

Jani Nieminen

# Poistoilmanvaihdolla varustetun asuinkerrosta- lon painesuhteet ja niiden hallinta MyAir -järjes- telmällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (YAMK)

Opinnäytetyö

2.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jani Nieminen Poistoilmanvaihdon varustetun asuinkerrostalon painesuhteet ja niiden hallinta MyAir -järjestelmällä 45 sivua + 1 liite 2.5.2020
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (YAMK)
Ammatillinen pääaine	Automaatio
Ohjaaja	Lehtori Markku Inkinen, Metropolia Yliopettaja Jarno Varteva, Metropolia Tuotekehitysinsinööri Sami Lehtovaara, Climecon Oy
<p>Työn tarkoituksena on kuvata mitä keskitetyllä poistoilmanvaihdon varustetun rakennuksen painesuhteet ovat, mistä painesuhteiden muutokset johtuvat, sekä miten muutokset vaikuttavat ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon.</p> <p>Työssä selvitetään, miten LoRaWAN-kommunikointia käyttävä IoT-pohjainen MyAir-automaatiojärjestelmä hallitsee rakennuksen painesuhteita. Rakennusvaipan yli vaikuttavaa ja huoneistojen välistä paine-eroa hallitaan poistoventtiilien ilmavirtoja säätämällä.</p> <p>Työssä on kaksi tavoitetta. Ensinnäkin nopeuttaa MyAir -järjestelmän käyttöönottoa mallintamalla poistoilmanvaihto matemaattisesti ilmamääriä ja vain muutamaa arvioitua arvoa käyttäen. Tällöin järjestelmä pystyy laskemaan venttiilien asennot lähelle lopullisia asentoja, ja säätö on nopea.</p> <p>Toisena tavoitteena on testata MyAir järjestelmän Amazon Web Services AWS-rajapinta hakemalla kiinteistön olosuhteiden .json -muotoiset mittaustulokset pilvestä Siemens S7-1200 -sarjan logiikkaan ja esittämällä ne logiikan kosketusnäytöllä.</p> <p>Työssä havaittiin, että toimiva rakennuksen painesuhteiden säätö tulee toteuttaa puhaltimella ja poistoilmaventtiileillä. Ilmanvaihtojärjestelmän matemaattinen mallinnus on melko yksinkertainen ja se sisältää paljon laskutoimituksia. Tämä sopii koneelliseen laskentaan hyvin. Mallinnus olisi ollut hyvä testata aidossa ympäristössä oikean tarkkuuden haarukointiseksi. Rajapinnan testaus onnistui erinomaisesti. MyAir-järjestelmä voidaan sulauttaa taloautomaatiojärjestelmään varsin helposti ja samalla saadaan pilven käytännössä rajaton laskentateho käyttöön. Ilmanvaihto, lämmitys ja erilaiset älykkäät kiinteistöohjausjärjestelmät saadaan ensimmäistä kertaa samaan järjestelmään.</p>	
Avainsanat	Ilmanvaihto, painesuhteet, korjausrakentaminen, IoT

Author Title Number of Pages Date	Jani Nieminen The control of pressure rations in an apartment house with exhaust ventilation system by MyAir. 45 pages + 1 appendice 2 May 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering YAMK
Professional Major	Automation
Instructor	Lecturer Markku Inkinen, Metropolia Principal Lecturer Jarno Varteva, Metropolia Development Engineer Sami Lehtovaara, Climecon Oy
<p>The aim of this Thesis is to describe what are pressure rations of an apartment house equipped with exhaust ventilation system, what is the reason for variations in the pressure rations and how these variations influence ventilation and indoor climate.</p> <p>This Thesis studies how MyAir automation system, based on LoRaWAN IoT communication, controls the pressure rations of the building by adjusting the exhaust valves.</p> <p>The study has two research goals. First, to accelerate the implementation of MyAir-system by modelling the exhaust ventilation system mathematically using only few known attributes like air quantities. The modelling calculates the positions of exhaust valves close to their ideal position.</p> <p>Secondly, to test the MyAir interface in the Amazon Web Services (AWS). The property's conditions data in .json format is downloaded from AWS cloud to Siemens S7-1200 -series programmable logic computer (PLC) and presented on the Human machine interface (Hmi) connected to PLC.</p> <p>One of the observations of this study was, that the practical control of the pressure rations should be implemented by using a fan and exhaust valves. Modelling of ventilation system is quite simple and it includes many calculations. Therefore, automated computing suits there well. It would have been ideal to test model in a real environment to achieve proper accuracy. Testing of the interface was successful. MyAir automation system could be integrated into building automation systems quite easily and additionally the limitless computation capacity of the cloud could be utilized. For the first time ventilation, heating and different intelligent building automation control systems can be integrated.</p>	
Keywords	Ventilation, pressure difference, pressure ratio, lora, lorawan, IoT

## Lyhenteet ja käsitteet

AP	Access Point. Liityntäpiste esimerkiksi paikalliseen verkkoon.
AWS	Amazon Web Services, pilvipalvelu tiedon tallentamiseen ja tarkastelemiseen.
Backend	Koodin osa, joka toimii taustalla.
Client	Asiakas. Asiakas – Palvelin arkkitehtuurissa.
Frontend	Koodin osa, joka ajetaan näytöllä.
Gateway	IoT järjestelmän ohjausyksikkö, joka mahdollistaa yhteyden pilveen.
Hydrostaattinen muoto	Pyöreeä kanavaa vastaavaksi muutettava ilmanvaihtokanava.
Holding register	Yleinen 16 bittinen rekisteri tiedon kirjoitukseen ja lukuun Modbus-protokollassa.
IoT	Internet of Things. Esineiden internet.
.json	JavaScript Object Notation. Yksinkertainen avoin tiedostomuoto tiedonsiirtoon.
Logiikka	Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller, PLC). Automaation ohjaukseen tarkoitettu pieni tietokone.
LoRaWAN	Low-Power Wide-Area Network technology. Avoin radioprotokolla matalatehoiseen tiedon siirtoon.

MyAir	Älykäs sisäilmastoa hallitseva ilmanvaihtojärjestelmä.
Modbus	Tiedonsiirtoprotokolla.
MQTT	MQ Telemetry Transport on avoimeen lähdekoodiin perustuva erittäin kevyt viestiprotokolla.
Painegradientti	Paine-eron muutos rakennusvaipan yli korkeusaseman suhteen.
PID-säädin	Proportional-integral-derivative-säädin, on yksi säätötekniikan perussäätimistä. Säätimen nimi muodostuu kolmesta toimintoa kuvaavasta termistä: Vahvistus, integrointi ja derivointi.
Server	Palvelin. Asiakas – Palvelin arkkitehtuurissa.
Ulkoilmaelin	Rakennusvaipassa sijaitseva venttiili, jolla ulkoilma tuodaan hallitusti huoneistoon.

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Climecon Oy ja MyAir -järjestelmä	2
2.1	Yritysesittely	2
2.2	MyAir	2
3	Rakennuksen painesuhteet	13
3.1	Rakennuksen painesuhteet	13
3.2	Rakennuksen paine-erot	14
3.2.1	Tuuli	14
3.2.2	Savupiippuvaikutus	16
3.2.3	Rakennuksen käyttäjä	17
3.2.4	Tuloilmaelin	17
3.2.5	Yhteisvaikutus	20
3.2.6	Ulkoisten paine-erojen vaikutus ilmanvaihtoon	20
3.3	Huoneistokohtaiset ilmapirtaukset	25
3.4	Ilmanvaihdon tehostus	26
4	Poistoilmanvaihdon matemaattinen mallinnus älykkään säädön ohjelmoimiseksi	27
4.1	Mallinnuksen lähtökohta	27
4.2	Mallinnuksen lähtötiedot	28
4.3	Mallinnus	28
5	Tiedonsiirto automaatiojärjestelmään	31
5.1	Järjestelmä	32
5.2	Logiikkaohjelma	33
5.3	Tiedonsiirto Python ohjelmalla	38
6	Johtopäätökset	45

## 1 Johdanto

Lopputyössä käsitellään painesuhteiden vaikutusta ilmanvaihtoon tyypillisessä 1960–1990-lukujen aikana rakennetussa keskitetyllä poistoilmanvaihdolla varustetussa asuinkerrostalossa, painesuhteiden hallintaa MyAir -ilmanvaihtojärjestelmällä sekä ilmanvaihtojärjestelmän matemaattista mallinnusta sen nopeampaa ensisäättöä varten. Lisäksi tutkitaan MyAir -järjestelmän integroimista automaatiojärjestelmään tuomalla MyAirin tuottama mittausdata pilvestä sellaisenaan tai jalostettuna automaatiojärjestelmälle.

Asuinkerrostalon painesuhteita muuttavat säässä tapahtuvat muutokset, talon asukkaiden erilaiset toimenpiteet ja saneeraukset. Painesuhteiden muutokset heijastuvat poistoilmaventtiilien ilmamääriin ja sitä kautta ulkoilmaelimien läpi virtaavaan ilmamäärään, sekä niiden yli vaikuttavaan paine-eroon. Yleensä alimmissa kerroksissa kylmällä ilmalla ilmenevä alipaine aiheuttaa sisäilmasto-ongelmia liian, radonin ja vedontunteen muodossa. Ylimmissä kerroksissa kylmällä ilmalla syntyvä ylipaine aiheuttaa kosteusongelmia, tai vakio painesäättöisen poistopuhaltimen yhteydessä ilmanvaihto saattaa lakata ylimmistä huoneistoista jopa kokonaan.

Järjestelmän käyttöönotossa ensimmäisen ilmanvaihdon tasapainotuksen on havaittu kestävän kauan. Käyttöönoton nopeuttamiseksi työssä koostetaan älykkään säädön mallia, joka ajaisi venttiilit lähelle lopullista asentoa ennen varsinaisen tasapainotuksen aloittamista.

MyAir tallentaa mittaustulokset Amazon Web Services, eli AWS pilveen. Pilviliittymässä on JavaScript Object Notation eli .json -rajapinta, josta mittaustulokset saa siirrettyä automaatiojärjestelmään. Työssä mittaustulokset haetaan kompaktiin Siemensin 1200 -sarjan logiikkaan ja esitetään logiikkaan liitettyllä näytöllä.

## 2 Climecon Oy ja MyAir -järjestelmä

Climecon Oy on kehittänyt MyAir -ilmanvaihtojärjestelmän ja olen osallistunut järjestelmän tuotekehitykseen, testaamiseen ja markkinointiin noin 2 vuoden ajan. Toimin ilmanvaihto- ja talotekniikan, sekä ohjelmoinnin rajapinnassa ohjaten tuotekehitystä niin, että järjestelmä täyttää ilmanvaihdon asettamat vaatimukset. Olen myös tutkinut rakennusten painesuhteita ja tehnyt tämän pohjalta yhdessä Climeconin markkinointiosaston kanssa esityksen, jossa MyAirin toiminta esitetään ilmanvaihtoon liittyvien peruskaavojen ja paine-erojen aiheuttamien ilmiöiden kautta.

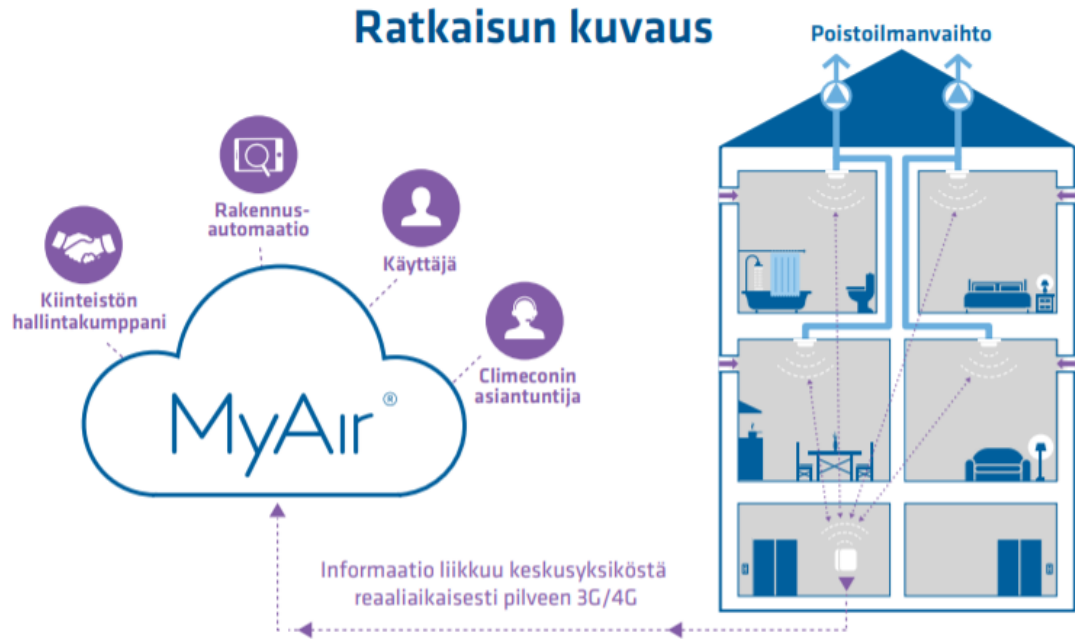
### 2.1 Yritysesittely

Työ tehtiin vuonna 1984 perustetulle Climecon Oy:lle, jonka liikevaihto vuonna 2018 oli noin 12 miljoonaa euroa. Ilmanvaihtoverkkojen, huuvien ja ulospuhallushajottajien lisäksi Climecon toimittaa kemiallisia ilmanpuhdistusjärjestelmiä ja ilmanvaihtojärjestelmien osia laivateollisuudelle. Climecon toimii jälleenmyyjäverkostonsa kautta käytännössä koko Euroopan alueella ja Lähi-idässä.

Perheyritys työllisti 50 työntekijää kolmessa toimipisteessään. Myyntikonttori sijaitsee Helsingissä, Pihtiputaalla kootaan huuvat, ulospuhallushajottajat, sekä lumisuojat ja Kausalassa sijaitsee levytyöstö, venttiilien valmistus ja tuotekehitys. Tuotekehityksen osuus on 5-10 % yrityksen liikevaihdosta.

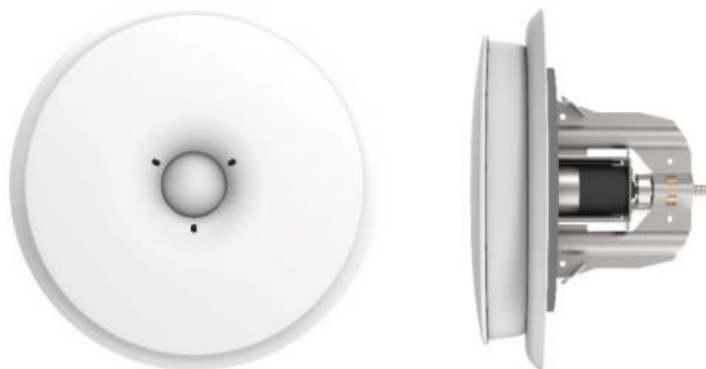
### 2.2 MyAir

LoRaWAN (Low-power wide-area network technology) IoT (Internet of Things) -kommunikointiprotokollaan perustuva MyAir on ensisijaisesti kehitetty keskitetyllä poistoilmanvaihdolla varustettuihin asuinkerrostaloihin. Venttiilit, piirilevyt ja ohjelmistot ovat Climeconin ilmanvaihtokäyttöön kehittämiä, eivätkä perustu valmiisiin kaupallisiin ratkaisuihin. Järjestelmä täyttää sekä ilmanvaihdon, että käytetyn radiotekniikan vaatimukset. Kuvarissa 1 venttiilit ovat langattomasti yhteydessä keskusyksikköön, josta tieto siirtyy reaaliaikaisesti pilveen.



Kuva 1. MyAir -järjestelmän kuvaus<sup>1</sup>

Järjestelmä koostuu 100 ja 125 mm älykkäistä ilmanvaihtoventtiileistä, rakennuksen vai-  
pan yli paine-eroa mittaavista paine-eroantureista, painonapeista ja keskusyksiköstä,  
josta on internet -yhteys pilveen. Järjestelmän kanssa suositellaan käytettäväksi vakio-  
painesäätöistä puhallinta, joka pitää ulkolämpötilan muutoksista ja eri tuuliolosuhteista  
huolimatta rakennuksen kokonaisilmamäärän vakiona ympäri vuoden. Toisaalta yksit-  
täisten venttiilien ollessa tehostustoiminnassa ilmanvaihto pysyy vakio-painesäätöisen  
puhaltimen avulla paremmin hallinnassa.



Kuva 2. MyAir venttiili<sup>2</sup>

Venttiilit ja paine-eroanturit on toteutettu samalla piirilevyllä ja ne mittaavat lämpötilaa, kosteutta ja paine-eroa. Venttiilien läpi virtaavat ilmamäärät lasketaan paine-erosta. Paine-eroanturin nollapiste nollataan joko erikseen käskemällä, tai automaattisesti. Oletusarvo nollapisteen kalibroinnille on kerran viikossa ja se tehdään piirilevyllä sijaitsevan solenoidin avulla.

