

## **NUVE-LABIN ILMANVAIHTO- JA LAITEKAAPPIEN JÄÄHDYJÄR- JESTELMÄN PÄIVITYSSUUNNITELMA**

Markus Lakkapää  
Opinnäytetyö AMK  
Kevät 2025  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma  
Automaatiotekniikka

Markus Lakkapää  
NUVE-LABin ilmanvaihto- ja laitekaappien jäähdytysjärjestelmän päivityssuunnitelma  
Jukka Säkkinen, Mikael Puumalainen, Tero Hietanen  
Kevät 2025  
Sivumäärä: 44

Opinnäytetyössä laadittiin suunnitelma NUVE-LAB-laboratorion ilmanvaihto- ja laitekaappien jäähdytysjärjestelmän päivittämiseksi. Työn taustalla oli tarve kehittää järjestelmä, joka tukee tarkkaa ja toimintavarmaa lämpötilanhallintaa tilassa, jossa testataan ja kehitetään autonomisia ja hiilineutraaleja työkoneita. Nykyinen järjestelmä ei mahdollistanut riittävää säätöä eikä vastannut laboratorion teknisiin vaatimuksiin liittyvää käytettävyyttä ja ohjattavuutta.

Työn tavoitteena oli suunnitella ohjausratkaisu, jonka avulla ilmanvaihtoa ja kaappien jäähdytystä voidaan säätää luotettavasti ja energiatehokkaasti automaatiojärjestelmän kautta. Tietoperustassa käsiteltiin rakennusautomaatiota, lämpötila-antureita, puhallintekniikkaa sekä käyttöliittymäsuunnittelun periaatteita. Menetelminä käytettiin järjestelmäanalyysiä, laitevalmistajien dokumentaatiota, ja käyttöliittymän hahmottelua. Aineistona hyödynnettiin järjestelmätoimittajien teknisiä julkaisuja ja laboratoriotilan laitetietoja.

Tuloksena syntyi kokonaisvaltainen suunnitelma, jossa ilmanvaihdon ohjaus perustuu Schneider Electricin EcoStruxure-alustaan ja siihen liitettäviin I/O-moduuleihin. Laitekaappeihin suunniteltiin erillinen jäähdytysjärjestelmä, joka toimii automaattisesti lämpötila-antureiden mittaustiedon perusteella. Käyttöliittymät mahdollistavat järjestelmän ohjauksen sekä automaattisessa että manuaalisessa tilassa. Kaikki ratkaisut suunniteltiin laajennettaviksi ja yhteensopiviksi nykyisen infrastruktuurin kanssa.

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Program in Electrical and Automation Engineering  
Option of Automation Engineering  
Markus Lakkapää  
Upgrade Plan for the NUVE-LAB's ventilation System and Equipment Cabinet Cooling Systems  
Jukka Säkkinen, Mikael Puumalainen, Tero Hietanen  
Spring 2025  
Number of pages: 44

The objective of this thesis was to develop a plan for upgrading the ventilation and equipment cabinet cooling systems of the NUVE-LAB laboratory. The background for the work was the need to create a system that supports accurate and reliable temperature control in an environment used for testing and developing autonomous and carbon-neutral work machines. The existing system did not allow sufficient adjustability and failed to meet the laboratory's technical usability and controllability requirements.

The aim was to design a control solution that enables reliable and energy-efficient management of ventilation and cabinet cooling through a building automation system. The theoretical framework covered topics such as building automation, temperature sensor technology, fan control, and user interface design. Methods included system analysis, manufacturer documentation review, logic programming design, and interface prototyping. Source materials consisted of technical data from system suppliers, device specifications from the laboratory space, and development documentation from Oulu University of Applied Sciences.

The result was a comprehensive plan in which ventilation control is based on Schneider Electric's EcoStruxure platform and compatible I/O modules. The equipment cabinets were provided with a separate cooling solution that operates automatically based on temperature sensor readings. The user interfaces were designed to support both automatic and manual operation modes. All system components were selected to ensure compatibility and scalability within the existing infrastructure.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYS .....	4
SANASTO .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 NUVE-LAB LABORATORIOTILA .....	8
3 NUVE-LABIN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ.....	10
3.1 Puhaltimet .....	10
3.2 Nosto-ovet.....	11
3.3 Järjestelmän ohjaus .....	13
3.3.1 Schneider Electricin SmartX AS-P.....	13
3.3.2 Lämpötila-anturit.....	14
4 LAITEKAAPIT.....	16
5 MUUTOSTYÖT .....	20
5.1 Ilmavaihtojärjestelmä.....	20
5.2 I/O-moduulit.....	21
5.2.1 SmartX Controller-UI-16 .....	21
5.2.2 SpaceLogic DO-FA-12-H.....	21
5.3 Lämpötila-anturit.....	22
5.3.1 PT1000.....	23
5.3.2 Lämpötila-anturin kytkentä .....	24
5.4 Nosto-ovet.....	25
5.5 Käyttöliittymät.....	26
5.6 Ohjelman muutokset .....	27
6 LAITEKAAPPIEN JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTUS .....	30
6.1 Lämpötila-anturit.....	31
6.2 Puhaltimet .....	31
6.2.1 Systemair K EC -sarjan pyöreä kanavapuhallin .....	32
6.2.2 Vents VK EC 125 -kanavapuhallin.....	33
6.2.3 Puhallinvalinta .....	34
6.3 Ohjaus.....	35

6.3.1	SpaceLogic AS-P-NL.....	35
6.3.2	SpaceLogic UI-16.....	36
6.3.3	SpaceLogic AO-V-8.....	36
6.4	Ohjelma.....	37
6.5	Laitekaappien käyttöliittymä .....	38
7	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET .....	42

## SANASTO

AS-P	Automation Server – Schneider Electricin rakennusautomaation ohjainyksikkö, joka toimii järjestelmän keskuksena ja mahdollistaa kentälaitteiden liittämisen EcoStruxure-alustaan.
EC-puhallin	Electronically Commutated -moottorilla varustettu energiatehokas ja portaattomasti säädettävä puhallin, jota ohjataan tyypillisesti 0–10 V jännitesignaalilla.
EcoStruxure	Schneider Electricin ohjelmistoalusta kiinteistöjen rakennusautomaation suunnitteluun, hallintaan ja valvontaan.
I/O-moduuli	Input/Output -moduuli, joka liittää antureita ja toimilaitteita automaatiojärjestelmään tarjoamalla tulo- ja lähtöliitäntöjä signaalien käsittelyä varten.
NTC-anturi	Negative Temperature Coefficient – puolijohteeseen perustuva lämpötila-anturi, jonka resistanssi pienenee lämpötilan noustessa.
RTD	Resistance Temperature Detector – yleisnimitys vastuslämpötila-antureille, kuten PT100 ja PT1000.

# 1 JOHDANTO

Ajoneuvoteknologian ja työkoneiden kehityksessä painotetaan yhä enemmän energiatehokkuutta, automaatiota ja ympäristöystävällisyyttä. Samalla kehittyvät myös tutkimusympäristöt, joissa näitä uusia teknologioita voidaan suunnitella, testata ja ottaa käyttöön turvallisesti ja kustannustehokkaasti. NUVE-LAB (Nordic Platform For Development Of Autonomous Utility Vehicles) on nykyaikainen kehitys- ja testausympäristö, joka mahdollistaa hiilineutraalien ja autonomisten työkoneiden tutkimuksen aidon kaltaisissa olosuhteissa.

Laboratoriossa käytettävä tutkimus- ja testauslaitteisto vaatii luotettavaa toimintaa ja järjestelmän teknistä kestävyttä. Tämä puolestaan edellyttää tarkasti hallittuja olosuhteita laboratoriotilassa sekä sähkö- ja laitekaappien sisällä. Näissä kaapeissa sijaitsee elektroniikkaa ja ohjausjärjestelmiä, joiden optimaalinen toimintalämpötila on ratkaisevan tärkeä sekä laitteiden toiminnalle että niiden kestävyydelle. Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä ei mahdollista laitekaappien erillistä lämpötilansäätöä, eikä se täysin tarjoa laboratorion käyttäjien edellyttämää toimintavarmuutta, säädettävyyttä ja käytettävyyttä.

Tavoitteena on kehittää suunnitelma, joka parantaa lämpötilanhallintaa sekä laboratorion ilmanvaihtojärjestelmässä että laitekaapeissa. Työssä kartoitetaan nykytila ja suunnitellaan siihen soveltuvat ilmanvaihto- ja jäähdytysratkaisut. Samalla esitetään tarvittavat muutokset hallin ilmanvaihtojärjestelmään, jotta se vastaisi paremmin käyttäjien tarpeita ja mahdollistaisi puhaltimien sekä nostovien joustavan ohjauksen uuden käyttöliittymän kautta. Käytössä oleva automaatiojärjestelmä, Schneider SmartX AS-P-palvelin, tarjoaa teknisen perustan järjestelmän laajennuksille ja räätälöidyille käyttöliittymille.

Työ tukee NUVE-LABin kehitystyötä tarjoamalla teoreettisen ratkaisun laboratorioympäristön parantamiseen, ja se toimii perustana mahdolliselle toteutusvaiheelle. Samalla se tukee NUVE-LABin pitkän aikavälin tavoitteita kohti älykkäämpää, autonomisempaa ja ympäristöystävällisempää työkoneiden tutkimusta ja testausta.

## 2 NUVE-LAB LABORATORIOTILA

NUVE-LAB on Oulun ammattikorkeakoulun monipuolinen tutkimus-, kehitys- ja testausympäristö, joka tarjoaa työkonevalmistajille mahdollisuuden kehittää tulevaisuuden hiilineutraaleja ja autonomisia ajoneuvoratkaisuja. Tavoitteena on korvata perinteiset polttomootorit ympäristöystävällisemmällä vaihtoehdoilla sekä parantaa energiatehokkuutta automaation avulla.

Laboratorio toimii avoimena innovaatioalustana, jossa edistetään kestävänsä kehityksen periaatteita ja etsitään ratkaisuja ilmastonmuutoksen torjuntaan. NUVE-LABin erityisvahvuutena on realistinen testausympäristö, jossa hyödynnetään Vehicle-in-the-Loop (VIL) -simulointia. Tämän teknologian ansiosta ajoneuvoja voidaan testata laboratoriossa aidontuntuisissa kuormitus- ja käyttöolosuhteissa.

NUVE-LAB soveltuu sekä kevyiden että raskaiden ajoneuvojen testaukseen – jopa 65 tonnia painavien ja 1,2 megawatin tehoisten koneiden kehittämiseen. Ydintoimintoihin kuuluu nelipyöräaktivoitu dynamometri ja siihen liitetty VIL-järjestelmä, jonka avulla kehitystyö voidaan kohdentaa suoraan lopullisia käyttöympäristöjä vastaaviin tilanteisiin.

