

Leevi Niemenmaa

## ILMASTOINTIKONEEN AUTOMAATIO

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2019

# ILMASTOINTIKONEEN AUTOMAATIO

Niemenmaa, Leevi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2019  
Sivumäärä: 28  
Liitteitä:

Asiasanat: rakennusautomaatio, ohjelmointi, suunnittelu, prosessi, TREND

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli uusia ilmastointikonetta ohjaava automatiikka, logiikan sekä tarvittavien toimilaitteiden sekä anturien osalta. Tavoitteena oli saavuttaa energiatehokas sekä säädöltään tarkka ilmanvaihto prosessi.

Työ suoritettiin vaihtamalla vanha logiikka uuteen TREND merkkiseen logiikkaohjaimeen, sekä ohjelmoimalla ilmastointikonetta ohjaava ohjelma täysin uudestaan. Vanhat anturit sekä toimilaitteet tarkastettiin sekä vaihdettiin tarvittaessa uusiin.

Edellä mainittujen toimenpiteiden ansiosta saatiin ilmanvaihtokoneen energiankulutusta pienennettyä sekä lämpötilasäädöstä hyvin tarkka. Tässä työssä ohjelmoitua ohjelmaa voidaan tulevaisuudessa käyttää makrona saman kaltaisessa kohteessa. Tämä säästä huomattavasti aikaa ohjelmoidessa.

# AUTOMATION OF AIR CONDITIONING UNIT

Niemenmaa, Leevi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and automation engineering

May 2019

Number of pages: 28

Appendices:

Keywords: automation, HVAC, programming, trend, process

---

The purpose of this thesis was to renewal air conditioning unit control system, including logic controller and the necessary actuators and sensors. The aim was to achieve an energy-efficient and precise ventilation process.

The work was done by replacing the old logic controller with new TREND controller, and re-programming the entire control program. The old sensors and actuators were inspected and replaced if needed.

With these actions the energy consumption of air conditioning unit was reduced, and the temperature regulation was very precise. The program that was programmed in this work can be later used as a macro in similar project. This will save considerable time when programming.

# SISÄLLYS

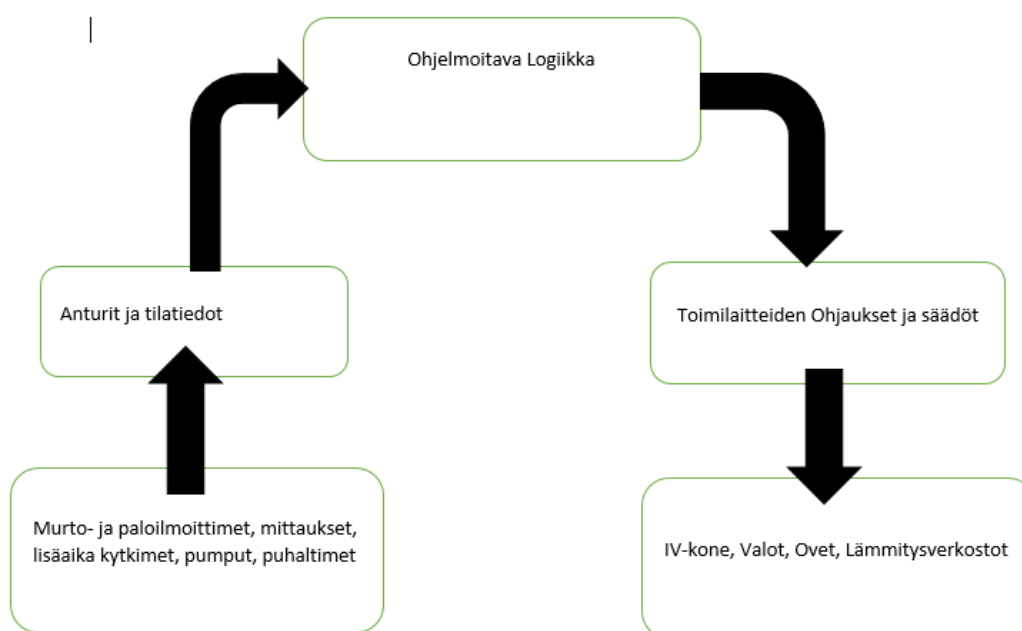
1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA .....	7
2.1	MMTek Automation Oy .....	7
3	PROSESSI.....	8
3.1	Kohteen kuvaus.....	8
3.2	3-Portainen säätö.....	9
4	VANHA JÄRJESTELMÄ .....	11
4.1	Stenfors ohjausjärjestelmä .....	11
5	UUSI JÄRJESTELMÄ.....	12
5.1	TREND .....	12
5.2	Laitteet ja komponentit .....	12
5.2.1	IO-Moduulit .....	13
5.2.2	Anturit .....	15
5.2.3	Toimilaitteet .....	16
6	OHJELMOINTI .....	17
6.1	Ohjelman funktiot ja loogiset operaatiot.....	17
6.2	Tulo- ja poistoilmakoneen ohjaus .....	19
6.2.1	Ilmastointikoneen varotoiminnot.....	19
6.3	LTO-toiminnot .....	21
6.4	PID - säädin.....	22
6.4.1	Apusäädin .....	23
6.4.2	Lämmitys .....	24
6.4.3	Jäähdytys .....	25
7	TULOKSET JA YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET.....	28
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Rakennusautomaatio on yksi automaation osa-alueista, jolla on omat erityispiirteensä. Rakennusautomaation tarkoituksena on huolehtia kiinteistön lämmityksestä, valaistuksesta, turvallisuudesta, ilmastoinnista sekä muista halutuista toiminnoista. Rakennusautomaation avulla kiinteistössä pyritään maksimoimaan energiatehokkuus sekä varmistamaan optimaaliset asumis- ja työskentelyolosuhteet kiinteistössä oleville ihmisille. Nykypäivän asenteet ilmastomuutosta ja energiankulutusta kohtaan ovat lisänneet halua investoida hyvään RAU-järjestelmään, jonka avulla voidaan saavuttaa isoja energiansäästöjä.

Kerros-, toimisto-, koulu- ja virastotaloissa keskeisimpiä rakennusautomaation avulla ohjattavia järjestelmiä ovat lämmitys-, lämmin käyttövesi (LKV)- sekä ilmastointi (IV)-verkot. Lisäksi ilmastointikoneiden, valojen sekä ovilukkojen ohjaukset kuuluvat keskeisiin toimintoihin. Näiden lisäksi on yleistä liittää RAU-järjestelmään paloilmoitinkeskus sekä murtohälytinkeskus.

RAU-järjestelmä koostuu ohjelmoitavasta logiikasta ja siihen liitettävistä toimilaitteista, antureista ja tilatiedoista (Kuva 1).



Kuva 1. Prosessikuvaus

Nykyajan rakennuksissa ilmastointi on suuressa roolissa sisäilman laadun varmistamisessa sekä sisäilmaongelmien ehkäisemisessä. Ilmastointia ohjaavaan älyyn voidaan nykypäivänä liittää useita sisäilman laatuun liittyviä mittauksia kuten hiilidioksidipitoisuus, kosteus, lämpötila ja paine-ero. Näiden erilaisten mittaustietojen avulla voidaan yksilöllisesti säätää erilaisten tilojen olosuhteita tarkoituksenmukaisiksi. Sisäilman tulee yleisesti ajateltuna olla hajutonta, mautonta ja puhdasta. Se ei saa olla liian kuivaa eikä liian kosteaa. Kosteuden ja epäpuhtauksien lähteitä tiloissa ovat ihmiset, prosessit, koneet sekä rakenteista ja ulkoa rakenteiden läpi tulevat hiukkaset ja kaasut (Värjä & Mikkola 1999, 104). Huoneilman tulee olla myös olosuhteisiin nähden oikean lämpöistä. Ilmastointikonetta ja sen automaatiota suunnitellessa onkin tärkeää ajatella, minkälaista tilaa kyseinen kone palvelee ja mitä toiminnallisuuksia koneessa tulisi olla, jotta se toimisi mahdollisimman hyvin. Onko tiloissa ympärivuorokautista käyttöä vai voidaanko ilmamääriä ja/tai lämpötilaa pudottaa öisin? Tarvitaanko tiloissa kostutusta tai onko se liian yli- tai alipaineinen? Pystytäänkö tiloista poistuvaa ilmaan käyttämään lämmöntalteenotossa (LTO) energiatehokkuuden parantamiseksi ja voitaisiinko LTO:n avulla myös jäähdyttää tiloja. Voisiko jäähdytyksen tehostamiseksi prosessiin lisätä jäähdytyspatterin. Näitä kysymyksiä on tärkeä esittää aina kiinteistön ilmanvaihtoa suunnitellessa ja sitä ohjaavaa automaatiota toteuttaessa. Parhaimmissa tapauksissa ilmanvaihdon optimoinnilla saavutetaan isoja energiansäästöjä sekä ylläpidetään erinomaista sisäilmanlaatua.