Paine-eroantureiden nollakohta ryömii ideaalikaasuyhtälöstä johdetun lämpötilakompensoinnin vuoksi. Painemittaukseen tarvitaan lämpötila ja lämpötila-anturin mittayhteellä on suurempi hitaus lämmitä, kuin ympäröivällä kaasulla, jonka lämpötilaa mitataan. Tämän vuoksi nollakohta ryömii aina lämpötilan muuttuessa. Nollapisteen asetukselle ei ole muuta mielekästä nollaustapaa kuin solenoidi, joka yhdistää anturin mittayhteet. Tällöin anturi on nollapaineessa ja nollakohta voidaan asettaa. Ulko- ja sisälämpötilaeron synnyttämät termiset paine-erot ja muuttuvat tuuliolosuhteet estävät nollapisteen asettamisen esimerkiksi pysäyttämällä puhallin ja sulkemalla mahdolliset ilmanvaihtopellit. Eri tilojen välille jää aina tuntematon paine-ero.

Painonappia käytetään joko yksittäisen venttiilin tehostustoiminnon käynnistämiseen, tai kotona/poissa -kytkimenä. Painonappi on monivärisellä led-merkkivalolla varustettu lisävaruste. Yleensä se liitetään keittiön venttiiliin tehostuksen aikaansaamiseksi, jolloin niitä on yksi jokaisessa asunnossa. Järjestelmään on ohjelmoitu lohko, jolla järjestelmään voidaan integroida käytännössä mikä tahansa kolmannen osapuolen LoRaWAN-protokollaa käyttävä laite. Painonapin lisäksi tällä samalla lohkoella esimerkiksi paine-eroanturia voidaan käyttää puhaltimen ilmamäärän mittaamiseen ja seurantaan laskemalla tässä lohkossa puhaltimen ilmamäärä paine-erosta. Tämä mahdollistaa joidenkin projektikohtaisten toimintojen ohjelmoimista järjestelmään kohtuullisilla kuluilla.

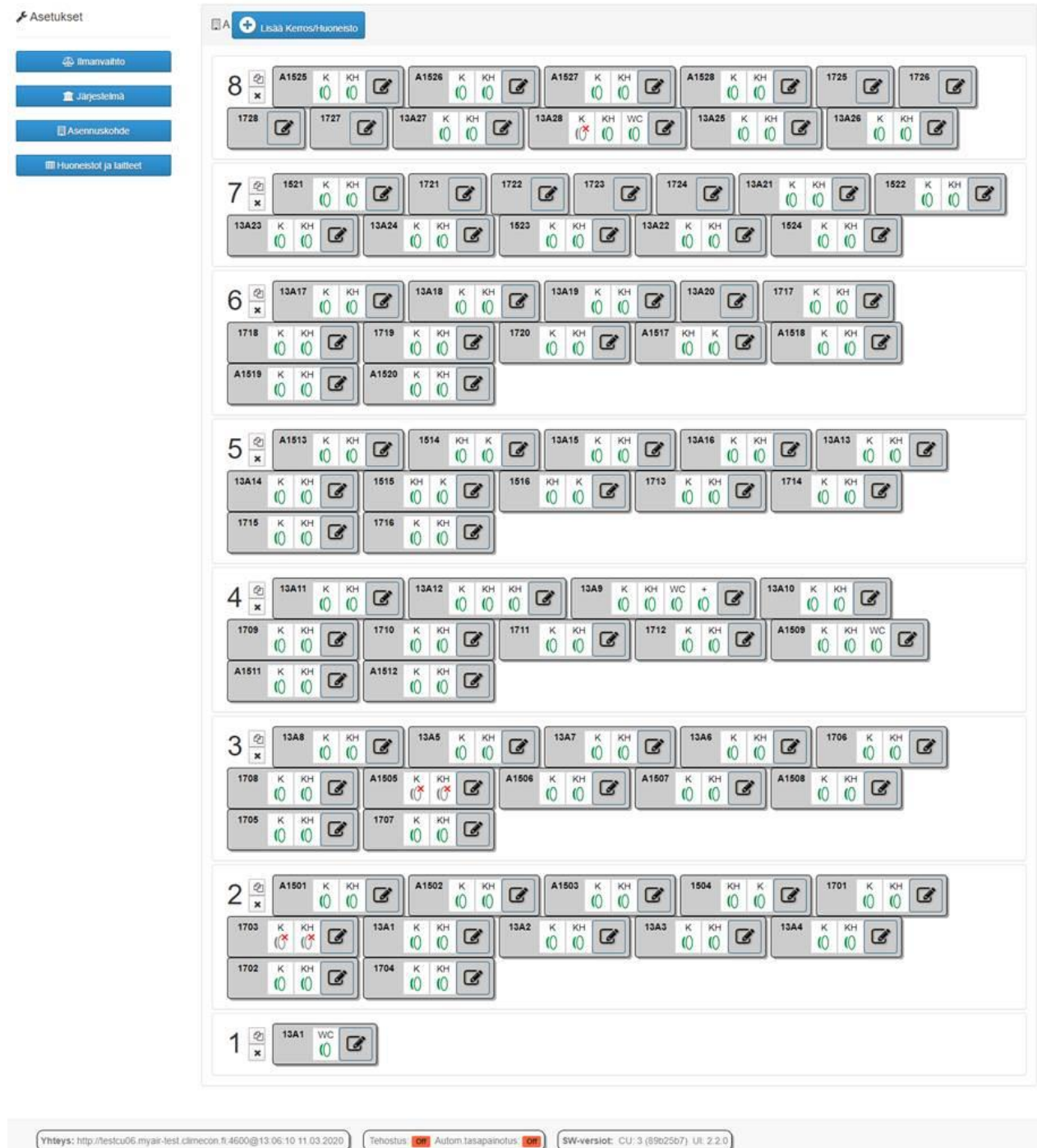
Mittaustulokset siirretään kenttälaitteilta LoRaWAN-protokollaa käyttäen toistimen kautta riittävän laskentatehon omaavalle Dell 3001 teollisuus-PC:lle (Kuva 3). Oletusarvo mitaustietojen lähettämiseksi normaalitilassa on kerran kahdeksassa minuutissa. Venttiilit heräävät kahdeksan minuutin aikana neljä kertaa mittaamaan ja lähetettävä arvo on näiden mittausjaksojen aikana suoritettujen mittausten keskiarvo. Lähetysten jälkeen venttiili kuuntelee kaksi lähetysten pituista ajanjaksoa keskusyksiköltä tulevaa viestiä, joka voi olla esimerkiksi tehostuksen aloittaminen, tai muu toimintamoodin vaihto. Kommuni-

kointinopeus riippuu järjestelmän tilasta ja esimerkiksi tasapainotustilassa kommunikointi on nopeampaa. Venttiilit eivät tee itsenäisiä päätöksiä, vaan kaikki laskenta ja ohjaus suoritetaan teollisuus-PC:llä. PC:ltä tieto välitetään pilveen MQ Telemetry Transport:illa, eli MQTT-Clientillä ja tiedot tallennetaan lopulta Amazonin AWS-pilvipalveluun.



*Kuva 3. Dell Gateway 3001 teollisuus-PC<sup>3</sup>*

Järjestelmän käyttöönotto tehdään etänä. Käyttöönotto tapahtuu VPN-yhteydellä otta-  
malla yhteyttä kohteessa sijaitsevaan teollisuus-PC:hen, jossa tehdään rakennuksen  
hierarkia, huoneistojen rakenne ja rakenteeseen liitetään venttiilit, sekä muut laitteet  
(Kuva 4).



Kuva 4. Kuvankaappaus hierarkian rakentamisesta etäyhteydellä. Järjestelmään lisä-  
tään huoneistot ja huoneistoihin venttiilit.

Venttiileille annetaan toimintapisteet. Lisäksi liitetään painonappien ohjaustoiminnot venttiiliin tai venttiileihin ja muodostetaan tarvittavat ryhmät. Yleensä ryhmä muodostuu venttiileistä, jotka on liitetty samaan puhaltimeen.

Seuraavassa kuvassa (Kuva 5) määritellään venttiileiden tehostuspisteet, sekä kytetään automaattinen tasapainotus ja tehostus päälle. Samassa yhteydessä määritellään myös maksimijat tehostukselle.

**Asetukset**

Ilmanvaihto, kytkettyjen venttiileiden manuaalisen ja automaattisen tasapainotuksen toiminnot ja asetukset

Manuaalinen tasapainotus Tasapainotuksen viestit Automaattisen tasapainotuksen asetukset

**Automaattisten toimintojen käyttöönotto**

☐ Järjestelmän automaattinen tasapainotus

☐ Järjestelmän automaattinen tehostus

**Automaattiasetusten lähettäminen valituille laitteille**

Huonetyypit:	Huonetyypin automaattiasetukset:	Valitut kohteet:
Kylpyhuone	<b>Ilmavirtaus</b>	A3.Kylpyhuone
Makuuhuone	Voimassaoloaika min 10	A4.Kylpyhuone
Olohuone	balancedeviation 10	A13.Kylpyhuone
Keittiö	<b>Lämpötila</b>	A14.Kylpyhuone
Sauna	Minimiarvo 5	A15.Kylpyhuone
Löylyhuone	Maksimiarvo 35	A16.Kylpyhuone
Pesuhuone	Varoituksen raja-arvo % 5	A1.Kylpyhuone
Vessa	Voimassaoloaika min 10	A2.Kylpyhuone
Muu huone	Tehostuksen maksimaika min 15	A5.Kylpyhuone
Laitte	<b>Ilmankosteus</b>	A6.Kylpyhuone
Info	Minimiarvo 5	A7.Kylpyhuone
	Maksimiarvo 75	A8.Kylpyhuone
	Varoituksen raja-arvo % 5	A9.Kylpyhuone
	Voimassaoloaika min 10	A10.Kylpyhuone
	Tehostuksen maksimaika min 15	A11.Kylpyhuone
		A12.Kylpyhuone

Läheta asetukset valituille laitteille

Yhteys: http://testcu07.myair-test.climecon.fi:4600@13:15:43 11.03.2020 Tehostus: off Autom.tasapainotus: off SW-versiot: CU: 3 (5dcb852) UI: 2.2.0

Kuva 5. Kuvankaappaus ilmanvaihdon automaattisen tasapainotuksen ja tehostusasetusten määrittelysivulta.

Seuraavan kuvan (Kuva 6) ruudussa ohjelma järjestää venttiilit paremmuusjärjestykseen, joka perustuu venttiilin yli vaikuttavaan paine-eroon. Pienin paine-ero on huonoin venttiili ja suurin paine-ero on paras venttiili. Ruudussa näkyy myös tasapainotukseen liittyvää tietoa, kuten venttiilin asento, viimeisin ilmavirta, milloin viimeinen viesti on tullut, venttiilin toimintamoodi ja paine-ero venttiilin yli. Tasapainotusta ei voi käynnistää ilman, että kaikki ryhmään liitetyt venttiilit ovat mukana järjestetyssä listassa.

**Ilmanvaihto**

**Järjestelmä**

**Asennuskohde**

**Huoneistot ja laitteet**

Mänuaalinen tasapainotus
Tasapainotuksen viesti
Automaattisen tasapainotuksen asetukset

Puhallin 1

Laittejärjestystä ei ole tehty. Tasapainotusta ei ole tehty.

☒ Vain laitejärjestys

[Tee laitejärjestys](#)  
[Keskitytä tasapainotus](#)

Ryhmä:

Ryhmän tasapainon status: undefined

Viimeisin tasapainotusviesti:

Viimeisin viestin aika: 3/11/2020, 11:14:10 AM

[Tasapainotuksen asetukset](#)

CSV

Käytät

Järjestys ryhmässä	Viimeisin yhteydenotto	Sarjanumero	Huoneisto	Viimeisin virtaus	Edellisen bal. tavoitevirtaus
		ZZ19260020	A8 Kylpyhuone	0.00	0.00
		BA20060017	A16 Kylpyhuone	146.90	0.00
		ZZ19260005	A9 Kylpyhuone	0.00	0.00
		BA20060014	A14 Kylpyhuone	163.40	0.00
		BA20060013	A3 Kylpyhuone	140.10	0.00
		BA20060019	A13 Kylpyhuone	166.80	0.00
		ZZ19260001	A6 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260014	A11 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260016	A2 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260012	A5 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260004	A1 Kylpyhuone	0.00	0.00
		BA20060018	A15 Kylpyhuone	156.60	0.00
		BA20060012	A4 Kylpyhuone	147.20	0.00
		ZZ19260018	A12 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260003	A10 Kylpyhuone	0.00	0.00
		ZZ19260013	A7 Kylpyhuone	0.00	0.00

Yhteys: <http://testcu07.myair-test.climcon.fi:4600@13.14.13.11.03.2020> | Tehostus: Off Autom. tasapainotus: Off | SW-versiot: CU: 3 (5dcb852) UI: 2.2.0

Kuva 6. Venttiilijärjestyksen ja tasapainotuksen hallintaikkuna.

Kun on varmistettu, että puhallin toimii sopivalla ilmamäärällä, käynnistetään tasapainotus. Järjestelmä tutkii venttiilien paremmuusjärjestyksen paine-eroista venttiilien ollessa oletuksena asennossa 40 %. Tämä asento on vapaasti muutettavissa, sillä kanaviston ollessa suuri, ei tällä asetuksella välttämättä erota venttiilijärjestystä riittävän tarkasti. Kun venttiilijärjestys on selvä, aloittaa järjestelmä ilmamäärien säädön huonoimmasta venttiilistä, eli venttiilistä, jossa on pienin paine-ero venttiilin yli. Tyypillisesti tämä on puhaltimesta kauimmainen venttiili. Tasapainotuksen jälkeen huonoimman venttiilin yli tulisi

vaikuttaa noin 20 Pa paine-ero puhaltimen normaalitilassa. Tällä varmistetaan ilmanvaihdon auktoriteetti vaipan yli vallitseviin paine-eroihin nähden. Toisin sanoen esimerkiksi tuuletusikkunan avaaminen ei saa heikentää viereisten tilojen ilmanvaihtoa merkittävästi.

Kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 7) havaitaan, sama kiinteistön huoneisto- ja venttiilirakenne siirretään Gatewayn frontendistä pilvipalveluun:



Kuva 7. Pilviliittymän näkymä editointitilassa.

Venttiilijärjestyksen päättely ja suhteellisen tasapainotuksen tekeminen vie järjestelmältä ensimmäisellä kerralla noin yhdestä kolmeen päivään. Tämä riippuu venttiilimäärästä ja

siitä kuinka hyvin ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu on onnistunut. Järjestelmällä pystyy myös ”pelastamaan” tilanteita, kuten esimerkiksi ääntä pitävä venttiili voidaan saada hiljaiseksi massakäskyllä, jossa kaikkien venttiilien ilmamäärää tai asentoa säädetään vähän. Suuren venttiilien lukumäärän vuoksi vaikutus on yleensä riittävä. Myös yksittäisten venttiilien ilmamäärien muuttaminen etänä on järjestelmän etu.

Tiedot tallennetaan Amazonin AWS palveluun, johon teollisuus-PC:n sisältämä rakennuksen hierarkia on kopioitu, ja jossa tietoja voi käsitellä ja tutkia eri tavoin. Järjestelmästä saa yksittäisten antureiden tai venttiilien historiatrendejä, sekä yksittäisiä mittauksia. Järjestelmä luo myös raportteja keskiarvostamalla esimerkiksi antureiden puolen vuoden aikana suorittamat kosteus- ja lämpötilamittaukset ja järjestämällä ne suuruusjärjestykseen. Tällöin esimerkiksi yksittäiset suihkussa käynnit eivät näy tuloksissa ja tuloksia voi vertailla eri tilojen välillä. Normaalitilassa venttiilit lähettävät mittaustiedot keskusyksikölle 8 minuutin välein. Säätilassa kommunikointi on normaalisti 1 minuutin välein. Arvoa voi muuttaa.

Pilveen välitetään sekä mitatut tiedot:

- Kosteus (RH%)
- Lämpötila (C)
- Paine-ero (Pa)
- Ilmapaine (Pa)
- Paristojen taso (%)
- Venttiilin asento (%)
- Yhteyden tila (dBA)

Sekä lasketut tiedot:

- Ilmamäärä (l/s)
- Absoluuttinen kosteus (kg(KI)/kg(H<sub>2</sub>O))

Yllä olevia mittaustietoja voi tarkastella pilvestä reaaliaikaisesti, tai historiatrendinä, kuten kuvassa 8 osoitetaan. Näkymää voidaan muokata monin tavoin, kuten aikaväli ja eri tietojen siirto Y-akselilla.