Keskeiset tekniset osa-alueet ovat:

- kokeellinen testaus ja ajotapahtumien mittaaminen
- tiedonkeruu, anturointi, mallinnus ja datan analysointi
- voimalinjojen energiatehokkuuden arviointi
- reaaliaikainen ajotapahtumien simulointi
- sähköisten ohjausjärjestelmien kehitys
- digitaalisten kaksosten ja mallien hyödyntäminen.

NUVE-LAB tukee vastuullista kehitystä mahdollistamalla kattavat testit yhdessä ja samassa paikassa, mikä vähentää logistisia siirtoja ja niistä aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Laboratorioita ohjaa visio ekologisesti, taloudellisesti ja

sosiaalisesti kestävästä tutkimusympäristöstä, jossa digitaalinen teknologia tukee koko kehitysprosessia suunnittelusta testaukseen. (Oulun ammattikorkeakoulu 2025.)

### 3 NUVE-LABIN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ

Laboratoriotilan ilmanvaihtoa ohjaa rakennusautomaatiojärjestelmä, jonka tehtävänä on ylläpitää sisälämpötila halutussa asetusarvossa, esimerkiksi 22 °C:ssa. Ohjaus perustuu tilaan sijoitettujen lämpötila-antureiden mittaustietoon, ja puhaltimien tehoa säädetään sen mukaan.

Kun huonelämpötila ylittää asetusarvon ja nosto-ovet ovat avoinna riittävästi, järjestelmä käynnistää tehostetun ilmanvaihdon. Tämä toteutetaan vaiheittain avamalla poistoilmakanavat ja käynnistämällä poistopuhaltimet, joita ohjataan portaattomasti lämpötilan mukaan. Tarvittaessa käytössä on myös toinen vaihe, joka lisää ilmanvaihtoa entisestään.

Ilmanvaihtoa voidaan ohjata myös käsin, mikäli nosto-ovet ovat riittävästi auki. Oven aukiolo varmistetaan kahdella ovikytkimellä, jotka estävät puhaltimien käynnistymisen suljetussa tilassa.

Poistoilman tehostamisen yhteydessä muut ilmamäärät rajoitetaan, jotta jäähdytys on mahdollisimman tehokasta. Normaalitilanteessa ilmanvaihto toimii määritetyn ilman määrän mukaan.

#### 3.1 Puhaltimet

Puhaltimet ovat tärkeä osa rakennusten ilmanvaihtojärjestelmiä. Ne mahdollistavat tehokkaan ilman siirron ja vaikuttavat merkittävästi sekä sisäilman laatuun että energiankulutukseen (Fläkt Woods 2018). Ilmanvaihtolaitteistojen suunnittelussa kiinnitetään nykyisin erityistä huomiota energiatehokkuuteen ja järjestelmien muunneltavuuteen.

Laboratoriotilan poistoilmapuhaltimina käytetään viittä Fläkt Woodsin valmistamaa aksiaalipuhallinta, joiden malli on JM Aerofoil 80JM/20/4/6/26. Laite on suunniteltu erityisesti suurten ilmamäärien siirtämiseen matalalla painehäviöllä (Scribd 2020). Kyseessä on suoravetoisesti toimiva puhallin, jossa moottori on yhdistetty suoraan siipipyörään ilman hihnakäyttöä. Puhallin näkyy kuvassa 1.

Puhaltimen siivet on valmistettu valualumiinista, ja niiden aerodynaaminen muoto perustuu niin sanottuun Aerofoil-rakenteeseen. Tämä rakenne parantaa hyötysuhdetta ja vähentää melua. (Fläkt Woods 2018.) Lisäksi siipien lapakulma on säädettävissä, mikä mahdollistaa laitteen toimintapisteen optimoinnin eri käyttöolosuhteisiin.

Laite on suunniteltu 380–420 V:n kolmivaiheverkkoon, ja se soveltuu sekä vaakasetä pystyasennukseen. Käyttökohteita ovat esimerkiksi pysäköintihallit, teollisuustilat ja tunnelit, joissa vaaditaan tehokasta ilmanvaihtoa ja kestäväää rakennetta. (Scribd 2020.)



*KUVA 1. JM Aerofoil 80JM/20/4/6/26-puhallin (Fläkt Woods 2018)*

### **3.2 Nosto-ovet**

Laboratoriotila ottaa korvausilmaa nosto-ovien kautta silloin kun poistoilmapuhaltimet ovat käytössä. Nosto-ovia ohjataan CDMA9-käyttölaitteen ja ECS950-ohjausjärjestelmän avulla. Kuvassa 2 näkyvä CDM9 on sähkömoottorikäyttöinen käyttölaite, joka on suunniteltu teollisuusovien avaamiseen ja sulkemiseen. Käyttölaite on asennettavissa suoraan tasapainoakseliin, ja se voidaan jälkiasentaa olemassa oleviin oviin. Moottori käyttää tasapainoakseliin kiinnitettyjä vaijerikeiloja ja vääntöjousia oven liikuttamiseen. (ASSA ABLOY 2006.)



*KUVA 2. CDMA9-käyttölaite (ASSA ABLOY 2006)*

ECS950-oviohjausjärjestelmä, joka näkyy kuvassa 3, on älykäs ohjausyksikkö, joka mahdollistaa oven automaattisen ja manuaalisen käytön. Se on suunniteltu erityisesti teollisuuskäyttöön, jossa oven käyttö on osa päivittäistä logistiikkaa. Ohjausyksikkö sisältää kolmella numerolla toimivan diagnostiikkanäytön, jonka avulla voidaan seurata oven avauskierroksia ja paikantaa viat tehokkaasti.

Näytön yhteydessä oleva huoltomuistutin helpottaa huoltotoimenpiteiden ennakoimista ja suunnittelua. Ohjausyksikkö on suunniteltu laajennettavaksi automaattikomponenteilla, kuten tutka- tai kaukosäädinkäyttöisillä antureilla. (ASSA ABLOY 2006.)



*KUVA 3. ECS950 oviohjausyksikkö (ASSA ABLOY 2006)*

### **3.3 Järjestelmän ohjaus**

Ilmanvaihtojärjestelmää ohjaa Schneider Electricin SmartX AS-P-palvelin. Schneider Electricin SmartX AS-P-palvelin on keskeinen osa EcoStruxure™ Building Operation -alustaa, joka on suunniteltu kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmien hallintaan ja ohjaukseen (Schneider Electric 2020).

#### **3.3.1 Schneider Electricin SmartX AS-P**

AS-P-palvelin toimii älykkäänä automaatioyksikkönä, jonka tehtävänä on yhdistää kiinteistön eri tekniset järjestelmät, kuten lämmitys, ilmanvaihto, valaistus ja turvallisuus, yhdeksi hallittavaksi kokonaisuudeksi. Se tukee useita yleisesti käytettyjä tiedonsiirtoprotokollia, kuten BACnet, Modbus, KNX ja LonWorks, minkä ansiosta se soveltuu monipuolisesti erilaisiin asennuskohteisiin ja järjestelmäintegraatioihin. (Schneider Electric 2025.)

Kuvassa 4 näkyvässä laitteessa on sisäänrakennettu web-palvelin, jonka avulla järjestelmää voidaan valvoa ja hallita selaimen kautta ilman erillisiä ohjelmistoasennuksia (Schneider Electric 2016). SmartX AS-P mahdollistaa reaaliaikaisen

tiedonkeruun ja -käsittelyn, mikä tukee kiinteistön energiatehokkuuden optimointia ja auttaa ennakoivassa kunnossapidossa (Schneider Electric 2018). Laite on suunniteltu toimimaan joko itsenäisesti tai osana laajempaa EcoStruxure-verkkoa, jolloin useat palvelimet voivat jakaa tietoa ja toimia yhdessä hajautettuna järjestelmänä (Schneider Electric 2020). Sen luotettavuutta lisäävät sähkökatkosuojaus ja kehittyneet tietoturvaominaisuudet (Schneider Electric 2025). SmartX AS-P soveltuu käytettäväksi muun muassa toimisto- ja liikekiinteistöissä, sairaaloissa, oppilaitoksissa sekä teollisuuslaitoksissa (Schneider Electric 2018).

Opinnäytetyössä SmartX AS-P on keskeinen osa päivitetyn rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelua sekä kenttälaitteiden ja järjestelmien integrointia.



KUVA 4. Schneider Electricin SmartX AS-P-palvelin (Schneider Electric 2016)

### 3.3.2 Lämpötila-anturit

Nykyinen järjestelmä käyttää NTC-lämpötila-antureita. NTC-lämpötila-anturi (Negative Temperature Coefficient) on puolijohdemateriaalista valmistettu lämpötila-anturi, jonka resistanssi pienenee lämpötilan noustessa. Tämä ominaisuus johtuu elektronien liikkumisen lisääntymisestä lämpötilan kohotessa, mikä parantaa

materiaalin johtavuutta. NTC-antureiden resistanssin ja lämpötilan välinen suhde on epälineaarinen, mutta ne tarjoavat tarkan ja nopean vasteen lämpötilamuutoksiin. (Murata Manufacturing Co, Ltd. s.a.)

Niitä käytetään laajasti rakennusautomaatiossa, LVI-järjestelmissä ja kulutus-elektronikassa, erityisesti tarkkoja lämpötilamittauksia vaativissa sovelluksissa. NTC-anturi liitetään usein jännitteenjakopiiriin, jolloin sen resistanssin muutokset voidaan mitata jännitteen muutoksina ja muuntaa lämpötilaksi ohjausjärjestelmässä. (Murata Manufacturing Co, Ltd. s.a.)

## 4 LAITEKAAPIT

Kehitystyön kohteena on kolme NUVE-LABin laboratorioympäristöön sijoitettua laitekaappia, joiden sisäilman lämpötilaolosuhteita pyritään hallitsemaan tehokkaasti ja luotettavasti. Kaappien lämpötilanhallinta on keskeisessä roolissa, sillä ne sisältävät herkkiä laitteita, joiden toiminta ja pitkäikäisyys ovat suoraan riippuvaisia riittävästä jäähdytyksestä.

Kaikkiin kaappeihin on toteutettu ilmanvaihtokanavointi, joka mahdollistaa tuloilman ohjaamisen niiden sisätiloihin. Näihin kaappeihin on mahdollista toteuttaa aktiivinen lämpötilanhallintajärjestelmä, joka hyödyntää tuloilmaa jäähdytyksen tukena.

