



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Peter Juutilainen

Ilmanvaihtokoneen ohjaus Carelin ohjelmoitavalla logiikalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.3.2020

Tekijä Otsikko	Peter Juutilainen Ilmanvaihtokoneen ohjaus Carelin ohjelmoitavalla logiikalla
Sivumäärä Aika	33 sivua + 2 liitettä 30.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	tuotekehitysinsinööri Jarno Liukkonen lehtori Reijo Leinonen
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tehdä eräälle ilmanvaihtokoneita valmistavalle yritykselle ilmanvaihtokoneen ohjaus ohjelmoitavan logiikan avulla. Työhön oli valittava siihen soveltuva ohjelmoitava logiikka ja luotava sitä varten ohjelma. Ohjelman tarkoitus oli soveltua sellaisenaan yrityksen yleisimpien ilmanvaihtokoneiden ohjaamiseen, minkä lisäksi ohjelma toimisi pohjana laajemmalle ilmanvaihtokonevalikoimalle jatkokehitystä ajatellen. Ohjelman rakenne suunniteltiin niin, että sen käyttöliittymä soveltuisi sekä ohjelmoitavan logiikan näyttöpaneelille että web-selaimelle. Itse käyttöliittymä rakennettiin vielä tässä vaiheessa ainoastaan ohjelmoitavan logiikan näyttöpaneelille.</p> <p>Työssä selvitettiin ensin ilmanvaihtokoneiden yleisimmät toimintaperiaatteet sekä ohjelmoitavan logiikan kehitysympäristön toiminta. Ohjelman rakenne pyrittiin sen jälkeen suunnittelemaan näiden pohjalta mahdollisimman hyvin skaalautuvaksi jatkokehitystä ajatellen. Ohjelmoitavaksi logiikaksi valikoitui Carelin c.pCO Large sen edullisuuden ja kattavien toiminnallisuuksien takia. Ohjelman valmistuttua sitä testattiin Carelin kehitysympäristön simulaattorilla, Carelin fyysisellä pöytätestisimulaattorilla ja lopuksi ilmanvaihtokoneella.</p> <p>Tuloksena insinööriyö tuotti työn tilaajalle ohjauksen osalle sen valmistamista ilmanvaihtokoneista. Yritys pystyy tämän työn avulla jo sellaisenaan tulevaisuudessa tarjoamaan asiakkailleen kokonaisvaltaisemman ratkaisun ilmanvaihtoon, joka todennäköisesti myös madaltaa ilmanvaihtoon sisältyviä kokonaiskustannuksia asiakkaan näkökulmasta. Lisäksi työssä tehty ohjelma rakennettiin niin, että sitä on pienellä vaivalla mahdollista jatkokehittää yrityksen kaikille ilmanvaihtokoneille soveltuvaksi.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihtokone, PLC, ohjelmoitava logiikka, FBD

Author Title	Peter Juutilainen Control of an Air Handling Unit Using Carel's Programmable Logic Controller
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 30 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Jarno Liukkonen, Product Development Engineer Reijo Lehtonen, Senior Lecturer
<p>The goal of this final year project was to create control for air handling units using a programmable logic controller for a company that produces air handling units. A suitable programmable logic controller had to be chosen and a program had to be created. The purpose of the program was to control most of the company's air handling units as well as to provide a suitable base for a wider selection of air handling units, allowing further development. The program was built so that its user interface could be built for the programmable logic controller's screen and for a webpage. The user interface for this final year project was created only for the programmable logic controller screen.</p> <p>Firstly, the general principles of air handling units and the controller's software had to be researched. Based on these, the structure of the program had to be planned to allow for easy scaling in further development. Carel's c.pCO Large was chosen to be the programmable logic controller for its affordability and for its multiple functionality. After the program was ready, it was tested with Carel's software's simulator, Carel's physical simulator and finally with an air handling unit.</p> <p>As result, this final year project produced for the company a control for most of their air handling unit products. As it is, the company can in the future offer its clients more comprehensive air exchange solutions, which will likely lower the total cost for the client. Also, the program is built to allow it to be further developed, with small effort, to be suitable for all of the company's air handling units.</p>	
Keywords	air handling unit, PLC, programmable logic, FBD

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihtokone	1
2.1	Puhaltimet	3
2.2	Sulkupellit	5
2.3	Suodattimet	6
2.4	Lämmöntalteenotto	7
2.4.1	Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	7
2.4.2	Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	8
2.4.3	Regeneratiiviset lämmönsiirtimet	9
2.4.4	Lämmöntalteenoton huurteenpoisto	10
2.5	Lämmityspatterit	11
2.6	Jäähdytyspatteri	12
3	Ohjelmoitava logiikka	13
3.1	Carelin c.pCO -logiikka	13
3.2	c.pCO:n kehitysympäristö	15
3.2.1	c.Strategy	16
3.2.2	c.Mask	18
3.2.3	c.Design	20
3.2.4	c.Factory	21
4	Ohjelma	22
4.1	Ohjelman rakenne	22
4.2	Funktiot ja toimintalohkot	24
4.3	Käyttäjäraja- pinnat	25
4.3.1	Käyttö paikallisesti maskien avulla	26
4.3.2	Käyttö etänä web-selaimen välityksellä	27
5	Ohjelman testaus	27

5.1	Pöytätestaus simulaattorilla	27
5.2	Testaukset ilmanvaihtokoneella	29
6	Yhteenveto	30
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1. Käyttöliittymän pääsivut	
	Liite 2. Testisuunnitelman pääpiirteet	

Lyhenteet

EC	<i>Electronically Commutated.</i> Elektronisesti kommutoitu.
FBD	<i>Function Block Diagram.</i> IEC 61131-3 standardin mukainen toimintalohko-kaavio-tyyppinen graafinen ohjelmointikieli.
FTP	<i>File Transfer Protocol.</i> TCP-protokollaa käyttävä tiedonsiirtomenetelmä.
I/O	<i>Input/output.</i> Sisääntulo/ulostulo.
LAN	<i>Local Area Network.</i> Rajoitettu paikallinen tietoliikenneverkko.
PLC	<i>Programmable Logic Controller.</i> Ohjelmoitava logiikka.
PM	<i>Permanent Magnet.</i> Kestomagneetti.
POU	<i>Program Organization Unit.</i> PLC-ohjelmoinnissa käytetty olio, joka sisältää ohjelman, funktion tai toimintalohkon koodin.
ST	<i>Structured Text.</i> IEC 61131-3 standardin mukainen tekstipohjainen ohjelmointikieli.

1 Johdanto

Insinööriyön toimeksiantajana on ilmanvaihtokoneita valmistava yritys, joka oli kiinnostunut integroimaan ilmanvaihtoratkaisuihinsa laitteiden ohjauksen. Toistaiseksi yritys oli ainoastaan valmistanut ilmanvaihtokoneita jättäen niiden ohjaukseen liittyvät ratkaisut toimialansa ulkopuolelle. Ohjauksen lisäämisen johdosta yritys voisi valmistaa tuotteita, jotka ratkaisisivat asiakkaidensa ilmanvaihtotarpeen kokonaisvaltaisemmin kuin aiemmat ratkaisut. Tämä helpottaisi asiakkaan osalta ilmanvaihdon kokonaisuuden toteuttamista haluamaansa kohteeseen sekä laskisi kokonaiskustannuksia asiakkaan näkökulmasta.

Tavoitteena oli selvittää ilmanvaihtokoneen toimintaperiaate sekä ohjelmoitavan logiikan kehitysympäristön toiminta ja tehdä näiden pohjalta suunnitelma ohjelman rakenteesta. Työn tilaajalta saatiin toimintaselostus, jossa määriteltiin yksityiskohtaisesti ohjelmalta vaaditut toiminnot. Ohjelmoitavaksi logiikaksi valikoitui Carelin c.pCO Large. Koska ilmanvaihtokoneita on useaa eri tyyppiä, valittiin ilmanvaihtokoneista alkuun muutama eri malli, joille ohjaus tehtiin. Näissä muutamassa mallissa oli ilmanvaihtokoneiden tyypillisimmät ominaisuudet, jotka toimivat pohjana suurelle osalle yrityksen ilmanvaihtokoneista. Työn jälkeen yritys pystyisi halutessaan pienellä vaivalla jatkokehittämään ohjelmaa toimimaan useammalla eri ilmanvaihtokonetypillä. Ohjelma oli tarkoitus tehdä käytettäväksi paikalliselta ohjelmoitavalta logiikalta, mutta niin, että se olisi helppo laajentaa myös etäkäytettäväksi web-selaimelta.

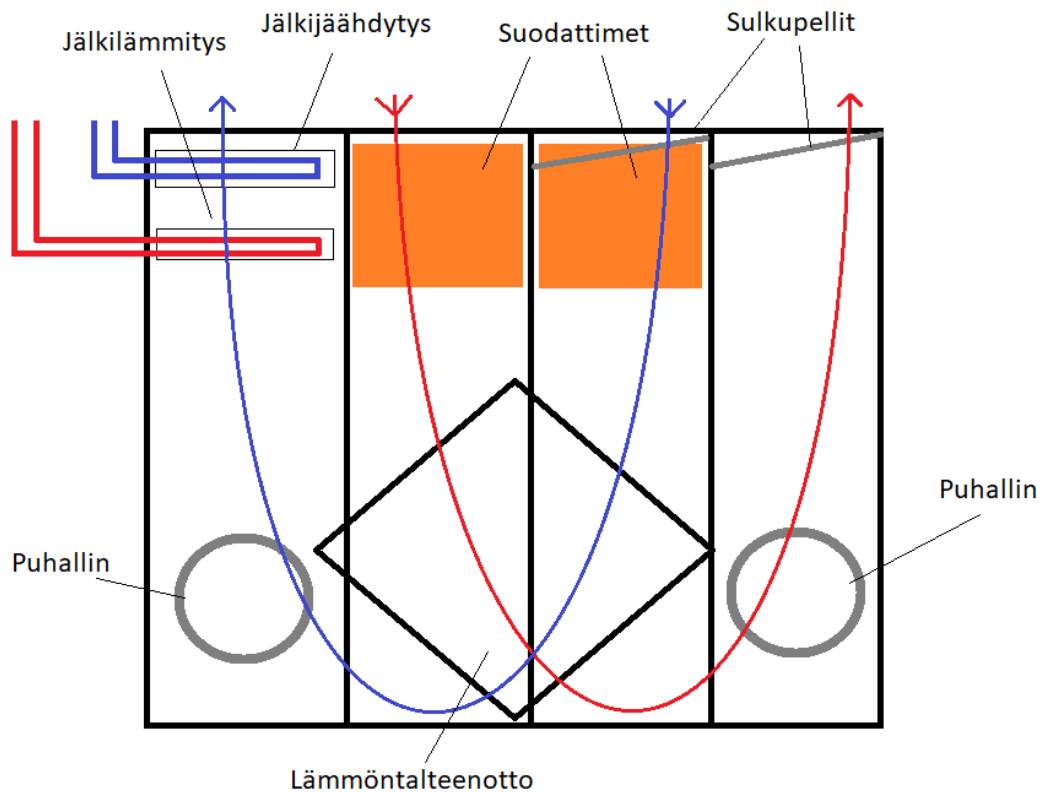
2 Ilmanvaihtokone

Ilmanvaihtokoneella tarkoitetaan tässä työssä mitä tahansa sellaista laitetta, joka käsittelee rakennuksen tulo- ja poistoilmaa. Ilmanvaihtokone on ilmastointijärjestelmän keskeisin osa. Ilmastointijärjestelmään kuuluu ilmanvaihtokoneen lisäksi kanavisto ja ilman huonekohtaiset käsittely-yksiköt säätöjärjestelmineen. Ulkoilma johdetaan kanavistoa pitkin ilmanvaihtokoneeseen, jonka kautta se kulkee kanavistoa pitkin rakennuksen tilaan tai huoneisiin. [1, s. 224.] Ympäristöministeriö on laatinut rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta määräykset ja ohjeet, joita on pyrittävä noudattamaan sisätilojen

suunnittelussa ja ylläpidossa. Näiden ohjeiden perustana on rakennuksen sisäilman terveellisyys, turvallisuus ja viihtyisyys. Ilmastointijärjestelmä toimii olennaisena osana näiden määräysten ja ohjeiden toteutumista. [2.]

Sisäilman viihtyvyys on kokonaisuus, joka koostuu useista eri tekijöistä. Näistä merkittävimpiä ovat ilman lämpötila, ilmankosteus, paine, ilman puhtaus, ilman liike ja pinnat. [1, s. 4.] Sisäilman terveellisyyteen taas vaikuttaa ilman lämpötila [3, s. 11], ilmanvaihdon suuruus [3, s.34–38], ilmankosteus [4] ja ilman epäpuhtaudet [1, s. 33–48]. Oikein suunnitellulla ja tehokkaalla ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa näihin niin, että saadaan rakennuksen sisäilmasta määräysten mukaisesti terveellinen, turvallinen ja viihtyisä.