## 2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

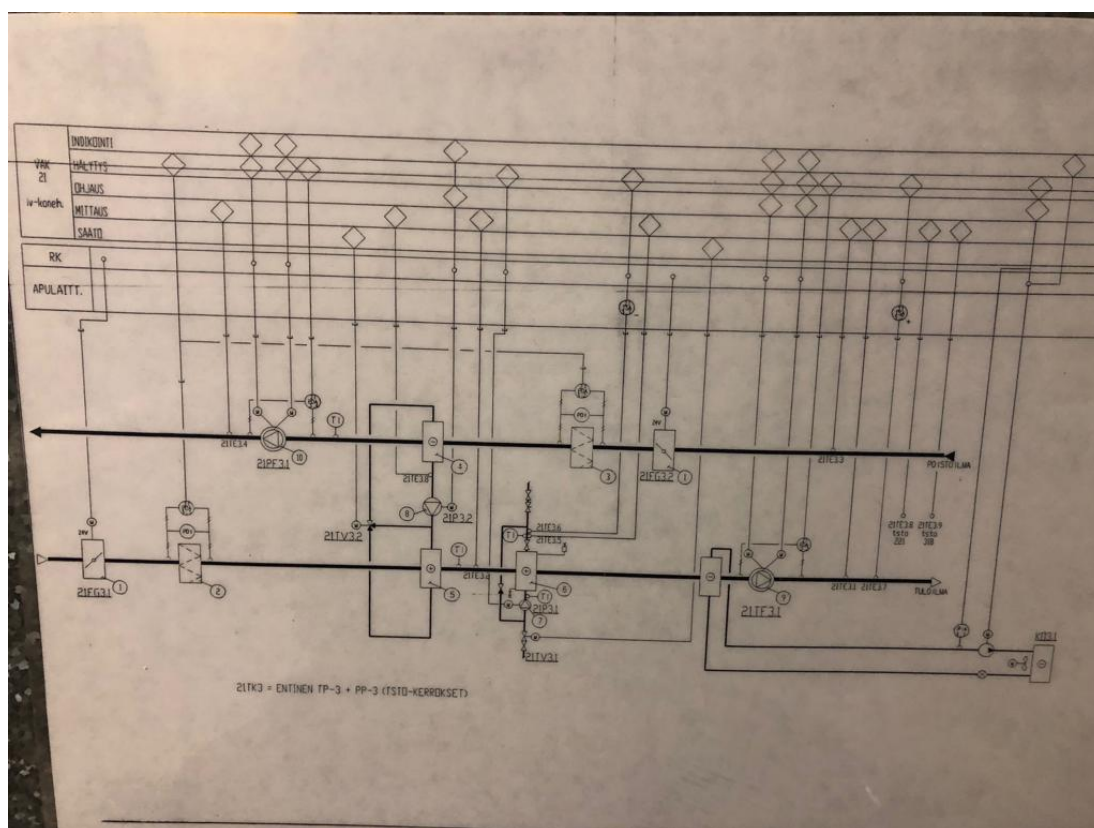
### 2.1 MMTek Automation Oy

MMTek Automation Oy on vuonna 2009 perustettu kiinteistöautomaation saneerauksiin ja urakointiin keskittynyt yritys. Yrityksen erityisosaamista on vanhojen kiinteistöautomaatiojärjestelmien korvaaminen uudella nykyaikaisella tekniikalla. Vahvuutena on ohjattavien prosessien erinomainen tuntemus ja ymmärtäminen, jonka ansiosta prosessia ohjaavaan logiikkaan osataan ohjelmoida energiaa säästävä sekä toiminnallisuudeltaan varma ja turvallinen ohjelma. Tällä hetkellä yrityksessä työskentelee seitsemän henkilöä mukaan lukien kolme omistajaa. Yrityksen toimintaa on alettu määrätietoisesti kasvattaa vuodesta 2017, jolloin siitä tuli virallinen TREND-kumppani. Tämä mahdollistaa yritykselle täydet valtuudet toimia TREND automaatiojärjestelmien toimittajana. Vuodesta 2016 yrityksen liikevaihto kasvoi 21,2%. 206 000:n euroon. Vuonna 2018 yritys teki liikevaihtoa noin 600 000 euroa.

### 3 PROSESSI

#### 3.1 Kohteen kuvaus

Saneerauskohteena oli vuonna 1982 rakennetussa Hämeen puhelimen päätalossa sijaitseva ilmanvaihtokone. Ilmanvaihtokoneen tehtävä on vaihtaa tiloissa olevaa ilmaa, sekä pitää ilma halutussa lämpötilassa. Kohteen ilmanvaihtokone on kaksinopeuksinen, glykoli kiertoisella LTO- sekä jäähdytys- ja lämmityspattereilla varustettu kokonaisuus (Kuva 2). Koneen tulo- ja poistopuhaltimet ovat remmivetoisia 3-vaihe mootoreilla varustettuja puhaltimia ja niiden tuotto on 4 m<sup>3</sup>/s. Tulo- ja poistokone sijaitsevat IV-konehuoneessa vastakkaisilla seinillä, jolloin lämmöntalteenotto poistoilmasta on toteutettu LTO-pattereiden avulla. Poistokanavassa sijaitsevan LTO-patterin läpi virtaava lämmin poistoilma lämmittää putkistossa virtaavaa glykolia, joka siirtyy pumpun avulla tulokoneen kanavassa sijaitsevaan LTO-patteriin näin lämmittäen tuloilmaa. Jokaisella patteriverkolla on omat pumppunsa, jotka kierrättävät verkostossa kulkevaa nestettä. Lämmityspatterin pumppu käy aina, kierrättäen vettä lämmityspatterissa. LTO- ja jäähdytyspattereiden pumpput ohjataan päälle, mikäli verkoille ilmenee käyttötarvetta.





## Kuva 2. Prosessin instrumentointikaavio

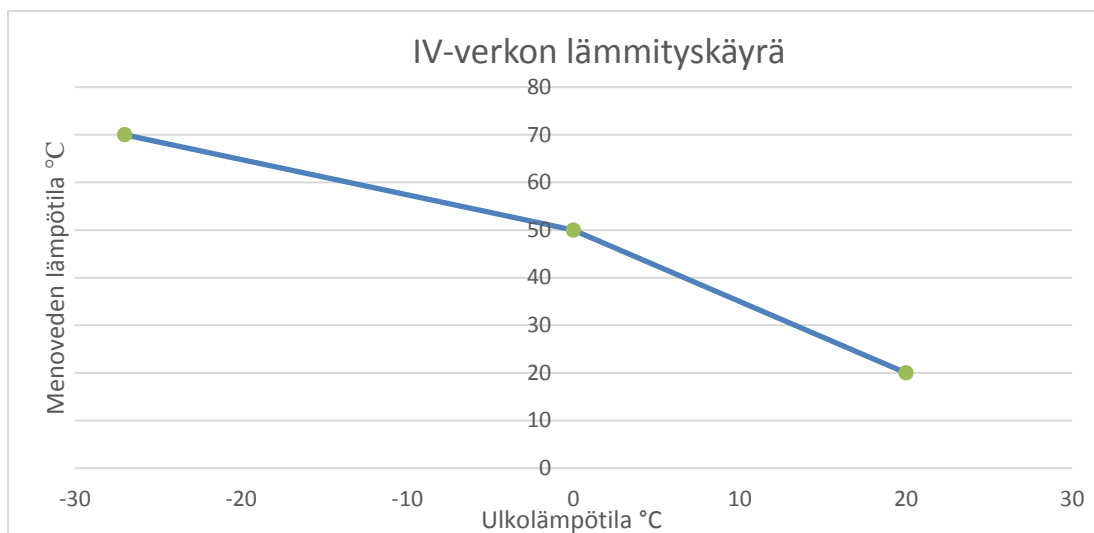
### 3.2 3-Portainen säätö

3-portaisessa säädössä ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilan säätö on toteutettu kolmessa eri portaassa, joita ovat jäähdytys, lämmöntalteenotto sekä lämmitys. Jokaisesta porrasta vastaa järjestelmässä oma patteri sekä kyseisen patterin verkostoa säättävä venttiili.