Valitse aikaväli

07/03/2020 - 08/03/2020



Absoluuttinen kosteus

**Ilmavirtaus**

Ilmanpaine

**Lämpötila**

Pariston taso

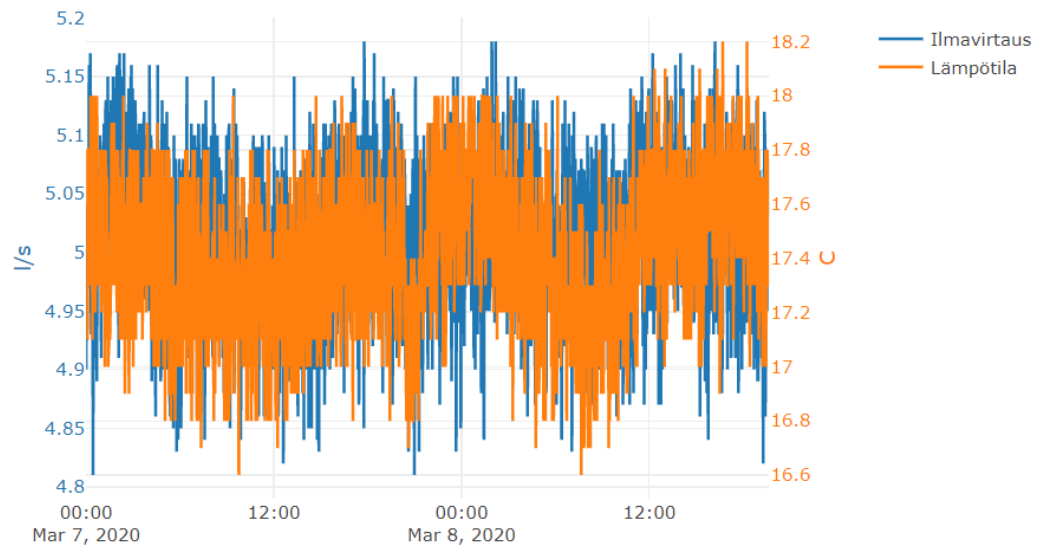
Kastepiste

Kosteus

Paine-ero

Yhteyden tila

Positio



Kuva 8. Kuvakaappaus. Historiatrendejä pilvestä

Järjestelmä tuottaa myös hälytyksiä. Hälytyksiä syntyy esimerkiksi paristojen tyhjentymisestä, kommunikoimattomasta venttiilistä, tukitusta venttiilistä ja pitkään koko rakennuksen keskiarvoon verrattuna koholla olleesta absoluuttisesta kosteudesta. Hälytykset välitetään pilven kautta, johon vastaanottajien tiedot voidaan syöttää. Hälytyksiä voi välittää sähköpostitse ja tekstiviestein matkapuhelimeen. Pilvestä on myös .json -muotoista tietoa siirtävä rajapinta esimerkiksi kiinteistöautomaatiojärjestelmälle mittaustulosten ja hälytysten siirtoa varten. Työssä rajapintaa testataan Siemens S1200-teollisuuslogiikan ja siihen liitetyn kosketusnäytön avulla.

Järjestelmän asennus kestää tyypillisesti yhden päivän. Venttiilit ovat päivitettävissä verkon yli ja patterien vaihtoväli on sama kuin nuohousväli, eli järjestelmässä on huomioitu se, ettei asunnoissa tarvitse käydä ylimääräisiä kertoja. Mikäli venttiiliin paristo kuluu loppuun, tulee siitä kiinteä venttiili, eli se jää viimeisen tasapainotuksen määräämään asentoon. Tällöin se vastaa perinteistä käsin asetettavaa venttiiliä.

Järjestelmä seuraa venttiilien ilmamäärää, ja kun jossain ilmamäärässä on ollut 10 % tai suurempi poikkeama viikon ajan, järjestelmä käynnistää automaattisen tasapainotuksen. Tasapainotus ei saa käynnistyä yöaikaan venttiileistä kuuluvan äänen vuoksi ja mahdolliset kosteus- ja painonappitehostukset sammutetaan täksi ajaksi. Suhteellinen tasapainotus tehdään, kuten käyttöönotossakin, huonoimmasta venttiilistä aloittaen. Tyypillisesti sään kylmetessä alimpia venttiileitä ajetaan kiinni ja ylimpiä avataan, ja sään lämmitessä toisin päin. Myös pitkään poikkeavasta suunnasta puhaltava tuuli on käynnistänyt tasapainotuksen. Tällöin tuulen vastaiselta sivulta järjestelmä ajaa venttiileitä kiinni ja tuulen alapuolelta auki. Kaupunkiympäristössä järjestelmä säättää ilmamäärät yleensä 2-4 kertaa vuodessa. Säättötarve riippuu käytännössä täysin ulkolämpötilan muutosten aiheuttamista virtausmuutoksista venttiileissä.

Työssä tutkitaan myös mallinnusta, jossa muutamalla käsin syötettävällä muuttujalla voisi kuvata ilmanvaihtojärjestelmän niin, että venttiilien asennot olisivat jo alkutilanteessa lähellä lopullista asentoa, eikä järjestelmän tasapainotus kestäisi niin pitkään [liite1].

### 3 Rakennuksen painesuhteet

#### 3.1 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa rakenteiden tiiviys, ulkoilmaelimien tila, rakennuksen geometria ja korkeus, ulkoilman lämpötila, sekä tuuliolosuhteet. Teoksen Rakennusfysiikka mukaan ilmanpaine-erot voivat aikaansaada rakennusten ja rakenteiden toiminnan kannalta merkittävää ilman virtausta, konvektiota.<sup>4</sup>

Savupiippuvaikutuksen, LVI-laitteiden (ilmanvaihdon ja lämmityksen) ja tuulen aikaan saaman paine-eron vaikutuksesta tapahtuvaa ilman virtausta rakenteiden läpi kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Pakotetun konvektion esiintyminen edellyttää paine-erojen lisäksi sellaista epätiiviyyttä rakenteissa, että se mahdollistaa ilmavirtauksen rakenteen läpi.

Rakennuksen ollessa alipaineinen on mahdollista, että sisäilmaan kulkeutuu korvaus- tai vuotoilman mukana epäpuhtauksia ja määrätyillä maantieteellisillä alueilla alimpiin kerroksiin esimerkiksi Radon-kaasua. Sisä- ja ulkoilman välisellä paine-erolla on myös vaikutusta rakenteissa olevien mikrobikasvustojen aineenvaihduntatuotteiden liikkeisiin<sup>5</sup>. Hallitsemattomat painesuhteet aikaansaavat tavallisesti vedon tunnetta, hajujen siirtymistä porraskäytävän ja asuntojen välillä, mikrobikasvustoa, radonia sisäilmaan, tai sitten ilma ei vaihdu lainkaan.

VTT:n mukaan rakennuksen ulkovaipan ja väliseinämien täydellinen tiiveys olisi ilmanvaihdon suunnittelun kannalta ihanteellista, mutta rakennukset kuitenkin vuotavat. Tästä huolimatta rakennuksen ilmanvaihto voidaan suunnitella kuin täysin tiiviissä rakennuksessa, kunhan kanaviston painetaso on riittävä (taulukko 1). Sen sijaan paine-erot ja ilmavirrat ulkoilma- ja siirtoelimissä voivat olla mitä tahansa, eivätkä ne ole hallittavissa.<sup>6</sup> Paine-erojen hallinta on vaikeinta, kun ilmavirrat ovat pieniä ja vuodot suuria.

Rakennuskorkeus, kerrosta	Kanaviston paine-ero, Pa
5	90–100
6	110–120
8	140–160
10	170–200

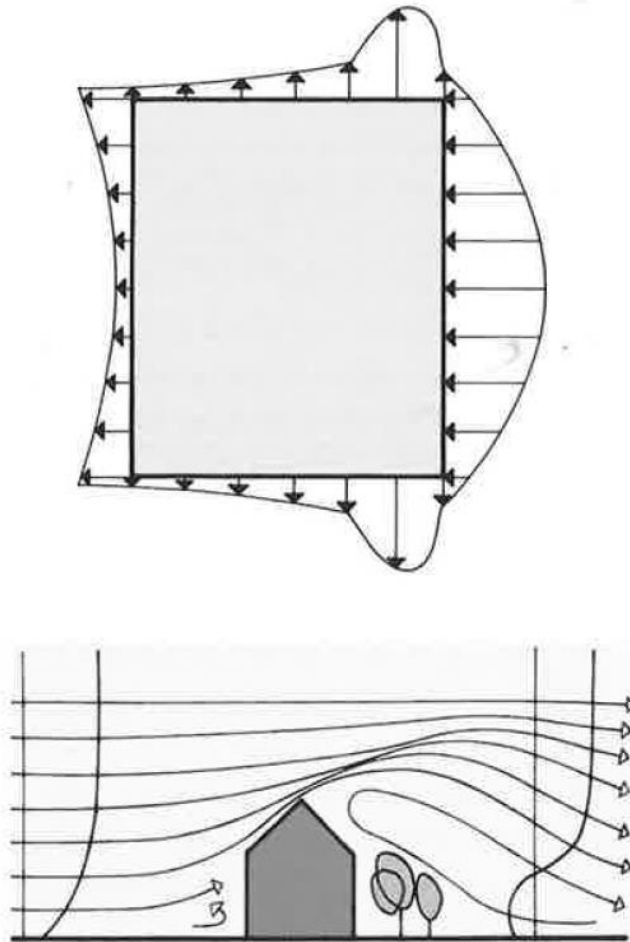
*Taulukko 1.* Keskitetyn poistoilmanvaihdon suositellut paine-erot ilmanvaihtokanavistossa

### 3.2 Rakennuksen paine-erot

Ilma vaatii liikkuaakseen paine-eron, joten poistoilmanvaihdolla varustettu rakennus on aina hieman alipaineinen. Alipaine luodaan puhaltimella. Puhaltimen tulee kumota virtausvastukset, jotka syntyvät virtausaukkojen suilla ja kanavistoissa, sekä kanavan muutoksissa. Niin sanotussa painovoimaisessa ilmanvaihdossa alipaine syntyy termisesti, eli sen teho riippuu ulko- ja sisälämpötilan erosta ja rakennuksen korkeudesta. Mikäli ulko- ja sisälämpötila on sama, ei termistä paine-eroa synny. Toisin sanoen, ei ole voimaa, joka liikuttaisi ilmaa. Terminen paine-ero vaikuttaa myös koneelliseen ilmanvaihtoon sisältämänsä voiman suuruudella.

#### 3.2.1 Tuuli

Tuuli synnyttää rakennuksen tuulen vastaiselle sivulle ylipaineen ja tuulen alla olevalle seinälle alipaineen (Kuva 9). Näiden paineiden suuruus riippuu tuulen voimakkuudesta ja ympäristön geometriasta. Ilmanvaihdon ollessa kunnossa tuulen tulee olla varsin voimakasta, tai tuulen suunnan tulee olla normaalista poikkeava, jotta se vaikuttaisi merkittävästi sisäilmastoon. Rakennuksen tiiveys ja kanaviston paine vaikuttavat tuulen vaikutukseen. Mikäli rakennuksen rakenteet ovat hatarat, eikä ilmanvaihtoventtiileissä ole riittäviä paine-eroja, tuulen synnyttämä paine-ero liikuttaa rakennukseen ilmaa sitä enemmän mitä pienemmät virtausvastukset ilman kulkemilla reiteillä on.



Kuva 9. Tuulen aiheuttama paine seinillä<sup>7</sup>

### 3.2.2 Savupiippuvaikutus

Teoksen Rakennusfysiikka mukaan savupiippuvaikutus syntyy, kun huoneilma lämpeenee, sen tiheys pienenee ja lämmennyt kevyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin.<sup>8</sup> Tällöin huoneen yläosaan syntyy ylipaine ja alaosaan alipaine. Tiiviin huoneen puoliväliin syntyy neutraaliakseli, jonka paine-ero ulkoilmaan on nolla.

$$\Delta p = \left( \frac{T_{sisä} - T_{ulko}}{T_{ulko}} \right) * \rho_{sisä} g h$$

$\Delta p$  = tiheyseroista syntyvä paine – ero

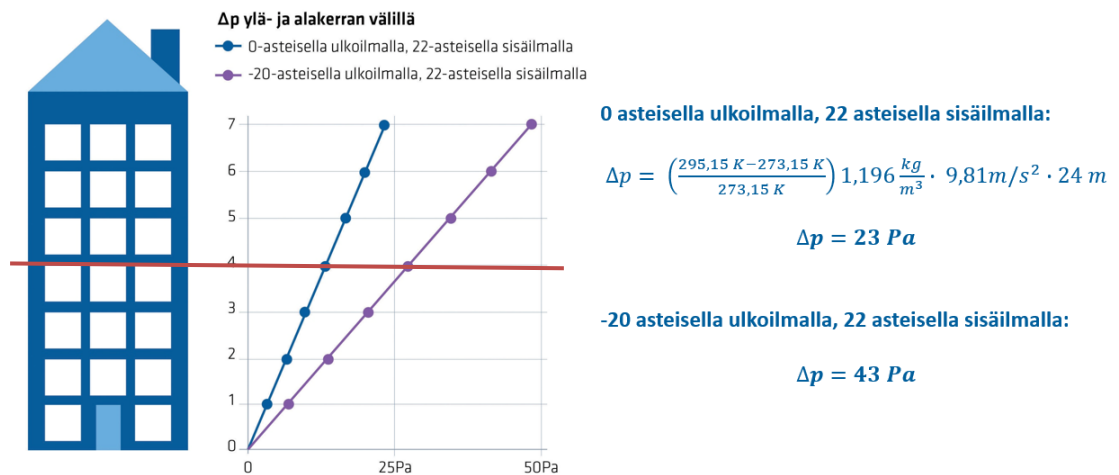
$$\rho = \text{ilman tiheys} [kg/m^3]$$

$$g = \text{maan vetovoiman kiihtyvyys } 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = \text{tarkasteltava korkeusero } m$$

$T$  = Ilman absoluuttinen lämpötila [K], voidaan käyttää,  
kun ilmassa on hyvin vähän kosteutta

Kaava 1. Paine-eron synty ilman tiheyserojen ja rakennuksen korkeuden funktiona<sup>9</sup>



Kuva 10. Savupiippuvaikutus. Gradientin nollakohta merkitty punaisella.<sup>10</sup>

Kuten yllä olevasta kaavasta ja kuvasta voidaan havaita, kasvaa terminen paine-ero 0-asteisellä ulkolämpötilalla noin 1 Pascalin metriä kohden ja -20 asteisellä ulkolämpötilalla

kasvu on jo 2 Pascalia metriä kohden. Sijoittamalla kaavaan -40 asteinen ulkoilman lämpötila saadaan paine-eroksi jo 3,1 Pascalia per metri (75 Pascalia rakennuksen ylimmän ja alimman kerroksen välille).

$$\Delta p = \left( \frac{295,15 - 233,15}{233,15} \right) * 1,196 * 9,81 * 24 = 75 \text{ Pa}$$

Vuoden aikana rakennukseen vaikuttaa siis ulkopuolinen voima, joka vaihtelee 0 ja 50...75 Pascalin välillä, riippuen millä lämpötilamitoitusalueella rakennus sijaitsee. Lämpötilagradientin puoliväli on painovoimaisen ilmanvaihdon ollessa kyseessä puolivälissä rakennusta ja koneellisen poiston kohteissa hieman puolivälin yläpuolella. Tällöin esimerkiksi -20 asteisella ulkoilman lämpötilalla on alimmassa kerroksessa lattian rajassa lämpötilaerosta johtuva noin 27 Pa alipainekomponentti ja ylimmässä kerroksessa katon rajassa noin 16 Pa ylipainekomponentti. Tämä vaikuttaa ilmanvaihtoon merkittävästi.

### 3.2.3 Rakennuksen käyttäjä

Asukkaat tai rakennuksen käyttäjät muuttavat rakennuksen painesuhteita säätämällä venttiileitä itse ja tukkimalla tuloilma-aukkoja. Usein esimerkiksi ikkunaremontin yhteydessä ei ole konsultoitu LVI-suunnittelijaa, jolloin painovoimaisen tuloilmaelimien lukumäärä on jäänyt täysin tiiviiden uusien ikkunoiden vuoksi liian vähäiseksi, ja rakennus on muuttunut tämän johdosta alipaineiseksi.

### 3.2.4 Tuloilmaelin

Joissain kohteissa elää myös sitkeästi taikausko, ettei keittiöön voi asentaa ulkoilmaelintä, koska se sotkee ilmanvaihdon. Mikäli venttiileitä on huoneistossa riittävästi, se vähentää kyllä läpi virtaavan ilmamäärän verran toisista huoneista tulevaa siirtoilmaa. Ruokaa laitettaessa käryt voivat teoriassa levitä hieman enemmän, mutta ilmanvaihdon ilmamäärät ovat kuitenkin niin pieniä, etteivät ne riitä estämään hajujen leviämistä. Riippuen osin ulkoilmaelinten tyypistä, yleensä niiden määrä huoneistoissa on liian vähäinen. Ulkoilmaelin kannattaa asentaa jokaisen ikkunan yhteyteen.

Mikäli tuloelimen yli vaikuttava paine-ero on mitoitusilmamäärällä 10 Pa, niin sama paine-ero on kaikissa samalle seinälle asennettavissa venttiileissä ja kaikista tulee tällöin

käytännössä sama ilmamäärä. Sisätiloissa tulee toki huomioida esimerkiksi riittävät kynnyksraot, jotta ilma vaihtuu kaikissa tiloissa siirtoilmana, mutta välimatka poistoventtiilille ei aiheuta normaali huonetilassa virtausvastusta.