Kuvan 5 kaappi sisältää EC303-elektronisen tasonsäätöyksikön, joka on täysin automaattinen järjestelmä ilmajousituksen hallintaan. EC303-yksikkö soveltuu kaikentyyppisille ilmajousille ja koostuu kolmesta ohjauspiiristä, joita hallitaan kosketusnäytön kautta. Järjestelmä näyttää syöttöpaineen sekä kolmen alipaine-piirin painearvot analogisten painemittarien avulla. Ohjausventtiilit on sijoitettu kolmeen erilliseen teollisuuslaatikkoon, jotka sijaitsevat lähellä ilmajousia ja asentoantureita. Järjestelmän ohjaustarkkuus voi parhaimmillaan olla jopa  $\pm 0,01$  mm, riippuen valitun asentoanturin resoluutiosta. (Schiller GmbH 2025.)



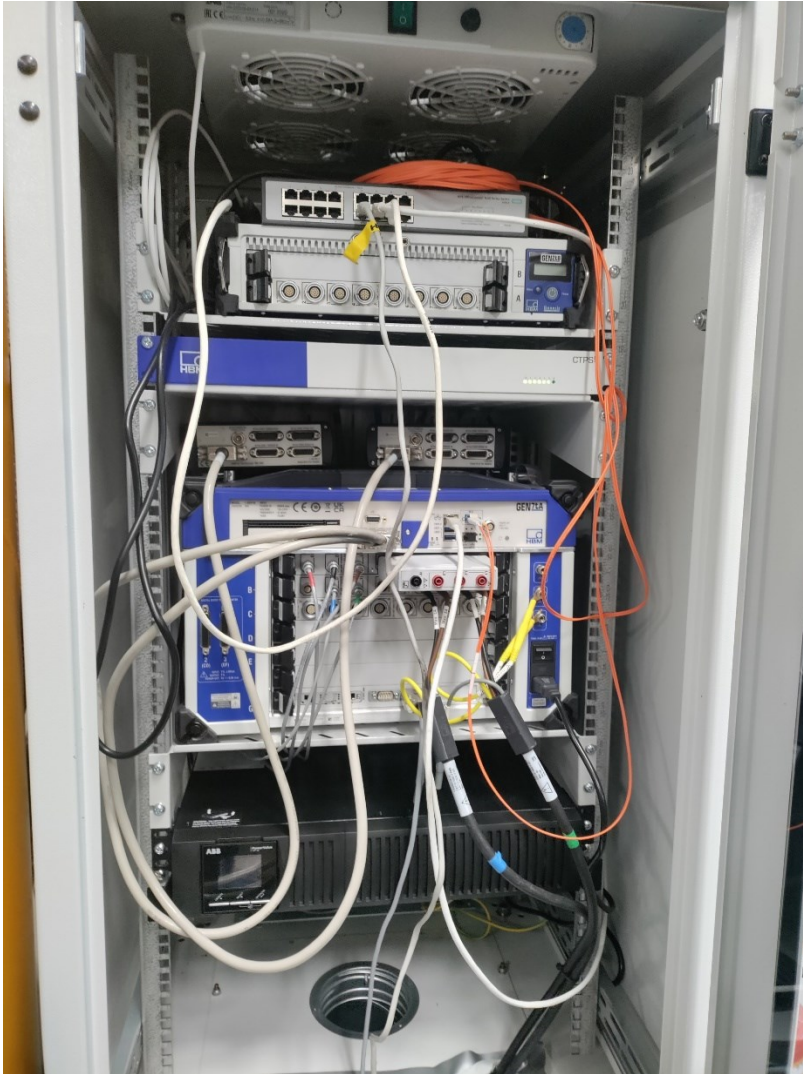
*KUVA 5. Laitekaappi ja EC303*

Toinen kaapeista, joka näkyy kuvassa 6, sisältää dynamometriä jäähdytyspumppujen taajuusmuuttajat. Nämä taajuusmuuttajat ohjaavat pumppujen toimintaa ja mahdollistavat jäähdytysjärjestelmän säätelyn tarkasti käyttötilanteen mukaan. Laitteiden jatkuva käyttö tuottaa huomattavan määrän lämpöä, joka kuormittaa kaapin sisäilmaa. Tämän vuoksi tehokas ja luotettava jäähdytysratkaisu on välttämätön, jotta taajuusmuuttajat toimivat vakaasti ja pitkäikäisesti myös kuormittavissa testausolosuhteissa.



*KUVA 6. Laitekaappi*

Kolmas kaappi, joka näkyy kuvassa 7, sisältää UPS-varmistuslaitteen (Uninterruptible Power Supply), jonka perässä on HBM:n Gen7tA-mittalaite. Kyseinen mittausjärjestelmä on keskeisessä roolissa laboratorion testausympäristössä, sillä sen avulla mitataan useita tärkeitä suureita, kuten jännitteitä, virtoja, lämpötiloja, vääntömomenteja ja pyörimisnopeuksia. Mittausdataa käytetään sekä reaaliaikaiseen analysointiin että jälkikäteiseen tutkimukseen, ja laitteiston luotettava toiminta edellyttää vakaata lämpötilaa. Tämän vuoksi myös mittalaitekaapin sisälämpötilan hallinta on oleellinen osa kokonaisjäähdytysratkaisua.



*KUVA 7. Mittalaitekaappi*

## 5 MUUTOSTYÖT

NUVE-LABin nykyinen ilmanvaihto- ja ohjausjärjestelmä on suunniteltu täysin automaattiseksi, ja sen ensisijaisena tehtävänä on poistaa ylijäämälämpöä. Järjestelmä ei tarjoa mahdollisuutta manuaaliseen ohjaukseen, eikä sen toiminta tue aktiivista lämpötilansäätöä laboratorion tarpeisiin. Tämä rajoittaa sen soveltuvuutta tilanteisiin, joissa ilmanvaihtoa tulisi säätää olosuhteiden tai testaustoiminnan mukaan. Käyttäjät eivät voi itse vaikuttaa puhaltimien tehoon tai järjestelmän tilaan, mikä heikentää käytettävyyttä ja hidastaa reagointia esimerkiksi testauksen tai huollon aikana.

Käyttöliittymä itsessään on lukittu toiseen rakennusautomaatiokeskukseen (VAK), johon NUVE-LABin henkilöstöllä ei ole pääsyä, koska käytössä ei ole tarvittavia käyttäjätunnuksia tai salasanoja. Tämä tekee järjestelmän seurannasta ja käytöstä riippuvaista ulkopuolisesta tahosta, eikä laboratorion henkilökunta voi tällä hetkellä tarkastella tilatietoja tai tehdä ohjauksia itsenäisesti.

Järjestelmää tullaan muuttamaan siten, että se toimii täysin manuaalillassa, jolloin käyttäjät voivat säätää ilmanvaihtoa itse käyttöliittymän kautta. Tämän takia NUVE-LABin henkilöstölle luodaan omat käyttäjätunnukset ja salasanat, joiden avulla he saavat rajoitetun pääsyn järjestelmän siihen osaan, joka koskee laboratorion ilmanvaihtoa. Tämä mahdollistaa itsenäisen käytön ja valvonnan omien tarpeiden mukaisesti ilman, että koko rakennuksen järjestelmää otetaan laboratorion hallintaan. Uudistus parantaa järjestelmän käytettävyyttä, lisää joustavuutta ja antaa NUVE-LABin henkilöstölle riittävät valmiudet seurata ja hallita oman toimintansa kannalta olennaisia osia ilmanvaihtojärjestelmästä.

### 5.1 Ilmavaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän päivittämisessä vastaamaan asiakkaan toiveita laboratorioympäristöön lisätään lämpötila-antureita ja tehdään nosto-ovien ohjaukseen vaadittavat muutokset.

## 5.2 I/O-moduulit

Kaikki lisättävät laitteet integroidaan osaksi nykyistä ilmanvaihdon ohjausjärjestelmää, mikä mahdollistaa sujuvan yhteensopivuuden ja järjestelmän hallinnan keskitetysti. Uudet lämpötila-anturit ja nosto-ovien ohjaukseen liittyvät komponentit voidaan liittää olemassa olevaan I/O-arkkitehtuuriin, sillä nykyiset I/O-kortit sisältävät vielä riittävästi vapaita tulo- ja lähtökanavia. Tämä vähentää laitteistopäivitysten tarvetta ja säästää sekä aikaa että kustannuksia asennusvaiheessa. Ratkaisu tukee myös järjestelmän huollettavuutta ja laajennettavuutta tulevaisuudessa.

### 5.2.1 SmartX Controller-UI-16

Lämpötila-anturit kytketään SmartX Controller-UI-16-laajennusmoduuliin, joka on Schneider Electricin kehittämä ratkaisu rakennusautomaation tarpeisiin. Moduuli tarjoaa 16 universaalituloa, jotka voidaan konfiguroida tukemaan useita eri signaalityyppejä, kuten analogisia jännitesignaaleja (esim. 0–10 V), vastusantureita (kuten NTC/PTC) sekä digitaalisia tuloja, esimerkiksi kuivakoskettimia. (Schneider Electric 2021.) Tämän ansiosta samaan moduuliin voidaan liittää laaja valikoima erilaisia antureita ja kytkentöjä ilman erillisiä erikoismoduuleja.

Moduuli on osa EcoStruxure Building Operation -alustaa ja se on täysin yhteensopiva muiden SmartX-sarjan ohjainten, kuten MP-sarjan laitteiden kanssa.

SmartX I/O-moduuli soveltuu erityisesti lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytys- ja valaistusjärjestelmien ohjaukseen sekä muihin kiinteistöautomaation sovelluksiin, joissa tarvitaan joustava ja luotettava I/O-ratkaisu. Tässä projektissa sen monipuolisuus mahdollistaa lämpötila-antureiden vaivattoman integroinnin osaksi olemassa olevaa ohjausjärjestelmää ilman lisälaitteistojen tarvetta.

### 5.2.2 SpaceLogic DO-FA-12-H

Nosto-ovien ohjaukset kytketään SpaceLogic DO-FA-12-H-moduuliin, joka tarjoaa 12 Form A -digitaalista lähtöä. Tämä moduuli on erityisesti suunniteltu

kiinteistön automaatiojärjestelmiin, ja se soveltuu erinomaisesti digitaalisten kuormien, kuten moottoreiden ja nosto-ovien, ohjaukseen. Moduuli mahdollistaa luotettavan ja yksinkertaisen ohjauksen, sillä jokainen relelähtö pystyy kytkemään päälle tai pois ohjattavan laitteen, kuten nosto-ovet. Moduulin käyttämät Form A -lähtöreleet tarjoavat kytkentäkapasiteetin, joka tukee laajaa valikoimaa kuormia ja takaa kestävän ja tehokkaan toiminnan. (Schneider Electric 2024.)