Ilmanvaihtokoneeseen sisältyy tyypillisesti kaksi kanavaa, yksi tuloilmalle ja yksi poistoilmalle. Molemmissa kanavissa on omat puhaltimensa, jotka luovat kanaviin puhaltimien etupuolelle ylipaineen ja takapuolelle alipaineen. Ulkoilma kulkeutuu tällöin alipaineistettuun tuloilmakanavaan, josta se kulkeutuu puhaltimen läpi rakennuksen sisälle. Rakennuksen sisältä ilma kulkeutuu poistoilmakanavan alipaineistettuun osaan ja sieltä puhaltimen läpi ulos. Koneeseen on liitetty puhaltimien lisäksi usein myös muita ilman käsittelyyn tarkoitettuja osia, kuten lämmöntalteenotto, tulo- ja poistoilmasuodattimet, tulo- ja poistoilmapellit, lämmitys- ja jäähdytyspatteri, ilmankostutin ja ilmankuivain. Tässä työssä käsitellään näistä muodostuvia ilmanvaihtokoneiden eri variaatioita, lukuun ottamatta kostutusta ja kuivausta. Kuvassa 1 näkyy tässä työssä käsiteltyjen ilmanvaihtokoneiden toimintaperiaate.



Kuva 1. Ilmanvaihtokoneen osat ja toimintaperiaate ristilevylämmönsiirtimellä.

2.1 Puhaltimet

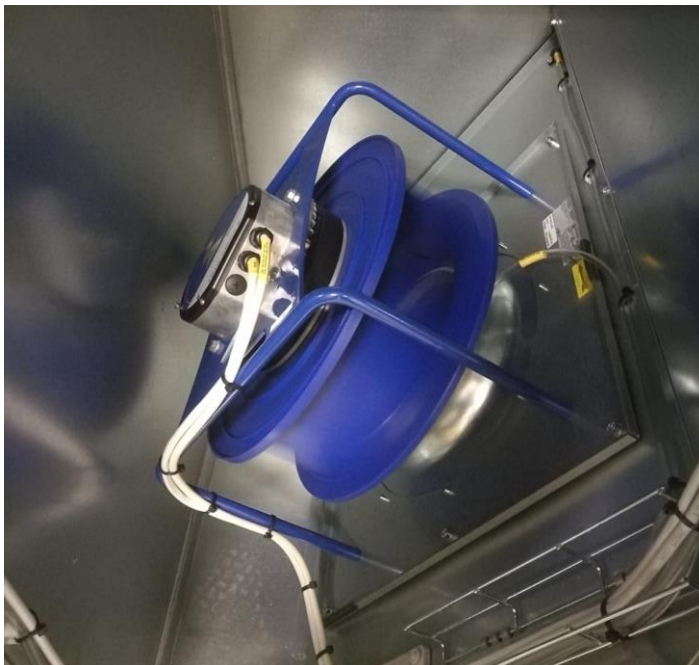
Tulo- ja poistoilmapuhaltimet saavat ilman liikkumaan pyörittämällä siipipyörää, jota usein ympäröi kaapu. Puhaltimet luokitellaan kolmeen luokkaan: pienpainepuhaltimiin (alle 600 J/kg), keskipainepuhaltimiin (600 J/kg–3000 J/kg) ja suurpainepuhaltimiin (yli 3000 J/kg). Koska puhaltimien synnyttämä paine-ero on riippuvainen virtaavasta aineesta, ovat luokat määritetty puhaltimien ominaishyötytyön mukaan, joka on väliaineesta riippumaton suure. Puhaltimen ominaishyötytyö lasketaan kaavalla 1:

$$y = \frac{P_{tF}}{\rho} \quad (1)$$

P_{tF} on puhaltimen paine-ero, Pa
 ρ on ilman tiheys

Puhaltimet lajitellaan niiden kokoluokkien lisäksi eri tyyppeihin niiden siipipyörävirtausten kulun perusteella. Neljä yleisintä tyyppiä ovat keskipakopuhallin, aksiaalipuhallin, puoliaksaalipuhallin ja poikittaisvirtauspuhallin. Puhaltimet valitaan ilmanvaihtokoneeseen käyttökohteen ilmanvaihtotarpeen mukaan, pääsääntöisesti tarvittavan ilmavirran perusteella. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat paine-ero, hyötysuhde, melun kehitys, tilantarve ja ominaiskäyrän muoto. [1, s. 147.]

Puhaltimien moottorit ovat nykyisin pääsääntöisesti EC-moottoreita (Electronically Commutated, elektronisesti kommutoitu), jotka ovat korvanneet vanhat muuntajasäätöiset 1-vaihemoottorit. EC-moottoreissa hyötysuhde on selvästi parempi kuin muuntajasäätöisessä 1-vaihemoottorissa. Lisäksi niillä on laaja pyörimisnopeusalue, minkä takia ne soveltuvat hyvin suoraan käyttöön puhaltimiin. EC-moottoria ei voi kytkeä suoraan sähköverkkoon, vaan se vaatii aina pyörimisnopeuden säätöyksikön. Moottorin maksimiteho rajoittuu puhallinkäytössä mekaanisen rakenteensa vuoksi noin 5 kilowattiin. Suuremmilla tehoilla on käytettävä 3-vaiheoikosulkumoottoria tai PM-moottoria (Permanent Magnet Motor, kestopagneettimoottori). Oikosulkumoottori voidaan kytkeä 3 x 400 V:n verkkoon suoraan tai taajuusmuuttujan kautta. PM-moottori vaatii aina pyörimisnopeudensäätimen, joka on yleensä nimenomaan PM-moottorikäyttöön suunniteltu taajuusmuuttaja. [5, s. 174–175.] Ilmanvaihtokoneeseen asennettu EC-moottori näkyy kuvassa 2.



Kuva 2. EC-moottorilla toimiva puhallin ilmanvaihtokoneessa.

Puhaltimissa syntyy kitkan takia hieman lämpöä, joka lämmittää myös puhallettavaa ilmaa. Lämpeneminen noudattaa kaavaa 2 [1, s. 126].

$$\Delta t = \frac{p_t(1 - \eta)}{\rho \cdot c_p \cdot \eta} \quad (2)$$

p_t on paine-ero, Pa

η on hyötysuhde

ρ on ilman tiheys, kg/m³

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/kg°C

Puhaltimien tuottama lämpö on yleensä suurimmillaankin vain muutaman celsius-asteen luokkaa, minkä takia sitä ei yleensä suoraan huomioida koneen rakennetta suunniteltaessa. Koneen lämmityksen ohjauksen kannalta puhaltimien tuottama lämpö ei myöskään ole olennainen tieto, koska lämmityksen ohjaus määräytyy pääosin sellaisten lämpötila-antureiden arvojen perusteella, jotka sijaitsevat koneessa puhaltimien jälkeen.

2.2 Sulkupellit

Sulkupellit (kuva 3) toimivat venttiilin tavoin sulkien tai avaten tulo- ja poistoilman virtauksen. Virtaus suljetaan mahdollisimman tiiviisti tilanteissa, missä ilman ei haluta kulkevan ilmanvaihtokoneen läpi. Samalla halutaan minimoida lämpövuoto. Sulkupellin olennaiset ominaisuudet ovat: suuri pinta-ala läpivirtaavan painehäviön minimoimiseksi, tiiviys, lämpöeristys ja paineenkesto. Suljetun pellin ilmavuoto on määritelty standardissa SFS-EN 1751. Siihen vaikuttavat pellin säleen jäykkyys, säleen reunatiivisteiden laatu ja säleiden ja kehyksen välinen tiivistys. Pelti on valittava ilmanvaihtokoneeseen niin, että sen maksimi ei ylitä missään tilanteessa. [5, s. 166.]



Kuva 3. Sulkupellit ja niitä ohjaavat toimilaitteet ilmanvaihtokoneessa.

2.3 Suodattimet

Suodattimien tehtävä on puhdistaa ilmanvaihtokoneeseen tulevan ulkoilman epäpuhtauksia tilojen tarpeen mukaan. Näitä epäpuhtauksia voivat olla luonnosta tulevat epäpuhtaudet, kuten virukset, siitepölyt ja kasvien itiöt sekä ihmisten aktiviteeteista tulevat epäpuhtaudet, kuten energian tuotannosta, liikenteestä ja teollisuudesta tulevat saasteet. Suodattimet ovat tyypillisesti sijoiteltu ilmanvaihtokoneeseen heti sulkupellin jälkeen, jolloin suodattimet suojaavat myös konetta epäpuhtauksilta vähentäen koneen puhdistustarvetta. Ulkoilma tulee ohjata kanaviin niin, että suodattimet eivät pääse kastumaan. [5, s. 167.]

Suodatuksen tulee olla standardin SFS-EN 13779 mukaisesti kaksiportainen. Standardi ohjeistaa toisen portaan sijoitettavaksi ilmankäsittelyosien jälkeen, mutta tavallisesti toinen porras sijoitetaan heti esisuodattimen perään. Ainoastaan puhtaampaa ilmanlaatua vaativissa tiloissa, kuten sairaaloissa ja puhdastiloissa, toinen porras sijoitetaan tavallisesti koneen ilmankäsittelyosien jälkeen. [5, s. 167.]

Suodattimen tukkoisuus mitataan paine-erolla suodattimen yli. Suodatin on vaihdettava viimeistään silloin kun konekohtaisesti suunniteltu optimaalinen loppupainehäviö on saavutettu. Suodattimet kuitenkin suositellaan vaihdettavaksi hygieenisistä syistä vähintään kerran vuodessa [5, s. 168].

2.4 Lämmöntalteenotto

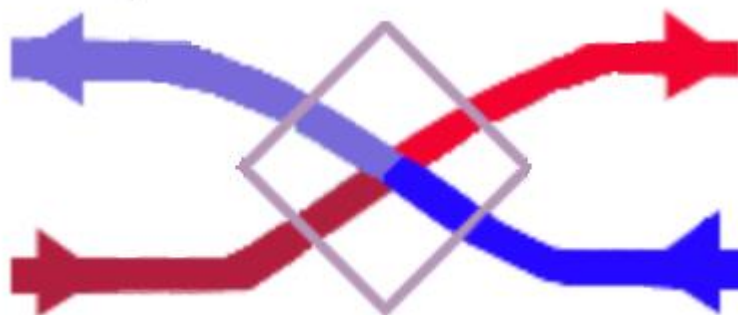
Lämmöntalteenoton tarkoitus on siirtää poistoilman lämpösisältöä tuloilmaan lämmönsiirtimien avulla. Lämmönsiirron tehokkuus riippuu tulo- ja poistoilman lämpötilaerosta sekä lämmöntalteenoton hyötysuhteesta. Lämmöntalteenoton hyötysuhde vaihtelee eri lämmönsiirrintyyppien mukaan. Eri lämmönsiirrintyyppejä ovat suorat ja epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet, regeneratiiviset lämmönsiirtimet ja märkä lämmönsiirto. Regeneratiivisissa, lämpöä varastoivissa, lämmönsiirtimissä kiinteä aine vuorotellen lämpenee ja jäähtyy ilmavirran vaikutuksesta. Rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä lämmönsiirto tapahtuu joko suoraan ilmavirtoja erottavan levyn lävitse tai epäsuoraan nestemäisen välittäjäaineen kautta. Harvoin käytettävässä, märässä lämmönsiirrosta, ilmavirta on suorassa kosketuksessa välittävään veteen. [1, s. 285.]

2.4.1 Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Suorissa rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä käytetään levy- tai putkirakennetta. Eri ilmavirtausgeometrioita ovat myötävirtaus, vastavirtaus ja ristivirtaus. Vastavirtauksella saadaan näistä paras hyötysuhde, mutta ristivirtaus on kuitenkin yleisin [1, s. 286]. Vastavirtauksessa ilmavirtojen täytyy kulkea myös ilmanvaihtokoneessa vastakkaisiin suuntiin, mikä rajoittaa kanavaliitäntöjen mahdollisuuksia. Lisäksi vastavirtasiirtimen koko on suurempi kuin ristivirtasiirtimen. [5, s. 183.] Koska lämmönsiirtopinnan ala on olennainen osa lämmönsiirtimen tehoa, pyritään yleensä saamaan mahdollisimman suuri lämmönsiirtopinta pieneen tilavuuteen. Nämä ominaisuudet tekevät ristivirtauslämmönsiirtimestä useimpiin tapauksiin parhaiten soveltuvimman.

Levylämmönsiirrin on yleinen ratkaisu pientalojen ilmanvaihdossa. Se muodostuu joukosta ohuita ja hyvin lämpöä johtavia levyjä, joiden välissä ilma kulkee. Joka toisessa välissä kulkee ulkoa tullutta tuloilmaa ja joka toisessa sisältä tullutta poistoilmaa. Näiden

välinen lämpöero tasaantuu, jolloin tuloilmaa voidaan joko lämmittää tai jäähdyttää tarpeen mukaan. [5, s. 180–182.] Kylmällä ulkoilmalla poistoilma saattaa jäähtyä alle kastepisteensä kondensoiden vesihöyryn levyn pinnalle. Kondensoiva vesi tulee johtaa pois koneesta viemäriin ja se onnistuu helpoiten, jos poistoilma virtaa ylhäältä alaspäin. [1, s. 287.] Kuvassa 4 näkyy levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.



Kuva 4. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate [6].