70 neliöisen asuinhuoneiston mitoitusilmamäärä on Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen<sup>11</sup> mukaan tyypillisesti luokkaa 35 l/s. Esimerkiksi kuva 11 mukaisia 12 x 400 korvausilmaventtiileitä tulisi olla asunnossa tällöin 7 kpl, jotta paine-ero vaipan ei nousisi yli 10 Pa arvon. Eikä venttiileitä saa kuristaa kylmällä ilmalla, sillä silloin paine-ero rakennuksen vaipan yli kasvaa.

Biobe VS -korvausilmaventtiilien ilmamäärät [l/s] jyrksityllä aukolla				
Venttiilin koko	Virtausaukon koko	Ilmamäärät		
		5 Pa	10 Pa	20 Pa
20	12 x 200 mm	1,9	2,8	4,0
30	12 x 300 mm	2,7	4,0	5,9
40	12 x 400 mm	3,8	5,4	8,0
50	12 x 500 mm	5,1	7,4	10,6
60	12 x 600 mm	5,3	8,3	11,8

Kuva 11. Ulkoilmaelimien läpi virtaavat ilmamäärät eri paine-eroilla.<sup>12</sup>

Paine-ero kasvaa alla olevan kaavan mukaisesti:

$$\Delta P = k \frac{\rho}{2} V^2$$

,jossa:

$$\Delta P = \text{paine} - \text{ero vaipan yli}$$

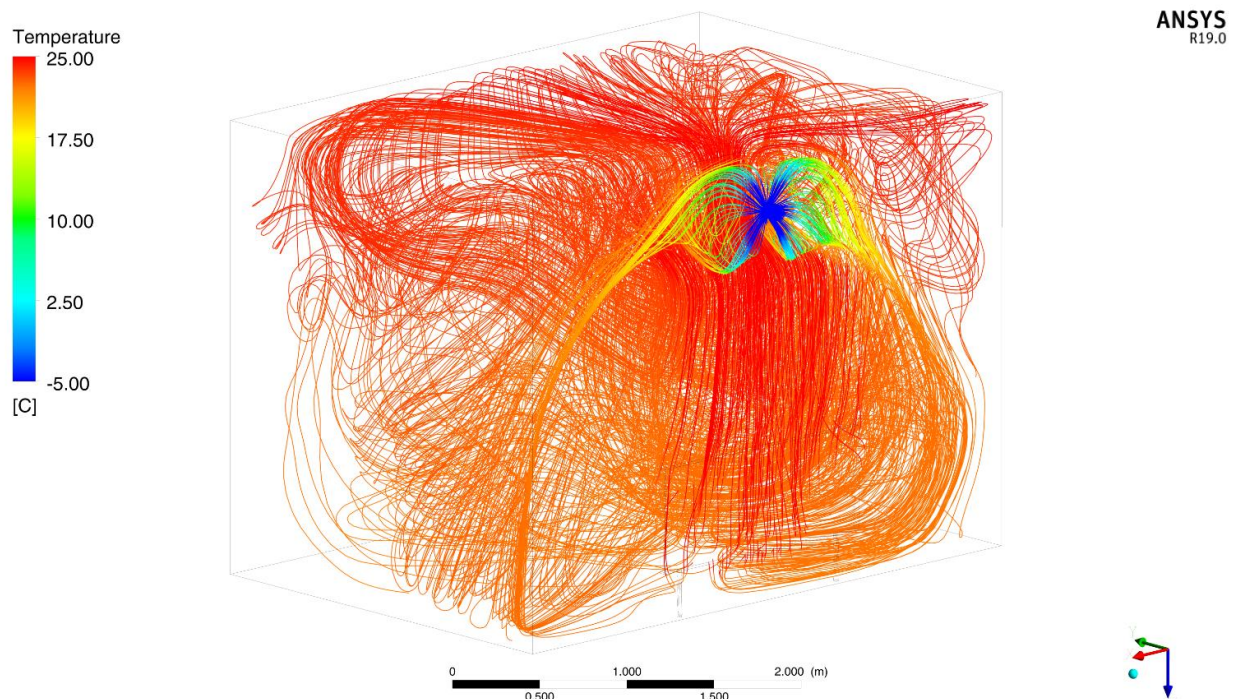
$$k = \text{muotovastuskerroin}$$

$$\rho = \text{ilman tiheys} \left( 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$V = \text{ilman nopeus}$$

Kaava 2. Paine-eron kasvu muotovastuskertoimen ja nopeuden neliön suhteen<sup>13</sup>

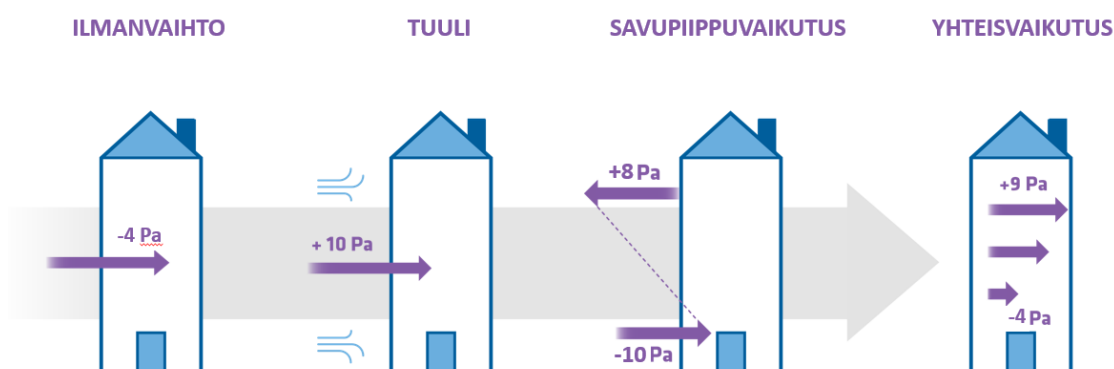
Kaavasta 2 havaitaan, että paine-ero vaipan yli kasvaa neliöllisesti ilman virtausnopeuden suhteen. Talvella terminen paine-ero kasvattaa jo luonnostaan ilman nopeutta, samalla kasvattaen vaipan yli vallitseva paine-eroa neliöllisesti. Tällöin venttiilin kuristaminen entisestään on täysin väärä toimenpide, mikäli huoneiston painesuhteet halutaan pitää turvallisella tasolla. Tämä myös lisää ilman virtausnopeutta, jolloin nopeasti virtaava ilma pääsee sekoittumatta lämpöpatterin lämpöisen ilmavirtauksen läpi ja tuntuu vetona. Oikein toimivassa järjestelmässä (Kuva 12) virtausnopeus pysyy sopivana ja hyvin kylmäkin ilma sekoittuu ja lämpiää ennen asuinhuoneiston oleskeluvyöhykkeelle tuloa.



*Kuva 12. Oikein toimiva ulkoilmaelin, josta tulee -26 asteista ilmaa 5 Pa paine-erolla 8 neliömetriseen makuuhuoneeseen, ja joka sekoittuu käytännössä täysin venttiilin alapuolella sijaitsevan pintalämpötilaltaan +50 C asteisen patterin aiheuttamaan ilmavirtaan.<sup>14</sup>*

### 3.2.5 Yhteisvaikutus

Kuten kuvasta 13 nähdään. Paine-eroon vaikuttaa siis ilmanvaihto puhaltimen aikaansaaman alipaineen verran, tuulen suunta ja voimakkuus, sekä ulko- ja sisälämpötilaeron synnyttämä savupiippuvaikutus. Rakennuksen ilmanvaihto on säädetty ja mittauspöytäkirja täytetty näiden olosuhteiden yhteisvaikutuksen vallitessa. Kun jokin näistä painesuhteista muuttuu, muuttuvat myös ilmanvaihdon ilmamäärät ja rakennuksen sisäiset painesuhteet.

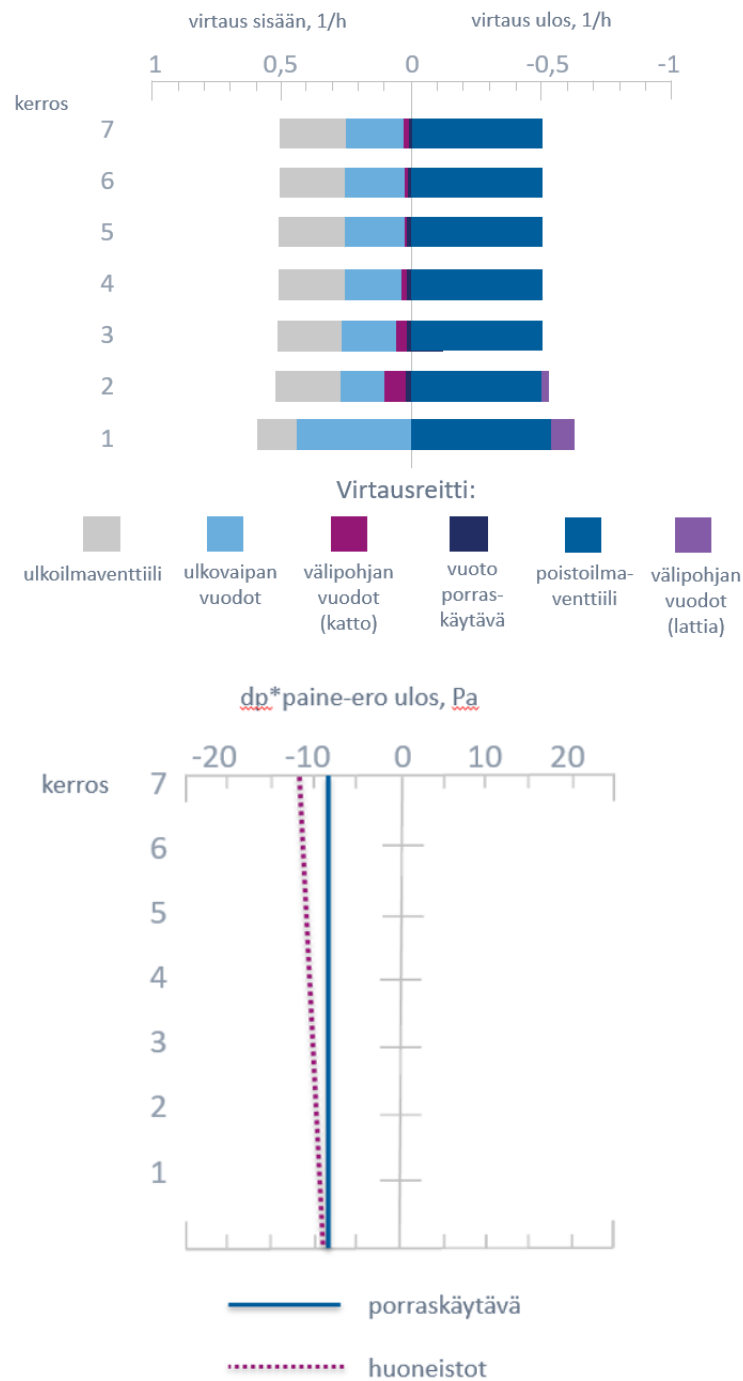


Kuva 13. Paine-erojen synty.<sup>15</sup>

### 3.2.6 Ulkoisten paine-erojen vaikutus ilmanvaihtoon

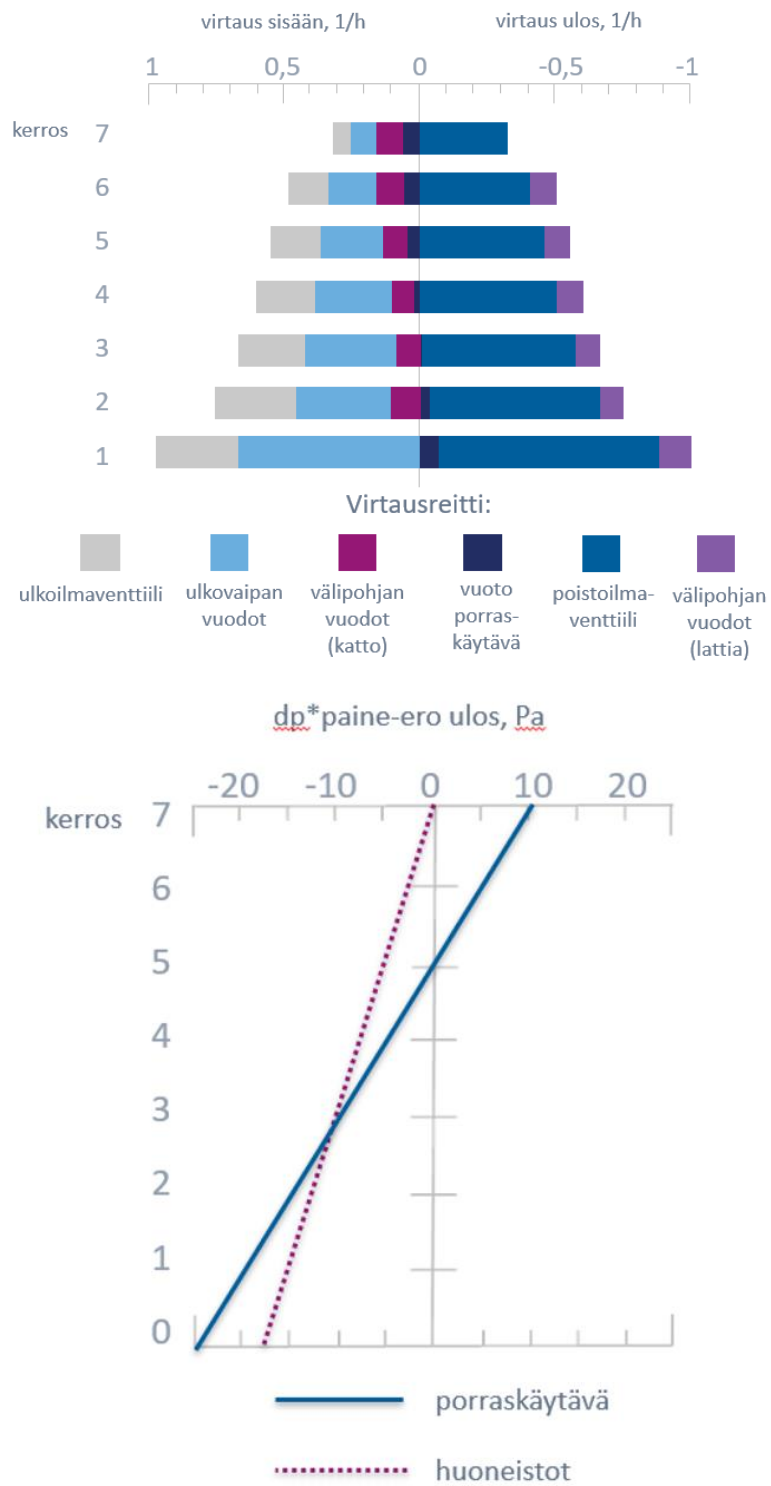
VTT:n Tiedotteessa 737, esitetään kuvan 14 mukaisesti ilmanvaihdon käyttäytymistä koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa 1980-luvun alussa valmistuneessa kerrostalossa, jonka ilmanvaihdon toimintaa on tutkittu kahden vuoden ajan. Rakennuksen ilmanvuotoluku ( $1/h$ ) on luku, joka ilmaisee ulkovaipan läpi virtaavan ilmamäärän tunnissa jaettuna sisäilmatilavuudella, kun ulko- ja sisäilman paine-ero on  $50 \text{ Pa}$ . Kuvan 14 esimerkissä ilmanvuotoluku  $n_{50} = 0,64 / h$ , poistoilmanvaihto asuinkerroksissa on  $0,5 / h$  ja poistoilmanvaihto kellarikerroksessa on  $0,6 / h$ .<sup>16</sup> Ilmanvaihto on säädetty kesällä  $+20$  asteen ulkolämpötilassa.

### Säätötilanne, ulkolämpötila +20°C:



Kuva 14.<sup>17</sup> Ylemmän diagrammin vasemmasta reunasta nähdään, että sisään virtauksessa noin puolet ilmasta tulee ulkoilmaventtiilistä ja puolet ulkovaipan vuodoista. Diagrammin oikeanpuoleisesta ulosvirtauksessa lähes koko ilmamäärä poistuu poistoventtiilien kautta. Rakenteiden vuotoa voi havaita kellarin ja ensimmäisen kerroksen välillä. Alemmasta diagrammista havaitaan, että paine-ero vaipan yli on noin 10 Pascalia joka kerroksessa.

### Ulkolämpötila -20°C:



Kuva 15.<sup>18</sup> Ulkolämpötilan muuttuessa ilmanvaihto muuttuu täysin.

Laskemalla kuvan 15 ylemmän diagrammin ilmanvaihtuvuuskertoimet yhteen havaitaan, että kokonaisilmamäärä on kasvanut kymmeniä prosentteja. Nähdään myös, että alimpien kerrosten ilmamäärä on kasvanut kymmeniä prosentteja ja ylimmän kerroksen ilmamäärä on pienentynyt. Lisäksi ilmaa on alkanut virtaamaan porraskäytävän kautta. Hyvin tärkeä havainto on, että ilma poistuu tässäkin tilanteessa lähes kokonaan poistoilmaventtiilien kautta. Se ilmamäärä, joka poistoilmaventtiilistä poistuu, tulee tilaan pääosin ulkoilmaventtiiliin ja ulkovaipan vuotojen kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että säätämällä poistoventtiiliin ilmamäärää säädetään myös sisään virtausta ja säädettäessä sisään virtauksen nopeutta, vaikuttaa se neliöllisesti rakennusvaipan yli vaikuttavaan paineeseen ja paine-eroihin eri tilojen välillä. Pitämällä poistoventtiilien ilmamäärät suunnitelmien mukaisina automaatiojärjestelmän avulla rakennuksen painesuhteet ovat siis jatkuvasti hallinnassa. Tilannetta on yleensä syytä parantaa rakennuksen rakenteiden suunnitelmallisella tiivistämisellä ja riittävällä määrällä ulkoilmaelimillä.