Relelähtöjen ohjaus tapahtuu ohjelmallisesti käyttöliittymän kautta tai automaattisten logiikoiden avulla mahdollistaen esimerkiksi ajastetut toiminnot tai ovien avaamisen muiden antureiden ja signaalien perusteella.

DO-FA-12-H on suunniteltu erityisesti käytettäväksi kiinteistön lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytys- ja valaistusjärjestelmissä sekä muissa kiinteistön automaation sovelluksissa, joissa tarvitaan joustavaa ja luotettavaa digitaalisten lähtöjen ohjausta. Tässä projektissa moduuli mahdollistaa nosto-ovien avaamisen ja sulkeamisen osana rakennuksen keskitettyä automaatiojärjestelmää ilman erillisiä ohjausyksiköitä.

### **5.3 Lämpötila-anturit**

Uusien lämpötila-antureiden valintaan on useita kriteerejä, kuten käyttötarkoitus, yhteensopivuus ja hinta. Lämpötila-anturit tulevat osaksi käyttöliittymää, jonka kautta voidaan seurata ympäristön lämpötilaa reaaliajassa useasta mittauspisteestä.

Alkuperäinen järjestelmä käyttää NTC-lämpötila-antureita, joten samankaltaisten antureiden lisääminen olisi varmasti toimiva ratkaisu. NTC-lämpötila-antureita käytetään laajasti niiden edullisuuden, kompaktin koon ja nopean vasteajan vuoksi (Dwyer Omega s.a.). Kuitenkin uusissa teollisuuskohteissa niiden käyttöä on alettu vähentää, ja niitä korvataan yhä useammin tarkemmilla anturityypeillä, kuten RTD-antureilla (Resistance Temperature Detector) (Dwyer Omega s.a.) .

Tärkein syy on mittaustarkkuus ja luotettavuus. RTD-antureilla, erityisesti Pt100-malleilla, on laaja mittausalue, hyvä toistotarkkuus ja lähes lineaarinen vaste. Tämä helpottaa mittaustulosten käsittelyä ja vähentää kalibroinnin tarvetta. Lisäksi RTD-antureiden kestävyys teollisuusympäristöissä on parempi, sillä ne sievät korkeita lämpötiloja ja mekaanista rasitusta paremmin kuin herkäät puolijohdepohjaiset NTC-anturit. (Dwyer Omega s.a.) Siksi moderneissa teollisuusprojekteissa, joissa vaaditaan pitkäikäisiä, tarkkoja ja vakaita lämpötilamittauksia, RTD-anturit ovat yhä useammin ensisijainen valinta (Dwyer Omega s.a.).

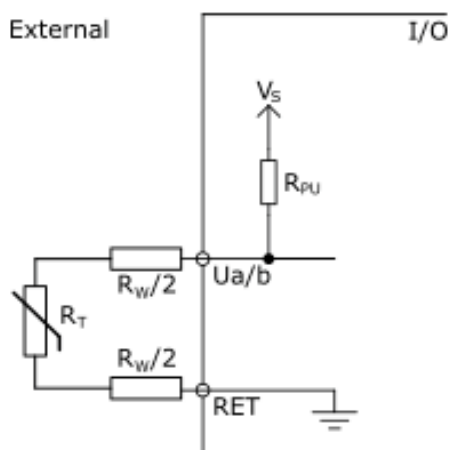
### **5.3.1 PT1000**

Pt1000 on vastuslämpötila-anturi, jonka resistanssi on 1000 ohmia 0°C:n lämpötilassa. Sen toiminta perustuu platinan sähkövastuksen muuttumiseen lämpötilan muuttuessa. Resistanssin muutos on lähes lineaarinen lämpötilan funktiona, mikä tekee Pt1000-antureista erityisen tarkkoja ja helposti käsiteltäviä mittauksissa. (Dwyer Omega s.a.) Anturi tarjoaa tyypillisesti  $\pm 0,3 \dots \pm 0,5$  °C:n mittaustarkkuuden koko mitta-alueella, ja se soveltuu hyvin sisälämpötilan tarkkaan valvontaan esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmissä (Texas Instruments 2022). Verrattuna esimerkiksi NTC- tai PTC-termistoreihin, joiden vastekäyrä on epälineaarinen, Pt1000 ei vaadi ohjelmallista kompensointia vaan antaa luotettavan tuloksen suoraan mittausvirran perusteella (Schneider Electric 2021). Pt1000-anturi on myös yhteensopiva useiden automaatiojärjestelmien, kuten Schneider Electricin UI-16 I/O-moduulin, kanssa. Kyseinen moduuli syöttää mittausvirran suoraan anturille ja laskee lämpötilan mitatun jännitteen perusteella ilman erillisiä muuntimia. (Schneider Electric 2021.) Lisäksi RTD-anturit kestävät hyvin mekaanista rasitusta ja lämpötilavaihtelua, eikä niiden kalibrointia yleensä tarvita käytön aikana. Mittausjärjestelmissä, joissa kaapelointimatkat ovat pitkiä, Pt1000:n korkea resistanssi vähentää johdinhäviöiden vaikutusta, mikä tekee siitä erityisen soveltuvan rakennuskohteisiin, joissa kaapeleita vedetään pitkiä matkoja. Näiden ominaisuuksien vuoksi Pt1000 on erinomainen valinta järjestelmään, jossa tavoitellaan tarkkaa, häiriönsietävää ja pitkäikäistä lämpötilamittausta ilman tarvetta jatkuvalla huollolla tai kalibroinnilla.

### 5.3.2 Lämpötila-anturin kytkentä

Pt1000-anturin liittäminen Schneider Electricin UI-16 I/O-moduuliin tapahtuu 2-johdinkytkennällä, joka on yksinkertainen ja kustannustehokas tapa lämpötilan mittaukseen. UI-16-moduuli tukee suoraan tällaisia antureita ja tarjoaa mittaukseen tarvittavan vakiojännitteen ( $V_S = 1\text{ V}$ ) sekä sisäisen vetovastuksen ( $R_{PU} = 1,5\text{ k}\Omega$ ) (Schneider Electric 2019).

Kuvassa 7 esitetyn kytkennän mukaan anturi ( $R_T$ ) sijoitetaan mittauspiiriin, jossa sen molempien johtimien sarjaan tulee puolet kokonaisesta johdinresistanssista ( $R_W/2$ ). Koska 2-johdinkytkennässä johdinresistanssi ( $R_W$ ) vaikuttaa suoraan mittaukseen, UI-16-moduulin ohjelmistossa tulee määrittää käytetty  $R_W$ -arvo, jotta laite osaa kompensoida johdinhäviöt laskennassa. (Schneider Electric 2019.)



KUVA 8. Anturin kytkentäkuva (Schneider Electric 2019)

Mittaus toimii siten, että moduuli mittaa kokonaisjännitteen mittauspisteessä ( $U_{a/b}$ ) ja laskee siitä RTD-anturin ( $R_T$ ) yli olevan jännitteen arvon. Tämä jännite muunnetaan edelleen anturin resistanssiksi, ja siitä saadaan lopullinen lämpötila-arvo. (Schneider Electric 2019.)

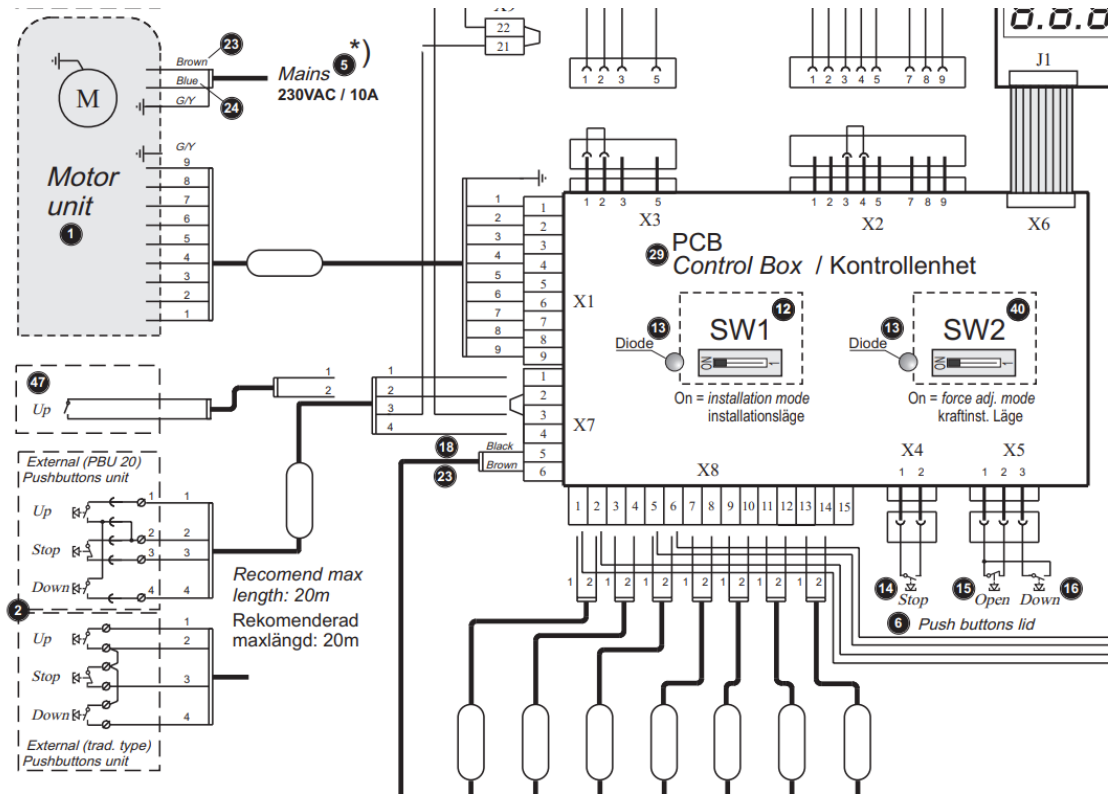
Tämä tapa mahdollistaa tarkan lämpötilanmittauksen ilman erillisiä lähettämiä tai muuntimia, kunhan johdinpituuksien vaikutus kompensoidaan ohjelmallisesti.

