



Oppilaitospaketin ohjelmointi ja dokumentointi

Niki Patjas

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen Talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

PATJAS, NIKI:
Oppilaitospaketin ohjelmointi ja dokumentointi

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2022

Työn tavoitteena oli luoda ilmanvaihtokoneen toimintaa simuloiva oppimisympäristö. Opinnäytetyössä kehitetään rakennusautomaation opetusta, ja luodaan laitteisto ja ohjelma opetuskäyttöön tulevalle oppimisympäristölle. Uuden oppimisympäristön avulla on mahdollista havainnollistaa ilmanvaihtokoneen toimintaa paremmin kuin ennen. Työssä esitetään tavallisen ilmanvaihtokoneen toiminta ja käytettävä laitteisto. Työn pääkohtana on simulaatiosovellus, sen toiminnallisuus, käyttö ja hyödyt. Raporttia voidaan käyttää oheismateriaalina ja tiedonlähteenä opiskelijalle, joka käyttää oppimisympäristöä.

Oppimisympäristön kokoonpanoon kuuluvat Siemens Oy:n automaatioalakeskus, PXC4-säädin ja ABTSite-ohjelmointityökalu. Ennen oppimisympäristön luomista nykyisen rakennusautomaatio-opetuksen tilannetta kartoitettiin haastattelujen avulla. Teams videopuheluiden välityksellä suoritettujen haastattelujen perusteella selkeimpänä ongelmana on vähäinen aika, jolloin oppilas pystyy saamaan henkilökohtaista tukea opettajalta. Haastattelujen perusteella työ toteutettiin keskittyen itsenäisen opiskelun tukemiseen.

Opinnäytetyö keskittyy pääasiassa simulaatiosovellukseen, jolla järjestelmällistä ilmanvaihtokonetta pyöritetään. Simulaatio-osa on suuntaa antava, mutta se on toteutettu fysikaalisten kaavojen avulla toimimaan samalla tavalla kuin oikeakin ilmanvaihtokone toimisi. Työssä tarkennetaan lämpötilojen, kanavapaineiden ja lämmöntalteenottolaitteiston huurtumisen simulointia.

Työssä esitetään simulaation toiminta kaikissa keskuksen pisteissä ja esitellään, mitä seurauksia eri olosuhteiden muuttamisella on. Tätä osaa voidaan käyttää opiskelun tukimateriaalina, jotta voidaan seurata, toimiiko oppilaan tuottama ohjelma oikealla tavalla.

Ympäristön kokonaisuus kattaa tavallisen ilmanvaihtokoneen toiminnan ja toteutus onnistui suunnitelmien mukaisesti. Simulaatiosovellusta voidaan kehittää tarkemmaksi ja erilaisia muuttujia on mahdollista lisätä sovellukseen tarpeen tullen. Simulaatiosovelluksen toiminnassa on mahdollista ottaa huomioon aina enemmän muuttujia, jolloin simulaatiosta voidaan tulevaisuudessa saada tarkempi ja vielä enemmän oikean maailman olosuhteita kuvaava.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Program in Building Services Engineering
Electrical Systems

PATJAS NIKI:
Programming And Documentation of an Educational Institution Package

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 2 pages
April 2022

The purpose of this work is to develop the teaching of building automation and create hardware and software for the learning environment to be used in teaching. Current teaching methods lack the ability to illustrate the effects of external variables on an automation system, and this thesis is created to solve that problem with a simulation program. The objective of this thesis was to develop a study environment for students, that supports independent learning and practice.

This thesis focuses on the simulation program, which runs a systematic ventilation machine. The simulation is indicative, but it is implemented with the help of physical formulas to work in the same way as a real ventilation machine would work. This thesis specifies how the simulation manages temperatures, duct pressures and frosting of the heat recovery equipment.

This thesis was as carried out as a project. This thesis explains the operation of the ventilation machine and explains the most important information about the heat recovery system. The configuration includes Siemens Oy's automation substation, PXC4 controller and ABTSite-programming tool. Starting points section reviews the current situation in building automation teaching based on the interviews conducted at Teams. Based on the interviews, the thesis focuses on supporting independent study.

As a result, a fully functioning study environment for building automation systems was created that includes all the key information about a modern ventilation machine.