Alemmasta diagrammista nähdään, että rakennuksen vaipan yli vaikuttaa alakerroksessa noin 20 Pa alipaine ja yläkerroksessa 10 Pa ylipaine.

Kuvan tilanteessa alimmissa kerroksissa tunnetaan todennäköisesti vetoa ja vetoon pyritään vaikuttamaan esimerkiksi venttiileitä tukkimalla. Tämä pahentaa tilannetta lisäämällä ilman epäpuhtauksia rakenteiden läpi kulkeutuvan, tai pahimmillaan viemäristä tulevan ilmavirtauksen johdosta.

Lämmityskauden energiankulutus kasvaa entisestään kylmän ulkoilman lisätessä ilmanvaihdon ilmamääriä ja tätä kautta lämmitettävän ilman määrää.

Kuvien 14 ja 15 talo on varustettu kiinteänopeuksisella puhaltimella, joka pyörii aina samaa sähköverkon taajuuden määräämää nopeutta. Puhallin voi pyöriä myös kahta eri nopeutta, jolloin puhaltimessa on kahdet eri käämit, joissa on eri napaparamäärät.

Tyypillisesti suurempaa nopeutta käytetään kahdesta kolmeen kertaan päivässä yhteensä 6-7 tunnin ajan. Nopeuksia ohjataan kello-ohjauksella, yleensä aamuisin, päivällä ja iltapäivällä, ajankohtina joina ihmisten arvellaan tuottavan kosteutta. Nykyaikana voidaan ajatella, etteivät ihmiset elä kerrostaloissa samassa tahdissa etätöiden ja liukuvien työaikojen yhä lisääntyessä. Esimerkissä puhaltimen läpi virtaava kokonaisilmavirta siis kasvoi ulko- ja sisälämpötilaeron kasvaessa.

Nykyään kokonaisilmavirran kasvu kompensoidaan käyttämällä vakiopainesäätöistä puhallinta. Puhaltimen nopeutta ohjataan PID-säätimellä, jolla ylläpidetään puhaltimen yli vaikuttavaa painetta vakiona. Yleensä paine-eromittarin yhteydet sijaitsevat huippuimurin imukammiossa ja ulkoilmassa.



STEC-huippuimurin vakiovarustukseen kuuluu tarkka ja helppo il-mavirran mittaus. Ilmavirran mittauksen tarkkuus on  $\pm 10\%$ .

$$q_v = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\Delta p_m}$$

Kuva 16. Kuvassa on Fläkt Woods Oy:n STEC -huippuimurin mittayhteet ja laskenta-kaava ilmamäärälle, joka on puhaltimen yli vaikuttavan paine-eron neliöjuuri kerrottuna laboratoriossa mitatun k-arvon käänteisluvulla.<sup>19</sup>

Pitämällä puhaltimen yli vaikuttava paine-ero vakiona puhaltimen nopeutta säätämällä, pysyy puhaltimen läpi virtaava ilmamäärä vakiona. Rakennukseen ulko- ja sisälämpötilan vaikutuksesta syntyvä painegradientti ei kuitenkaan katoa, vaikka rakennuksesta poistettava kokonaisilmamäärä pysyy vakiona. Tämä tarkoittaa, että ulkoilman kylmetessä loppuu ylimmissä kerroksissa ilmanvaihto kokonaan, tai alkaa virtaamaan jopa väärään suuntaan. Ei siis riitä, että painesuhteiden muutoksen aiheuttama kokonaisilmamäärän kasvu kompensoidaan puhallinta säätämällä, vaan ilmanjakokin on kaava 1

korkeusasema h:n mukaisesti säädettävä lämpötilan muuttuessa. Vasta tällöin ilmanvaihto on tasapainossa.

### 3.3 Huoneistokohtaiset ilmavirtaukset

VTT:n mukaan kenttämittauksissa on usein havaittu, että poistoilmaventtiileistä mitatut poistoilmavirrat poikkeavat huomattavastikin suunnitteluarvoista. Esimerkkinä eräässä kolmikerroksisessa kerrostalossa venttiilikohtaisista ilmavirroista vain 11 % ja huoneistokohtaisista ilmavirroista 17 % oli +/- 10 % sisällä suunnitelluista arvoista.<sup>20</sup>

Tuloilman pääongelmia ovat vetohaitat, ilman epätasainen jakautuminen huonetilojen kesken ja sääolojen vaikutus ilmavirtoihin. VTT:n mukaan "...ulkoilman järjestäminen hallitusti ulkovaipan läpi näyttäisi edellyttävän ainakin seuraavia seikkoja.

1. Talossa on oikein säädetty koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, jonka ilmavirrat tunnetaan
2. Ulkoilmareittien ja -elimien virtausfunktiot sekä säätö ja suuntausominaisuudet tunnetaan
3. Talon ulkovaipan sekä huoneistojen välisten seinämien tiiviys on riittävä ja niiden ilmavuodot paine-eron funktiona tunnetaan
4. Sään (tuuli, ulkolämpötila) vaihteluista johtuvat häiriöt tunnetaan ja voidaan riittävästi eliminoida
5. Ulkoilmaelimien synnyttämä virtaus- ja lämpötilakenttä huoneessa on mitattu ja arvosteltu viihtyisyyskriteerein."<sup>21</sup>

Turvallisena alipaineena pidetään 10 Pascalin painetta.

### 3.4 Ilmanvaihdon tehostus

Kahdella nopeudella toimineen ilmanvaihdon tehostusjaksot eivät yleensä osu ajanjaksoihin, jolloin asukkaat valmistavat ruokaa ja nostavat sisäilmaston kosteutta esimerkiksi käymällä suihkussa. Ilmanvaihto on myös herkempi häiriöille toimiessaan puolella teholla, sillä tällöin kanaviston painehäviöt ovat vain noin neljäsosa täyteen tehoon verrattuna. Koko rakennuksen tehostuksessa lämmitettävää ulkoilmaa tulee sisälle enemmän ja täten energiankulutus kasvaa. Tällöin myös paine-erot kasvavat, jolloin rakenteiden läpi virtaava ilma saattaa kuljettaa sisäilmastoon epäpuhtauksia. MyAir tehostaa vain venttiileitä, joiden vaikutuspiirissä kosteus on noussut tai tehostus on muulla toimella käynnistetty, joka vaikuttaa energiankulutukseen. Venttiileiden yli vaikuttaa myös suurempi paine-ero, jolloin ilmanvaihdon häiriöiden vaikutukset pienenevät tai katoavat kokonaan.

## 4 Poistoilmanvaihdon matemaattinen mallinnus älykkään säädön ohjelmoinniseksi

Matemaattinen malli tehtiin ensin MS Exceliin, jossa sitä on helppo testata. Käyttöön otettaessa se ohjelmoidaan kohteessa sijaitsevan teollisuus-PC:n backendiin.

Mallia voi helposti testata mallintamalla asennuskohteen ilmanvaihtojärjestelmä ja syötämällä asennot järjestelmään käsin. Tämän jälkeen voidaan nähdä mittaustuloksista suoraan pitävätkö venttiilien ilmamäärät paikkansa ja kokeilla kuinka nopeasti järjestelmä saa ilmanvaihdon suhteellisen säädön tehtyä. Exceliin on myös helppoa tehdä tarvittaessa mallin tarkennuksia. Malli kannattaa kuitenkin pitää mahdollisimman kevyenä.

### 4.1 Mallinnuksen lähtökohta

MyAir -järjestelmän suhteellinen tasapainotus ensimmäisellä kerralla toimii niin, että kaikki venttiilit ovat aluksi samassa asennossa. Oletusasento on 40 %. Suhteellinen tasapainotus aloitetaan huonoimmasta venttiilistä, eli venttiilistä jonka yli vaikuttava paineero on pienin. Tämä on yleensä kauimpana puhaltimesta sijaitseva venttiili. Järjestelmä tutkii venttiilien läpi virtaavasta kokonaisilmamäärästä, säädetäänkö venttiili syötettyyn ilmamäärään, vai esimerkiksi 3 % alle syötetyn. Järjestelmän säädettyä ensimmäisen venttiilin, se siirtyy toiseksi huonoimpaan. Järjestelmän siirtyessä uuteen venttiiliin, se käy tarkastamassa jo säädettyjen venttiilien ilmamäärät. Mikäli näyttää siltä että ilmamäärät eivät aiemmin säädettyissä riitä, tai niissä virtaa liikaa ilmaa, järjestelmä korjaa suhteellisen säädön poikkeamaa ja aloittaa alusta. Kunhan puhaltimen ilmamäärä on riittävän lähellä mitoitusilmamäärää, niin järjestelmä löytää lopulta aina suhteellisen tasapainon, eli kaikissa venttiileissä on sama prosentuaalinen ero mitoitusilmamäärään, tai venttiilit ovat mitoitusilmamäärässä.

Riippuen rakennuksen koosta ja olosuhteista ensimmäinen tasapainotus voi kestää muutamasta tunnista muutamaa päivään (kohteissa, joissa on satoja venttiileitä). Ensimmäisen tasapainotuksen jälkeen venttiilien ollessa lähellä tasapainoa automaattinen tai käsin käynnistetty tasapainotus kestää tyypillisesti vain joitain tunteja.

Vaikka MyAir-järjestelmän käyttöönotto voidaan tehdä etänä, eikä tasapainotus vaadi yleensä kohteella oloa, sen käyttöönottoa valvoo ihminen. Olisi mielekästä, jos järjestelmä osaisi päätellä venttiilien asennot kevyellä ohjelmalla ja riittävän luotettavasti muutamalla tiedolla, jotka tiedetään ja voidaan arvioida helposti. Tämä vapauttaisi käyttöönottoa tekevältä henkilöltä työaikaa. Ilmanvaihtojärjestelmän mallinnus ja venttiilien asentojen laskenta tehdään ja testataan MS Excelillä. Tämän jälkeen se ohjelmoidaan mahdollisesti kohteisiin sijoitettavien teollisuus-PC:iden backendiin.

#### 4.2 Mallinnuksen lähtötiedot

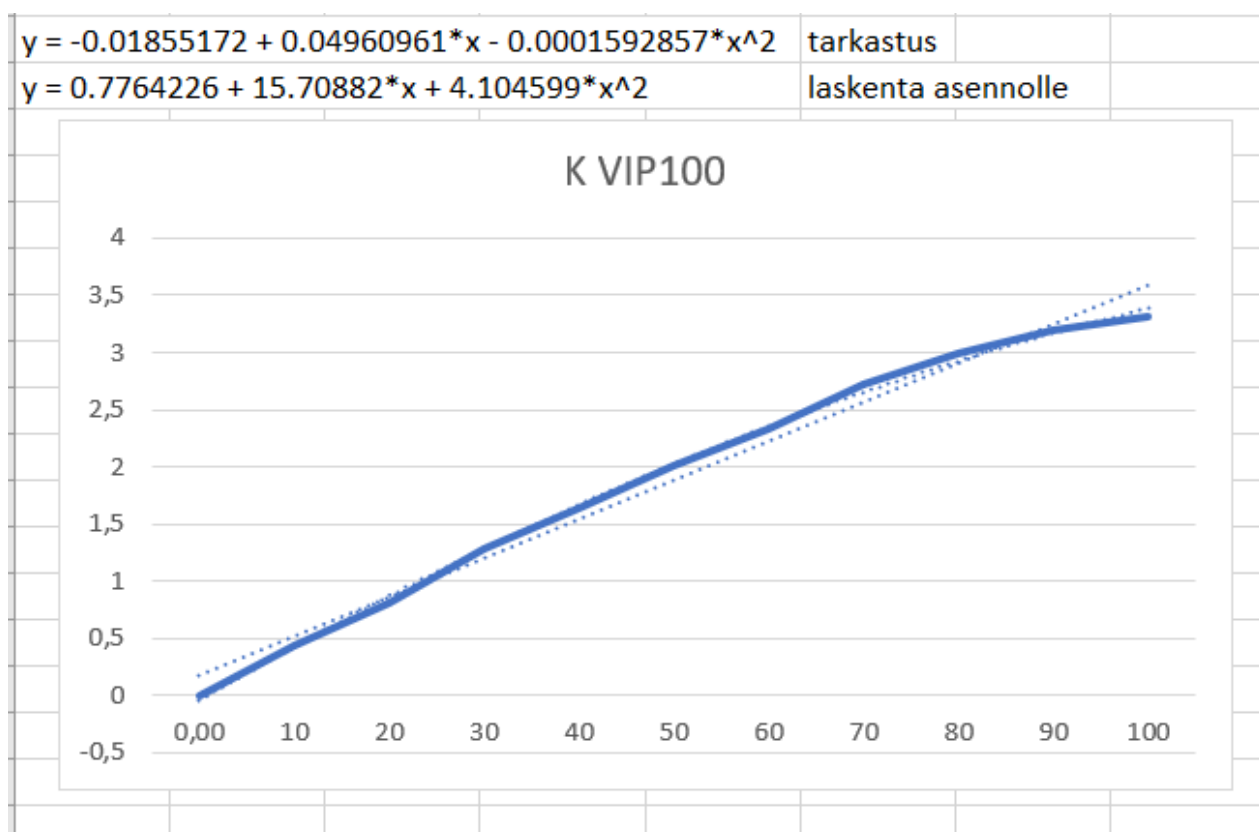
Mallinnusta tehdessä rakennuksen ilmanvaihdosta tunnetaan:

- Huonoimman venttiilin yli tulisi vaikuttaa 20 Pa paine-ero
- Venttiilien ilmamäärät
- Venttiilien virtausvastukset eri asennoissa ja eri ilman nopeuksissa (k-arvo)
- Eri kokoisten kanavien ja kanavaosien virtausvastukset eri ilman nopeuksilla
- Rakennuksen korkeus / kerroslukumäärä
- Venttiilien välimatkat
- Pystykanavien lukumäärä
- Maksiminopeus ilmalle kanavassa on 3 m/s

Suoran ilmanvaihtokanavan virtausvastus ei ole suuri nopeuksilla, joita esiintyy asuntoilmanvaihdossa. Täten mahdollisissa ilmanvaihtokanavia koskevissa laskentavirheissä virhe ei aiheuta suurta eroa lopputuloksessa, eli venttiilin asennossa.

#### 4.3 Mallinnus

Mallinnus aloitetaan ilmanvaihtojärjestelmän huonoimmasta venttiilistä. Sen yli tulisi vaikuttaa minimissään 20 Pa paine-ero mitoitusilmamäärällä. Tämän arvon tulee olla kuitenkin muutettavissa. Joissain tapauksissa tiedetään jo etukäteen, ettei ihanteellisia arvoja voida saavuttaa esimerkiksi tiukan kanaviston vuoksi. Asennon saa laskettua suoraan k-arvon mittaustaulukosta (Kuva 17), jonka mallinnus valitsee sen mukaan, onko kyseessä VIP100 vai VIP125 -venttiili.



Kuva 17. Esimerkki VIP100 -venttiilin polynomifunktioksi sovittamisesta

Seuraavaksi siirrytään seuraavaan venttiiliin laskemalla niiden välisen suoran kanavan painehäviö arvioidulta matkalta ja valitsemalla onko kyseessä 100 vai 125 mm kanava. 90 asteen käyrän, tai myöhemmin T-yhteen vaikutus on niin pieni, ettei niiden mallinnuksen lisätarkkuus enää nopeuta järjestelmän tasapainotusta, mutta pidentää ohjelmaa huomattavasti. Kanavakoko voidaan keskitetyllä poistolla varustetussa asuinkerrostoissa päätellä venttiilin koosta, joka on sama kuin kanavakoko. Venttiilille saavuttaessa tiedetään mikä on kanaviston alipaine huonetilaan nähden ja sovitetulla k-arvon polynomifunktiolla voidaan laskea venttiilin asento. Uuden venttiilin ilmamäärä lisätään aina kanaviston aiemmista venttiileistä tulevaan osaan.