## 5.4 Nosto-ovet

Nosto-ovien ohjaus toteutetaan yhdistämällä SpaceLogic DO-FA-12-H-moduuli ja ECS950-oviohjausyksikkö. SpaceLogic DO-FA-12-H-moduuli tarjoaa 12 itsestä Form A -tyyppistä relelähtöä, joiden avulla voidaan ohjata erilaisia sähköisiä toimilaitteita, kuten nosto-ovia. Moduuli liitetään osaksi rakennuksen automaatiojärjestelmää ja se toimii osana EcoStruxure Building Operation -alustaa.

ECS950 on erillinen nosto-ovien ohjaukseen tarkoitettu yksikkö, joka vastaanottaa ohjaussignaalit SpaceLogic DO-FA-12-H-moduulilta. ECS950 toimii ovien varsinaisena toimilaitteen ohjaimena ja huolehtii moottorin ohjauksesta sekä turvallisuustoiminnoista, kuten törmäyssuojasta ja rajakytkimien käsittelystä. Yhdessä nämä laitteet muodostavat kokonaisuuden, jossa automaatiojärjestelmä voi hallita ovien toimintaa luotettavasti ja turvallisesti.

Kuvassa 8 näkyy ECS950 ohjausyksikön kytkentäkaavio. DO-FA-12-H-moduulin relelähdöt voidaan kytkeä suoraan ulkoisen painikeyksikön (External Pushbuttons unit) tilalle. Fyysiset painonapit korvataan käyttöliittymään lisättävillä ohjelmallisilla painikkeilla, joilla nosto-ovia voidaan ohjata.



KUVA 9. ECS 950 kytkentäkaavio

Tämä ratkaisu mahdollistaa ovien etäohjauksen ja ohjelmointimahdollisuudet suoraan kiinteistön ohjausjärjestelmästä, esimerkiksi ajastusten tai muiden toimintalogiikoiden perusteella. Näin nosto-ovien toiminta voidaan sovittaa tarkasti kiinteistön muiden toimintojen, kuten ilmanvaihdon tai kulunvalvonnan, kanssa yhteen.

## 5.5 Käyttöliittymät

Käyttöliittymien suunnittelussa keskeisenä lähtökohtana on yksinkertainen ja visuaalisesti selkeä kokonaisuus, joka tukee käyttäjän nopeaa tilannekuvan muodostamista ja helppoa järjestelmän hallintaa. Koska käyttöliittymiä tullaan käyttämään laboratorion arjessa, painopiste on toimintavarmuudessa, helppokäyttöisyydessä ja loogisessa rakenteessa. Toiminnot jaetaan omiin näkyimiin ilmanvaihdolle ja laitekaappien jäähdytykselle, jolloin käyttöliittymä säilyy selkeänä ja erikoistuu kuhunkin osa-alueeseen tarkoituksenmukaisesti.

Visuaalisessa suunnittelussa käytetään tunnistettavia värikoodeja, selkeitä numeronäyttöjä ja interaktiivisia säätimiä (esimerkiksi liukusäätimet ja painikkeet). Käyttöliittymien tulisi tarjota mahdollisuus valita ohjaustavaksi joko automaattinen tai manuaalinen tila, jotta käyttäjä voi vaikuttaa järjestelmän toimintaan joustavasti.

Teknisesti käyttöliittymät suunnitellaan toteutettaviksi Schneider Electricin EcoStruxure Building Operation -alustan päälle. Tämä mahdollistaa suoran integraation käytössä olevien SpaceLogic- ja SmartX-komponenttien kanssa sekä selainpohjaisen hallinnan ilman lisäohjelmistoja. Käyttöliittymä rakennetaan EcoStruxure graafisen editorin avulla, jossa voidaan määritellä visuaaliset näkymät, ohjausobjektit, mittausarvojen esitystavat ja logiikkaan sidotut painikkeet. Anturiarvot ja toimintatilat esitetään käyttöliittymässä suoraan kenttälaitteista saatavan datan pohjalta.

Toteutussuunnittelussa huomioidaan myös tietoturva ja käyttäjähallinta. Käyttöliittymään voidaan luoda eri käyttäjärooleja (esim. valvonta, huolto, ylläpito), jolloin järjestelmän käyttöoikeudet vastaavat kunkin käyttäjän tehtävää. Näin välitetään virheelliset säädöt ja varmistetaan järjestelmän turvallinen käyttö.

### **Ilmanvaihdon käyttöliittymä**

Ilmanvaihdon käyttöliittymä tarjoaa yleiskuvan laboratorion sisälämpötilasta, puhaltimien toimintatilasta, nosto-ovien asennoista sekä antureiden lukemista. Käyttäjä voi ohjata järjestelmää manuaalisessa tilassa, jossa puhaltimien tehoa voidaan säätää liukusäätimillä. Nosto-ovia voidaan avata tai sulkea käyttöliittymän kautta ohjelmallisesti, ja niiden ohjaus on sidottu ilmanvaihdon logiikkaan. Lisäksi näkymä sisältää hälytysalueet, jotka reagoivat poikkeaviin olosuhteisiin, kuten ylikuumenemiseen tai ovien virhetiloihin.

### **5.6 Ohjelman muutokset**

Ilmanvaihtojärjestelmä muutetaan kokonaan manuaalisesti ohjattavaksi siten, että käyttäjä voi säätää puhaltimien nopeuksia suoraan käyttöliittymästä liukusäätimien avulla. Ohjelmassa ei enää käytetä lämpötila-antureiden tietoja

säätöperusteena, vaan säätö perustuu kokonaan käyttäjän antamaan ohjausjännitteen arvoon. Tämä mahdollistaa joustavan käytön erilaisissa testaus- ja huolto-tilanteissa, joissa tarvitaan tarkkaa ja nopeaa ilmanvaihdon hallintaa.

Manuaalinen ohjaus valittiin tässä hankkeessa ensisijaiseksi ratkaisuksi, koska automaattinen lämpötilaperusteinen säätö olisi edellyttänyt lisälaitteiden, kuten lämpötila-antureiden ja säätölogiikan, käyttöönottoa sekä merkittävää ohjelmallista laajennusta. Tämä olisi nostanut järjestelmän kokonaiskustannuksia ja pidentänyt toteutusaikaa. Koska projektin budjetti ja aikataulu ovat rajalliset, manuaalinen ohjaus tarjoaa selvästi kustannustehokkaamman ja nopeammin toteutettavan vaihtoehdon ilman, että ilmanvaihdon hallinnan tarkkuus kärsii. Lisäksi järjestelmän yksinkertaistaminen parantaa luotettavuutta ja helpottaa ylläpitoa.

Vaikka lämpötilaohjaus poistetaan käytöstä, nosto-ovien tilatieto säilyy osana järjestelmän toimintalogiikkaa turvallisuussyistä. Puhaltimien käyttö on mahdollista vain silloin, kun ovet ovat riittävästi auki. Ovien tilaa valvotaan kahden rajakytkimen avulla, ja ohjelma tarkistaa niiden tilan ennen puhaltimien käynnistämistä. Jos ovet eivät ole auki määritellyssä asennossa, puhaltimien ohjaus estetään. Tämä estää alipaineen tai ilmanvaihdon toimintahäiriöt suljetussa tilassa.

Nosto-ovien ohjaus tullaan tekemään suoraan käyttöliittymän kautta, johon lisätään painikkeet nostamiselle sekä laskemiselle.

Ovien ohjaus toimii seuraavasti:

- ensimmäinen painallus avaa oven 1,5 metriin
- tämän jälkeen ovi nousee 1 metrin kerrallaan/painallus
- avausnopeus: 0,25 m/s (ohjelmoitava 4 sekunnin pito painikkeelle)
- sulkeminen tapahtuu samoin käänteisesti.

Koska ovien liikkuminen on vakioitu, eli ne avautuvat ja sulkeutuvat aina täsmällisesti määritellyn matkan verran per painallus, voidaan oven tila esittää käyttöliittymässä ilman erillisiä asentotunnistimia tai antureita. Ohjauslogiikka pitää automaattisesti kirjaa oven nykyisestä asemasta painallusten perusteella.

Tämä ohjelmallinen ratkaisu tilatiedon esittämiseksi on erityisen hyödyllinen budjetin kannalta, koska se poistaa tarpeen uusille antureille, kaapeloinnille ja lisälogiikalle. Lisäksi ratkaisu yksinkertaistaa järjestelmän rakennetta, parantaa luotavuutta ja helpottaa huoltoa, kun mekaanisia tai sähköisiä vikaantumispisteitä on vähemmän. Tämä tekee siitä järkevän valinnan kohteisiin, joissa kustannustehokkuus ja selkeä toimintalogiikka ovat tärkeitä.

## 6 LAITEKAAPPIEN JÄÄHDYTYKSEN TOTEUTUS

Laitekaappien jäähdytys perustuu viereisestä huonetilasta johdettavaan tuloilmaan sekä ilmanvaihtokanavaan sijoitettavaan puhaltimeen. Kaappeihin johdetaan ilmaa viereisestä tilasta, jonka lämpötilaa säätelee erillinen kiertoilmakone. Huonetilan lämpötila on vakio, eikä siihen voida suoraan vaikuttaa, joten kaappien sisälämpötilan säätö perustuu tuloilman määrän hallintaan.

Varsinainen jäähdytysratkaisu toteutetaan siten, että puhallin asennetaan tuloilman ilmanvaihtokanavaan. Puhallin ohjaa viileämpää huoneilmaa kaapin sisään ja lisää ilmanvaihdon tehokkuutta kaapin sisällä olevien laitteiden ympärillä. Kun viileää ilmaa johdetaan kaappiin riittävällä ilmavirralla, syntynyt lämpökuorma saadaan poistettua kaapista luotettavasti.

Tämä ratkaisu mahdollistaa laitteiden jäähdyttämisen ilman, että kaappien sisään tarvitsee asentaa erillisiä puhaltimia tai muita jäähdytysyksiköitä. Ratkaisun etuna on yksinkertainen rakenne, helppo huollettavuus sekä hyvä yhteensopivuus olemassa olevan IV-järjestelmän kanssa.

Tilassa olevien laitekaappien jäähdytys ei ole suoraan yhteensopiva nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän automaattisen ohjauksen kanssa, eikä sille ole olemassa valmista liityntäpintaa nykyisiin ohjauspiireihin. Tästä syystä jäähdytyksen ohjaus vaatii erillisen ratkaisun.

Toteutus on kuitenkin mahdollista hyödyntämällä NUVE-LABin VAK-keskusta, johon voidaan lisätä yksi uusi I/O-moduuli. Moduulin avulla voidaan toteuttaa tarvittava ohjaus kaappien jäähdytyspuhaltimille, lämpötilavalvonnalle sekä mahdollisille hälytyksille.

