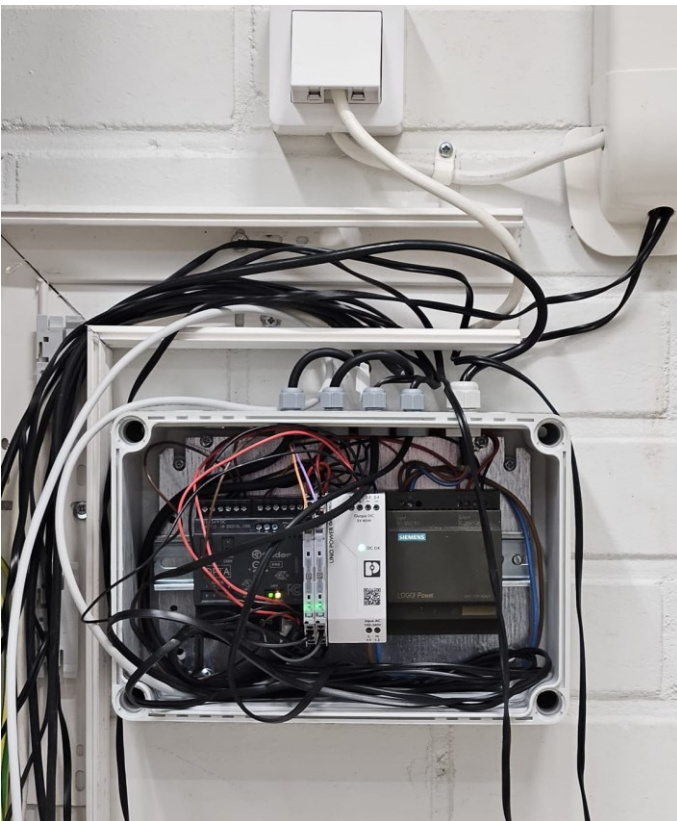


KUVA 10. Mallinnuskytkentä.

Kun saimme ohjelmointikoodin toimimaan mallinnuskytkennällä, teimme Hannu Puomion ja Riku Niivan kanssa varsinaiset kytkennät sähkö- ja energialaboratoriossa. Asennuskoteloon kiinnitettiin kisko, johon edellä mainitut kojeet laitettiin kiinni (KUVA 11). Asennuskotelon yläreunaan porattiin reiät läpivientejä varten. Teimme vaadittavat kytkennät ja saimme anturit kiinni kojeisiin (KUVA 12). Asennuskotelo kiinnitettiin ilmalämpöpumpun sisäyksikön alapuolelle (KUVAT 13 ja 14).



KUVA 11. Tarvittavien koejien asettelu asennuskoteloon.



KUVA 12. Antureiden kytkentä asennuskoteloon.



KUVA 13. Valmis asennuskotelo.



KUVA 14. Asennuskotelon sijainti.

## 6 POHDINTA

Tätä työtä oli mukava tehdä, koska kaikkien sidosryhmien välinen yhteistyö sujui moitteettomasti ja viipymättä. Olimme suorittaneet suurimman osan opiskeluiden pari- ja ryhmätöistä keskenämme, joten tuntui luonnolliselta tehdä myös opinnäytetyö yhdessä. Tunsimme toistemme työskentelytavat ja aikataulut, joten saimme kaikki sovitettua luontevasti yhteen, vaikka elämässä oli paljon muutakin opintojen lisäksi.

Työssä saimme sujuvasti yhdistettyä kummankin kiinnostuksen kohteet ja vahvuudet. Kaikki osat loikahtelivat sujuvasti paikoilleen ja toinen toistaan tukien selvitimme ohjelmoinnin haasteet ja sudenkuopat. Missään vaiheessa työn tekeminen ei tuntunut ylivoimaiselta, ja koemme käyttäneemme aikaa juuri sopivasti työn soljuvaan etenemiseen. Apua saimme opettajilta aina tarpeen vaatiessa.

Työ eteni nopeasti hyvin toimivien yhteyksien ja verkkopohjaisen suunnitteluohjelmiston ansiosta. Teams oli ahkerasti käytössä, ja sen vuoksi pystyimme minimoimaan paikan päällä Ylivieskassa käynnit. Teamsin käyttötunteja on mahdotonta laskea, mutta onneksi verkkoyhteydet toimivat puolin ja toisin moitteetta. Tämä mahdollisti aikaiset aamut ja liikkuvat aikataulut myös itse opinnäytetyön kirjoittamisessa.