Lämmönsiirtimen otsapinta on jaettu sulkupeltien avulla kahdesta neljään eri lohkokoon. Lisäksi lämmönsiirtimessä on ohituspelti, jonka kautta kulkemalla ilman lämpö ei vaihdu. Näitä peltejä säätämällä voidaan säätää lämmönsiirtimen vaikutusta tuloilmaan tarpeen mukaan. Ristivirta levylämmönsiirtimessä maksimihyötysuhde on 60–65 % [5, s. 181] ja vastavirta levylämmönsiirtimessä parhaillaan yli 80 % [5, s. 183].

2.4.2 Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

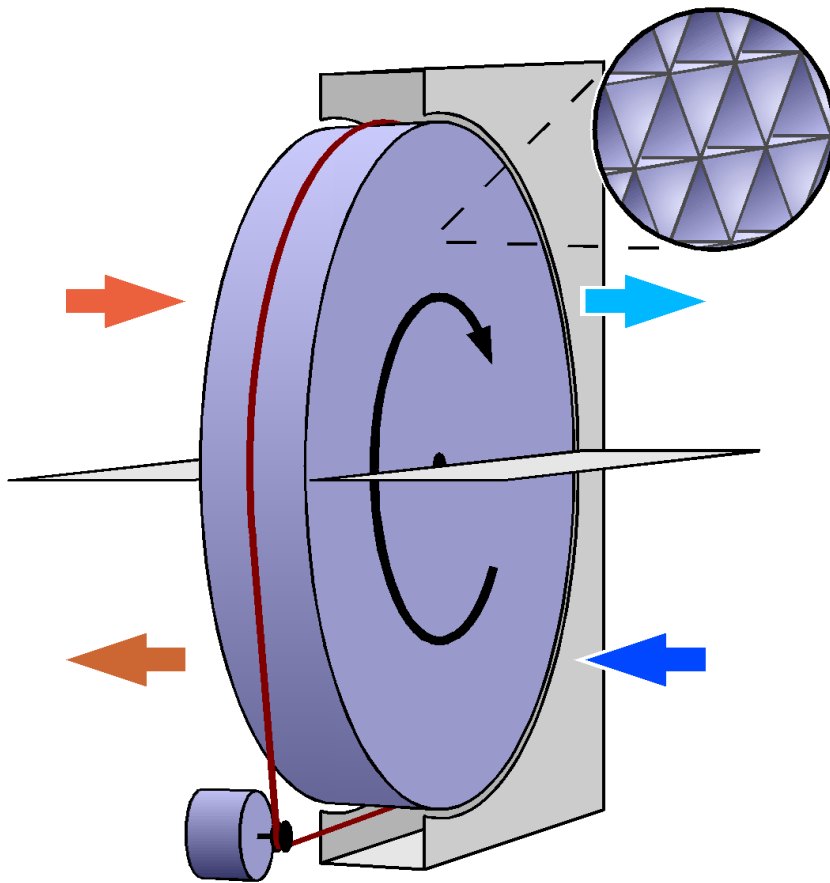
Epäsuoriin rekuperatiivisiin lämmönsiirtimiin kuuluu nestekiertoinen järjestelmä, lämpöputkipatteri ja lämpöpumput. *Nestekiertoisessa järjestelmässä* tuloilma kulkee tuloilmapatterin läpi ja poistoilma poistoilmapatterin läpi. Koneen ollessa lämmityskäytöllä, poistoilma lämmittää poistoilmapatterin sisällä olevan nesteen, josta pumppu ohjaa nesteen tuloilmapuolelle. Tuloilmapuolen patteri luovuttaa tämän lämmön sisään virtaavaan ilmaan, jonka jälkeen jäähtynyt neste kiertää takaisin poistoilmapatteriin. Kiertävä neste on yleensä 30–40-prosenttista vesietyleeniglykoliseosta. Tyypillinen hyötysuhde on noin 50 %. [1, s. 287.]

Lämpöputkipatterissa käytetään väliaineena vuorotellen höyrystyvää ja lauhtuvaa kylmäainetta. Kapillaarivoima kuljettaa lauhteen höyrystymisosaan, jossa se lämpenee. Lämpeneminen saa lauhteen höyrystymään, jonka seurauksena se kulkeutuu lauhtumispuolelle. Lauhtuessaan kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi aloittaen kierron alusta. Lämpöputkipatterissa tyypillinen hyötysuhde on 50–80 %. [1, s. 288.]

Lämpöpumpuissa höyrystynyttä kylmäainetta paineistetaan lauhduttimelle kompressorin avulla. Paine nostaa kylmäaineen lämpötilaa, jolloin kylmäaine luovuttaa lämpöä tuloilmakanavassa sijaitsevaan lauhduttimeen ja lämmittää ulkoa tulevaa ilmaa. Lauhtunut, nyt nestemäiseksi muuttunut kylmäaine ohjataan lauhduttimesta paisuntaventtiiliin, joka laskee kylmäaineen painetta, minkä seurauksena kylmäaineen lämpötila laskee. Jäähdytynyt kylmäaine ohjataan paisuntaventtiilistä poistoilmakanavassa sijaitsevalle höyrystimelle. Höyrystimessä sisäilma luovuttaa kylmäaineelle lämpöä, josta höyrystynyt kylmäaine kulkee taas takaisin kompressorin. Kesäaikaan prosessi voidaan kääntää toisinpäin, jolloin lämpöpumppu jäähdyttää tulevaa sisäilmaa. Koska lämpöpumpun avulla voidaan jäähdyttää poistoilma kylmemmäksi kuin ulkoilma ja lämmittää tuloilma lämpimämmäksi kuin sisäilma, saadaan talteenoton hyötysuhteeksi yli 100 % [1, s. 290].

2.4.3 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet

Regeneratiivisiin, lämpöä varaaviin lämmönsiirtimiin kuuluu pyörivät kiekkomaiset roottorit ja virtausta vaihtavat järjestelmät. *Kiekkomaisessa roottorissa* (kuva 5) poistoilma lämmittää roottorin toista puolta. Roottori koostuu hyvin lämpöä johtavasta kennomaisesta materiaalista, jossa on kolmion muotoisia virtauskanavia, joihin lämpö siirtyy. Roottorin pyöriessä puoli kierrosta lämmennyt materiaali siirtyy tuloilmakanavaan ja luovuttaa lämpöä kylmään tuloilmavirtaan. Roottorin pyörimisen nopeus on verrannollinen sen antamaan hyötysuhteeseen: nopeampi pyörimisnopeus antaa korkeamman hyötysuhteen. Pyörivällä roottorilla on pieni tilantarve ja hyötysuhde korkea, noin 75–85 %, mutta sen heikkoutena on poistoilmasta tuloilmaan vuotavat epäpuhtaudet. Tämä rajoittaa esimerkiksi WC-tilojen ilmanvaihdon kytkemistä keskitettyyn roottorilla toimivaan koneeseen. Toisaalta jos konetta käytetään yhden tilan ilmanvaihdossa, ei hieman tuloilmaan vuotavista epäpuhtauksista ole merkittävää haittaa. [5, s. 179.]



Kuva 5. Rootorilämmönsiirrin ja sen toimintaperiaate [7].

Virtausta vaihtavat järjestelmät toimivat niin, että kahta erillistä kiinteää massaa vuorotellen jäähdytetään ja lämmitetään ilmavirtauksien avulla. Ilmavirtaus ohjataan kulkemaan vuorotellen molempien massojen läpi yhden tai useamman pellin avulla. Massojen hyötysuhde on verrannollinen massojen jäähdytys ja lämmitysjaksojen pituuteen: lyhyempi jakso antaa korkeamman hyötysuhteen. Virtausta vaihtavien järjestelmien hyötysuhde on parhaimmillaan noin 80 %. [1, s. 289–290.]

2.4.4 Lämmöntalteenoton huurteenpoisto

Ulkoilman jäähtyessä voi lämmöntalteenoton poistoilmapuolelle syntyä kosteutta. Jos kosteutta sisältävän osan lämpötila putoaa alle 0 °C:n, jäätyy vesi huurteeksi, joka aiheuttaa aina lämmöntalteenoton vajaatoimintaa. Huurteen poistamiseksi tarvitaan toimenpiteitä, jotka sulattavat huurteen. Huurteenpoistosta seuraa kaikissa lämmönsiirtimissä

hyötysuhteen hetkellinen heikkeneminen huurteenpoiston aikana. Hetkellinen lämmityksen tai jäähdytyksen lisätarve on huomioitava lämmitys- ja jäähdytystarpeen vaatimia muita lisälaitteita valitessa.

Roottorilla toimivissa lämmönsiirtimissä roottoriin muodostunut huurre sulatetaan ajamalla roottoria pienemmällä nopeudella, kunnes lämmin poistoilma sulattaa huurteen roottorin molemmilta puolilta. Levylämmönsiirtimissä huurre sulatetaan ohjaamalla siirtimen lohkoja yksi kerrallaan kiinni peltien avulla. Kylmä ilma ei pääse kiinni olevaan lohkoon ja poistoilma sulattaa kyseisen lohkon. Nestekiertoisissa lämmönsiirtimissä nesteen kiertoa rajoitetaan 3-tieventtiilillä, jolloin osa nesteestä kulkee toisen patterin ohi ja huurtunut osa sulaa poistoilman vaikutuksesta.

2.5 Lämmityspatterit

Lämmityspatterin tehtävä on lämmittää tilaan kulkeutuvaa ilmaa siltä osin, kuin lämmitykselle on tarvetta ja lämmöntalteenoton teho ei siihen riitä. Lämmityspatterit jakautuvat kahteen eri perustyyppiin, nestekiertoisiin pattereihin ja sähköpattereihin. Kaikkien lisäosien tuominen koneeseen aiheuttaa painehäviötä, joten pattereiden muoto tulisi olla mahdollisimman vähän painehäviötä aiheuttava, mutta kuitenkin mahdollisimman hyvin lämpöä luovuttava.

Tyypillinen patteriratkaisu *nestekiertoisilla pattereilla* (kuva 6) on suuri määrä ohuita levyjä, joihin on tehty reiät putkia varten. Tällä menetelmällä putkissa virtaava neste lämmittää tehokkaasti patterin läpi kulkevan ilman, aiheuttamatta kuitenkaan kohtuuttoman suurta painehäviötä. Jäähdytyspatterin väliaineena käytetään tyypillisesti vettä, mutta joissakin tapauksissa myös vesi-glykoliliuosta, öljyä, prosessinesteitä tai höyryä. Patteri on suojattava aina jäätymissuojatoiminnolla, koska patterin jäätyessä se vaurioituu välittömästi aiheuttaen nestevuodon. Jäätymissuojatoimintona käytetään lämpötila-anturia, joka mittaa väliaineen lämpötilaa ja antaa järjestelmälle tiedon jäätymisvaarasta lämpötilarajan alittuessa. [5, s. 170–171.] Jäätyminen estetään sammuttamalla kone ja pysäyttämällä kylmän ilman virtaus patteriin.



Kuva 6. Nestekiertoinen lämmityspatteri ilmanvaihtokoneessa.

Sähköpattereita käytetään tyypillisesti silloin kun lämmitysveden tuonti ilmanvaihtokoneelle on käytännön syistä hankalaa. Sähköpatterin huonoina puolina nestepatteriin verrattuna ovat korkeammat lämmityskustannukset ja korkeampi paloturvallisuusriski, mutta hyvänä puolena on hyvä säädettävyys ja lisäksi sähköpatteri ei jäädy, vuoda eikä tarvitse pumppua. Ylikuumenemista rajoitetaan määrittämällä patterille vähimmäisilmavirta, jota pienemmällä ilmavirralla patteri ei saa käyntilupaa. Patteriin on lisäksi liitetty yllilämpösuoja, joka laukeaa, jos vastuksen pintalämpötila kohoaa liian korkeaksi. [5, s. 174.]

2.6 Jäähdytyspatteri

Jäähdytyspatteria tarvitaan kesäaikaan, kun lämmöntalteenoton teho ei riitä jäähdyttämään tarpeeksi ulkoa tulevaa lämmintä ilmaa. Jäähdytyspatterit ovat nestekiertoisia tai suoraohyörysteisiä. Nestekiertoiseen patteriin jäähdytys toteutetaan joko kompressorikäyttöisellä vedenjäähdyttimellä tai kaukojäähdytyksellä. Jäähdytyspatteriin on aina liitettävä kondenssivesiallas, josta patteriin kondensoituva vesi virtaa lattiakaivoon. Ilmavirran ollessa liian suuri jäähdytyspatteriin kondensoitunut vesi kulkeutuu ilmavirran mukana sisään. Tämän ehkäisemiseksi suurta ilmavirtaa vaativissa ilmanvaihtokoneissa käytetään pisaranerotinta. [5, s. 171–173.]

3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitavalla logiikalla (Programmable Logic Controller eli PLC) tarkoitetaan pientä tietokonetta, joka voi vastaanottaa, käsitellä ja välittää jännite- ja virtaviestejä yhdestä tai useammasta eri sisään- ja ulostulopisteestä [8]. Lisäksi jokaisessa ohjelmoitavassa logiikassa on tyypillisesti oma kehitysympäristönsä, jossa käytetään IEC 61131-3 -standardin mukaisia ohjelmointikieliä. Näihin kieliin sisältyy kolme graafista kieltä, Function Block Diagram (FBD), Ladder Diagram (LD) ja Sequential Function Chart (SFC) sekä kaksi tekstipohjaista kieltä, Instruction list (IL) ja Structured Text (ST). [9.] Ohjelmoitava logiikka valikoitui ilmanvaihtokoneen ohjaukseen, koska sillä voi korvata useita eri releitä ja näin ollen tehdä ohjauksen suunnittelusta ja toteutuksesta huomattavasti yksinkertaisempaa.