Ilmanvaihtokanaviston sivuhaaroissa ilmamäärät ovat niin pieniä, ettei tarvita kuin 100 ja 125 mm kanavien polynomifunktiot. Saavuttaessa pystykanavaan on kanavakoot kasvatettu 315 mm kanavaan asti. Kanavakoko voitaisiin määrittää myös automaattisesti niin, että ylitettäessä esimerkiksi virtausnopeus 3 m/s, kasvaisi kanavakoko seuraavaan. Keskitetyn poiston kohteissa kanava on varsin usein rakenneaineinen ja hydrostaattiselta

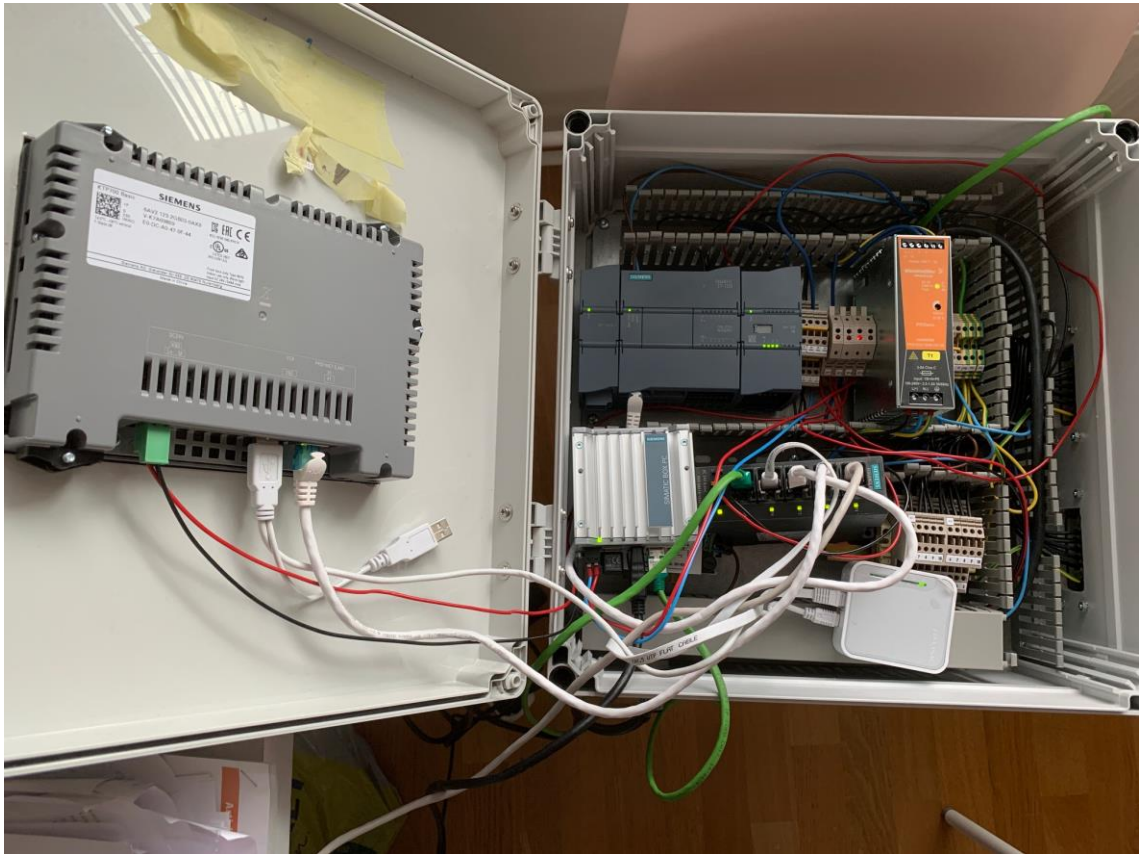
muodoltaan koko matkalta samanlainen, joten mallissa päädyttiin lopulta käsin valittavaan malliin. Rakenneaineisen kanavan erillinen mallintaminen ei myöskään paranna merkittävästi mallia, sillä sen voi käyttöönottaja huomioida kasvattamalla kerrosväliä esimerkiksi metrillä, tai käyttämällä kokoa tiukempaa kanavan halkaisijaa.

Saavuttaessa alemmasta kerroksesta seuraavaan, aletaan laskea toiseen suuntaan, eli kanaviston paine ja ilmamäärä laskee siirryttäessä pystykanavasta kauemmas. Haaran ilmamäärä lisätään alemmien kerrosten ilmamäärään ja siirrytään ylöspäin aina puhaltimen kokoojakammioon asti. Tässä lasketaan kokonaisilmamäärä.

## 5 Tiedonsiirto automaatiojärjestelmään

Rakennukseen asennettu MyAir tuottaa sisäilmastosta ja painesuhteista paljon tietoa, joka tallennetaan Amazon AWS-pilveen. Tiedon siirtäminen pilvestä kiinteistöautomaatiojärjestelmälle sellaisenaan, tai jalostettuna luo uusia mahdollisuuksia entistä tarkempaan ja parempaan ohjaukseen. Vanhaan rakennukseen saadaan tuhansia mittaustietoja hyödynnettäväksi taloautomaation ohjauksissa. Tätä tiedonsiirtoa automaatiojärjestelmään testataan työssä ensimmäistä kertaa. Rajapintaa on testattu tietokoneella, mutta tietoja ei ole aiemmin jalostettu sellaisiksi, että ne olisivat siirrettävissä automaatiojärjestelmään.

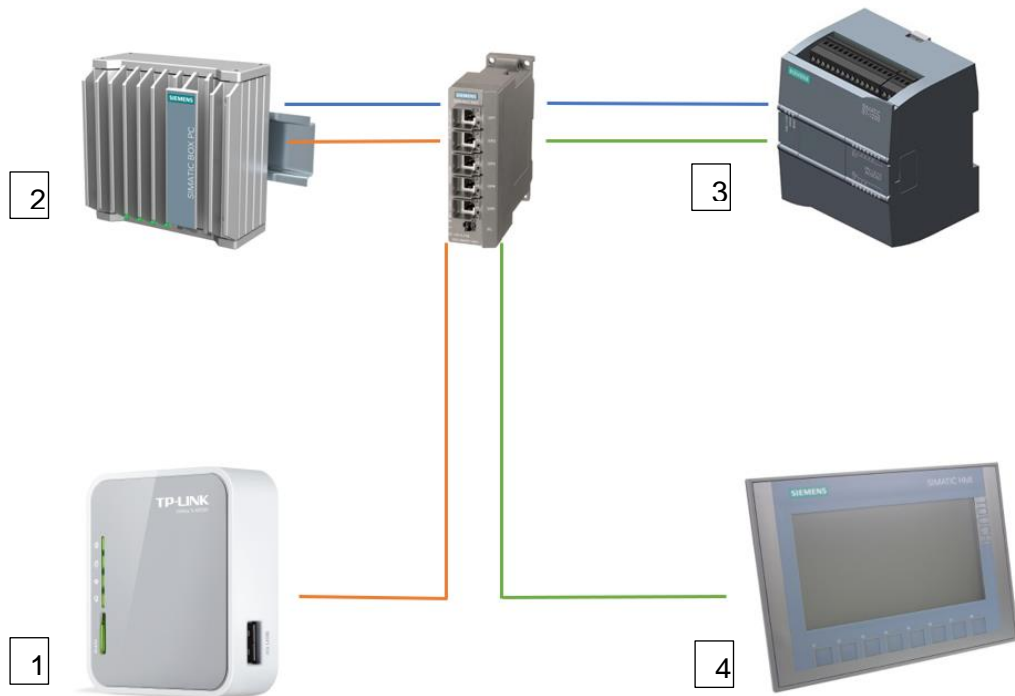
Työ muodostaakin ensimmäisen dokumentaation tavasta, jolla tietoa siirretään. Valvonnat ja hälytykset on rajattu työssä pois.



Kuva 18. Työssä käytetty laitteisto

## 5.1 Järjestelmä

Koko järjestelmä koostuu venttiileistä ja paine-eroantureista, jotka kommunikoivat Gatewayn kanssa LoRaWAN-protokollalla. Työssä käytetty järjestelmä sijaitsee kotonani ja sitä on käytetty varsinaisen Kausalassa sijaitsevan Climecon Oy:n testilaboratorion rinnalla kevyisiin testeihin. Gateway sisältää venttiilien ohjaukseen vaadittavat ohjelmistot, ja se tallentaa kaikki mitatut tiedot ja hälytykset pilveen. Siirto pilveen tapahtuu MQTT-Clientillä .json -muotoisella tiedolla. Työssä .json -muotoinen tieto haettiin pilvestä kaksiosaisella Pythonilla ohjelmoidulla ohjelmalla. Rajapinnan toteuttanut yritys CGI Oy toimitti ensimmäisen pilven rajapinnan sisältäneen osan, johon tein joitain muutoksia, kuten lukumuodon muutoksen etumerkilliseksi kokonaisluvuksi (INT) ja yhden tulostuksen ohjelman kulun diagnostiikkaa varten. Jälkimmäisen Modbus TCP Client -osuuden ohjelmoin itse käyttäen lähteenä pyModbusTCP (<https://pymodbustcp.readthedocs.io/en/latest/quickstart/index.html#modbusclient-init>) sivustoa. Modbus TCP-masterina työssä käytettiin Siemens S7-1212C AC/DC/RLy -logiikkaa. Logiikalta tieto siirrettiin Profinet-väylällä Siemens KTP700 kosketusnäytölle.



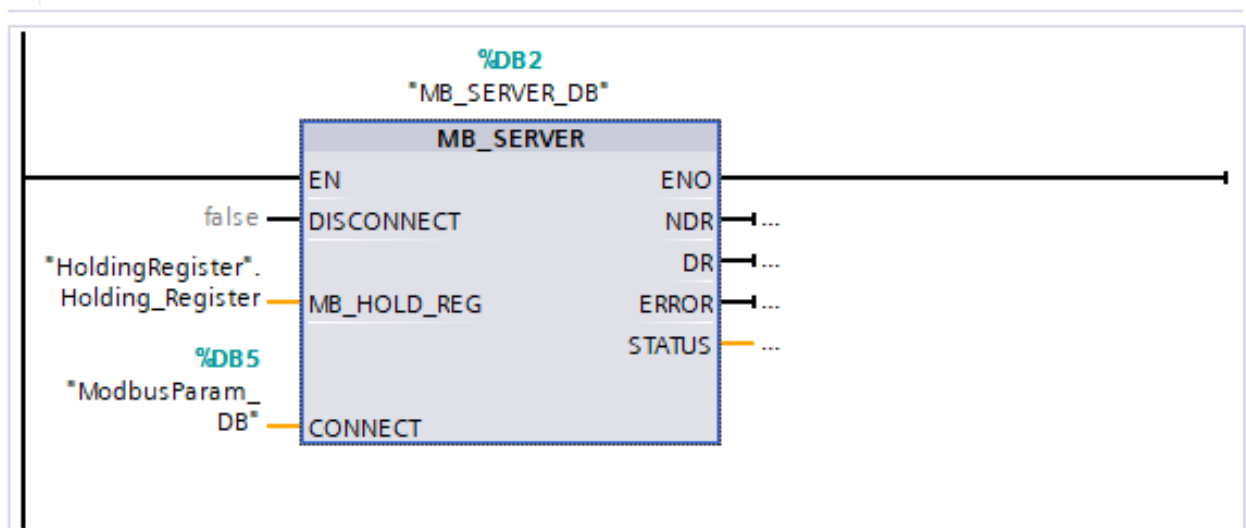
Kuva 19 Kommunikointi laitteiden välillä.

Internet-yhteys pilveen järjestettiin (Kuva 19) TP-Link MR3020 WIFI-reitittimen avulla asettelemalla se AP (access point) -toimintaan ja liittämällä se kodin WIFI-verkkoon (kuvassa laite 1).

Tieto siirrettiin ethernet-protokollalla (oranssi väri) kytkimeen ja sitä kautta Siemensin 127E IPC Nanoboxille (kuvassa laite 2). Tietokoneeseen tehtiin ohjelma, joka hakee tiedot pilvestä ja siirtää ne Modbus TCP-potokollalla (sininen väri) Siemens S7-1212c logiikalle (kuvassa laite 3). Logiikka ohjelmoitiin siirtämään rekistereihin kirjoitettu tieto muuttujiksi ja nämä edelleen lähetettiin Siemens KTP700 Basic näytölle (kuvassa laite 4) käyttäen Profinet-protokollaa (Vihreä väri). Kaikki protokollat toimivat ethernetissä, joten jokaiselle laitteelle menee vain yksi kaapeli kytkimeltä.

## 5.2 Logiikkaohjelma

Ohjelmointi tehtiin Siemens TIA15 -ohjelmalla. Modbus palvelin tehtiin Siemensin valmiilla MB\_Server -lohkolla, johon määriteltiin Holding registers -rekisterit.<sup>22</sup>



Kuva 20 Modbus palvelinlohko.

S71200\_ModbusTCP\_Server ▶ PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] ▶ Program blocks ▶ HoldingRegister [DB1]

Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values as actual

**HoldingRegister**

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	C
1	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	▼ Holding_Register	Array[0..20] ...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	■ Holding_Register[0]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	■ Holding_Register[1]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	■ Holding_Register[2]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	■ Holding_Register[3]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	■ Holding_Register[4]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	■ Holding_Register[5]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	■ Holding_Register[6]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	■ Holding_Register[7]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	■ Holding_Register[8]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	■ Holding_Register[9]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	■ Holding_Register[10]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	■ Holding_Register[11]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	■ Holding_Register[12]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	■ Holding_Register[13]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	■ Holding_Register[14]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	■ Holding_Register[15]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	■ Holding_Register[16]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	■ Holding_Register[17]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	■ Holding_Register[18]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	■ Holding_Register[19]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	■ Holding_Register[20]	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kuva 21 Modbus palvelimen rekisteri "datablock".

Kuvassa 21 tehtiin määrytykset Holding -rekistereille, joihin väylän etumerkilliset kokonaisluvut kirjoitetaan (INT). "Array (0...nn) ja lukumuoto, jossa nn rekisterien lukumäärä.

Kuvassa 22 yhteyden asetukset määriteltiin Modbus-parametrilohkossa, johon syötettiin kommunikoivan Client:in (asiakkaan) IP 192.168.0.99 osoite ja portin numero 502, sekä yhteyden tyyppi.

S71200\_ModbusTCP\_Server ▶ PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] ▶ Program blocks ▶ System blocks ▶ Program resources ▶ ModbusParam\_DB [DB5]

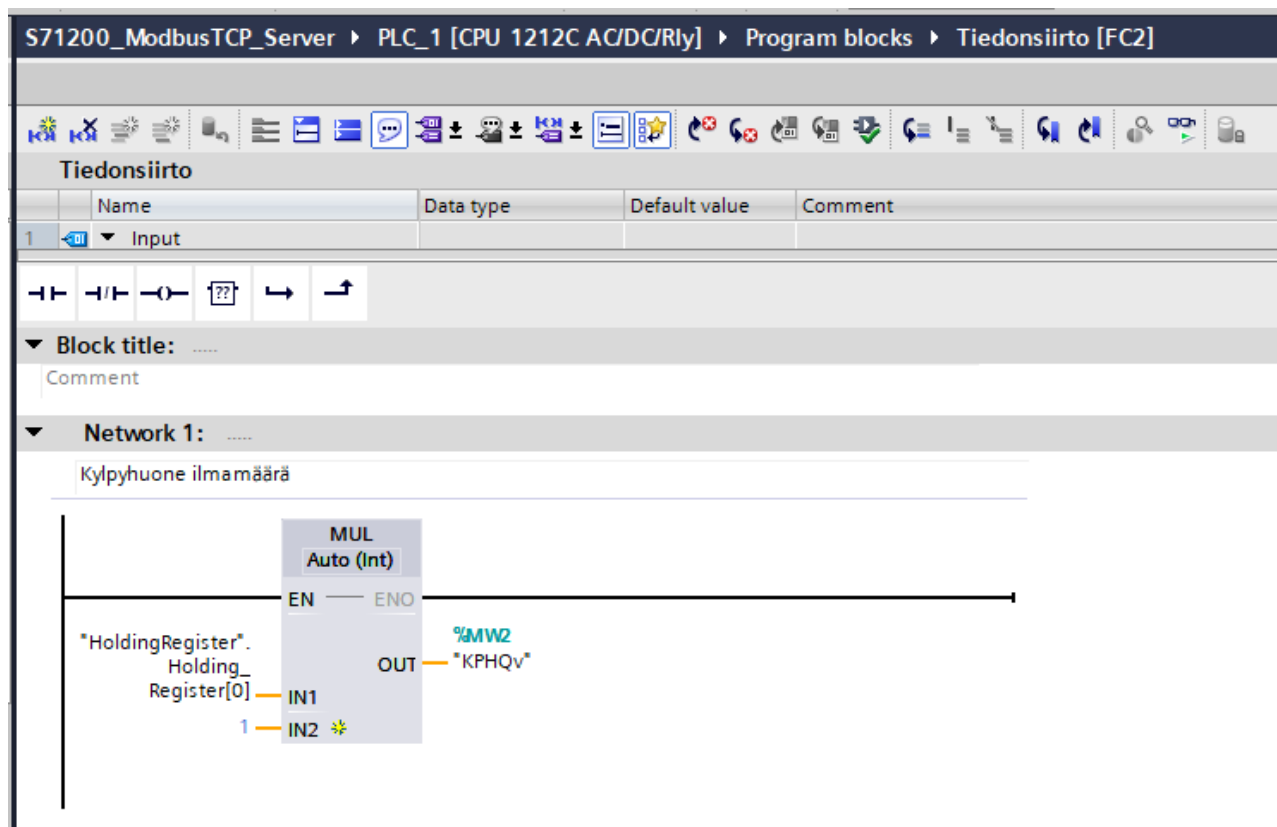
Keep actual values Snapshot Copy snapshots to start values Load start values as actual values