Ensimmäisenä portaana järjestelmässä on jäähdytysporras, jolloin jäähdytyspatterin venttiiliä ohjataan auki, mikäli tuloilmaa halutaan jäähdyttää. Edellytyksenä jäähdytysportaan aktivoitumiselle ja jäähdytysventtiilin aukeamiselle on, että LTO sekä lämmitysventtiili ovat täysin kiinni (Kuva 2.) ja ulkoilman lämpötilan tulee olla yli viisiastetta, jolloin ohjaamalla raitista ilmaa sisään, tuloilman lämpötila kohoaa silti yli halutun asetusarvon.

Toisena portaana on lämmöntalteenotto poistoilmasta. Kun tuloilman jäähtyessä lämmitystarvetta alkaa esiintyä, LTO-patterin venttiili aukeaa ja lämmintä glykolia alkaa virrata tuloilmakoneen LTO-patteriin. LTO-patterin läpi virtaava tuloilma alkaa näin lämpiämään ja saavuttamaan asetusarvoaan. Jotta LTO-venttiili alkaa aukeamaan täytyy jäähdytysventtiilin olla täysin kiinni (Kuva 2). Tyypillinen hyötysuhde glykoli LTO:lle on noin 40-60%.

Kolmas porras on lämmityspatteri. Lämmityspatteri sijaitsee tulokoneessa ilman virtaussunnassa LTO ja jäähdytyspattereiden välissä, jolloin ilma ei enää lämmityspatterin jälkeen pääse virtaamaan viileämmän LTO-patterin lävitse huonontaen lämmitystehoa. Lämmitysventtiili saa aueta vasta kun jäähdytysventtiili on täysin kiinni ja LTO-venttiili on täysin auki, mutta tuloilma ei silti saavuta asetusarvoa. Lämmityspatterissa virtaa kaukolämmön avulla lämmitetty IV-verkon vesi. Mikäli lämmityspatterin venttiili on täysin kiinni kiertää vesi kiertoverkossa, jolloin IV-verkosta ei oteta lämmintä vettä patterille. IV-verkon veden lämpötila määräytyy oheisen kaavion mukaan (Kuvio 1).



Kuvio 1. IV-verkon lämmityskäyrä

## 4 VANHA JÄRJESTELMÄ

### 4.1 Stenfors ohjausjärjestelmä

Uusittavan kohteen aikaisempi ohjausjärjestelmä oli Stenfors 1000 DDC-järjestelmä 1980-luvulta. Järjestelmä oli osin vaurioitunut eikä se pystynyt enää tehokkaasti ohjaamaan siihen kytkettyä prosessia.

## 5 UUSI JÄRJESTELMÄ

### 5.1 TREND

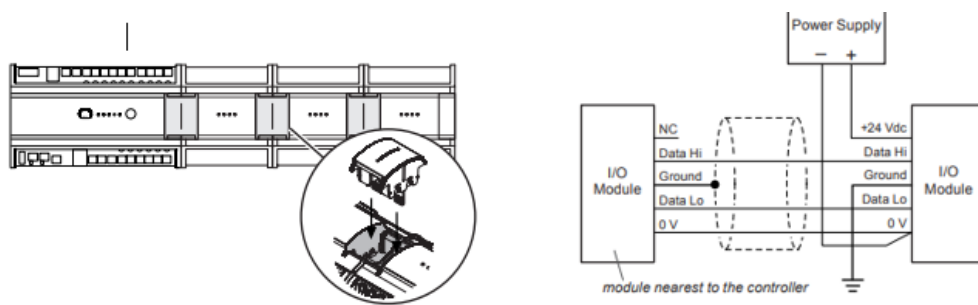
TREND on vuonna 1980 Englannissa perustettu rakennusautomaatiojärjestelmien sekä komponenttien valmistaja. Nykyään se on yksi johtavista valmistajista maailmassa kattaen toimitukset yli viiteenkymmeneen maahan. Sen tuotteisiin kuuluu kattavasti kaikki kiinteistöautomaatiojärjestelmän tarvitsemat komponentit aina ohjelmoitavasta logiikasta yksittäisiin antureihin. Tuotteista löytyy myös venttiileitä sekä venttiilitoimilaitteita, joiden vaihto ja asennus on hyvin yleistä automaationsaneerausten yhteydessä. TREND:llä on oma ohjelmointityökalu nimeltä System Engineering Tool (SET), jonka avulla TREND:in logiikoita ohjelmoidaan. TREND:illä on myös kiinteistöautomaatiossa tärkeässä roolissa olevaan valvomoon oma valvomo-ohjelmisto nimeltä 963. 963 valvomoon voidaan luoda prosessikuva, johon pystytään liittämään kaikki logiikalta saatavat mittauspisteet, digipisteet, ohjaukset, säätöviestit, kytkimet, asetusarvot sekä aikaohjelmat. Valvomosta voidaan ohjelmassa luodut hälytykset lähettää jatkohälytyksinä esimerkiksi puhelimeen tai sähköpostiin. TREND:illä on myös uusi NIAGARA N4 -käyttöjärjestelmään pohjautuva valvomoympäristö nimeltään IQVision. IQVisionilla tehtyihin valvomoihin kirjaudutaan suoraan selaimen kautta IP-osoitteella. Tämä mahdollistaa verkon rakentamisen niin että valvomoa voidaan käyttää julkisen IP-osoitteen avulla mistä tahansa. Valvomo kuvat myös skaalautuvat hyvin nykypäivän laitteille kuten tableteille ja älypuhelimien näytöille.

### 5.2 Laitteet ja komponentit

Tässä kohteessa logiikaksi valittiin TREND:in IQ4E-64 ohjelmoitava logiikka. Kyseinen keskus pystyy käsittelemään maksimissaan 64 ulkoista pistettä. Yhdeksi pisteeksi lasketaan fyysinen ohjaus, säätö, mittaus tai digipiste. Itse CPU:ssa on kymmenen universaalia sisääntuloa (universal input) sekä kuusi universaalia lähtöä (universal output). Logiikkaan voidaan liittää TREND:in väylällä lisää IO-moduuleita, jotka mahdollistavat lisää pisteitä käyttöön aina 64:ään pisteeseen asti.

### 5.2.1 IO-Moduulit

Logiikkaan liitettäviksi lisämoduuleiksi valittiin tässä tapauksessa kolme erilaista I/O-moduulia. Näiden lisämoduulien avulla saadaan kaikki kohteen anturit, toimilaitteet, mittaukset ja digitaaliset tulot kytkettyä logiikkaan. Kaikki moduulit ovat DIN-kiskoon asennettavia ja ne voidaan liittää toisiinsa TREND:in omalla liitoskappaleella, mikäli moduulit asennetaan vierekkäin (Kuva 2.). Jos moduulit ovat sijoitettuna etäälle toisistaan täytyy niiden välinen väylä johdottaa vähintään 4-johtimisella kaapelilla. Väylässä kulkee virransyöttö, joka on 24 V tasavirtaa (Vdc) sekä viestisignaali. Väylän neljä johdinta ovat +24 V, 0 V, Data Hi sekä Data Lo (Trend Controls Systems:in [www-sivut](http://www.trendcontrols.com)). Haluttaessa voidaan käyttää myös viidettä johdinta maadoituksena. Mikäli moduulien välinen matka on pitkä ja väylässä havaitaan jännitteenalenemaa, voidaan lisämoduuleille kytkeä erillinen virransyöttö (Kuva 3.) Ilman erillistä virransyöttöä väylän enimmäispituus voi olla 100 metriä. Jos moduuleille kytketään erillinen virransyöttö voi väylän pituus olla enintään 300 metriä.