3.1 Carelin c.pCO -logiikka

Markkinoilla on nykypäivänä vaihtoehtona useita eri ohjelmoitavia logiikoita. Näistä työhön sopivimmaksi valikoitui Carelin c.pCO-logiikka sen edullisen hinnan ja kattavien toimintojen vuoksi. Carel on erikoistunut tuottamaan laitteita ja sovelluksia ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen, joten sen laitteet ja niiden kehitysympäristö soveltuivat hyvin ilmanvaihtokoneen ohjaukseen. [10.]

Carelin c.pCO-logiikoita on saatavilla viittä eri kokoa, joista jokainen sisältää eri määrän fyysisiä I/O-pisteitä. Näistä pyrittiin valitsemaan sellainen malli, joka olisi kooltaan mahdollisimman pieni, mutta täyttäisi mahdollisimman hyvin työhön vaaditun I/O-pisteiden vähimmäismäärän. Valintaa tehdessä täytyi vielä varmistaa, että logiikka mahtui ilmastointikoneeseen logiikalle varattuun tilaan.

Laskettiin, että ilmanvaihtokone tarvitsee ohjaukseen tässä vaiheessa digitaalisten tulojen ja lähtöjen lisäksi 11–14 analogista tuloa ja vähintään viisi analogista lähtöä. Mallien I/O-pisteiden määriä vertaillen huomattiin, että missään vaihtoehtoisista logiikoista ei ole tarvittavaa määrää analogisia tuloja. Päädyttiin ratkaisemaan ongelma valitsemalla logiikoista se, jossa on eniten analogisia tuloja ja lisäämällä siihen I/O-pisteitä sisältävä lisämoduuli. Malliksi valikoitui c.pCO Large ja lisämoduuliksi c.pCOe. c.pCO Large sisältää seuraavat I/O-pisteet:

- 10 universaalia pistettä
- 6 analogista lähtöä
- 18 reletuloa 24 voltin tasajännitteelle tai 28–36 voltin vaihtojännitteelle
- 4 reletuloa 230 voltin vaihtojännitteelle 50–60 Hz:n alueella
- 18 relelähtöä

Lisämoduuli c.pCOe sisältää seuraavat I/O-pisteet:

- 10 universaalia pistettä
- 6 relelähtöä

Universaalit pisteet, eli yleistulot/-lähdöt, voidaan asemoida toimimaan analogisina tuloina, analogisina lähtöinä tai reletuloina. Asemointi tapahtuu c.pCO:n kehitysympäristön c.Designissa, jossa valitaan käyttötarkoituksen mukainen konfiguraatio. Yleistulon ollessa analogisena tulona, voidaan se asemoida mittaamaan mitä tahansa väliä 0–10 Vdc tai 0–20mA tai resistanssia. Yleisimmille lämpötila- ja paineantureille (NTC, PTC, PT100, PT500 ja PT1000) on valittavissa valmiit skaalaukset, jolloin c.pCO:n kehitysympäristö osaa antaa valmiin lämpötila- tai painearvon mitattavasta anturista. Analogiset lähdöt voivat lähettää 0–10 Vdc viestiä tai PWM (Pulse Width Modulation) viestiä. [11.]

Logiikka toimii joko vaihtovirralla (28 V–36 V) tai tasavirralla (24V 50 Hz–60 Hz). Siihen saa liitettyä kaksi Ethernet-liitäntää. Ethernet-liitäntä helpottaa toimilaitteiden mitta- ja tilatietojen siirtämistä paikallisverkkoon ja sitä kautta pilvipalvelimelle. Logiikka tukee myös suurinta osaa kommunikaatioprotokollista, kuten esimerkiksi Modbusia, TCP/IP:tä ja BACNet:iä, joten logiikka voidaan myös halutessaan määrittää ohjattavaksi SLAVE-laitteeksi tai ohjaavaksi MASTER-laitteeksi. [12.] Insinööriyössä lisämoduuli c.pCOe liitettiin c.pCO Largeen Modbus-väylällä määrittämällä c.pCOe ohjattavaksi laitteeksi ja c.pCO Large sitä ohjaavaksi laitteeksi.

c.pCO Largessa (kuva 7) on etupaneelissa pieni näyttö, johon voidaan tehdä c.pCO:n kehitysympäristön c.Mask-editorissa yksinkertainen käyttöliittymä. Näytön vieressä on kuusi painiketta, joilla käyttöliittymää ohjataan. Näytön käyttöliittymän avulla logiikasta voidaan esimerkiksi säätää erilaisia valmiiksi määriteltyjä asetuksia tai lukea antureiden

tietoja riippuen siitä, millä tavalla käyttöliittymä on ohjelmoitu c.Maskissa toimimaan. Ilmanvaihtokoneen ohjauksessa näyttö toimi työkaluna, jolla pystyi käyttöliittymän kautta määrittelemään koneen konfiguraatiot ja asetusarvot sekä lukemaan antureiden arvoja.



Kuva 7. Carel c.pCO Large, ohjelmitava logiikka [12].

3.2 c.pCO:n kehitysympäristö

c.pCO:n logiikkaa ohjelmoidaan Carelin omassa kehitysympäristössä. c.pCO:n kehitysympäristö on kokonaisuus, johon sisältyy kuusi eri sovellusta: c.Strategy, c.Mask, c.Design, c.Factory, c.Web ja c.Field. Toimivan ohjelman luomiseen tarvitaan näistä vähintään neljää ensimmäistä. c.Strategyssä luodaan ohjelman varsinaiset toiminnallisuudet, c.Maskissa etupaneelin näytön käyttöliittymä, c.Designissa määritetään logiikan fyysisten rajapintojen yhteys ohjelmaan kuten muuttujat I/O-pisteisiin ja protokollat ja c.Factoryssä valitaan ohjelmatiedoston siirtoasetukset ja lähetetään tiedostot. Valinnaisista lisäsovelluksista c.Web on työkalu selainpohjaisen käyttöliittymän tekoon ja c.Field on työkalu, joka auttaa laitteiden kunnossapidon valvonnassa. Sovellusten erottelu toisistaan, verrattuna siihen, että kaikki ohjelmointi tapahtuisi samassa sovelluksessa, lisää PLC-ohjelmoinnin helppokäyttöisyyttä. Erottelu mahdollistaa esimerkiksi sen, että samoja c.Strategyssä luotuja toiminnallisuksia voidaan käyttää eri laitteissa kätevästi vaihtamalla ainoastaan muuttujien sijaintia I/O-pisteissä c.Designissa koskematta c.Strategyyn.

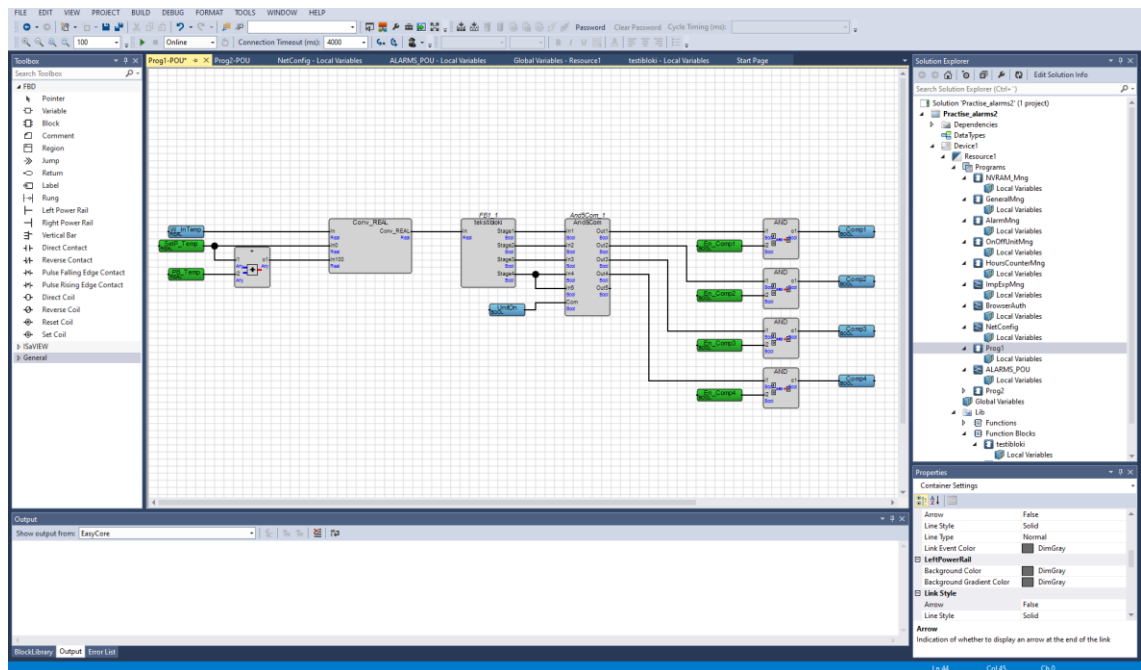
3.2.1 c.Strategy

c.Strategyssä ohjelmointi on mahdollista tehdä IEC 61131-3 standardin mukaisilla neljällä eri ohjelmointikielellä: SFC:llä, ST:llä, LD:llä ja FBD:llä. Tekstipohjaisessa kielessä, eli ST:ssä ohjelmointi tapahtuu kirjoittamalla koodirivejä. Graafisissa kielissä eli SFC:ssä, LD:ssä ja FBD:ssä ohjelmointi tapahtuu niin sanotulla ”raahaa ja pudota” -menetelmällä (drag and drop). Ilmanvaihtokoneen ohjaus on tehty pääosin FBD-kielellä, jossa ensiksi luodaan muuttujat, jonka jälkeen niitä voidaan liikuttaa tyhjälle alustalle, eli sivulle. Sivulle siirretään ohjelman funktioita tai toimintalohkoja (Function Block), jotka voidaan yhdistää luotuihin muuttujiin vetämällä manuaalisesti linja niiden välille. Myös omia funktioita on mahdollista luoda ja lisätä kirjastoon, mikä helpottaa ohjelmointia, jos samoja monimutkaisempia toimintoja tarvitsee käyttää useammin kuin kerran.

Ohjelma koostuu eri sivuista, joissa muuttajat ja funktiot toteuttavat niillä määrätyt toimintonsa. Muuttujia ja funktioita voi luoda samalle sivulle niin monta kuin siihen mahtuu, mutta selkeyden vuoksi vähänkin laajemmissa ohjelmissa on parempi luoda useampi sivu. Sivuja kutsutaan nimellä POU (Program Organization Unit) ja niitä on kolmenlaisia:

1. Ohjelma, jossa on sovelluksen varsinainen koodi. Tässä on mahdollista yhdistää muuttujia, funktioita ja toimintalohkoja.
2. Funktio, joka sisältää aina yhden ulostulon. Funktio ei voi säilyttää sille annettuja arvoja. Ei vaadi instanssia toimiakseen.
3. Toimintalohko, joka voi sisältää yhden tai useamman ulostulon ja voi säilyttää sille annetut arvot. Vaatii instanssin toimiakseen. [13.]

Ohjelmia, funktioita ja toimintalohkoja voidaan kaikkia luoda kaikilla neljällä eri kielellä saman sovelluksen sisällä, kunhan ne ovat jokainen omassa POU:ssaan. Kuvassa 8 näkyy esimerkki c.Strategyssä FBD-kielellä tehdystä POU:sta.



Kuva 8. Näkymä Carel c.Strategy:n FBD-kielellä tehdystä ohjelmatyypin POU:sta.

Muuttujat luodaan joko paikallisiin tai globaaleihin muuttujalistoihin. Paikallisia muuttujia voidaan käyttää ainoastaan siihen linkitetyn POU:n sisällä, kun taas globaaleja muuttujia voi käyttää kaikkialla ohjelmassa. Molemmat tyyppien näkyvyys sovelluksen muissa osissa, kuten c.Maskissa ja c.Designissa määritellään vielä erikseen. Muuttujat sisältävät aina maksimissaan 32-bittisen tietotyyppin, jotka ovat lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. IEC 61131-3 mukaiset c.Strategyn tukemat tietotyypit.