Tämä ratkaisu tarjoaa kustannustehokkaan ja helposti hallittavan tavan lisätä ohjaustoiminto ilman laajaa järjestelmämuutosta. Se myös varmistaa, että kaappien jäähdytys toimii itsenäisesti, mutta on kuitenkin liitettävissä osaksi laajempaa hallintajärjestelmää valvonnan ja ylläpidon näkökulmasta.

## 6.1 Lämpötila-anturit

Kaappien jäähdytyksen ohjaus edellyttää reaaliaikaista tietoa kaappien sisälämpötilasta, mutta nykyisissä kaapeissa ei ole valmiina lämpötila-antureita. Tämän vuoksi jokaiseen kaappiin asennetaan PT1000-lämpötila-anturit.

Anturivalintana PT1000-malli sopii järjestelmään sen hyvän mittaustarkkuuden, luotettavuuden ja yhteensopivuuden vuoksi. Kyseessä on sama anturityyppi, jota käytetään myös tilan yleisen ilmanvaihtojärjestelmän lämpötilavalvonnassa. Näin yhtenäinen anturityyppi helpottaa varaosahallintaa, käyttöönottoa ja myöhempää huoltoa, sekä mahdollistaa yhteensopivan signaalin käsittelyn ohjausjärjestelmässä.

PT1000-anturit soveltuvat hyvin teknisiin tiloihin ja tarjoavat riittävän mittatarkkuuden jäähdytyksen ohjaukselta varten. Ne kytketään VAK-keskuksen uuden I/O-moduulin kautta ohjauslogiikkaan, joka ohjaa jäähdytyspuhaltimien toimintaa lämpötilatiedon perusteella.

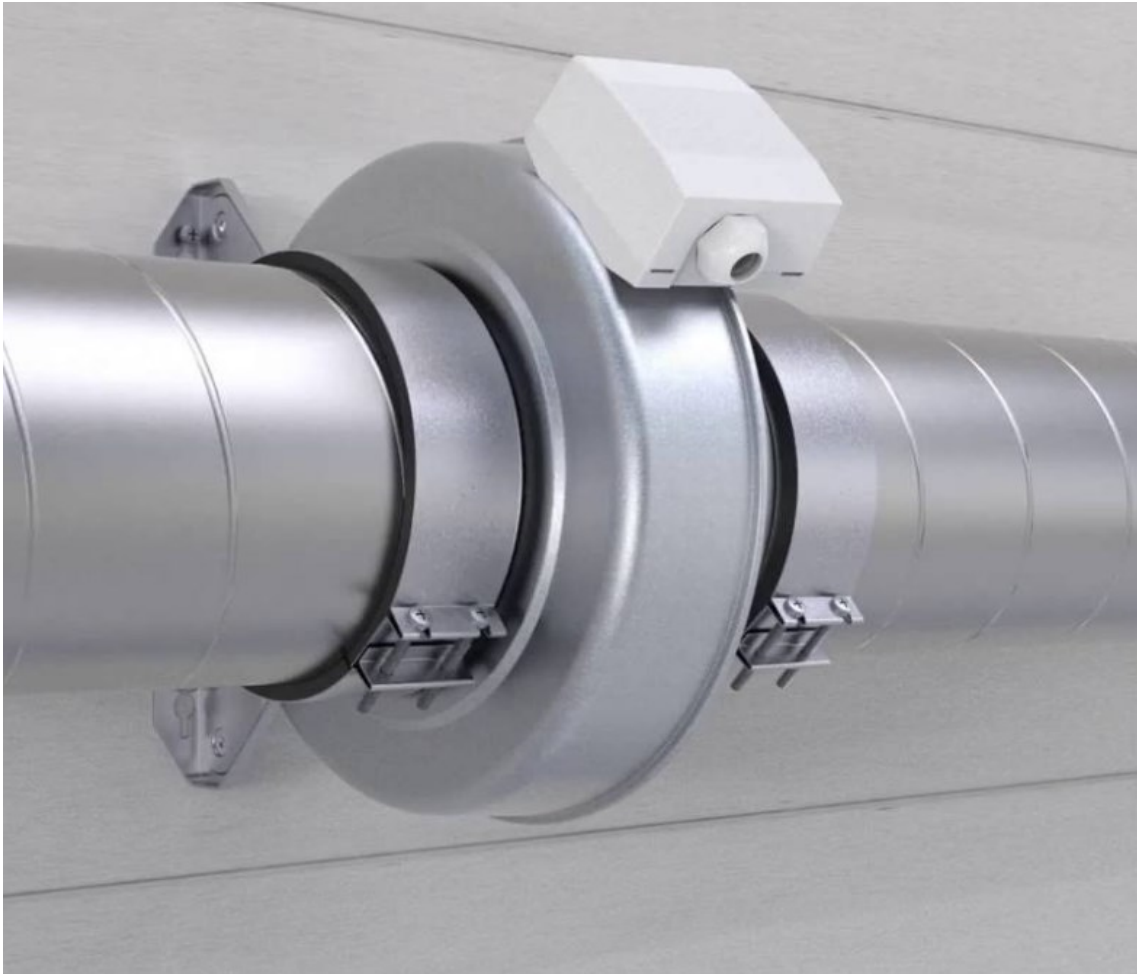
## 6.2 Puhaltimet

Kaappien jäähdytys voidaan toteuttaa EC-kanavapuhaltimien (Electronically Commutated fan) avulla, jotka asennetaan ilmanvaihtokanaviin kaappien tuloilman yhteyteen. Puhaltimet eivät sijaitse kaappien sisällä, vaan ne ohjaavat viileää ilmaa kaapin alareunasta sisään ja mahdollistavat lämpimän ilman poistumisen yläreunasta. Kuvasta 9 nähdään, miten puhallin voidaan asentaa osaksi ilmanvaihtokanavaa. Tämä ilmankierto takaa tehokkaan jäähdytyksen myös ympäristössä, jossa huonelämpötilaa ei voida erikseen säätää.

EC-puhaltimet ovat hyvä vaihtoehto niiden korkean energiatehokkuuden, pitkän käyttöiän ja tarkan säädettävyyden vuoksi. Ne perustuvat harjattomiin tasavirtamoottoreihin, joilla on huomattavasti parempi hyötysuhde kuin perinteisillä AC-moottoreilla (ebm-papst 2022). Lisäksi EC-puhaltimet sisältävät sisäänrakennetun elektroniikan, joka mahdollistaa portaattoman kierrosluvun säädön ohjausviestillä (0–10 V tai PWM). Tämän ansiosta puhallintehoa voidaan säätää

suoraan lämpötila-antureilta saadun datan perusteella, jolloin jäähdytys toimii automaattisesti lämpötilan mukaan. (Ziehl-Abegg 2023).

Tämä ratkaisu tarjoaa tehokkaan, automaattisesti säätävän jäähdytysjärjestelmän, joka suojaa kaappien sisältämää elektroniikkaa ylikuumentumiselta ja tukee samalla energiatehokkuus- ja ylläpidettävyystavotteita.



*KUVA 10. EC-kanavapuhallin (Denut Mikael 2024)*

### **6.2.1 Systemair K EC -sarjan pyöreä kanavapuhallin**

Systemairin K EC -sarja koostuu laadukkaista pyöreistä kanavapuhaltimista, joissa on tehokas EC-moottori ja taaksepäin kaartuvat radiaalisiivet. Ne ovat portaattomasti säädettäviä 0–10 V:n signaalilla ja tarjoavat korkean ilmavirtauksen, käytössä jopa 482 m<sup>3</sup>/h, ja ne ovat ihanteellisia suuriin tiloihin ja teollisiin kohteisiin. Moottorit sisältävät integroidun lämpö- ja roottorilukitusuojauksen sekä

pehmokäynnistyksen, mikä lisää järjestelmän toimintavarmuutta . Hiljainen käyntiäänäni, luja galvanoitu teräskotelo luokitusluokassa IP55 sekä vankka rakenne tukevat pitkäaikaista käyttöä ja huoltovapautta. (Systemair s.a.) Kuvassa 9 näkyvä pienemmän kokoluokan K 125 EC-malli maksaa noin 280–350 €

### 6.2.2 Vents VK EC 125 -kanavapuhallin

Kuvassa 10 näkyvä Vents VK125 EC on kompakti ja hiljainen EC-moottoripuhallin. Se tuottaa noin 420 m<sup>3</sup>/h ilmavirtauksen 84 W teholla ja hyötysuhteen ollessa jopa 90 %. Melutaso on alhainen ja laite on varustettu kestäville kuulalaakereilla sekä ABS-kotelolla, IPX4-suojaluokituksella. (Vents s.a.) VK125 EC:n hinta on tyypillisesti noin 190–245 €.



KUVA 11. Vents VK125 EC (Vents s.a.)

### 6.2.3 Puhallinvalinta

Tässä kappaleessa syvennyttään kahden aiemmin esitellyn EC-moottorilla varustetun kanavapuhaltimen, Vents VK 125 EC:n ja Systemair K 125 EC:n, keskeisiin eroihin laadun, luotettavuuden ja käyttökohteiden näkökulmasta.

Molemmat puhaltimet, Vents VK 125 EC ja Systemair K 125 EC Sileo, on varustettu moderneilla EC-moottoreilla ja soveltuvat kaappien jäähdytykseen. Niiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja rakenteessa, suojaustasossa ja käyttökohteissa.

Vents VK 125 EC -puhallin on valmistettu kevyestä ja korroosionkestävästä ABS-muovista ja tarjoaa IPX4-suojaustason. Se on hiljainen, noin 42 dB(A) @3 m, ja sen moottori on suunniteltu yli 40 000 tunnin käyttöikänsä. Puhallin on varustettu 0–10 V EC-ohjauksella, mikä mahdollistaa tarkan ilmavirran säädön ja sopii hyvin automaatiojärjestelmiin. (Vents s.a.)

Systemair K 125 EC Sileo on suunniteltu vaativampiin asennuskohteisiin. Sen metallikotelointi tarjoaa IP54-suojaustason ja täyttää EN 12237 -standardin tiiviysluokan C. Puhallin soveltuu erityisesti teollisiin kohteisiin, joissa vaaditaan korkeaa suojausta ja kestävyyttä. Sen melutaso on hieman korkeampi, noin 45 dB(A), mutta metallirakenne auttaa vaimentamaan tärinää ja resonanssia. EC-moottorin integrointi mahdollistaa vastaavat säädöt kuin Ventsin puhaltimessa, mutta Systemairin mallia pidetään yleisesti luotettavampana ja pitkäikäisempänä valintana ammattikäytössä (Systemair s.a.)