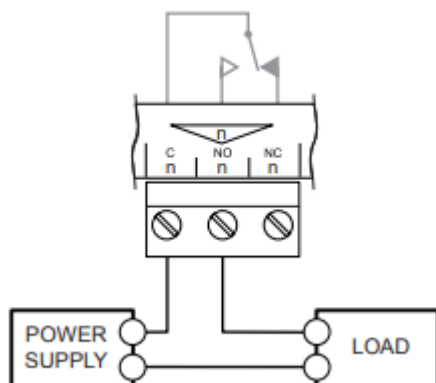


Kuva 3. Esimerkkejä väylän kytkennästä

#### 5.2.1.1 8DO-Moduuli

8DO (digital output) on releohjauksiin tarkoitettu moduuli malliltaan IQ4/8DO. Moduulissa on kahdeksan relelähtöä, joissa jokaisessa on yksi NO (normally open) sekä NC (normally closed) kärki (Kuva 3.). Tässä moduulityypissä moduulista ei lähde ulospäin omaa jännitettä vaan releen C (common) kärjelle tuodaan haluttu ohjausjännite ryhmäkeskuksesta. Releiden kärjet kestävät 230V sekä 6-12 ampeeria (A). (Trend

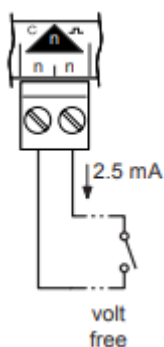
Controls Systems:in www-sivut). Logiikkaan ohjelmoitu ohjelma vedättää releiden kärkeä halutulla tavalla.



Kuva 4. 8DO moduuli NO kärjen kytkentä

#### 5.2.1.2 16DI-Moduuli

16DI (digital input) -moduuli on tarkoitettu ainoastaan digitaalisin sisääntuloihin. Moduulissa on 16 sisääntulokanavaa, joihin jokaiseen voidaan kytkeä yksi digitaalinen sisääntulo. Moduuli lähettää oman tunnustelujännitteen kentällä olevalle potentiaalivapaalle koskettimelle (Kuva 5.). Potentiaalivapaalla koskettimella on 2,5mA ylläpitovirta. Kun piiriin kytketty kosketin menee kiinni, havaitsee logiikan tulokanava palaavan jännitteen ja sisääntulo menee tilaan "1".



Kuva 5. Digitaalisen sisääntulon kytkentä.

### 5.2.1.3 Universaali tulo- ja lähtömoduuli

8UIO (universal input/output) -moduulilla voidaan vastaanottaa analogisia tai digitaalisia sisääntulosignaaleja tai sillä voidaan lähettää analogista 0-10 V ulostulojännitettä. Moduulissa on kahdeksan kanavaa, joista jokaiseen voidaan kytkeä joko digitaalinen tai analoginen viesti. Jokainen kanava määritellään ohjelmassa vielä erikseen ulos tai sisääntulokanavaksi käyttötarkoituksen mukaan. Sisääntulokanava voidaan määritellä termistori-, virta-, jännite- tai digitaalituloksi. Mikäli kanava määritellään ulostulokanavaksi, voidaan siitä lähettää 0-10 V jänniteviestiä.



Kuva 6. Kyt Kentäkuvat sisääntulosta, sekä 0-10 V ulostulosta

### 5.2.2 Anturit

Ilmanvaihtokoneessa olevien erilaisten anturien tehtävänä on mitata prosessin kanalta tärkeitä suureita kuten lämpötila, paine-ero ja virtaus. Antureista saatavan mitaustiedon avulla logiikka pystyy säätämään prosessin lähtösuureita. Anturit on sijoitettu ilmanvaihtokoneeseen instrumentointikaavion mukaisesti (Kuva 2).

Taulukko 1. Prosessissa käytettävät anturit.

Postio	Malli	Tyyppi	Alue	Viesti
TE3.1 Tuloilma	stenfors tek20	Termistori	-50 - 50C°	1,04 - 2,138 kOhms
TE3.2 Tuloilma LTO-jälkeen	stenfors tek20	Termistori	-50 - 50C°	1,04 - 2,138 kOhms
TE3.3 Poistoilma	stenfors tek20	Termistori	-50 - 50C°	1,04 - 2,138 kOhms
TE3.5 Paluuvesi	EJV24	Jännite	0 - 100°C	0 - 10 Volttia
TE3.8 LTO-nesteen lämpötila	stenfors tek20	Termistori	-50 - 50C°	1,04 - 2,138 kOhms
TE3.4 Poistoilma LTO-jälkeen	stenfors tek20	Termistori	-50 - 50C°	1,04 - 2,138 kOhms

### 5.2.3 Toimilaitteet

Toimilaitteella tarkoitetaan mekaanisesti säädettävien komponenttien kuten venttiileiden ja peltien ohjaamiseen käytettäviä sähköisiä laitteita. Tässä prosessissa ohjattavia komponentteja on yhteensä viisi (Taulukko 2), joista kolme ovat venttiileitä ja kaksi peltejä. Toimilaitteiden sijainti selviää instrumentointikaaviosta (Kuva 2).

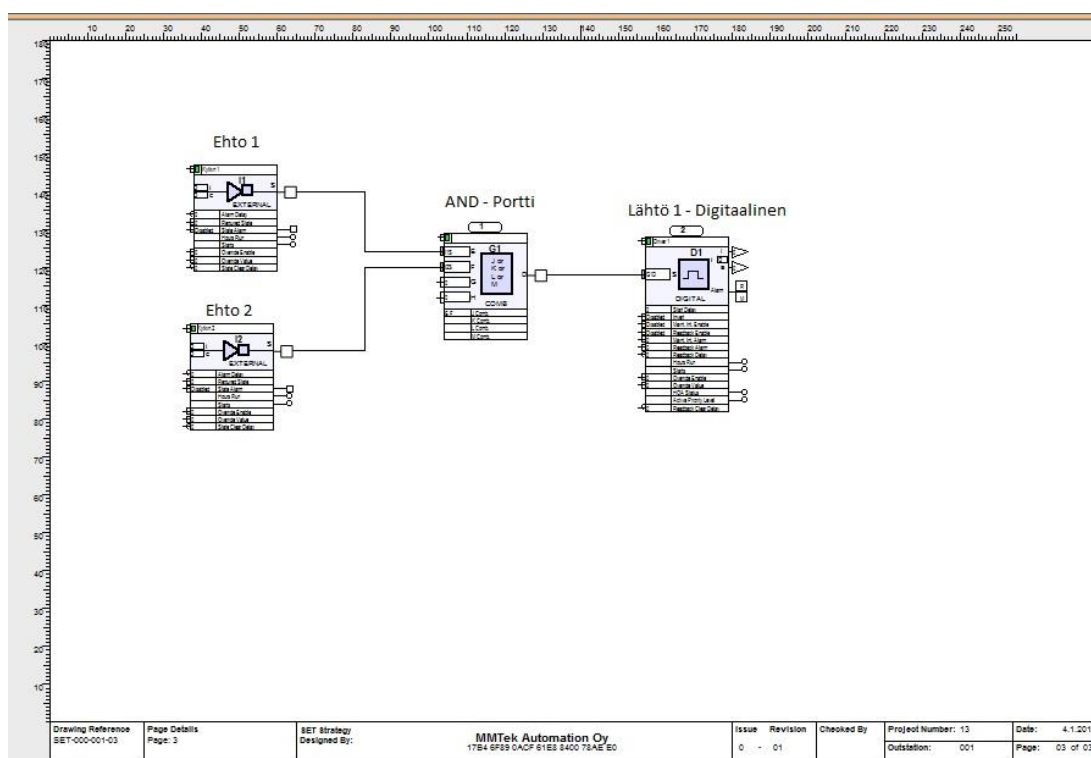
Taulukko 2. Toimilaitteet.