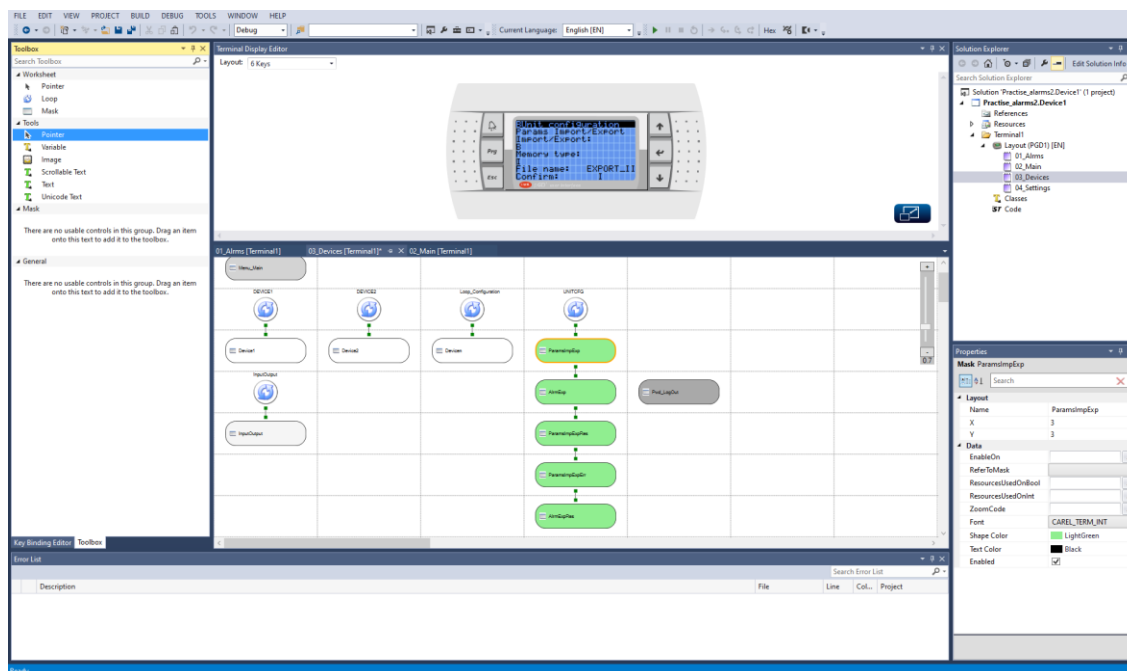
Avain-sana	Kuvaus	Bittien määrä	Alaraja	Yläraja
USINT	Unsigned Short Integer (etumerkitön 8-bittinen kokonaisluku)	8	0	255
SINT	Short Integer (8-bittinen kokonaisluku)	8	-128	127
UINT	Unsigned Integer (etumerkitön 16-bittinen kokonaisluku)	16	0	65535
INT	Integer (16-bittinen kokonaisluku)	16	-32768	32767
UDINT	Unsigned Double Integer (etumerkitön 32-bittinen kokonaisluku)	32	0	4294967295
DINT	Double Integer (32-bittinen kokonaisluku)	32	-2147483648	2147483647
TIME	Time (aika)	32	0	49d17h2m47s294ms
DATE	Date (päivämäärä)	32	01/01/1970	18/01/2038
BOOL	Boolean (totuusarvomuuttuja)	1	-	-
BYTE	Byte (tavu)	8	0	255
WORD	Word (16-bittinen sana)	16	0	65535
DWORD	Double Word (32-bittinen sana)	32	0	4294967295
REAL	Real (liukuluku)	32	$\pm 1.175494351\text{E}-38$	$\pm 3.402823466\text{E}+38$
STRING	String (merkkijono)		-	-

Tietotyypeistä yleisimmin ovat käytössä boolean (totuusarvomuuttuja), integer (kokonaisluku), real (liukuluku) ja time (aika).

3.2.2 c.Mask

c.Maskissa luodaan logiikan etupaneelin näytön käyttöliittymä. Näytön mitat ovat 156 mm*67 mm sisältäen painonapit, joten pienen kokonsa takia siihen ei kannata tehdä

kovin monimutkaista käyttöliittymää. Käyttöliittymä luodaan pääosin ”raahaa ja pudota”-menetelmällä ja osin kirjoittamalla koodia. Maskilla tarkoitetaan yksittäistä etupaneelin näytön sivua. Maskitasolla (kuva 9) maskiin siirretään halutut tekstit, kuvat tai c.Strategyssä luodut muuttujat. Terminaalitasolla luodaan maskit ja silmukat. Samalla määritellään maskien välillä nuolinäppäimillä liikkuminen yhdistämällä jokin silmukka linjan avulla maskiin ja maskista edelleen toiseen maskiin. Kaikki muu c.Maskin sisällä tapahtuva ohjelmointi tapahtuu ST-kielellä, kuten esimerkiksi jonkin painonapin avulla tapahtuva maskista toiseen silmukkaan siirtyminen.



Kuva 9. Näkymä Carel c.Mask -ohjelmasta. Vasemmalla työkalut, keskellä ylhäällä maskin editori ja sen alapuolella terminaalitaso.

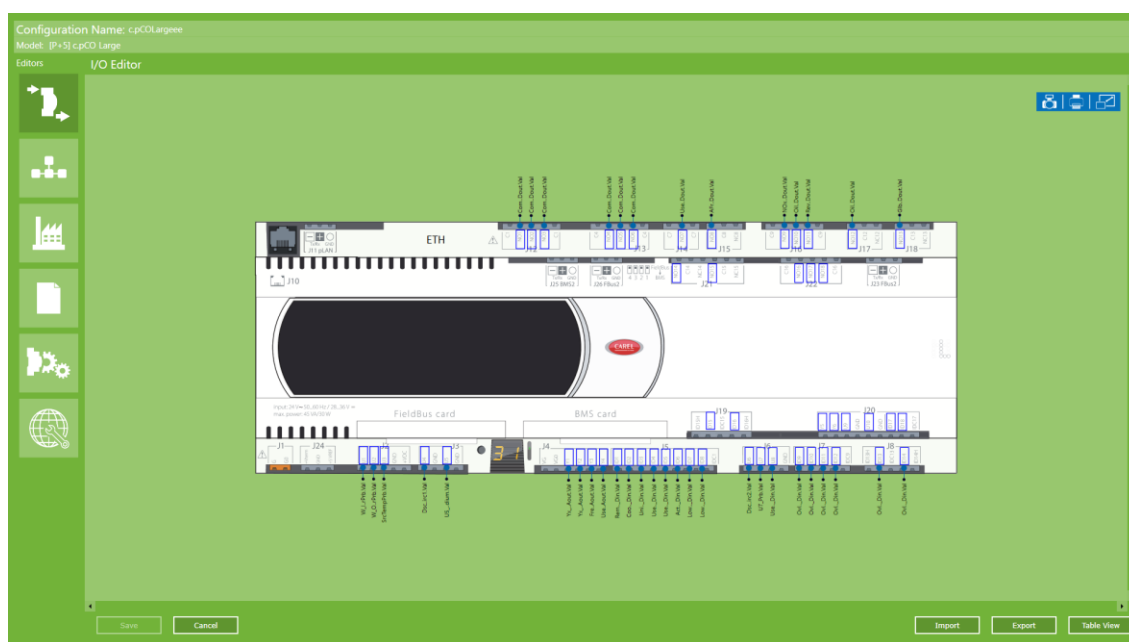
Hälytykset

Terminaalitasossa luodaan erikseen hälytysmaskit, jotka yleensä määritellään näkyviksi vasta hälytyksen aktivoituessa. Hälytysten muuttujat ja aktivoituminen määritellään c.Strategyn puolella, mutta niiden kuittaus ja ilmentyminen määritellään c.Maskissa. Hälytysmaskit sijoitetaan tyypillisesti omaan silmukkaansa, johon päästään hälytyspainonappia painamalla, kunhan tämä on ensin koodipuolella niin määritelty. Hälytyksistä luodaan yleensä myös hälytyslogit, joista voi tarkastella kaikkia aiemmin aktivoituneita hälytyksiä.

3.2.3 c.Design

c.Design-sovelluksessa määritellään fyysisten I/O-pisteiden linkit muuttujiin (kuva 10), määritellään käytettävät protokollat, asetetaan muuttujille oletusarvoja, luodaan ja muokataan logeja ja tapahtumia, määritetään laitekohtaisia asetuksia ja vaihdetaan systeemin asetuksia.

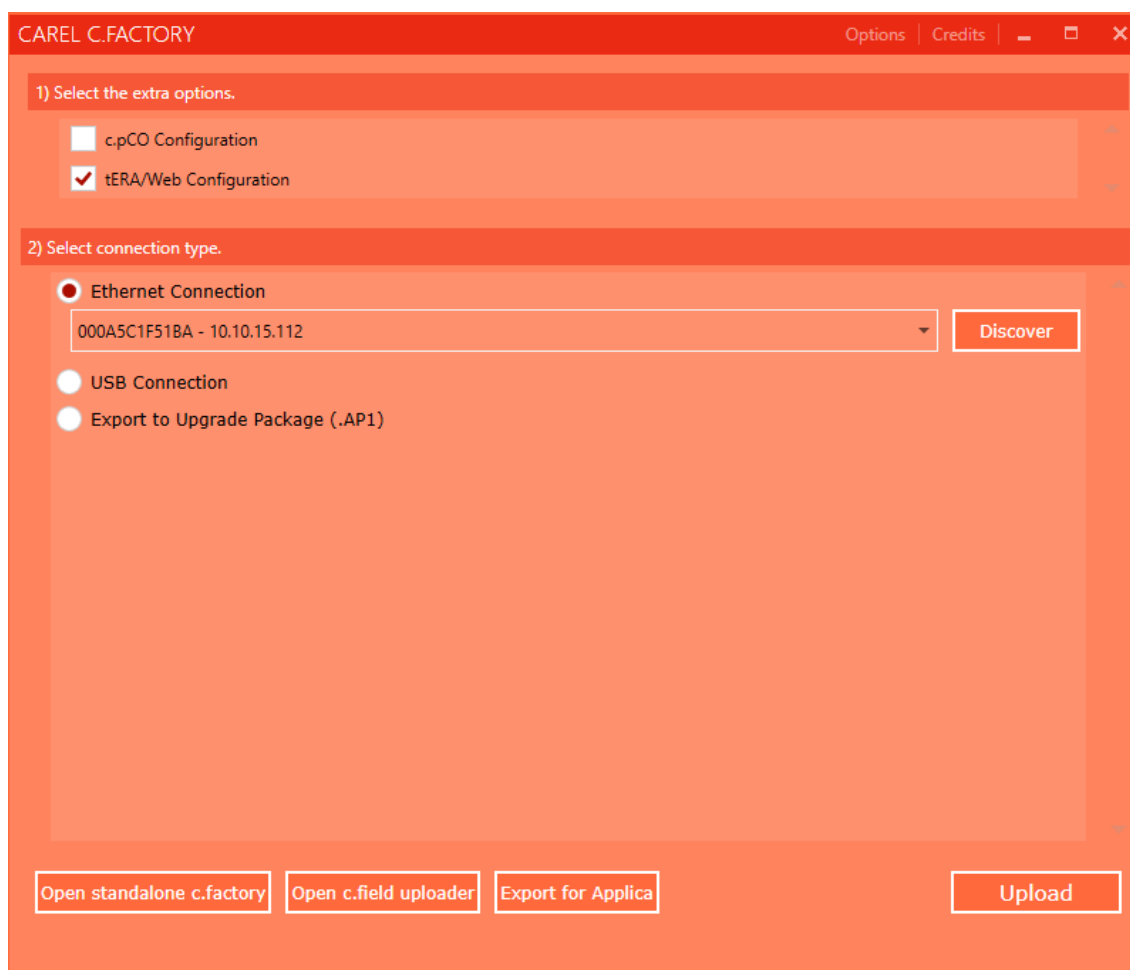
I/O-pisteiden muuttujia valitessa valitaan samalla pisteiden tyypit, jolloin ohjelma skaalaa automaattisesti analogisessa sisääntulossa arvot toimilaitteilta valittuihin muuttujiin tai analogisessa ulostulossa muuttujilta toimilaitteille. Analogiseen sisääntulokanavaan voidaan esimerkiksi valita suoraan lämpötilaa kuvaava muuttuja ja siihen tyyppinä NTC-anturi, jolloin mittaus osaa suoraan skaalata NTC-anturin mittaustulokset ja liittää ne valittuun muuttujaan. Tällöin skaalausta ei tarvitse tehdä erikseen muualla. Universaaleja pisteitä konfiguroidessa valitaan lisäksi kanavan suunta analogisen tulon, analogisen lähdön ja reletulon väliltä.



Kuva 10. Näkymä Carel c.Design -ohjelman I/O-pisteiden konfigurointisivusta.

3.2.4 c.Factory

c.Factoryssä (kuva 11) määritellään kaikki tiedostojen siirtoon liittyvät konfiguraatiot. Valitaan siirrettävät tiedostot, siirron liitännästyyppi ja siirron kohde. Siirto voidaan tehdä USB-liitännällä tai Ethernet-liitännällä. Ethernet-liitännällä siirto voidaan tehdä LAN (Local Area Network) -yhteydellä tai internet-yhteyden kautta FTP:llä (File Transfer Protocol). Mikäli siirtotavaksi valitaan LAN-yhteys, on valittava lisäksi kohteen IP (Internet Protocol) -osoite. USB-liitännällä siirto voidaan tehdä suoraan tietokoneen USB-portista kaapelilla logiikan liitännään tai niin, että ensin siirretään ohjelma USB-muistitikulle ja myöhemmin muistitikulta logiikalle.



Kuva 11. Näkymä Carel c.Factorystä.