Työn edetessä jatkotutkimushaasteet tulivat selkeästi esiin ja mahdollisuuksia työn rönkyilyyn ja uusiin suuntiin oli runsaasti. Jatkossa ohjelmistoa on mahdollista laajentaa melkein rajattomasti, mutta uusia anturointeja pystyy sisäyksikköön lisäämään ainoastaan kaksi. Oman vaiheemme pysäytys tehtiin sopivaan kohtaan ohjelmiston suunnittelun ja sen toimivuuden tarkistamisen jälkeen. Toki uudet haasteet on mahdollista toteuttaa joskus tulevaisuudessa ja tällöin hyvä pohja jatkolle on jo valmis.

Opinnäytetyö on aina prosessi ja sen tekemiseen käytetään aikaa, joka meillä kaikilla on rajallista. Hyvällä suunnittelulla, joustavilla luonteilla ja valtavalla määrällä tukea, kaikki on mahdollista aikataulujen haasteellisuudesta huolimatta ja vaikka aikataululle välillä asetettaisiin uusia haasteita. Kiitoksen ansaitsevat Riku Niva hyvästä aiheesta, joka osui meille juuri kohdilleen ja Hannu Puomio, jonka loistava ohjaus ja huumorintaju siivittivät työtä eteenpäin.

## LÄHTEET

*AKS11 (PT1000) 3,5 m 084N0027 lämpötila-anturi.* Combi Cool. Saatavissa: <https://combicool.fi/aks11-pt1000-3-5m-084n0027-laem্পoetila-anturi/DAADS130210>. Viitattu 18.10.2024.

*AKS32R 0-50bar 060G5707 painelähetin.* Combi Cool. Saatavissa: <https://combicool.fi/aks32r-0-50bar-060g5707-painelaehetin/DAADS130187>. Viitattu 18.10.2024.

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2022. *Kylmätekniiikan perusteet*. 2. uudistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

*Mitä kausittainen tehokkuus (SKOP ja SEER) on.* Daikin. Saatavissa: [https://www.daikin.fi/fi\\_fi/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html](https://www.daikin.fi/fi_fi/faq/what-is-seasonal-efficiency--scop-and-seer-.html). Viitattu 6.3.2024.

*Mitä termit COP ja EER tarkoittavat.* Daikin. Saatavissa: [https://www.daikin.fi/fi\\_fi/faq/what-is-meant-by-the-terms-cop-and-eer-.html](https://www.daikin.fi/fi_fi/faq/what-is-meant-by-the-terms-cop-and-eer-.html). Viitattu 6.3.2024.

Nystedt, E. 2024. *Kylmähöyryprosessit ja lämpöpumput*. PDF-esitys It's Learningissa.

Perälä, O. & Perälä R. 2013. *Lämpöpumput*. 3. painos. Helsinki: Alfamer.

Suokko, A. 2024. *Lämpövoimaprosessit*. PDF-esitys It's Learningissa.

Viilex Oy. *Kylmälaitteet ja jäähdytys kuntoon kotona ja työpaikalla!* Saatavissa: <https://www.viilex.fi/>. Viitattu 18.10.2024.

Wiher. *Lämpöpumpun COP ja SCOP-lukujen tarkoitus selkokielellä.* Saatavissa: <https://wiher.fi/cop-scop-luku/>. Viitattu 6.3.2024.

Wikstén, R. 2009. *Lämpövoimaprosessit*. 4. painos. Helsinki: Otatieto

```
float pressure1;
float pressure2;
float temperature1;
float temperature2;
#include "thingProperties.h"

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(1500);

  pinMode(LED_D0, OUTPUT);
  pinMode(LED_D1, OUTPUT);
  pinMode(LED_D2, OUTPUT);
  pinMode(LED_D3, OUTPUT);

  initProperties();

  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);

  analogReadResolution(16);

  setDebugMessageLevel(2);
  ArduinoCloud.printDebugInfo();
}

void loop() {

  int pressure = analogRead(A0);
  int baselineVoltage = 0.5;
  pressure1 = (pressure * (5.0 / 65535.0));
  pressure1 = (pressure1 - baselineVoltage) * (100.0 / (4.5 - baselineVoltage));

  pressure = analogRead(A1);
  pressure2 = (pressure * (5.0 / 65535.0));
  pressure2 = (pressure2 - baselineVoltage) * (100.0 / (4.5 - baselineVoltage));

  int temperature = analogRead(A2);
  temperature1 = ((temperature * (10.0 / 65535.0)) - 2.0) * 10.0;

  temperature = analogRead(A3);
  temperature2 = ((temperature * (10.0 / 65535.0)) - 2.0) * 10.0;

  ArduinoCloud.update();
  delay(1000);
}
```