Positio	Malli	Tyyppi	Käyttöjännite	Viesti
Raitisilmapelti	Belimo SF230A	ON/OFF Jousipalautteinen	230V	0/1
Poistoilmapelti	Belimo SF230A	ON/OFF Jousipalautteinen	230V	0/1
LTO - Venttiili	Stenfors SM 634	Säädettävä	24V	3 - Piste
Lämmitys Venttiili	Belimo NVC24A-MP-SZ-RE	Säädettävä	24V	0-10V
Jäähdytys Venttiili	Stenfors	ON/OFF	24V	0/1



## 6 OHJELMOINTI

Tämän prosessin ohjelmointiin käytettiin TREND:in omaa ohjelmointityökalua nimeltä System Engineering Tool, (SET). SET:in ohjelmointikieli muistuttaa hieman yleisesti käytettyä Function Block Diagram (FBD) ohjelmointikieltä. Ero yleiseen FBD-kieleen on blokkien vapaa sijoittelu sivulle x-y koordinaatistossa sekä funktioiden (FC) ja funktion blokkien (FB) sijasta SET:issä luodaan uusia sivuja (page). Yhdelle sivulle voi luoda useita eri ”virtapiirejä” eikä niitä ole eritelty sivulla sen tarkemmin. Sivut ovat hierarkkisesti samanarvoisia eikä ole olemassa mitään ”pääsivua”, joka kutsuu muita sivuja ja jota voisi verrata vaikka Siemensin järjestelmässä blokkiin ”OB1”. Virtapiirin loogisten operaatioiden väliset yhteydet osoitetaan vetämällä ”viiva” niiden välille (Kuva 7).



Kuva 7. Virtapiiri AND operaatiolla

### 6.1 Ohjelman funktiot ja loogiset operaatiot

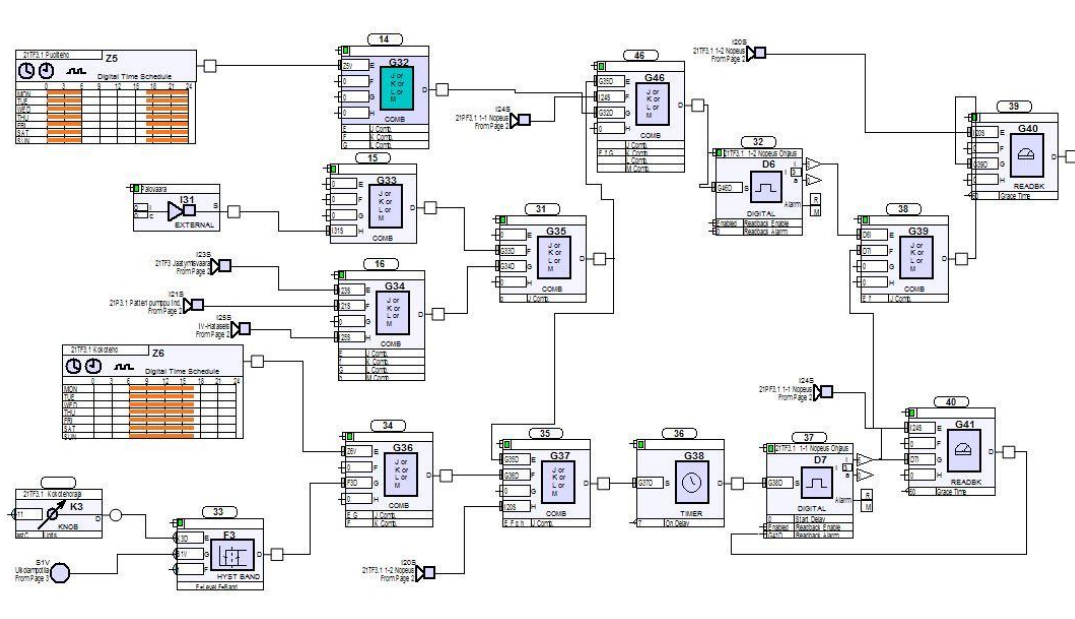
Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3.) on esitetty prosessia ohjaavassa ohjelmassa käytettävät eri funktiot ja loogiset operaatiot yleisellä tasolla.

Taulukko 3. Funktiot ja loogiset operaatiot

Nimi	Selitys
<b>External Digital Input</b>	Ulkoinen logiikkaan kytketty DI-Piste
<b>Internal Digital Input</b>	Ohjelmallinen DI-Piste
<b>External Sensor</b>	Ulkoinen logiikkaan kytketty anturi
<b>Internal Sensor</b>	Ohjelmallinen anturi
<b>Knob</b>	Piste, johon voidaan syöttää numeerisia arvoja
<b>Switch</b>	Ohjelmallinen 0-1 kytkin
<b>Combination</b>	Looginen operaatio, johon voidaan määritellä AND ja OR ehtoja
<b>Loop</b>	PID-säätö funktio antaa ulostulo arvoja 0-100
<b>Boolean time schedule</b>	Aikaohjelma, ulostulona 0 tai 1
<b>Timer</b>	Ajastin, määriteltävissä On, Off - delay sekä Minimum ON ajat
<b>Hyst Band</b>	Vertailu funktio, hystereesillä. Ulostulo = 1 Kun $A > B$
<b>ReadBack</b>	Vertailee kahta DI-pistettä, ulostulo 1 mikäli pisteillä eri arvo
<b>Rescale</b>	Skaalaa funktioon syötettävän arvon esim. 0-100, parametroidulle välille esim. 0-50.
<b>Gate</b>	Looginen NO&NC operaatio
<b>Minimum</b>	Vertailee maksimissaan neljää arvoa, antaa ulostulona pienimmän
<b>Maximum</b>	Vertailee maksimissaan neljää arvoa, antaa ulostulona suurimman
<b>Comparator</b>	Vertailee kahta arvoa, ei hystereesiä. Ulostulo = 1 Kun $A > B$
<b>Raise Lower End</b>	Funktio, joka ohjaa kahta lähtöä, (3 - piste ohjauksessa käytetty).
<b>Digital Driver</b>	Digitaalinen lähtö. Ulostulona 0 tai 1
<b>Analogue Driver</b>	Analoginen lähtö. Ulostulona 0-100 (0 -10 V)
<b>Plot</b>	Mittaustiedon tallentamiseen käytettävä funktio

## 6.2 Tulo- ja poistoilmakoneen ohjaus

Tuloilmakoneen käyntiä ohjataan aikaohjelmalla niin, että miehitysjaksolla kello 6:00 ja 17:00 välissä kone käy täyttä nopeutta. Muuna aikana kone käy puolella nopeudella pitäen tiloissa minimi ilmanvaihdon. Poistoilmakone käy tulokoneen rinnalla. Mikäli ulkolämpötila laskee alle  $-11^{\circ}\text{C}$  saa ilmastointikone käydä vain puolikasta nopeutta. Koneiden eri nopeudet ovat fyysisesti ja ohjelmallisesti lukittu niin että ne eivät voi olla samaan aikaan päällä. Koneiden ohjaus ja tilatietoja verrataan keskenään, mikäli tilat eivät vastaa toisiaan annetaan asetetun ajan päästä ristiriitahälytys. Tulo- ja poistoilmakoneiden peltien ohjaukset ovat toteutettu fyysisillä relekytkennöillä. Kun ilmastointikone on päällä rele vetää ja avaa pellit. Kun rele päästää menee pelti jousipalautteisesti kiinni estäen ulkoilman virtaamisen ilmastointikoneeseen.