4 Ohjelma

Ilmanvaihtokoneen ohjelma tehtiin insinööriyön toimeksiantajan tekemän toimintaselostuksen pohjalta. Toimintaselostukseen valittiin ilmanvaihtokone rajatulla määrällä eri variaatioita koneen fyysisten ominaisuuksien suhteen. Ohjelma piti rakentaa modulaarisesti niin, että siitä olisi valittavissa mitä fyysisiä ominaisuuksia laitteessa on, jonka mukaan ohjelma toimii. Ideana oli, että työ voisi toimia pohjana kaikille eri ilmanvaihtokoneiden variaatioille, jolloin sitä voisi kuka tahansa työn jälkeen jatkokehittää lisäten siihen useampia eri ominaisuuksia. Suurimmaksi haasteeksi tässä muodostui ohjelman rakentaminen mahdollisimman selkeäksi ja yksinkertaiseksi, mutta samalla mahdollisimman hyvin skaalautuvaksi jatkokehitystä ajatellen.

4.1 Ohjelman rakenne

Ohjelma koostuu useasta eri sivusta, jotka pyrittiin jaottelemaan loogisesti toiminnallisuuksien mukaan. Carelin c.Strategystä valittiin valmis pohja, jossa oli kaikista yleisimpiin toiminnallisuuksiin, kuten kellonaikoihin ja hälytyksiin, liittyviä sivuja. Lisäksi Carelin web-sivuilta saatiin c.pCOe-lisämoduuliin liittyvät toiminnot valmiina pakettina, joita hie-
man muokkaamalla pystyi toiminnot helposti liittämään omaan ohjelmaan. Näiden lisäksi ohjelmaan lisättiin seuraavat sivut: pääsivu, aikaohjelma, pellit, puhaltimet, lämmitys, jäähdytys, lämmöntalteenotto, poistoilmakäyrä, hälytykset, muuttujien hallinta, maskien hallinta ja fyysisten I/O-pisteiden hallinta.

Pääsivulla hallitaan kaikkia tuloja, lähtöjä, hälytyksiä ja laitteen tyyppin mukaan määräytyviä muuttujia. Nämä kaikki valikoituvat sen mukaan, minkälainen laitetyyppi on kyseessä. Laitetyyppi määrittää konfiguraatioparametreilla, jotka ovat koottu ohjelmassa muuttujataulukoksi. Käyttäjä antaa taulukon jokaiselle alkiole arvon, joka vastaa tiettyä laitteen ominaisuutta. Näistä ominaisuuksista muodostuu laitteen fyysinen ja toiminnallinen kokonaisuus, jonka mukaan ohjelma toimii. Tämän rakenteen avulla yksi ohjelma voitiin rakentaa kaikille eri ilmanvaihtokoneille toimivaksi, koska ohjelma valitsee lähtöihin, tuloihin ja hälytyksiin ainoastaan kyseisen koneen arvot konfiguraatioparametrien mukaisesti.

Aikaohjelma-sivulla ohjataan puhaltimien paineohjauksien asetusarvot toimimaan kahdella eri säädöllä, jotka aktivoituvat käyttäjän valitseman kellonajan mukaan. Aikaohjelmien idea on pitää ilmanvaihdon teho voimakkaampana tyypilliseen toimisto-aikaan ja vaimeampana niinä aikoina, kun rakennuksessa on vähemmän toimintaa.

Ilmapellit-sivulla ohjataan ilmapeltien aukeamista ja sulkeutumista halutulla tavalla. Ilmapeltien on oltava täysin auki ennen puhaltimien käynnistämistä aina siihen asti, kunnes puhaltimet sammuvat. Ilmapeltejä ohjataan digitaalisella tiedolla ja koska niiden aukeamisen kesto on laitteesta riippuvainen, on käyttäjän erikseen määriteltävä laitekohtaisesti aukeamiseen kuluva aika.

Puhaltimet-sivulla määritellään ne toiminnot, jotka ohjaavat puhaltimien käyntiä ja tehoa. Puhaltimien ohjaus tapahtuu joko paineohjauksella tai ilmamääräohjauksella. Käyttäjä valitsee puhaltimille PID-arvot, joiden avulla puhallin pyrkii ohjaamaan ilmavirtaa asetusarvon mukaisesti. Tätä ohjausta rajoitetaan vielä käyttäjän valinnan mukaan kiihdytysrampilla. Lisäksi puhaltimien käyntiin ja tehoon vaikuttavat käyttäjän valintojen mukaan ilmatasapainon ohjaus, jos toinen puhaltimista ei toimi ja puhaltimien jälkikäyntiaika.

Lämmitys-sivulla ja *jäähdytys-sivulla* on kaikki ilman lämmityksen ja jäähdytyksen pyynteihin liittyvät toiminnot. Lämpöpöpynti ohjautuu sarjassa ensimmäisenä portaana lämmöntalteenotolle ja toisena portaana lämpöpattereille. Jäähdytyksen pyyntiä ohjataan erillisinä pyynteinä lämmöntalteenotolle poistoilman ja ulkoilman lämpötilan erotuksen mukaan ja jäähdytyspatterille tuloilman lämpötilan mukaan.

Lämmöntalteenotto-sivulla on roottorilla toimivan lämmönsiirtimen ja levylämmönsiirtimen huurteenpoistoon liittyvät toiminnot. Huurteenpoistolle siirtyminen tapahtuu, kun lämmönsiirrin on ollut käyttäjän määrittämän ajan verran täydellä teholla ja lämmöntalteenoton yli mitattu paine ylittyy. Huurteenpoistoon liittyvät toiminnot tapahtuvat aiemmin tässä raportissa kuvatulla tavalla.

Poistoilmakompensointi-sivulla on poistoilmakäyrän toiminto. Poistoilmakäyrä säätelee tuloilman lämpötilan asetusarvoa automaattisesti poistoilman lämpötilan perusteella. Sääto tapahtuu käyttäjän valitsimien poistoilman lämpötilan kulmapisteiden avulla, joista ohjelma muodostaa funktion, jonka perusteella tuloilman lämpötilan asetusarvo säätyy.

Hälytykset-sivulla on hälytysten aktivoitumisiin liittyvät toiminnot. Hälytyksiä on kolmea eri tasoa ja ne lajitellaan pääsivulla. Hälytysten muuttujat oli vielä erikseen määriteltävä c.Strategyn toisella sivulla, jossa määritellään myös hälytysten kuittaantuminen.

Muuttujien hallinta -sivulla on pyritty yksinkertaistamaan monimutkaisempia muuttujia ja yhdistämään tällaisia ohjelman selkeyttämiseksi. Esimerkiksi ilmamäärän ja kanavapaineen arvo yhdistetään yhdeksi muuttujaksi sen mukaan, kumpi ohjaus laitteessa on käytössä. Tällöin muualla ohjelmassa voidaan käyttää ainoastaan tätä yhtä muuttujaa, eikä joka kerta tarvitse erikseen määritellä kummasta ohjaustavasta on kyse.

Maskien hallinta -sivulla määritellään apumuuttujien maskien ohjelmoinnin helpottamiseksi. Kun on esimerkiksi määritetty, onko laitteessa jäähdytystä käytössä vai ei, voidaan siitä luoda apumuuttuja, joka kertoo maskeille, että jäähdytykseen liittyviä arvoja ja toimintoja ei tarvitse olla näkyvissä, jos jäähdytystä ei ole.

I/O-pisteiden hallinta -sivulla on määritetty kaikki fyysisiin tuloihin ja lähtöihin liittyvät konfiguraatiot. Sellaiset lähdöt ja tulot, jotka eivät ikinä voi olla päällekkäin, on yhdistetty samaan pisteeseen I/O-pisteiden määrän vähentämiseksi. Lisäksi jokainen universaali piste on määritetty niin, että käyttäjä voi käyttöliittymästä valita pisteen suunnan, tyypin, ja tyypin ollessa jänniteviestitulo, myös skaalauksen. Tällöin jos fyysisiä kytkentöjä tai anturityyppejä halutaan muuttaa, voi käyttäjä tehdä sen helpommin käyttöliittymän avulla.

4.2 Funktiot ja toimintalohkot

c.Strategy sisältää kattavan määrän valmiita funktioita ja toimintalohkoja. Lisäksi Carelin web-sivuilta on ladattavissa lisää yleisimmin käytettyjä toimintalohkoja. Toimintalohkot helpottavat ja yksinkertaistavat ohjelmointia merkittävästi. Suurin osa ohjelmassa käytetyistä funktioista ja toimintalohkoista oli valmiiksi saatavilla, mutta osa jouduttiin luomaan ohjelmaa varten ja osaa voitiin muokata valmiista pohjasta.

Tärkeimpänä lisättyinä toimintalohkona oli PID-toimintalohko, joka saatiin Carelin web-sivuilta. Toimintalohko vertaa annettua asetusarvoa määritellyn tulon arvoon, arvon ja

asetusarvon erotukseen tietyllä ajanjaksolla ja arvon muutosnopeuteen. Tärkeimpinä toimenpiteinä käyttäjä antaa toimintalohkolle asetusarvon lisäksi säätötoimenpiteen voimakkuuden K_P , integrointiajan T_I ja derivointiajan T_D . Lohko palauttaa yleensä ulos arvon nollan ja sadan välitä, vaikkakin tämäkin on vaihdettavissa.

Merkittävin tyhjästä rakennettu toimintalohko oli levylämmönsiirtimeen huurteenpoiston kierto. Kierron toimintaan sisältyi sen verran paljon monimutkaisuutta, että ohjelman selkeyttämiseksi siitä oli parempi rakentaa toimintalohko, johon siihen vaikuttavat muuttujat syötetään. Toimintalohko ohjaa valinnaisen määrän lämmöntalteenoton lohkoja sulkeutumaan ja avautumaan vuorotellen valitun keston ajan, talteenoton pyynnin ohjatessa samalla muita lohkoja.

4.3 Käyttäjäraja- pinnat

Käyttöliittymää rakentaessa tärkein prioriteetti on saada siitä mahdollisimman helppokäyttöinen. Tavoitteena on, että käyttäjä voisi tehdä halutut toiminnot mahdollisimman vähällä ajattelulla. Jokaiselta käyttöliittymän sivulta pitäisi yhdellä vilkaisulla pystyä ymmärtämään mistä on kyse, ilman ylimääräistä ajattelua. [14.]

Ohjelman käytön oli tarkoitus tässä työssä tapahtua paikallisesti ohjelmoitavalta logiikalta, mutta niin, että halutessaan sen käyttö voitaisiin laajentaa tapahtuvaksi etänä esimerkiksi web-selaimelta. Tämän takia käyttäjäraja-
pintoja suunnitellessa täytyi miettiä välittömän käytettävyyden lisäksi käytettävyyden skaalautuvuutta muihin käyttöympäristöihin.

Käyttöliittymän rakentaminen maskeille verrattuna web-selaimelle eroaa suurimmaksi osaksi sivujensa koon puolesta. Maskiin mahtuu huomattavasti vähemmän selittävää tekstiä ja grafiikkaa kuin web-sivulle. Lisäksi maskeissa jokainen siirtyminen toiseen muuttujaan vaatii klikkauksen, kun taas web-sivulla siirtyminen tapahtuu helpommin hiirtä liikuttamalla. Näistä syistä johtuen helppokäyttöisen käyttöliittymän suunnittelemisen maskeihin osoittautui huomattavasti haastavammaksi kuin web-selaimeseen.

4.3.1 Käyttö paikallisesti maskien avulla

Maskeja varten oli saatavilla Carelin luoma valmis käyttöliittymäpohja, joka nopeutti käyttöliittymän tekemistä. Pohja sisälsi selkeällä tavalla lajiteltuja ryhmiä, kuten hälytykset, asetusarvot ja konfiguraatiot, ja niihin rakennetun navigointimenetelmän. Lisäksi osaan ryhmistä oli valmiiksi ohjelmoitu niihin liittyviä loogisia toimintoja, esimerkiksi hälytysilmoitukset hälytyksiin. Tätä pohjaa muokkaamalla ohjelman toiminnoille soveltuvaksi, saatiin käyttöliittymälle tehtyä johdonmukainen ja skaalautuva rakennusalausta, jonka päälle käyttöliittymä luotiin.

Ilmanvaihtokoneen ohjelman maskien käyttöliittymä koostuu aloitussivusta, asetuksista, hälytyksistä ja I/O-pisteiden asetuksista. Aloitussivulta (kuva 12) pääsee edellä mainittujen lisäksi suoraan lähtöihin ja tuloihin, aikaohjelmaan, asetusarvoihin ja koneen käynnistysvalintaan. Hälytyksiin ja eri toimintojen asetuksiin pääsee suoraan mistä tahansa niitä vastaavaa nappia painamalla. I/O-pisteiden asetuksiin pääsee, kun painaa sekä hälytysnappia että asetukset-nappia samaan aikaan. Koska I/O-pisteiden asetukset ovat toiminto, jota tarvitsee käyttää harvemmin, laitettiin se tarkoituksella vaikeammin löydettäväksi. Lisäksi Carelin valmiissa pohjassa oli asetusvalikko logiikan omiin asetuksiin, kuten kellonaikaan, IP-osoitteeseen ja päivitystiedostoihin. Näihin asetuksiin pääsee painamalla hälytysnappia ja Enter-nappia samaan aikaan noin kolmen sekunnin ajan. Liitteessä 1 näkyy kuvankaappaukset maskien pääsivuista.



Kuva 12. Maskeilla toimivan käyttöliittymän aloitussivu.