Vaikka molemmat puhaltimet ovat EC-teknologialla varustettuja ja tukevat energiatehokasta käyttöä, valinta niiden välillä kannattaa tehdä käyttökohteen vaatimusten mukaan. Mikäli kaappi sijaitsee ei-korroosiolle altistuvassa ympäristössä ja tarvitaan hiljainen sekä kompakti ratkaisu, Vents VK 125 EC tarjoaa kustannustehokkaan vaihtoehdon. Toisaalta, jos kaappi altistuu korkeammalle pölylle, mekaaniselle rasitukselle tai kosteudelle, Systemair K 125 EC Sileo on perusteltu

valinta paremman suojauksen ja teollisuuskäyttöön optimoidun rakenteen ansiosta.

Erityisesti laboratoriotilassa, jossa sähkölaitteiden suojaustaso, häiriöttömyys ja rakenteellinen luotettavuus ovat keskeisiä vaatimuksia, Systemairin K 125 EC edustaa varmempaa ja kestävämpää vaihtoehtoa. Sen korkeampi suojausluokka ja ammattikäyttöön suunniteltu rakenne tekevät siitä suositeltavan ratkaisun laboratoriotason olosuhteisiin.

### **6.3 Ohjaus**

Tilassa olevien laitekaappien jäähdytysjärjestelmää voidaan ohjata NUVE-LABin VAK-keskukseen sijoitetun Schneider Electricin SpaceLogic AS-P-NL-automaatiopalvelimen avulla. Tämä ohjelmoitava logiikka toimii keskeisenä järjestelmän ohjausyksikkönä, jonka kautta voidaan hallita ja valvoa eri laitteiden toimintaa keskitetysti ja luotettavasti.

#### **6.3.1 SpaceLogic AS-P-NL**

Schneider Electricin SmartX AS-P, joka ohjaa ilmanvaihtojärjestelmää ja NUVE-LABin VAK-keskukseen sijoitettu SpaceLogic AS-P-NL ovat rakennusautomaatiojärjestelmissä käytettäviä automaatio-ohjaimia, jotka kuuluvat EcoStruxure Building Operation -alustaan. Näiden kahden laitteen välillä ei ole merkittäviä toiminnallisia tai teknisiä eroja, sillä molemmat tarjoavat saman suorituskyvyn, liitettävyydenmahdollisuudet ja ohjelmointirajapinnat rakennusten talotekniikan hallintaan. (Schneider Electric 2020.)

SmartX AS-P on alkuperäinen nimi, jota käytettiin laajasti Schneider Electricin aiemmassa SmartStruxure-tuotepiheessä (Schneider Electric 2020). Myöhemmin yhtiö siirtyi käyttämään SpaceLogic-tuotemerkkiä osana laajempaa strategiaa, jonka tavoitteena oli yhtenäistää rakennusautomaatiojärjestelmien brändäys EcoStruxure-konseptin alle (Schneider Electric 2024). Tässä yhteydessä SmartX AS-P korvattiin nimellisesti SpaceLogic AS-P -mallilla. Lyhenne "NL" SpaceLogic AS-P-NL -mallin nimessä viittaa "Non-Localized"-versioon, mikä

tarkoittaa, että kyseinen ohjain ei sisällä valmiiksi määriteltyjä aluekohtaisia asetuksia tai kielipaketteja (Schneider Electric 2018). Tämä tekee siitä joustavan vaihtoehdon kansainvälisiin käyttötarkoituksiin, joissa halutaan asentaa ja konfiguroida järjestelmä alusta alkaen kohdeympäristön vaatimusten mukaisesti.

SmartX AS-P ja SpaceLogic AS-P-NL ovat teknisesti yhteneväisiä laitteita, joiden suurimmat erot löytyvät tuotemerkkimuutoksesta ja lokalisaatioon liittyvästä versiosta. Käytännön suunnittelussa, ohjelmoinnissa ja käyttöönotossa ne palvelevat samoja tarkoituksia, eikä niiden välillä ole merkittäviä yhteensopivuusongelmia.

### **6.3.2 SpaceLogic UI-16**

VAK-keskukseen vaaditaan lämpötila-antureita varten I/O moduulin lisäystä. Keskus sisältää jo yhden SpaceLogic UI-16-moduulin, joten toisen samankaltaisen lisääminen varmistaa yhteensopivuuden.

SpaceLogic UI-16 on teknisesti identtinen SmartX Controller UI-16:n kanssa, mutta se kuuluu uudempaan SpaceLogic-tuoteperheeseen. Tämä nimeämissuutos heijastaa Schneider Electricin strategiaa yhtenäistää tuotteidensa brändäystä EcoStruxure-konseptin alla. SpaceLogic UI-16 tarjoaa samat 16 universaalia tuloa ja tukee samoja signaalityyppejä kuin edeltäjänsä .

### **6.3.3 SpaceLogic AO-V-8**

EC-puhaltimien ohjaukseen käytetään Schneiderin SpaceLogic AO-V-8-analogilähtömoduulia. Schneider Electricin SpaceLogic AO-V-8 on 8-kanavainen analoginen jännitelähtömoduuli, joka on suunniteltu rakennusautomaatiojärjestelmiin osaksi EcoStruxure Building Operation -alustaa (Schneider Electric 2024). Moduuli tuottaa lineaarisia 0–10 V:n jännitesignaaleja, joita käytetään yleisesti nopeussäädettävien sähkölaitteiden, kuten EC-puhaltimien, ohjaamiseen. AO-V-8:n lähtösignaalit ovat tarkkuudeltaan  $\pm 100$  mV:n ja soveltuvat käytettäväksi

kohteissa, joissa vaaditaan tarkkaa ja säädettävää ohjausta, kuten ilmanvaihdon tarpeenmukaisessa säätelyssä (Electrika 2025).

EC-puhaltimet hyödyntävät sisäistä elektroniikkaa, joka muuntaa tasajännitteen harjattoman moottorin pyörimisliikkeeksi, ja ne voidaan säätää suoraan 0–10 V:n ohjaussignaalin avulla. Kun SpaceLogic AO-V-8:n lähtökanava liitetään EC-puhaltimen jänniteohjaustuloon, 0 V:n signaali vastaa puhaltimen pysäytystä ja 10 V:n signaali maksiminopeutta. Väliltä tulevat arvot mahdollistavat portaattoman säätelyn, jolloin rakennusautomaatiojärjestelmä voi mukauttaa ilmanvaihtoa reaaliaikaisesti esimerkiksi lämpötila-, kosteus- tai hiilidioksidiantureiden mittaustietojen perusteella. (Schneider Electric 2021.)

Lähtöjen vähimmäiskuormavastus on 5 k $\Omega$  ja kuormitusvirta-alue -1–+2 mA, mikä varmistaa yhteensopivuuden EC-moottoreiden ohjauslogiikan kanssa (Schneider Electric 2024). Moduuli on suunniteltu yhteensopivaksi SpaceLogic-ohjainten, kuten AS-P:n kanssa, ja sen kautta jännitelähtöjä voidaan hallita ohjelmallisesti järjestelmän logiikan mukaan. Tämä mahdollistaa energiatehokkaan ilmanvaihdon hallinnan sekä joustavan integroinnin rakennuksen muuhun automaatioon ilman erillisiä säätimiä. SpaceLogic AO-V-8 tarjoaa vakaan ja häiriöttömän ohjausratkaisun, joka täyttää kansainväliset sähköturvallisuus- ja EMC-standardit, ja se soveltuu käytettäväksi useissa HVAC-sovelluksissa. (Schneider Electric 2024).

## 6.4 Ohjelma

Kaappien jäähdytys toimii automaattisesti kaappikohtaisen lämpötila-anturin mitaustiedon perusteella. Jokaisessa kaapissa on PT1000-lämpötila-anturi, jonka signaali tuodaan järjestelmään analogisena tulona. EC-kanavapuhaltimia ohjataan analogisella 0–10 V:n jännitesignaalin avulla, joka tuotetaan SpaceLogic AO-V-8-moduulilla.

Ohjelmassa määritetään jäähdytyksen säätörajaksi 20 °C:n. Kun kaapin lämpötila ylittää tämän rajan, puhallin käynnistyy portaattomasti ja säätö etenee seuraavasti:

- alle 20 °C:n puhallin ei käy (0 V)

- 20–30 °C:n puhaltimen ohjausjännite nousee lineaarisesti 1–10 V:n
- yli 30 °C:n puhallin käy täydellä teholla (10 V).

Linjauksessa käytetään skaalausfunktiota, joka laskee ohjausjännitteen lämpötilaeron perusteella. Lisäksi ohjelmassa on ylikuumenemishälytys, joka aktivoituu, jos lämpötila ylittää 40 °C:n. Hälytys näkyy käyttöliittymässä.

Ohjelmaan voidaan lisätä myös käsikäyttötoiminto (manuaalitila). Tällöin järjestelmä ohittaa automaattisen lämpötilasäädön ja puhaltimen ohjausjännite annetaan suoraan käyttöliittymässä määritellyn arvon mukaan, esimerkiksi liukusäätimestä. Jokaiselle kaapille voidaan määrittää oma käsikäyttöasetus, jolloin yksittäisiä jäähdytysyksiköitä voidaan testata tai säätää tilapäisesti ilman vaikutusta muihin kaappeihin.

## 6.5 Laitekaappien käyttöliittymä

Laitekaappien jäähdytyksen käyttöliittymä keskittyy kaappien lämpötilamittauksiin ja puhallinohjaukseen. Käyttäjä voi valita kaapin ja nähdä sen sisälämpötilan sekä puhaltimen toimintatiedot, kuten nopeuden ja ohjaussignaalin tason. Ohjaus toimii automaattisesti lämpötila-arvojen perusteella, mutta myös manuaalinen säätö on mahdollista.

Käyttöliittymässä tulisi näkyä seuraavat:

- kaapin lämpötila
- asetustempötila (Setpoint): arvo, jota järjestelmä pyrkii ylläpitämään
- ohjaustila (Mode): Käyttäjä voi valita, toimiiko kaapin jäähdytys automaattisesti lämpötilan mukaan vai käsikäytössä. Tilavalinta esitetään kytkimenä

- tehosäätö (Teho): Manuaalillassa käyttäjä voi säätää puhaltimen tehoa suoraan liukusäätimestä, joka esittää säädettävän ohjausjännitteen tai tehoprocentin.