Kuva 8. Tulokonetta ohjaava ohjelma

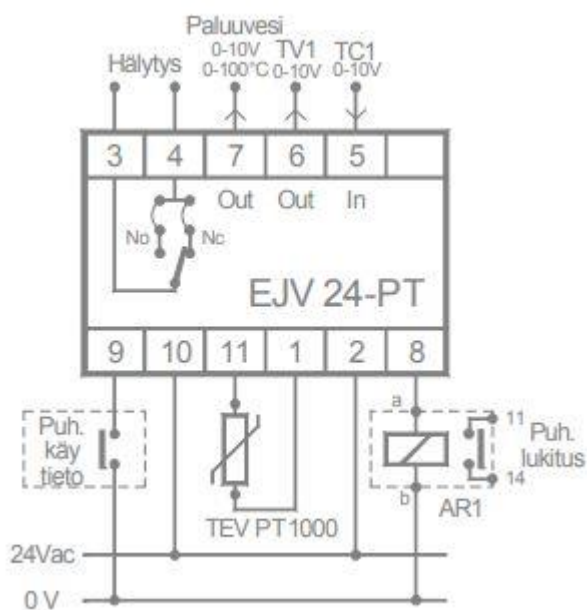
### 6.2.1 Ilmastointikoneen varotoiminnot

Ilmastointikone ohjataan pois päältä, mikäli jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- Lämmityspatterin paluuvien lämpötila alittaa asetusarvon
- Lämmityspatterin pumppu pysähtyy
- IV-hätäseis nappia painetaan
- Tuloilman lämpötila nousee yli raja-arvon

### 6.2.1.1 Jäätymisvaaratermostaatti

Jäätymisvaaratermostaatti on yksi ilmanvaihtokoneen tärkeimmistä komponenteista. Sen tehtävänä on tarkkailla patterin paluuvien lämpötilaa ja ohjata lämmitysventtiiliä auki, jos paluuvien lämpötila uhkaa laskea alle asetellun raja-arvon. Jos patterin paluuvien lämpötila kuitenkin laskee alle raja-arvon, sammuttaa jäätymisvaaratermostaatin laukeaminen ilmanvaihtokoneen. Tämä on viimeinen keino, jolla estetään patterissa olevan veden jäätyminen. Jäätymisvaaratermostaattiin kytketään venttiilille tuleva säätöviesti, paluuvien lämpötilamittaus, ilmastointikoneen tilatieto sekä apureleen avulla ilmanvaihtokoneen ohjaus. Termostaatista logiikalle kytketään paluuvien lämpötilamittaus sekä hälytystieto, jonka avulla kone pysäytetään myös ohjelmallisesti. (Kuva 9). Normaalitilanteessa termostaatti päästää logiikan säätöviestin suoraan lämmitysventtiilille. Jos paluuvien lämpötila laskee termostaattiin asetellun raja-arvon arvosta tasolle, avaa termostaatti lämmitysventtiiliä ja pahimmassa tapauksessa pysäyttää ilmanvaihtokoneen avaamalla apureleen kärjen. Termostaattiin asetellaan myös paluuvien seisakkiasetus, joka on voimassa silloin kun ilmanvaihtokone ei ole päällä. Seisakkiasetuksen tehtävänä on pitää patterin paluuvien lämpötila asetusarvossaan silloin kun ilmanvaihtokone ei ole päällä ja ohjelmallinen lämmityssäätö ei näin ohjaa venttiiliä. Termostaatti toimii siis ohjelmallisen paluuvien lämpötilasäätimen rinnalla silloin kun ilmanvaihtokone ei ole päällä.



Kuva 9. Jäätymisvaaratermostaatin kytkentä

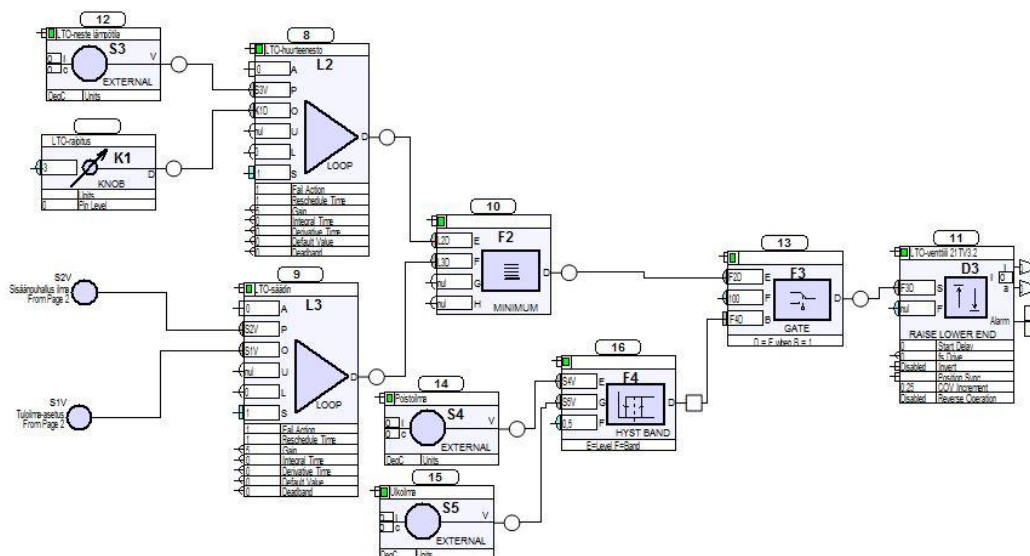
Jäätymisvaaratermostaattiin kytkettävä paluuveden lämpötilaa mittaava anturi on sijoitettava patterin kylmimpään kohtaan, joka sijaitsee patterin paluupuolella. Anturia ei pidä asentaa niin sanottuun ”taskuun” vaan sen tulee olla suorassa kosketuksessa patterissa virtaavan nesteen kanssa. Suurimmassa osassa optimaalisin asennuskohta sijaitsee paluupuolella patterin alimmassa kohdassa. Näin ei kuitenkaan aina ole, joten kohta tulee aina varmistaa patterin valmistajalta. Anturin asentamisen yhteydessä on tärkeää ymmärtää, että anturin asentaminen kyseiseen kohtaan tekee siitä kohdasta patterin kylmimmän kohdan. Tämä johtuu siitä, että anturin mittauselementti kaventaa patteriputken tilavuutta ja lisää virtausta kyseisessä kohdassa. Anturin oikein sijoittaminen on äärimmäisen tärkeää jäätymisenestotoimintojen oikeanmukaisen toiminnan kannalta.

Useimmissa tapauksissa jäätymisvaarahälytys laukeaa koneen käynnistyessä suoraan täydelle teholle. Tällöin säädin ei ehdi avaamaan lämmitysventtiiliä tarpeeksi nopeasti auki. Tämä voidaan tarvittaessa estää ohjelmoimalla venttiilille ja puhaltimelle käynnistyssekvenssi. Käynnistyksen aikana kone käy aluksi alhaisemmilla kierrosnopeuksilla ja säätöohjelma tarkkailee tuloilman ja paluuveden lämpötilaa. Käynnistyssekvenssin aikana säätö voi ohjata venttiiliä auki, vaikka tuloilman lämpötila ylittäisikin asetusarvonsa. (Värjä & Mikkola 1999, 114).

### 6.3 LTO-toiminnot

LTO-venttiilin ohjaukseen liittyy LTO-säätimen lisäksi LTO:n huurtumisenesto sekä LTO-jäähdytystoiminnot. Kun kyseessä on glykoli kiertoinen LTO, tarkkaillaan ohjelmassa LTO patterissa kiertävän glykolin lämpötilaa. Jos glykolin lämpötila laskee alle  $-2^{\circ}\text{C}$  ohjelma alkaa sulkemaan LTO venttiiliä 21TV3.2 (Kuva 2). Venttiilin ollessa kiinni ohitetaan tulopuolen LTO patteri, jolloin kylmä raitisilma ei pääse jäähdyttämään LTO pattereissa kiertävää glykolia. Ohjelmassa LTO venttiiliä ohjaa lämmityssäädin, jonka rinnalla toimii LTO-huurteenestosäädin. Huurteenestosäädin on P – arvoltaan negatiivien, joka tarkoittaa, että sen ulostulo on arvoltaan 100 aina kun LTO – nesteen lämpötilan on yli  $-3^{\circ}\text{C}$ . LTO venttiilin ohjauksessa huurteenesto sekä LTO-säätimen ulostulot on ohjattu minimum funktion läpi. Näin saadaan toteutettua toiminto, jossa huurteenestosäädin pystyy ohjaamaan LTO venttiiliä kiinni niissä

tapauksissa, joissa glykolin lämpötila uhkaa laskea alle  $-2^{\circ}\text{C}$  (Kuva 10).



Kuva 10. LTO-venttiilin ohjaus.

LTO pattereita voidaan käyttää kesällä myös jäähdytys tarkoituksessa. Mikäli poistoilma on viileämpää kuin ulkoa otettava raitisilma, ohjataan LTO venttiili täysin auki (Kuva 9). Näin saadaan viileämmästä poistoilmasta jäähdytykseen käytettävää energiaa talteen. Viileämmän poistoilman avulla jäähdytetty glykoli auttaa tuloilman jäähdyttämisessä silloin kun jäähdytystarvetta esiintyy.