**ModbusParam\_DB**

	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	InterfaceId	HW_ANY	64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HW-identifier of IE-interface submodule
3	ID	CONN_OUC	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	connection reference / identifier
4	ConnectionType	Byte	16#0B	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	type of connection: 11=TCP/IP, 19=UDP (17=TCP)
5	ActiveEstablished	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	active/passive connection establishment
6	RemoteAddress	IP_V4		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	remote IP address (IPv4)
7	ADDR	Array[1..4] of Byte		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4 address
8	ADDR[1]	Byte	192	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4 address
9	ADDR[2]	Byte	168	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4 address
10	ADDR[3]	Byte	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4 address
11	ADDR[4]	Byte	99	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4 address
12	RemotePort	UInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	remote UDP/TCP port number
13	LocalPort	UInt	502	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	local UDP/TCP port number

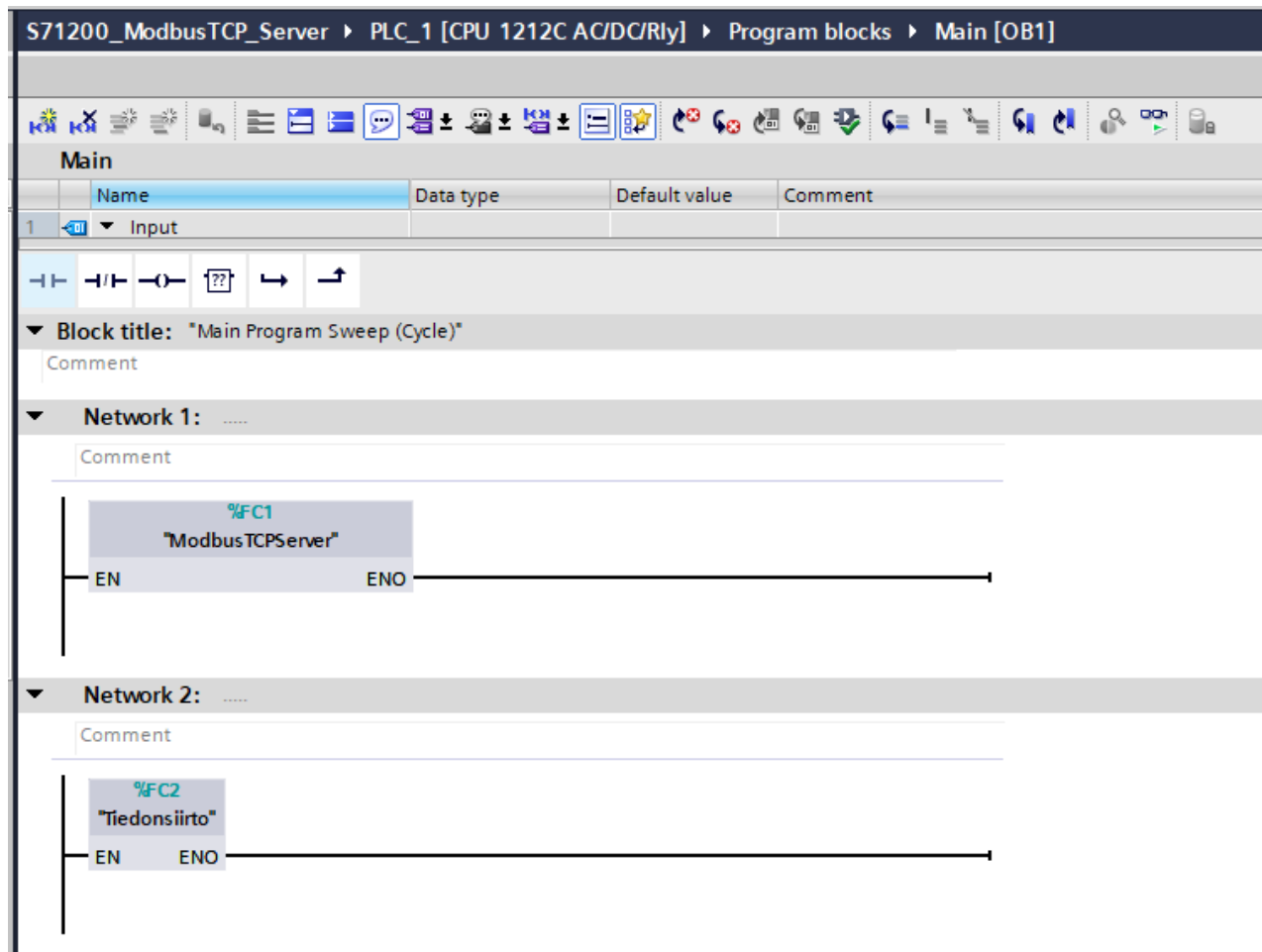
Kuva 22. Modbus Clientin, eli asiakkaan asetukset.

Holding register -muistien sisältö kirjoitettiin aluksi MOVE-lohkolla muistisanaksi "%MWn". Havaittiin kuitenkin, että Clientistä kirjoitettu arvo oli 10 kertaa liian pieni, kun se tuli logiikkaan ja virhe korjattiin korvaamalla MOVE-lohkon MUL -kerroinlohkolla. Myöhemmin kerroin vaihdettiin arvoon 1, sillä tietokoneessa .json -muotoisia tietoja siirrettäessä Modbus Clienttiin pilvirajapinnasta, ei desimaalierotinta voitu käyttää, joten arvot kerrottiin arvolla 10 ja logiikassa desimaalierotin siirrettiin takaisin. Näin tarkkuus säilyi. Muistisanoja käytettiin suoraan arvojen esittämiseen näytöllä.



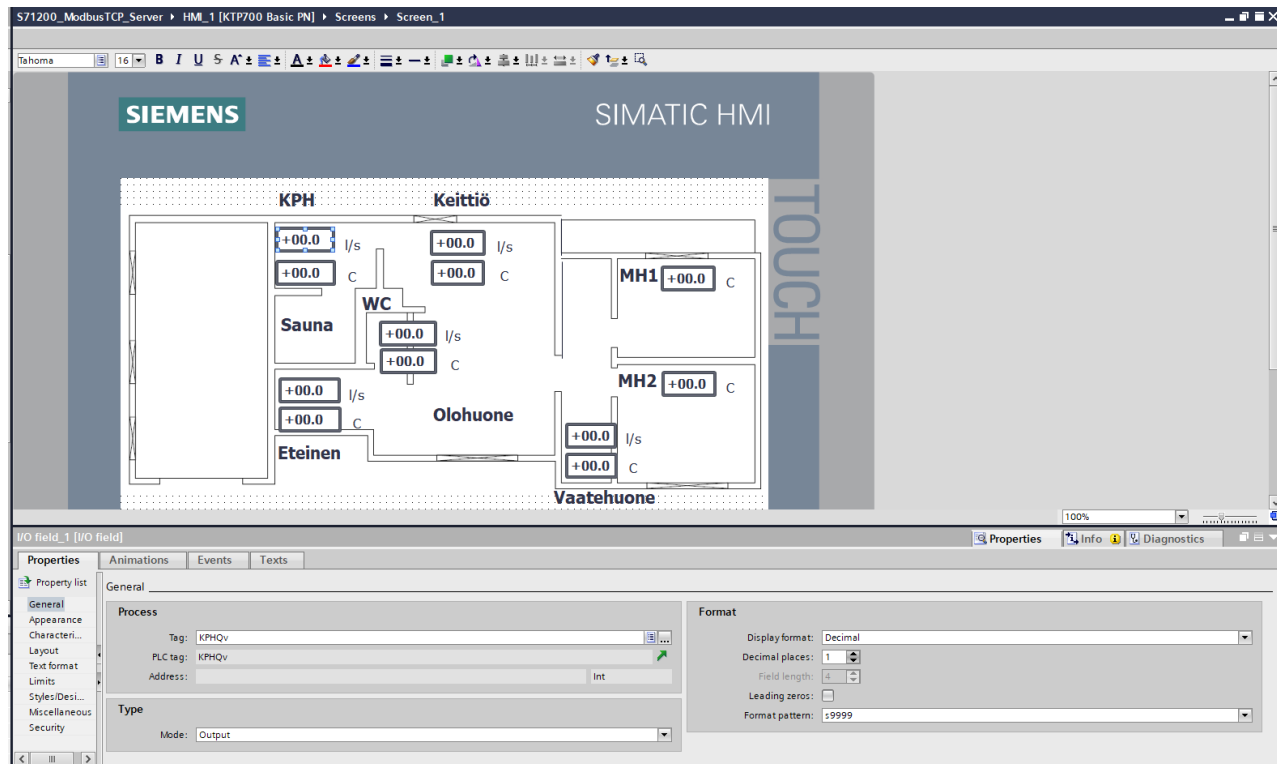
Kuva 23. Rekisterin arvon siirto muuttujaksi.

Kuvassa 23 jokainen mitattava suure tuodaan matemaattiselle kerroinlohkolle, jonka tuloksesta tehdään muuttuja. Työssä käytettiin kerroinlohkoa, jotta tarvittaessa pilkkua voi siirtää helposti. Tämän jälkeen Modbus- ja tiedonsiirtolohkot kutsuttiin pääohjelmassa (OB1). Kuva 24.



Kuva 24. Kutsut pääohjelmassa.

Seuraavaksi (Kuva 25) logiikan näyttöön tulostettiin asunnon Autocad-pohjakuvasta tausta, joka liitettiin näytön taustaksi .pdf -muodossa.



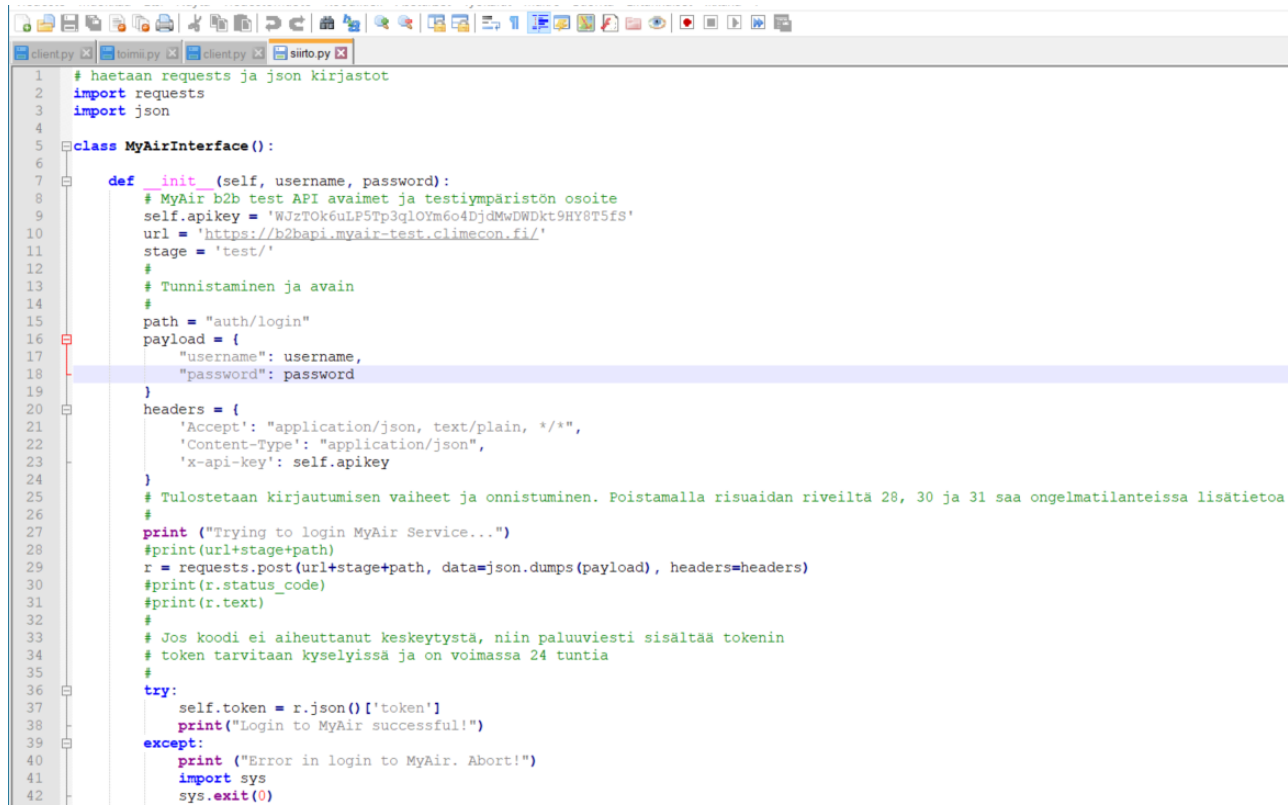
Kuva 25. Näytön asetukset.

General-välilehdellä määriteltiin I/O-kentän tagi, eli muuttujan nimi, ja että se on output, eli pelkkä näyttö. Luku on desimaaliluku, jonka kokonaislukuosa on kolmen numeron ja desimaaliosa yhden numeron suuruinen. Maksimissaan voidaan siis esittää luku 999,9.

### 5.3 Tiedonsiirto Python ohjelmalla

Ohjelmointi aloitettiin Modbus TCP Client rajapinnasta. Ohjelmassa käytettiin valmiita kirjastoja, kuten pyModbusTCP. Tietokoneella ei oltu aiemmin ohjelmoitu Pythonilla, joten siihen asennettiin Python 3.8.2 ja erinäisiä kirjastoja. Ensimmäinen ohjelmointi tehtiin Windows 7-käyttöjärjestelmällä, mutta ohjelman valmistuttua se siirrettiin Siemens 127E Nanobox teollisuus-IPC:hen, johon oli asennettu Linuxiin perustuva Debian 9:n käyttöjärjestelmä. Tarkoituksena oli aikaansaada kevyt, mutta mahdollisimman lähellä yleisesti käytettäviä automaatiojärjestelmiä oleva testialusta.

Kuvassa 26 ohjelma hakee tarvittavat valmiit kirjastot "requests" ja "json", sekä hakee kommunikointiin tarvittavan avaimen. Ongelmatilanteiden diagnostiikan vuoksi ohjelmassa on tulostuskäskyjä, jotka saa käyttöön poistamalla #-merkin.



```

1 # haetaan requests ja json kirjastot
2 import requests
3 import json
4
5 class MyAirInterface():
6
7     def __init__(self, username, password):
8         # MyAir b2b test API avaimet ja testiympäristön osoite
9         self.apikey = 'WJzTOK6uLP5Tp3qlOYm6o4DjdMwDWDkt9HY8T5fs'
10        url = 'https://b2bapi.myair-test.climecon.fi/'
11        stage = 'test/'
12        #
13        # Tunnistaminen ja avain
14        #
15        path = "auth/login"
16        payload = {
17            "username": username,
18            "password": password
19        }
20        headers = {
21            'Accept': "application/json, text/plain, /*/*",
22            'Content-Type': "application/json",
23            'x-api-key': self.apikey
24        }
25        # Tulostetaan kirjautumisen vaiheet ja onnistuminen. Poistamalla risuaidan riveiltä 28, 30 ja 31 saa ongelmatilanteissa lisätietoa
26
27        print ("Trying to login MyAir Service...")
28        #print(url+stage+path)
29        r = requests.post(url+stage+path, data=json.dumps(payload), headers=headers)
30        #print(r.status_code)
31        #print(r.text)
32        #
33        # Jos koodi ei aiheuttanut keskeytystä, niin paluuviesti sisältää tokenin
34        # token tarvitaan kyselyissä ja on voimassa 24 tuntia
35        #
36        try:
37            self.token = r.json()['token']
38            print("Login to MyAir successful!")
39        except:
40            print ("Error in login to MyAir. Abort!")
41            import sys
42            sys.exit(0)

```

Kuva 26. Ohjelman alkuosa, jossa moduulien kutsut ja token.

Seuraavaksi (Kuva 27) luotiin datavektori, joka ladataan MyAir testiympäristöstä. Data-vektori kirjoitetaan myöhemmin logiikalle lähetettävään viestiin.

```

43 #Luodaan datavektori ja ladataan se MyAir testiympäristöstä
44 def download_new_datavector(self):
45     url = "https://b2bapi.mylair-test.climecon.fi/test/hierarchy/17?controlunits=true&devices=true&sensors=true&alerts=true"
46     headers = {
47         'Accept': "application/json, text/plain, */*",
48         'Content-Type': "application/json",
49         'Authorization': "Bearer %s" % self.token,
50         'x-api-key': self.apikey
51     }
52     print("Starting to download new data from MyAir...")
53     data = requests.get(url, headers=headers).json()
54     print("Data downloaded. Download size: %s bytes" % len(json.dumps(data)))
55     # Tässä valitaan mitkä tiedot haetaan
56     datavector = [
57         self._seek_latest_value(data, "A2", "kph", "", "airflow"),
58         self._seek_latest_value(data, "A2", "kph", "", "airtemperature"),
59         self._seek_latest_value(data, "A2", "k", "", "airflow"),
60         self._seek_latest_value(data, "A2", "k", "", "airtemperature"),
61         self._seek_latest_value(data, "A1", "wc", "", "airflow"),
62         self._seek_latest_value(data, "A1", "wc", "", "airtemperature"),
63         self._seek_latest_value(data, "A1", "muu", "Eteinen", "airflow"),
64         self._seek_latest_value(data, "A1", "muu", "Eteinen", "airtemperature"),
65         self._seek_latest_value(data, "A1", "vh", "", "airflow"),
66         self._seek_latest_value(data, "A1", "vh", "", "airtemperature"),
67         self._seek_latest_value(data, "A1", "mh", "", "airtemperature"),
68         self._seek_latest_value(data, "A2", "mh", "", "airtemperature"),
69     ]
70     return datavector
71

```

Kuva 27. Datavektori ja mittaukset.