Key words: buiding automation, simulation, ventilation system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN TOIMINTA	8
2.1	Automaatiojärjestelmän tarkoitus	9
2.1.1	Ympäristön vaikutukset ilmanvaihtokoneen toimintaan	9
2.1.2	Automaatiojärjestelmän tiedonsiirto	10
2.1.3	Automaatiojärjestelmän suunnittelu	10
2.2	Ilmanvaihtokoneen rakenne	11
2.2.1	Tuloilmaan liittyvät säädöt	11
2.2.2	Poistoilma	12
2.2.3	Lämmöntalteenotto	12
3	OPETUSYMPÄRISTÖN KOKOONPANO JA LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS	14
3.1	Haastattelut	16
4	SIMULOINTITYÖN TOTEUTUS	17
4.1	Tuloilman ja jäteilman lämpötilojen mallintaminen	17
4.1.1	Lämmöntalteenotto	18
4.1.2	Tuloilmapuhallin	18
4.1.3	Lämmityspatteri	18
4.1.4	Kokonaislämpömäärä	19
4.1.5	Tuloilma TE10 ja jäteilma TE20	19
4.2	Kanavapaineiden mallintaminen	20
4.2.1	Kanavien painemittaukset PE10 ja PE19	21
4.3	Huurtumisen simulaatio	22
4.3.1	Kastepiste	22
4.3.2	Huurreasteikko	23
4.3.3	Huurtumisen vaikutus muihin osiin	25
5	JÄRJESTELMÄ- JA SIMULAATIOYMPÄRISTÖN KÄYTTÖ	27
5.1	Arvojen muutoksien vaikutukset universaaleissa inputeissa	27
5.1.1	U1 Ulkoilman lämpötila	27
5.1.2	U2 Poistoilman lämpötila	28
5.1.3	U3 Suhteellinen kosteus	28
5.1.4	U4 Poistosuodattimen paine-ero	28
5.1.5	U5 Ulkoilmasuodattimen paine-ero	28
5.1.6	U6 Palohälytys	28
5.1.7	U7 Lämmityspatterin jäätymissuoja	29
5.1.8	Lämmityspatterin pumpun tilatieto	29

6 POHDINTA	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	32
Liite 1. Simulaatiosovelluksen naamakuva	32
Liite 2. Järjestelmän säätökaavio	33

LYHENTEET JA TERMIT

Ohjelmablokki	ABTSite-työkalussa ohjelmallinen kappale
I/O	tulo/lähtö
AI	Analoginen tulo
AO	Analoginen lähtö
DI	Digitaalinen tulo
DO	Digitaalinen lähtö
TE00	Ulkoilman lämpötila
TE10	Tuloilman lämpötila
TE19	Poistoilman lämpötila
PE10	Tulokanavapaine
PE19	Poistokanavapaine
TE20	Jäteilman lämpötila
ME19	Poistoilman suhteellinen kosteus
U1-8	Universaalit pisteet

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on kehittää rakennusautomaation opetusta, havainnollistaa oikean nykyaikaisen ilmanvaihtokoneen toimintaa ja tuoda esiin olennaisimmat osat järjestelmän toiminnan takaamiseksi kaikissa olosuhteissa. Nykyisissä oppimisympäristöissä on ongelmana ulkopuolisten muuttujien vaikutusten havainnollistaminen automaatiojärjestelmään, ja tässä työssä ratkaistaan ongelma tuotetun simulaatiosovelluksen avulla

Opinnäytetyö on tehty Siemens Osakeyhtiölle ja työn tavoitteena on tuottaa oppilaitoksiin opetuskäyttöön tuleva automaatiojärjestelmä, joka helpottaa tärkeiden järjestelmän osa-alueiden opettamista oppilaille. Aikaisempiin opetusympäristöihin nähden poikkeavaa on, että uudessa kokonaisuudessa ei ole varsinaista ilmanvaihtokonetta, jota käytettäisiin opetukseen vaan kaikki tapahtuu opinnäytetyössä luodulla simulaatio -alustalla, jolla saadaan helpommin ja tehokkaammin havainnollistettua todellisen ilmanvaihtokoneen toimintaa, ja sen ongelmakohtia. Opinnäytetyö on tehty ammatti- ja ammattikorkeakouluihin. Tavoitteena on saada tuotettua sellainen oppimisympäristö, joka antaa vähäisen taustatiedon omaavalle oppilaalle paremmat mahdollisuudet itsenäiselläkin opiskelulla hahmottaa paremmin automaatiojärjestelmän toimintaa ja helpottaa pääsemään sisään rakennusautomaation maailmaan.

Työssä perehdytään nykyaikaiseen automaatiojärjestelmän toimintaan, ilmanvaihtokoneen lämpötilojen hallintaan, puhaltimien painesäätöihin ja ilmanvaihtokoneen yleiseen ongelmaan huurteenpoistoon lämmöntalteenottoelementeissä. Kokonaisuutta mallintaa fysikaalisten menetelmien avulla luotu simulaatio, joka on luotu käyttäytymään niin kuin todenmukainen ilmanvaihtokone