#### 6.4 PID - säädin

PID (Proportional-Integral-Derivative) on kiinteistöautomaatiossa yleisimmin käytetty säädin. PID-säätimessä on kolme tärkeää parametria, jotka ovat P vahvistus, I integrointiaika, D derivointiaika.

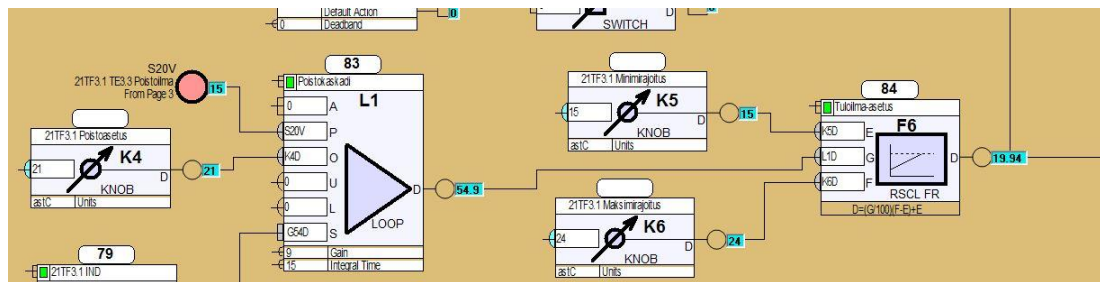
- P vahvistus määrittää säätimen lähtöviestin, joka on verrannollinen asetusarvon ja mittausarvon erotukseen.
- I integrointiaika hidastaa säädintä. Säätimen lähtöviesti muuttuu vasta kun asetusarvossa ja mittausarvossa on ollut poikkeamaan tietyn ajan. Integrointiaika lisäämällä säätöä voidaan hidastaa.
- D derivointiaika muuttaa lähtöviestin arvoa sitä voimakkaammin mitä nopeampi asetusarvon ja mittausarvon eron muutos on. Eron suuruus ei vaikuta,

vain muutoksen nopeus vaikuttaa. Mitä pidempi derivointiaika sitä suurempi vaikutus sillä on.

Prosessin aikavakioiden ja horrosajan avulla valitaan ne säätimen toiminnot, joiden avulla säädin saadaan parhaiten toimimaan. Eri toimintoja ovat P, PI, PD tai PID. P-säätöä voidaan käyttää tapauksissa, joissa säädön ei tarvitse olla kovin tarkka. PI-säätö on todettu hyvin toimivaksi niissä prosesseissa, joissa säätö on hidas. Kiinteistöautomaatiossa, jossa huoneilman lämpötilan muutos on aina suhteellisen hidas, käytetään lähes aina PI-säädintä. Lisäämällä säätimeen D toiminto pystyy säädin ennakoimaan häiriöitä ja reagoimaan niihin nopeasti. PID-säätöä käytetään kiinteistöautomaatiossa todella harvoin (Johansson 2000, 89, 28-29.)

#### 6.4.1 Apusäädin

Ilmastointikoneen tuloilman lämmityssäädössä käytetään lähes aina PI säädintä, joka soveltuu erinomaisesti koneessa tapahtuvien lämpötilan muutosten ja virtauksen säätämiseen. Tuloilmakoneen huoneisiin puhaltaman tuloilman lämpötilaa säädetään 3-portaisella PI +PI kaskadisäätö ohjelmalla. Kaskadisäätöä käytetään tapauksissa, joissa tyydyttävään tulokseen ei päästä yksinkertaisella säätösilmukalla. (Savolainen & Vaittinen 2001, 53). PI + PI säätöpiirissä käytetään nimensä mukaisesti kahta toisiinsa kytkettyä PI säädintä, josta toinen on nimeltään apusäädin ja toinen pääsäädin. Tässä prosessissa apusäädin säätää tuloilman asetusarvoa poistoilman lämpötilan mukaan. Poistoilman lämpötilalle asetetaan apusäätimeen asetusarvo ja mittausarvona käytetään poistoilman lämpötilaa. Näiden muuttujien avulla apusäädin säätää tuloilman asetusarvoa välillä 15 - 24°C. Apusäätimen ulostulon arvo 0-100 skaalataan ohjelmassa välille 15 – 24. Näin apusäätimen ulostulon ollessa 0 saa tuloilman asetusarvo pienimmän mahdollisen arvonsa 15 ja päinvastoin säätimen ulostulon arvon ollessa 100 saa tuloilman asetusarvo arvon 24 (Kuva 11).

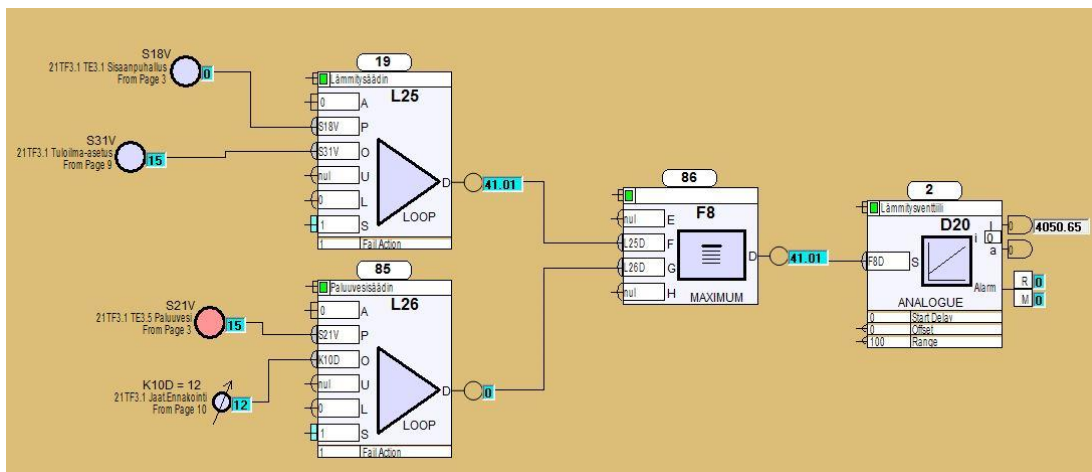


Kuva 11. Apusäädin

#### 6.4.2 Lämmitys

Tämän prosessin lämmityssäädössä käytettiin kahta lämmityssäätöpiiriä. Toinen säätöpiireistä ohjaa LTO venttiiliä ja toinen lämmitysventtiiliä. Molempien piirien pääsäädin saa asetusarvonsa samalta apusäätimeltä ja mittausarvona käytetään tuloilman lämpötilaa. Säätöpiirit ohjelmoitiin toimimaan porrastetusti siten, että lämmitysventtiilin säätö aktivoituu vasta kun LTO venttiilin säädin on ohjannut venttiilin täysin auki, mutta lämmitystarvetta esiintyy yhä. Molempien säätöpiirien ehtoihin kuuluu, että tuloilmakoneen tulee olla käynnissä sekä jäähdytysventtiilin pitää olla kiinni. Näiden kahden säätimen lisäksi patteriventtiilin säädössä käytetään pääsäätimen rinnalla toista säädintä, jota kutsutaan ohjelmassa paluuvesisäätimeksi. Paluuvesisäätimen tehtävänä on toimia lämmityssäätimen rinnalla ja tarvittaessa ohjata patteriventtiiliä niin, että patterin paluuv veden lämpötila ei laske alle säätimelle asellun asetusarvon. Teoriassa tämä voi tapahtua, mikäli pääsäädin ohjaa venttiiliä kiinni ja paluuvesi alkaa jäähtyä nopeasti. Patteriventtiilin pääsäätimen (lämmityssäädin) sekä paluuvesisäätimen ulostulot ohjataan ohjelmassa Maximum funktion läpi. Maximum funktion ulostulo saa suurimman arvon sisään tulevista arvoista (Kuva 12). Tämän ansiosta paluuvesisäädin ei missään olosuhteissa rajoita pääsäätimen toimintaa niissä tapauksissa, joissa pääsäädin haluaa avata venttiiliä. Käytännössä paluuvesisäädin toimii silloin kun pääsäätimellä ei ole lupaa toimia (kone ei ole päällä) pitäen huolen siitä, että ilmastointikoneen patteri ei pääse jäätymään. Paluuvesisäätimen mittausarvona käytetään patterin paluuv veden lämpötilaa.