Viimeisimmät mittausarvot haetaan rajapinnan anturityypin, eli "sensortype" ja viimeisimmän mittausarvon "lastValue" avulla. Kaupallisessa käytössä pitäisi myös tuoda aika jolloin mittaus on tehty ja verrata sitä kyselyhetkeen, jotta tiedettäisiin, että mittaustulos on tuore. Sopiva arvo MyAirissa voisi olla 15 minuuttia, koska normaali mittaustulosten lähetystaajuus on 8 minuuttia. Tällöin mahdollisiin trendeihin tallentuisi aina uusin mittaus-tulos.

Seuraavaksi syötetään kirjautumistiedot ja ohjelmaosion loppuun tehtiin testikoodi, joka tarvittaessa kirjoittaa pilvestä haetun vektorin tietokoneen näytölle:

```

92
93
94 # tässä kohtaa MyAir kirjautumistiedot:
95 myair = MyAirInterface(username="jani.nieminen@climecon.fi", password="XXXXXXXXXXXXXXXX")
96
97
98 # Testikoodipätkä. Vaihdettaessa tähän "if 1" niin ohjelma tulostaa pilvestä haetun tiedon:
99 if 0:
100     v = myair.download_new_datavector()
101     print(v)
102     import sys
103     sys.exit(0)
104

```

Kuva 28. Kirjautuminen ja pilvestä haettujen tietojen kirjoitus.

Ohjelman loppuosa siirtää MyAirin mittaustiedot logiikalle. Ensin ladataan pyModbusTCP -moduulin ModbusClient kirjasto ja time, eli aika-moduuli, jotta saadaan määriteltäviä odotukset. Seuraavaksi ohjelmaan tehtiin osoitemäärittelykset, jossa logiikka on osoitteessa 192.168.0.1 ja se kuuntelee porttia 502:

```

105
106 # ModbusTCP Client koodi alkaa tästä. Ladataan Modbus ja aika kirjastot
107
108 from pyModbusTCP.client import ModbusClient
109 import time
110
111 # Määritellään Siemens S7-1200 Serverin IP ja portti
112
113 SERVER_HOST = "192.168.0.1"
114 SERVER_PORT = 502
115
116 c = ModbusClient()
117
118 c.host(SERVER_HOST)
119 c.port(SERVER_PORT)
120

```

Kuva 29. Modbus moduulit ja -määrittely.

Seuraavaksi avataan tai uudelleenyhdistetään yhteys Modbus-palvelimelle ja kirjoitetaan aiemmin tehty vektori. Arvot halutaan esittää kymmenysten tarkkuudella, mutta ne voidaan lähettää ainoastaan kokonaislukuna, joten ne kerrotaan arvolla 10 rivillä 132. Kymmenellä jako tehtiin siirtämällä logiikan näytön määrittelyssä pilkkua:

```

121 while True:
122     # Avaa tai uudelleenyhdistä serveriin
123     if not c.is_open():
124         if not C.open():
125             print("unable to connect to "+SERVER_HOST+": "+str(SERVER_PORT))
126
127     # jos yhteys on auki, niin kirjoita rekisteriin 0 MyAir-tulokset. Rekisteri 0 on 40001 Holding rekisteri serverillä
128     if c.is_open():
129
130
131         myair_data = myair.download_new_datavector()
132         myair_data = [int(10*a) for a in myair_data]
133         print(myair)
134
135         # Kirjoita 0-rekisterin vektori Tämä on Modbus rekisteri 40001
136         regs = c.write_multiple_registers(0, myair_data)
137

```

Kuva 30. Palvelimen yhteyden avaus ja pilvestä haetun vektorin kirjoitus Modbus-väylään.

Ohjelmaa tehdessä havaittiin virhe ModbusClient-moduulissa. Koodiin oli määritelty lukumuodoksi H, eli etumerkitön kokonaisluku (UINT). Työssä kokeiltiin sen vaihtamista muotoon h, joka on etumerkillinen kokonaisluku, mutta tämä ei toiminut. Tämä estää negatiivisten lukujen lähettämisen suoraan, mutta ongelma voidaan ohittaa lisäämällä lähetettävään lukuun sopiva arvo, kuten 1000 ja vähentämällä se logiikassa. Tällöin esimerkiksi ohjelmassa lukuun -30 lisätään 1000, jolloin saadaan 970 lähetettäväksi ja logiikassa luvusta 970 vähennetään samainen 1000, jolloin näytölle saadaan -30.

Seuraavan kuvan mukaisesti odotetaan 10 sekuntia ja käydään lukemassa logiikan rekisterit, jotta nähdään toimiko yhteys:

```

137
138
139     # Pieni tauko ennen kuin testaamisen vuoksi luetaan ensin kirjoitetut arvot rekisteristä:
140     print ("Sleeping for 10 seconds...")
141     time.sleep(10)
142
143     regs2 = c.read_holding_registers(0, 12)
144
145     if regs2:
146         print("reg ad #0 to 9: "+str(regs2))
147
148     # 2 sekunnin tauko ennen seuraavaa ohjelmakiertoa
149     time.sleep(2)
150

```

Kuva 31. Odotus ja tarkastus, sekä tauko ohjelmankierrossa.

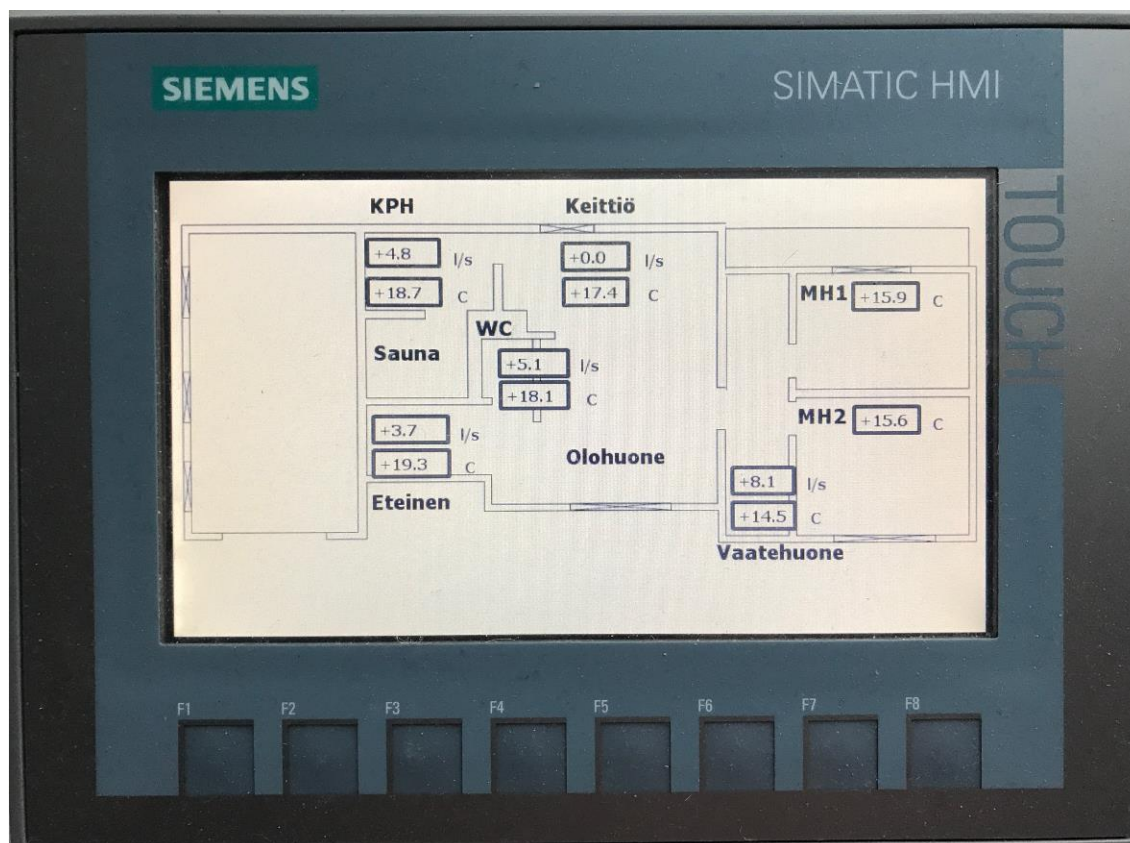
Lukemisen jälkeen pidetään tauko ohjelmankierrossa. Tässä kohdassa voitaisiin määrittellä lopullinen kyselytaajuus, joka voisi olla esimerkiksi 15 minuutin välein.

Ohjelma käynnistetään komentoikkunasta ja se tulostaa ruudulle MyAirista saadut arvot kymmenkertaisina.

```
C:\>cd python
C:\python>python3 siirto.py
Trying to login MyAir Service...
Login to MyAir successful!
Starting to download new data from MyAir...
Data downloaded. Download size: 26789 bytes
<__main__.MyAirInterface object at 0x000002CAECF16C40>
Sleeping for 10 seconds...
reg ad #0 to 9: [46, 184, 0, 173, 50, 174, 35, 197, 81, 145, 156]
Starting to download new data from MyAir...
Data downloaded. Download size: 26790 bytes
<__main__.MyAirInterface object at 0x000002CAECF16C40>
Sleeping for 10 seconds...
```

*Kuva 32. Ohjelman käynnistys komentoriviltä.*

Kuten seuraavasta kuvasta havaitaan, logiikan näytölle arvot tulostuvat kuitenkin oikein:



Kuva 33. Logiikan näytölle siirtynyt tieto

Asunto on tyhjiällä peruskorjauksen vuoksi, joten lämpötilat ovat matalat ja ilmanvaihto on toiminnassa minimiasetuksella. Eteisessä, kylpyhuoneessa ja WC:ssä on lattialämmitys. Keittiön venttiili on huputettu kattotöiden vuoksi.

## 6 Johtopäätökset

Vaikka aihe on työtehtävien puolesta tuttu, niin poistoventtiilien ilmamäärän säädön vaikutus rakennuksen painesuhteisiin rakennusvaipan yli ja eri tilojen välillä oli suurempi, kuin olin olettanut. Työ herätti kysymyksen porraskäytävän vaikutuksesta painesuhteisiin. Tätä olisi mielenkiintoista ja helppoakin tutkia MyAirin avulla sijoittamalla paine-eroantureita huoneistojen ja porraskäytävän välille.

Mallinnusta tehdessä pohdin vuotavien rakenteiden osuutta sisäilmasto-ongelmissa. Tilanteessa, jossa poistoilmanvaihto on aina suunnitelluissa arvoissa ja tuloilmaelimet oikein mitoitetuina, ei tilojen välille synny suuria paine-eroja. Rakenteellisista vuodoista suurimman osan uskon olevan virtausvastuskertoimiltaan suuria, joten virtausvastuksen ollessa suuri ja paine-eron tilojen välillä pieni, ei vuotokohdissa pitäisi olla virtaustakaan.

Aivan uutena oivalluksena ymmärsin sen, että koska MyAir mitoitetaan kaksinopeuksissa järjestelmissä niin kutsuttuun puoleen nopeuteen ja tehostukset on tarpeenmukaisia, saadaan kanavisto tavallaan suuremmaksi ja venttiileiden yli enemmän paine-eroa, eli kuristusta. Tämä parantaa huomattavasti ilmanvaihdon toimintaa eri tilanteissa. Muutuvat ympäristön olosuhteet eivät vaikuta järjestelmään enää niin herkästi. Esimerkiksi parvekkeen oven avaaminen poistaa rakennuksen vaipan 10 Pa paine-eron, jolloin ilmamäärä lähimmissä venttiilissä kasvaa ja muualla pienenee, aiheuttaen paine-eroja tilojen välille ja häiriöitä ilmanvaihtoon. Jos venttiilin paine-ero on vaikkapa 10 Pa on ero paljon suurempi, kuin jos venttiilin paine-ero on 50 Pa.

Mallinnuksen laskemia venttiilien asentoja olisi ollut hauska testata työn aikana, mutta tähän ei ollut tilaisuutta. MS Excelin tuottamia tuloksia on hyvä kokeilla säätämällä venttiilit käsin mallinnuksen antamiin asentoihin. Mallinnuksessa on tärkeää löytää oikea tarkkuus ennen kuin se mahdollisesti ohjelmoidaan Dell 3001 Gatewayhyn.

Mielenkiintoisin vaihe työssä oli tiedon hakeminen pilvestä ja siirtäminen logiikan näytölle. Olin toteuttanut logiikalla aiemmin vakiopaineohjauksen kanavapuhaltimelle, joten se oli valmiiksi kytketty lähes käyttövalmiiksi, mutta muuten asensin kaiken alusta, sekä laitteiden että ohjelmistojen puolesta. Logiikan ohjelmointi oli tuttua, mutta en ollut aiemmin asentanut ohjelmistoja pieneen Siemensin Nanoboxiin, enkä ollut käyttänyt Linux-

pohjaista Debian 9:sää, tai Python 3.8.2:ta. Selviydyin näistä kuitenkin ilokseni parin viikon öillä. Pilviliitynnästä ei ollut dokumentaatiota ja se on räätälöity Climecon Oy:lle, joten siihen sain apua CGI Oy:ltä. Kaiken kaikkiaan tuhansien mittaustulosten tai jalostetun tiedon tuominen edullisesti vanhaan kiinteistöön, ja eri järjestelmien sulauttaminen luo aivan uusia mahdollisuuksia aina energiansäästöstä terveelliseen sisäilmastoon. Ensimmäistä kertaa lämmitys ja ilmanvaihto saadaan samaan järjestelmään, sillä vaikka ne vuorovaikuttavat toisiinsa voimakkaasti, niitä käsitellään käytännössä erillisinä järjestelminä. Järjestelmään olisi myös helppo liittää näyttö, joka kertoisi kiinteistön tilasta yhdistäen siihen eri toimijoiden tuottamaa dataa.

Työ osoitti, että mallinnus venttiilien asentojen laskemiseksi on varsin helppo toteuttaa. Avoimeksi kysymykseksi jäi se, millä tarkkuudella tämä tulisi tehdä. Työstä saatiin ensimmäinen dokumentoitu tapa siirtää MyAir-järjestelmän tuottamaa tietoa pilvestä automaatiojärjestelmään.

## Lähteet

---

- <sup>1</sup> [https://www.climecon.fi/doc/muut/MyAir\\_A4\\_4-s\\_1119.pdf](https://www.climecon.fi/doc/muut/MyAir_A4_4-s_1119.pdf), 28.3.2020
- <sup>2</sup> <https://www.climecon.fi/doc/muut/MyAir-tuotekortti.pdf>, 28.3.2020
- <sup>3</sup> <https://www.dell.com/fi/yritykset/p/dell-edge-gateway-3001/pd>, 28.3.2020
- <sup>4</sup> Siikanen Unto 2014. Rakennusfysiikka, s. 34
- <sup>5</sup> Päckilä T. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Helsinki: Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma, diplomityö s. 69
- <sup>6</sup> Heikkinen J, Korkala T, Luoma M ja Salomaa H. VTT Tiedotteita 737. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. 1987. s. 110
- <sup>7</sup> Siikanen Unto 2014. Rakennusfysiikka, s. 9
- <sup>8</sup> Ibid. s.35
- <sup>9</sup> Sandberg Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. s 114
- <sup>10</sup> Nieminen Jani ja Köresaar Linda 2018. MyAir-esitys.
- <sup>11</sup> Valvira Asumisterveysasetuksen ohje. <https://www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisoh-1>, 10.3.2020
- <sup>12</sup> <https://scancerco.fi/tuotteet/ilmanvaihtoala/biobe/biobe-vs-venttiili/> 3.3.2020
- <sup>13</sup> FläktWoods Oy. Puhallintekninen käsikirja 2016.
- <sup>14</sup> Huuskonen Esa 2018. Climecon Oy.
- <sup>15</sup> Nieminen Jani ja Köresaar Linda. Korjattu versio 2018, MyAir-esitys
- <sup>16</sup> Heikkinen J, Korkala T, Luoma M ja Salomaa H. VTT Tiedotteita 737. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. 1987. s. 75.
- <sup>17</sup> Heikkinen J, Korkala T, Luoma M ja Salomaa H. VTT Tiedotteita 737. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. 1987. s. 84.
- <sup>18</sup> Ibid s. 85
- <sup>19</sup> <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=f595008d-57b3-431c-a6f9-0bf784c98c86> 5.3.2020
- <sup>20</sup> Heikkinen J, Korkala T, Luoma M ja Salomaa H. Tiedotteita 737. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnat ja häiriöalttius. 1987. s. 100
- <sup>21</sup> Ibid. s. 101

---

<sup>22</sup> Berger Hans. Automating with SIMATIC S7-1500, Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional, s. 777

## **Liitteet**

MS Excel taulukko Mallinnus MyAir.xlsx