Käyttöliittymän tavoitteena on mahdollistaa yksittäisten kaappien valvonta ja ohjaus helposti yhdestä näkymästä. Tiedot ovat selkeästi eroteltavissa. Kun automaattinen tila on päällä, säätö tapahtuu lämpötilaeron perusteella järjestelmälogiikan mukaisesti, ja manuaalillassa käyttäjä voi säätää puhallintehoa riippumattomasti lämpötilasta.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena oli laatia suunnitelma NUVE-LABin laboratorion ilmanvaihtojärjestelmän ja laitekaappien jäähdytyksen päivittämiseksi. Työn lähtökohta oli käytännön ongelma: nykyinen järjestelmä ei mahdollistanut riittävää lämpötilanhallintaa, eikä se tukenut laboratorion tarpeita joustavan ja tarkasti hallittavan automaation näkökulmasta. Työssä kartoitettiin lähtötilanne, tunnistettiin tekniset rajoitteet ja laadittiin nykyaikainen ohjausratkaisu hyödyntäen Schneider Electricin EcoStruxure Building Operation alustaa. Suunnittelussa kiinnitettiin erityistä huomiota järjestelmän skaalautuvuuteen, käytettävyyteen ja ylläpidettävyyteen.

Laitekaappien jäähdytys toteutettiin automaattisesti säätäväksi kokonaisuudeksi, joka reagoi reaaliaikaisesti lämpötila-antureiden mittaustietoon. Tämän lisäksi mukaan sisällytettiin mahdollisuus käsiohjaukseen, jotta käyttäjällä säilyy valmius toimia joustavasti esimerkiksi huolto- tai testitilanteissa. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus puolestaan muutettiin manuaalipainotteiseksi, jolloin käyttäjä voi säätää puhaltimien ja nosto-ovien toimintaa suoraan käyttöliittymästä. Tämä ratkaisu vastaa testausympäristön vaatimuksia, joissa on usein tarpeen säilyttää suora operatiivinen hallinta ilman automaation väliintuloa.

Lopputuloksena syntyi kattava ja toteutuskelpoinen suunnitelma, joka yhdistää nykyaikaisen rakennusautomaation tekniset mahdollisuudet käytännön toiminnallisuuksiin. Työ ei sisältänyt itse järjestelmän käyttöönottoa tai asennusta, joten suunnitelman toimivuutta ei voitu arvioida käytännössä. Tämän vuoksi jatkokehityksessä on tärkeää testata erityisesti ohjelmointilogiikka ja käyttöliittymien käytettävyys yhteistyössä järjestelmätoimittajan kanssa. Tästä huolimatta esitetyt ratkaisut pohjautuvat vakiintuneisiin alan käytäntöihin ja ovat sellaisenaan siirrettävissä toteutukseen.

Ammatillisesti työ tarjoaa selkeän esimerkin siitä, kuinka rakennusautomaation modernisointia voidaan toteuttaa modulaarisesti ja vaiheittain ilman, että koko järjestelmä täytyy uusua. Ohjauslogiikka, komponenttivalinnat ja käyttöliittymät on

suunniteltu siten, että ne voidaan myöhemmin liittää osaksi suurempaa automaatioverkkoa.

Vaikka ilmanvaihdon manuaalinen ohjaus on tässä projektissa perusteltu ratkaisu budjetin, aikataulun ja teknisen yksinkertaisuuden vuoksi, tulevaisuudessa järjestelmää olisi mahdollista laajentaa kohti automaattista säätöä. Yksi kehityspolku voisi olla monimuuttujasäädön käyttöönotto, jossa ohjaus perustuisi samanaikaisesti useisiin mitattaviin suureisiin, kuten lämpötilaan, kosteuteen, ovien asentoon tai ulkoilman olosuhteisiin.

Monimuuttujasäätö mahdollistaisi älykkään ja tilanteeseen mukautuvan ilmanvaihdon hallinnan esimerkiksi laboratoriotiloissa, joissa kuormitus ja ilmanvaihdon tarve voivat vaihdella nopeasti. Tällainen säätö parantaisi energiatehokkuutta, vakauttaisi sisäilmaolosuhteita ja vähentäisi käyttäjän tarvetta tehdä jatkuvia säätötoimenpiteitä.

Toteutus edellyttäisi kuitenkin lämpötila- ja muiden antureiden asentamista, signaalien käsittelyä sekä säätöalgoritmien ohjelmointia, mikä lisäisi järjestelmän monimutkaisuutta ja kustannuksia. Tästä syystä automaattinen säätö on jätetty tässä vaiheessa pois. Sen lisäämistä voidaan kuitenkin harkita tulevaisuudessa järjestelmäpäivityksissä tai laajennuksissa, jos käyttötarpeet ja budjetti sen sallivat.

Työskentely opinnäytetyön parissa on syventänyt ymmärrystäni rakennusautomaation kokonaisvaltaisesta suunnittelusta, kenttälaitteiden hallinnasta ja käyttöliittymien toteutuksesta. Olen oppinut, kuinka tärkeää on huomioida jo suunnitteluvaiheessa järjestelmän käytettävyys, laajennettavuus ja ylläpidettävyys. Työ antaa hyvän pohjan tuleviin automaatiohankkeisiin, joissa yhdistyvät tekninen osaaminen, käytännön toteutuskelpoisuus ja kyky ymmärtää järjestelmäkokonaisuuksia. Näiltä osin koen, että opinnäytetyö vastaa hyvin nykyisen automaatioalan vaatimuksiin ja toimintaympäristön tarpeisiin.

## LÄHTEET

ASSA ABLOY 2006. Product datasheet Overhead sectional door ASSA ABLOY OH1042FG. Luettavissa: <https://www.assaabloyentrance.com/master-blue-print/fi/product-assets/commercial-industrial-doors/oh1042fg/downloads/product-datasheet/Assa%20Abloy%20OH1042FG%20Overhead%20sectional%20door.pdf> Luettu: 5.5.2025.

Denut Mikael 2024. Tehokas ja hiljainen ilmanvaihto. Luettavissa: <https://www.aeris.fi/post/tehokas-ja-hiljainen-ilmanvaihto-systemair-k-125-kana-vapuhallin-ratkaisuna> Luettu: 19.5.2025.

Dwyer Omega s.a. RTD vs Thermistors: Understanding the Differences. Luettavissa: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/rtd-vs-thermistors> Luettu: 9.5.2025.

ebm-papst 2025. What is EC Fan Technology? Luettavissa: <https://www.ebmpapst.com/us/en/newsroom/blog/what-is-ec-fan-technology.html> Luettu: 19.5.2025.

Electrika 2025. AO-V-8 8 Analog Out Voltage. Luettavissa: <https://www.electrika.com/catalogues/schneider-electric-buildings/smartstruxure-soln/sxwaov8xx10001/part/151974> Luettu: 22.5.2025.

Fläkt Woods 2018. Product catalogue: JM Aerofoil series. FläktGroup. Luettavissa: [https://www.lbfans.co.uk/wp-content/uploads/2018/02/JM-DATA.pdf?srsId=AfmBOo-qIjCKEaZeoJ67yiP8wmXiQ2ID8xyWbFEUTsxO\\_H40m7PqMFR4U](https://www.lbfans.co.uk/wp-content/uploads/2018/02/JM-DATA.pdf?srsId=AfmBOo-qIjCKEaZeoJ67yiP8wmXiQ2ID8xyWbFEUTsxO_H40m7PqMFR4U) Luettu: 5.5.2025.

Murata Manufacturing Co., Ltd. s.a. What are NTC thermistors? And its principle of operation. Luettavissa: <https://www.murata.com/en-us/products/thermistor/ntc/overview/basic/about> Luettu: 8.5.2025.

Oulun ammattikorkeakoulu 2024. Tutkimus ja kehitys. Tutkimusohjelmat. Luettavissa: <https://oamk.fi/kehitysalustat/nuve-lab/> Luettu: 22.4.2025.

Schiller GmbH 2025. Type EC. Luettavissa: <https://www.cfm-schiller.de/en/vibration-isolation-technology/products/level-control-system/type-ec/> Luettu: 22.4.2025.

Schneider Electric 2018. EcoStruxure Building Management Overview. Luettavissa: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=9701&locale=en-US&productversion=2.0> Luettu: 6.5.2025.

Schneider Electric 2018. SpaceLogic™ AS-P-NL. Luettavissa: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/Topics/Show.castle?id=13809&productversion=7.0&locale=fi-FI> Luettu: 21.5.2025.

Schneider Electric 2019. Universal Inputs/Outputs. Luettavissa: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=11120&locale=it-IT&productversion=3.3> Luettu: 21.5.2025.

Schneider Electric 2020. AS-P Specification Sheet. Luettavissa: <https://portal2.schneider-electric.com/Contents/docs/SmartX%20AS-P%20Server%20-%20SmartX%20Controller%20Specification%20Sheet.pdf> Luettu: 6.5.2025.

Schneider Electric 2021. UI-16 I/O Module. Luettavissa: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=7397&locale=es-ES&productversion=3.0> Luettu: 14.5.2025.

Schneider Electric 2024. DO-FA-12 and DO-FA-12-H. Luettavissa: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/Topics/show.castle?id=8069&locale=en-US&productversion=7.0> Luettu: 14.5.2025.

Schneider Electric 2024. SpaceLogic™ AS-P Automation Server. Luettavissa: <https://www.se.com/us/en/product-range/106275233-spacelogic-asp-automation-server/#products> Luettu: 21.5.2025.

Schneider Electric 2025 EcoStruxure™ Building Operation Software. Luettavissa: <https://www.se.com/us/en/product-range/62111-ecostruxure-building-operation-software/se.com+2se.com+2se.com+2> Luettu: 6.5.2025.

Schneider Electric s.a. Data Center Cooling & Room Air Conditioners. Luettavissa: <https://www.se.com/us/en/product-category/7200-cooling-solutions/> Luettu: 19.5.2025.

Scribd 2020. Fise tehnice ventilatoare – JM Aerofoil. Luettavissa: <https://www.scribd.com/document/450872001/Fise-Tehnice-Ventilatoare-1-Mall-Targoviste> Luettu: 5.5.2025.

Systemair s.a. K125 EC sileo. Luettavissa: <https://www.systemair.com/en/products/fans/duct-fans/circular-duct-fans/k> Luettu: 18.6.2025.

Texas Instruments 2022. Understanding RTD Characteristics and Applications. Luettavissa: <https://www.ti.com/lit/an/sbaa275a/sbaa275a.pdf> Luettu: 15.5.2025.

Vents s.a. VK 125 EC. Luettavissa: <https://ventilation-system.com/product/vk-125-ec/> Luettu: 18.6.2025.

Ziehl-Abegg 2025. Industrial Ventilation & Commercial Ventilation Systems. Luettavissa: <https://www.ziehl-abegg.com/en/product-range/ventilation-systems> Luettu: 19.5.2025.