Käyttöliittymää testattiin pyytämällä muutamia tekniikan alan ihmisiä kokeilemaan sen toimintaa. Tarkoituksena oli mahdollisimman vähän auttaa testihenkilöitä käyttöliittymän käytössä ja seurata, minkä suhteen heillä olisi ongelmia. Käyttöliittymää paranneltiin näiden havaintojen mukaan sekä heiltä itseltään saaman palautteen mukaan, kunnes käyttöliittymä oli ainakin tälle joukolle riittävän selkeä.

4.3.2 Käyttö etänä web-selaimen välityksellä

Tämän työn tarkoituksena ei ollut tehdä käyttöliittymää web-selaimelle, mutta oli kuitenkin syytä testata, että kaikki valmiudet siihen olisi olemassa. Tätä varten c.Designissa ohjattiin halutut muuttujat luettavaksi ja kirjoitettaviksi Modbus-protokollalla. Listattiin halutut muuttujat ja annettiin niille muuttujakohtaisesti tunnistettava tunnisteluku. Mobiiliyhteydessä oleva modeemi haki tunnistelukuja vastaavien muuttujien jatkuvasti päivittyvät arvot ja lähetti ne palvelimelle. Web-selaimen luotiin listaa vastaavat muuttujat ja tunnisteluvut, jolloin selain pystyi lukemaan arvot palvelimelta. Tarkistettiin vielä, että selaimelta pystyi kirjottamaan arvoja logiikalle saman yhteyden välityksellä. Näin todettiin, että edellytykset selainpohjaisen käyttöliittymän luomiseen ovat olemassa.

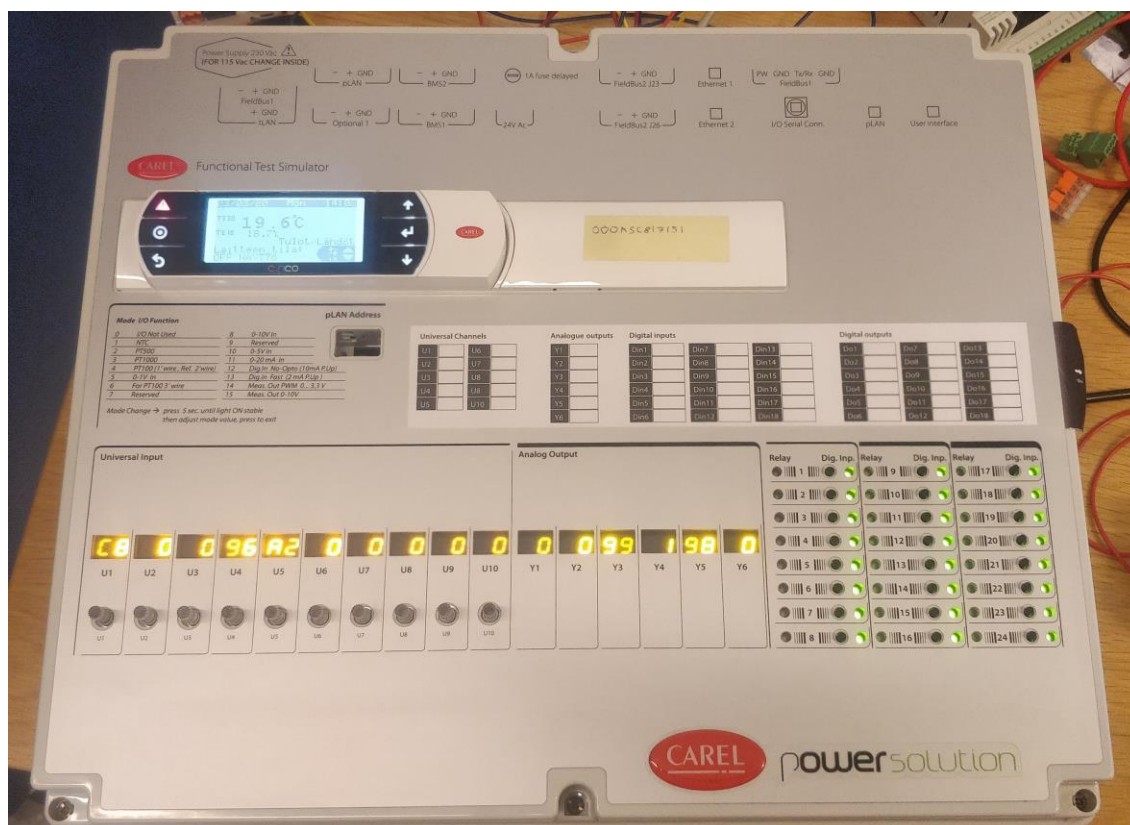
5 Ohjelman testaus

Ohjelman testausta tapahtui koko ohjelman kehittämisen ajan. Ensimmäiset testaukset tehtiin aina kehitysympäristön omalla simulaattorilla, jolla pystyi heti huomaamaan suurimman osan ohjelman virheistä toiminnallisuuksissa. Ohjelmien toiminnallisuuksien lisääntyessä testaaminen muuttui jatkuvasti monimutkaisemmaksi ja otettiin avuksi Carelin oma pöytätestauksiin tarkoitettu fyysinen simulaattori. Simulaattorin avulla pystyttiin monipuolisesti simuloimaan fyysisiä lähtöjä ja tuloja. Testauksien edetessä löydettiin ja korjattiin lisää virheitä ja kun lopulta virheitä ei enää löytynyt, siirryttiin testauksiin oikealla ilmanvaihtokoneella.

5.1 Pöytätestaus simulaattorilla

Carelin pöytätesteihin tarkoitettussa simulaattorissa (kuva 13) oli kaikki c.pCO Largeen vaadittujen tulojen ja lähtöjen simuloinnit. Jokaisen analogisen tulon pystyi simuloimaan

erikseen valitsemalla tulon tyyppi ja kääntämällä kiertyvästä napista vahvistusta. Lähtöjen simulointi näkyi jokaisen pisteen kohdalla erikseen arvona 0–99 välillä. Digitaaliset tulot valittiin painonapeilla ja lähdöt näkyivät valoina pisteiden kohdalla. Fyysinen simulaattori nopeutti arvojen asettamista ja helpotti eri tilanteiden luomista pelkkään ohjelmalliseen simulointiin verrattuna.



Kuva 13. c.pCO Largeen liitetty simulaattori.

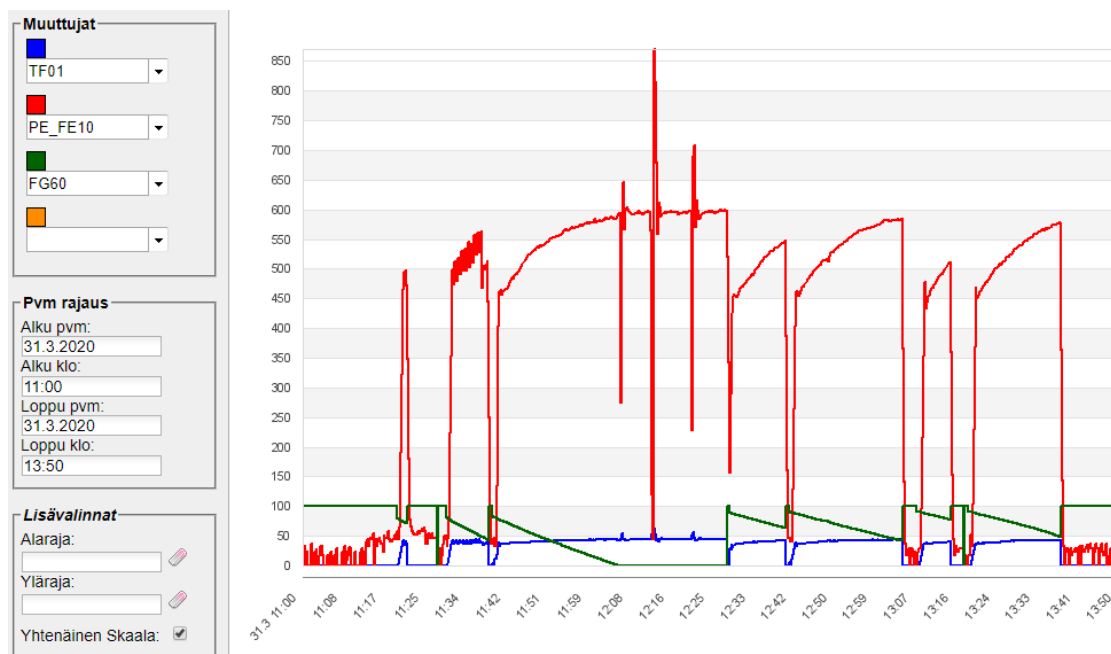
Ohjelman laajentuessa tarpeeksi, jokaisen toiminnan ja eri toimintojen yhdistelmien määrä kasvoi niin suureksi, ettei kaikkia mahdollisia niihin liittyviä testejä ollut mahdollista toteuttaa. Testattavista asioista oli valittava sellaiset kokonaisuudet, jotka mahdollisimman hyvin kattaisivat yleisimmät ilmanvaihtokoneen käytössä olevat tilanteet. Testejä varten luotiin testisuunnitelma, jonka pohjana toimi yritykseltä saatu toimintaselostus. Testisuunnitelma luotiin Excelillä, jolloin testisuunnitelmaa pystyi myös käyttämään testiraporttina. Suunnitelman avulla testejä pystyi tekemään johdonmukaisesti ja kattavasti. Testikierroksen aikana korjattiin samalla löydetty virheet, jonka jälkeen jatkettiin kierrosta. Testikierros suoritettiin niin monta kertaa, että ei löytynyt enää yhtään korjattavaa virhettä koko kierroksen aikana.

Exceliin tehdyn testisuunnitelman pohjana toimi yrityksen tekemä toimintaselostus. Toimintaselostuksen vaatimukset lajiteltiin ryhmiin niiden toimintojensa mukaisesti. Ryhmät lajiteltiin Excelissä eri sarakkeisiin ja sarakkeen soluihin liitettiin vaatimusteksti, josta luotiin linkki kyseisen vaatimuksen testisivulle. Testisivulla vaatimusteksti pyrittiin yksityiskohtaisemmin pilkkomaan eri osiin, joista luotiin sitä vastaava testi. Käyttäjä pystyy testissä kirjaamaan tuloksen ylös ja vertaamaan sitä odotettuun tulokseen. Tällä tavalla käyttäjä pystyy käymään johdonmukaisesti läpi ilmanvaihtokoneen toimintojen jokaisen osa-alueen.

Esimerkiksi puhaltimeen liittyvät toiminnot oli lajiteltu sille valittuun sarakkeeseen eri toimintojensa mukaisesti. Toiminnot pystyttiin käymään johdonmukaisesti läpi aloittamalla kiihdytysrampeista. Kiihdytysramppien testeissä testattiin puhaltimien kiihdytysrajoitustusta nollasta sataan ja hidastusrajoitusta sadasta nollaan. Molemmille annettiin aseteltava aika ja fyysistä simulaattoria seurattiin sekuntikellon avulla selvittääkseen, toteutuiko kyseinen aika. Testitulokset kirjattiin muistiin ja siirryttiin seuraavien toimintojen testauksiin. Testisuunnitelman pääpiirteet löytyvät liitteestä 2.

5.2 Testaukset ilmanvaihtokoneella

Testattavaksi ilmanvaihtokoneeksi valikoitui laite, joka sisälsi fyysisinä osina tulo- ja poistoilmapellit, tulo- ja poistoilmasuodattimet, tulo- ja poistoilmapuhaltimet, kolmeen eri lohkoon jaettu levylämmönsiirrin ja nestekiertoinen lämmityspatteri. Testaus aloitettiin tarkistamalla, että ohjelma kykenee ohjaamaan jokaista toimilaitetta ja lukemaan jokaisen anturin arvot oikein. Jos arvojen skaalauksissa tai muissa fyysisiin tuloihin liittyvissä konfiguraatioissa oli jotain pielessä, niin virheet löytyivät helposti ja korjaukset voitiin tehdä nopeasti. Tulosten konfiguraatioiden loppusäädön jälkeen konetta pystyttiin koeajamaan ohjelmalla. Tuloksia tarkasteltiin vielä graafisesti web-selaimeen tuotujen arvojen avulla (kuva 14). Huomattiin, että tarvittiin PID-arvojen hienosäätöä saavuttamaan halutut painearvot kohtuullisessa ajassa. Näiden säätöjen jälkeen ohjelma osasi ajaa konetta itsenäisesti ja lopullinen tavoite oli ainakin kyseisellä koneella saavutettu.



Kuva 14. Ilmanvaihtokoneen ohjauksen testausten tulosten tarkastelua graafisesti web-se-laimelta.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä luotiin ohjaus ilmanvaihtokoneelle Carelin ohjelmoitavan logiikan kautta. Ohjaus tehtiin yleisimmille ilmanvaihtokoneiden tyypeille ja toiminnoille, jonka jälkeen ilmanvaihtokoneita valmistava yritys voisi halutessaan jatkokehittää ohjelmaa toimimaan kaikilla valmistamillaan ilmanvaihtokoneillaan.