Kuva 12. Lämmitysventtiilin säätö.

Seuraavassa kuvassa (kuva 12) on esitetty LTO-säätimen, Lämmitysventtiilin säätimen, paluuvesisäätimen, sekä apusäätimen PID arvot.

<input checked="" type="checkbox"/> Gain:	9	<input checked="" type="checkbox"/> Gain:	3
<input checked="" type="checkbox"/> Integral Time:	15 Minutes	<input checked="" type="checkbox"/> Integral Time:	1 Minutes
<input type="checkbox"/> Derivative Time:	0 Minutes	<input type="checkbox"/> Derivative Time:	0 Minutes
Apusäädin		LTO-Säädin	
<input checked="" type="checkbox"/> Gain:	1,7	<input checked="" type="checkbox"/> Gain:	4
<input checked="" type="checkbox"/> Integral Time:	2,7 Minutes	<input checked="" type="checkbox"/> Integral Time:	0,2 Minutes
<input type="checkbox"/> Derivative Time:	0 Minutes	<input type="checkbox"/> Derivative Time:	0 Minutes
Lämmityssäädin		Paluuvesisäädin	

Kuva 13. Säätimien PID-arvot.

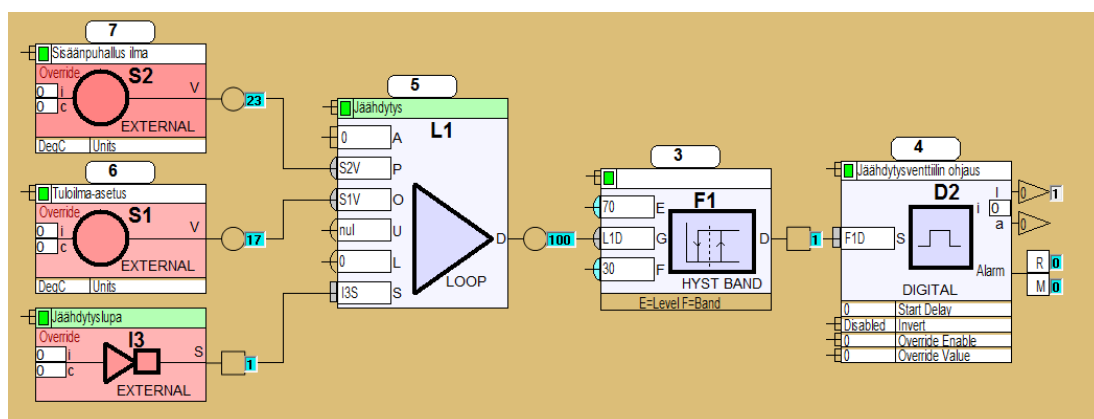
### 6.4.3 Jäähdytys

Myös jäähdytysäädin, joka on jäähdytysäätopiirin pääsäädin, saa asetusarvonsa apusäätimeltä ja mittausarvona käytetään tuloilman lämpötilaa. Jäähdytysäätimessä käytetään P:n arvona miinus merkkisiä arvoja, jolloin se reagoi vasta kun mittausarvo ylittää asetusarvon (Kuva 14). Jäähdytysportaan tehtävänä on viilentää sisäänpuhallus ilmaa, jos poistoilman lämpötila kohoaa liian suureksi. Logiikka ohjaa jäähdytyspatterin venttiilin auki, mikäli jäähdytystarvetta esiintyy sekä seuraavat ehdot täyttyvät:

- Poistoilman lämpötila kohoaa yli asetusarvon
- LTO- ja lämmitysventtiili ovat täysin kiinni
- Tuloilmakoneen täytyy olla käynnissä

- Ulkoilman lämpötilan pitää olla yli 15°C

Ohjelmassa jäähdytyspatterin magneettiventtiilin ohjaus on toteutettu PID-säätimen (Loop) sekä Hysteresis Band vertailu operaation avulla. Koska magneettiventtiiliä ei voida säätää portaattomasti 0-10V viestillä vaan se on joko auki tai kiinni täytyy PID-säätimen lähtöarvoa verrata arvoon väliltä 0 – 100. Hysteresis Band funktion raja-arvoksi aseteltiin tässä tapauksessa arvo 70. Hysteresis Band funktio vertaa PID-säätimen ulostulon arvoa aseteltuun raja-arvoon. Kun vertailtava arvo on suurempi kuin funktioon aseteltu raja-arvo + hystereesi saa vertailu funktion ulostulo arvon 1. Venttiiliä ohjaava lähtö saa saman arvon kuin Hysteresis Band funktion ulostulo, näin ollen ohjelma ohjaa venttiilin auki, kun säätöfunktion ulostulon arvo on yli 70 + hystereesi. Hystereesiksi asetettiin arvo 30.



Kuva 14. Sääto ohjaa jäähdytysventtiilin auki

<input checked="" type="checkbox"/>	Gain:	-3	
<input checked="" type="checkbox"/>	Integral Time:	1,5	Minutes
<input type="checkbox"/>	Derivative Time:	0	Minutes

Kuva 15. Jäähdytyssäätimen PID arvot

## 7 TULOKSET JA YHTEENVETO

Automatiikan uusimisen tavoitteena oli saada ilmanvaihtokoneesta energiatehokas sekä säädöltään mahdollisimman tarkka. Ilmastointikoneetta ohjaavan logiikan ja vanhojen toimilaitteiden vaihdolla saavutettiin huomattavasti tarkempi tuloilman säätö. LTO-, jäähdytys- ja lämmityspattereiden venttiilitoimilaitteiden ohjausten uudelleenohjelmoinnin ja järkevöittämisen ansiosta tuloilman lämmitykseen käytettävän energian määrää saatiin laskettua. Tuloilmakoneen käyntiä ohjaavalla ohjelmalla tuloilmakoneen kuluttama energia saadaan puolitettua kello 06:00 – 17:00 ulkopuolisen aikana. Tuloilman tarkemman säädön ansiosta huoneilma saadaan säädettyä tarkasti haluttuun lämpötilaan. Kun huoneilma saadaan tarkasti säädettyä, käyttäjien ei tarvitse tehdä ilmatasapainoa tai lämmityssäätöä häiritseviä toimenpiteitä tiloissa kuten ikkunoiden ja ovien avaamista tai erillisten jäähdytys ja lämmityslaitteiden käyttöä. Näin pyritään välttymään tilanteelta, jolloin tilaa yritetään samanaikaisesti sekä jäähdyttää että lämmittää.

Tuloksena saatiin aikaan tilojen käyttäjälle huomattavat säästöt energiankulutuksessa sekä tarkan säädön ansiosta sisäilman laatu parani huomattavasti. Tämän työn aikana ohjelmoitu ohjelma tallennettiin yrityksen käyttöön myöhempiä samankaltaisia kohteita varten. Ohjelma on testattu sekä hienosäädetty siten että seuraavassa samankaltaisessa kohteessa voidaan säästä huomattavasti aikaa ohjelmoinnissa sekä säädön viittämisessä sekä testauksessa.

Työn aikana opin paljon ilmanvaihtokoneen prosessista ja siihen liittyvistä lainalaisuuksista. Työssä pääsin toteuttamaan saneerauksen jokaisen osa-alueen, niin fyysisten toimilaitteiden ja anturien tarkastamisen ja vaihtamisen kuin logiikan ohjelmoinnin ja prosessin käyttöönoton.

## LÄHTEET

Johansson, E. 2000. Säättötekniikka 2000. Iisalmi: IS-VET.

Savolainen, J. & Vaittinen, R. 2001. Säättötekniikan perusteita. Opetushallitus.

Trend Controls Systems:in www-sivut, viitattu 1.4.2019 <https://partners.trendcontrols.com/trendproducts/cd/de/pdf/en-ta201341-uk0yr0616d.pdf>

Värjä, P. & Mikkola, J-M. 1999. Uusi Kiinteistöautomaatio: Automaatio- ja säättötekniikka. KORIA: Cadnet Oy.

Värjä, P. & Mikkola, J-M. 1999. Uusi Kiinteistöautomaatio: Automaatio- ja säättötekniikka. KORIA: Cadnet Oy.