Ilmanvaihtokoneiden ja ohjelmoitavan logiikan kehitysympäristön toimintaan liittyvät periaatteet selvitettiin, jonka jälkeen ohjelma suunniteltiin ja luotiin ilmanvaihtokoneita valmistavan yrityksen toimintaselostukseen pohjautuen. Ohjelma saatiin riittävän selkeäksi ja hyvin skaalautuvaksi jatkokehitystä ajatellen. Ohjelmoitavan logiikan näyttöpaneelille tehdystä käyttöliittymästä saatiin riittävän helppokäyttöinen ja selkeä. Lisäksi käyttöliittymän rakentaminen web-alustalle testattiin mahdolliseksi, joka antaa työn tilaajalle edellytykset tehdä oman halutunlaisen web-käyttöliittymän.

Carelin ohjelmoitavat logiikat osoittautuivat hyväksi valinnaksi kokonaisuudessaan. Ohjelmoitavat logiikat ovat edullisia ja fyysisiltä ominaisuuksiltaan tarkoitukseen sopivia. Logiikoille tarkoitettu kehitysympäristö osoittautui selkeäksi, mutta monipuoliseksi ohjelmoinnin näkökulmasta, mikä helpotti ohjelman rakentamista.

Ohjelma pyrittiin testaamaan mahdollisimman monipuolisesti ja useassa osassa. Ohjelmaan jäi silti yleensä välttämättäkin virheitä testien jälkeen, mutta ohjelman huolellisesti suunnitellun rakenteen ansiosta ne ovat helposti löydettävissä ja korjattavissa. Lisäksi testisuunnitelman avulla ohjelman testaaminen onnistuu helpommin ja johdonmukaisemmin korjausten ja lisätoimintojen lisäämisen jälkeen.

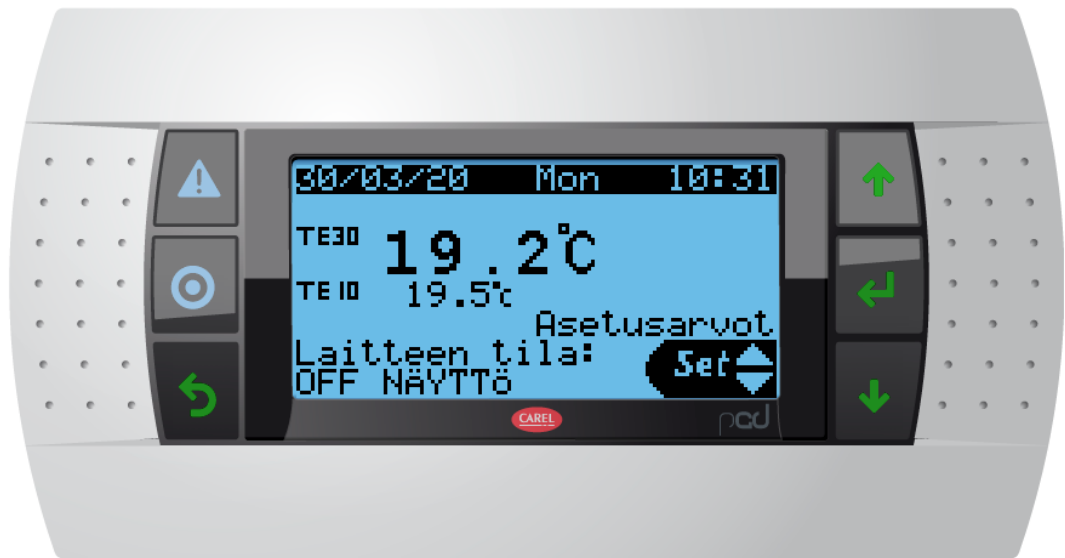
Insinööritö antoi työn tilaajalle mahdollisuuden lisätä ilmanvaihtokoneisiinsa ohjauksen, joka muodostaisi yrityksen ilmanvaihtoratkaisuistansa laajemman kokonaisuuden. Tämä tulee todennäköisesti tulevaisuudessa helpottamaan yrityksen asiakkaiden ilmanvaihdon tuomista tiloihinsa sekä laskee kokonaiskustannuksia.

Lähteet

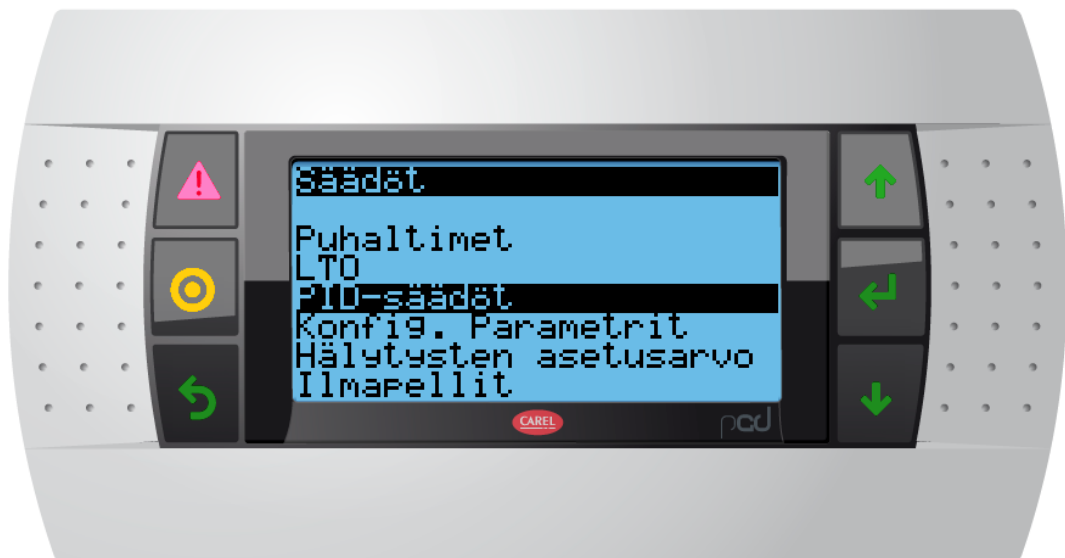
- 1 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. <https://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf>. Luettu 26.3.2020.
- 3 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Suomen LVI-liitto ry.
- 4 Sisäilman kosteus ja lämpötila. 2020. Verkkoaineisto. Hengityслиitto. <<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila>>. Luettu 26.3.
- 5 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 6 File:Counter current air to air heat exchanger.png. 2016. Verkkoaineisto. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Counter_current_air_to_air_heat_exchanger.png>. Luettu 26.3.2020.
- 7 Fichier:Rotary heat exchanger.png. 2005. Verkkoaineisto. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Rotary_heat_exchanger.png> Luettu 26.3.2020.
- 8 What is the definition of “PLC”? 2020. Verkkoaineisto. Unitronics. <<https://unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>>. Luettu 26.3.2020.
- 9 IEC 61131-3. 2013. Verkkoaineisto. PLCOpen. <<https://plcopen.org/iec-61131-3>>. Luettu 26.3.2020.
- 10 What we do. 2020. Verkkoaineisto. Carel. <<https://www.carel.com/what-we-do>>. Luettu 26.3.2020.
- 11 c.pCO Sistema programmable controller user manual. 2019. Verkkoaineisto. Carel. <<https://www.carel.com/documents/10191/0/+0300057EN/22e91b46-05a8-4291-896d-8132e8396841?version=1.11>>. Luettu 26.3.2020.
- 12 c.pCO. Verkkoaineisto. 2020. Carel. <https://www.carel.com/c.pco-sistema/-/journal_content/56_INSTANCE_i4q5KIMLInKK/10191/128788>. Luettu 26.3.2020.
- 13 What is POU in SoMachine and what are the different type of POUs available. 2019. Verkkoaineisto. Schneider Electric. <<https://www.se.com/in/en/faqs/FA175499/>>. Luettu 26.3.2020.

- 14 Krug, Steven. 2014. Don't make me think. United States: New Riders.

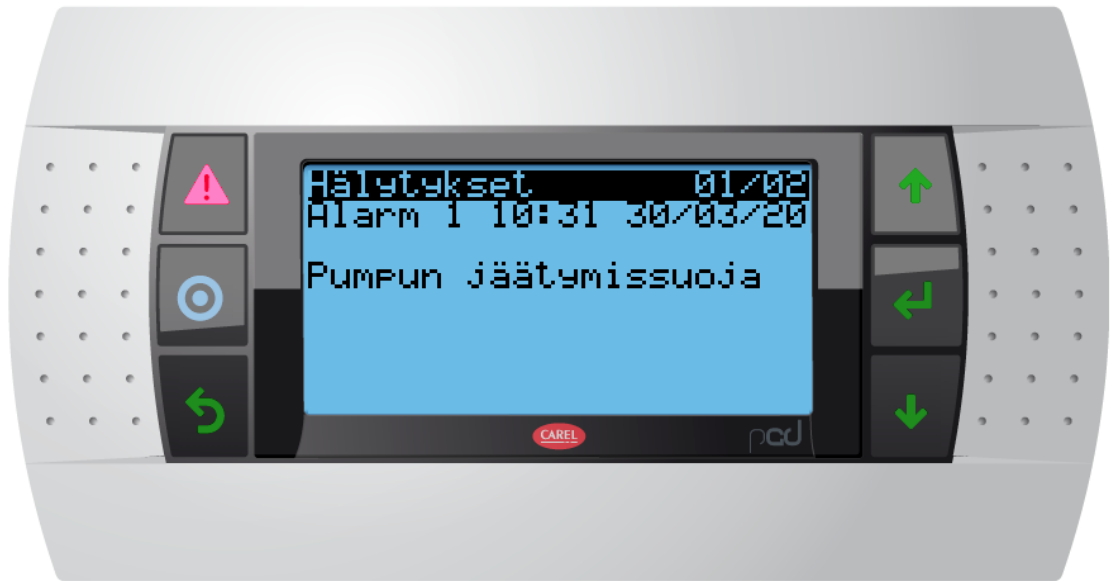
Käyttöliittymän pääsivut



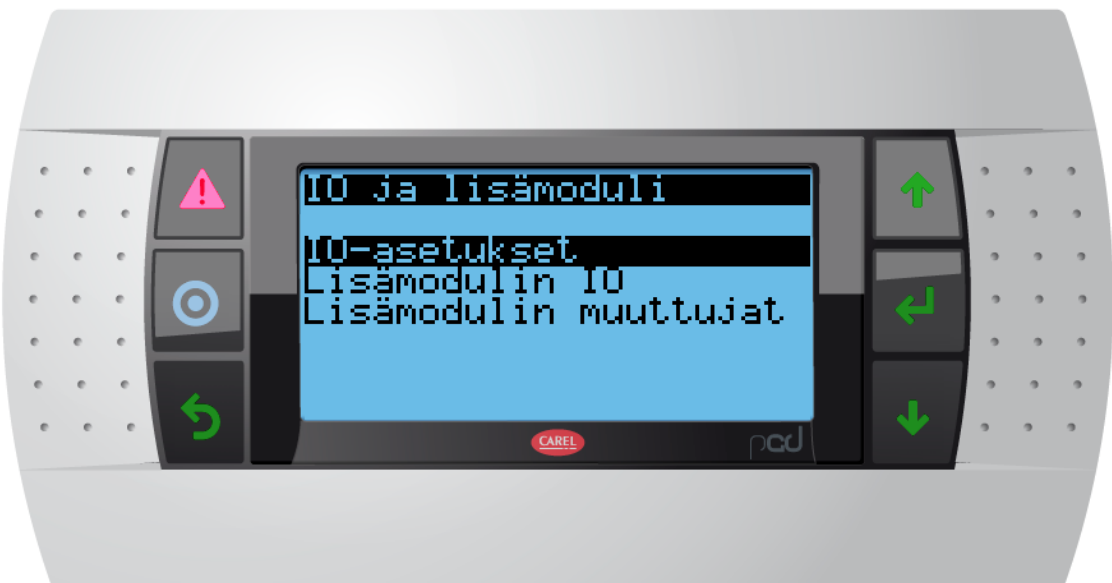
Kuva 1. Aloitusivu



Kuva 2. Säädöt-sivu



Kuva 3. Hälytyssivu



Kuva 4. I/O- ja lisämodulisivu



Kuva 5. Carelin valmiista pohjasta saatu ohjelmoitavan logiikan asetussivu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	52
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

Kuva 1. Testisuunnitelman pääsivu

Puhaltimien kiihdytysrampit					C3
	Tehonpyynti	Aseteltava aika	Kulunut aika	Asetus	
Kiihdytys	0->100	30s 60s	30 60	30 60	
Hidastus	100->0	30s 60s	30 60	30 60	
Koneen sammuminen	100->0	60s	2	0	

Puhalltimet TF01 ja PF01 ohjataan käyntiin rinnan nopeudensäätimillä SC01 ja SC02 (EC01 ja EC02 kun kyse EC puhaltimista). Kummallekin puhalltimelle voidaan asettaa kiihdytys- ja hidastusramppien ajat (esim. 1 min).

Jäikikäyntiaika V12=4				C4
Normaalilla sammutuksella				
Aika		Kulunut aika	Asetus	
30s		30	30	
Hälytyksellä				
60s		1	0	

Sähkötehonsäädin LP-EC01 saa käyntiluvan lämmityssäädön ohjaamana, kun kone on käynnissä. Konetta pysäytettäessä sähkötehonsäätö ohjataan ensin jännitteettömäksi ja puhaltimien käynti pysäytetään aseteltavan jälkikäyntiajan (esim. 3 min) kuluttua.

Kuva 2. Esimerkki testisivusta