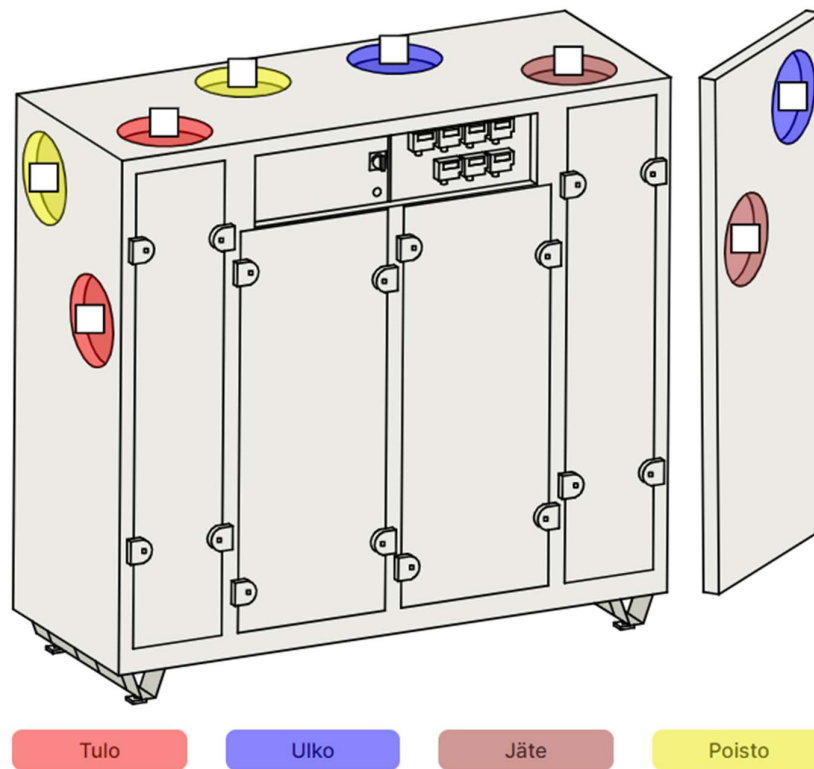
Ensimmäisenä osana käydään läpi yleisesti ilmanvaihtokoneen toimintaa muuta tekstiä pohjustaen. Toisessa osassa esitetään lähtökohdat ja laitteisto. Kolmannessa osassa kerrotaan, miten simulaatio on toteutettu ja neljännessä osassa selitetään miten simulaation tulisi toimia ja miten sitä voidaan käyttää.

2 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

Automaatiojärjestelmällä rakennuksissa hallitaan olosuhteita, jotka vaikuttavat ihmisten ja rakennusten pitkäaikaiseen hyvinvointiin. Digitalisaatio luo ennennäkemättömiä mahdollisuuksia talotekniikan ja kiinteistöjen kehittämiseen. Keräämällä ja analysoimalla kiinteistöjen dataa voidaan selvittää, mitä kiinteistössä todella tapahtuu, ja tehdä älykkääseen dataan perustuvia päätöksiä (Siemens 2022, talotekniikka). Rakennusautomaatiojärjestelmiä käytetään pääasiallisesti ilmanvaihtokoneissa ja lämmönjakokeskuksissa, mutta järjestelmiin yleisesti liitetään myös kulunvalvontaa, valo-ohjauksia ja palohälytinjärjestelmiä. Tämä työ on tehty opettamaan yleisesti ohjelmointia automaatioissa, mutta se keskittyy ilmanvaihtokoneen toimintaan.

Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda puhdasta ilmaa hengitykseen ja poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet. Ihmisen hapentarpeen tyydyttämiseksi ilmanvaihdon ilmamäärä on oltava tarpeeksi suuri rakennuksessa, jotta pidetään ilman laatu terveellisellä tasolla (Sisäilmayhdistys ry. ilmanvaihdon perusteet)

Tässä osassa käydään läpi ilmanvaihtokoneen yleistä toimintaa, jonka perusteella opinnäytetyö on luotu. Työn pohjana on käytetty Kairin IV-koneiden valintaohjelmasta valittua ilmanvaihtokonetta KAIR ECoCounter 2185-EC-VP (Kair, Ekosuunnitteludirektiivin 2018 täyttävät koneet), joka sisältää kaikki perusominaisuudet, joita nykypäiväiseltä ilmanvaihtokoneelta vaaditaan.



KUVA 1. Havainnollisen ilmanvaihtokoneen ulkomuoto (Kair, Ekosuunnitteludi-
rektiivin 2018 täyttävät koneet).

2.1 Automaatiojärjestelmän tarkoitus

Automaation tavoitteena on ohjata järjestelmän toimintaa mittausten perusteella siten, että järjestelmän tila pysyy haluttuna. Järjestelmän tulee pystyä toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti, jotta sähkön kulutus saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä kaikissa olosuhteissa.

Automaatiojärjestelmissä on fyysinen ja ohjelmallinen puoli. Prosessori, kenttä-
laitteet ja niille annetut I/O-pisteet ovat järjestelmän konkreettisia osia ja ohjel-
mallinen puoli ohjaa järjestelmän toimintaa loogisilla operaatioilla konkreettisten
mittausten perusteella.

2.1.1 Ympäristön vaikutukset ilmanvaihtokoneen toimintaan

Suomessa sääolosuhteet vaativat ilmanvaihtokoneelta enemmän suuremman ulkoilman lämpötilan vaihtelun vuoksi. Puhaltimia säädetään kanavapaineasetuksella ja kanavapaineeseen vaikuttavat paljon paine-eromittaus LTO:n ylitse ja kuinka puhtaita kanavien suodattimet ovat. Likaiset suodattimet estävät ilman kulkua, jolloin puhaltimen on käytävä suuremmalla teholla, jotta pysytään halutussa kanavapaineen asetusarvossa.

2.1.2 Automaatiojärjestelmän tiedonsiirto

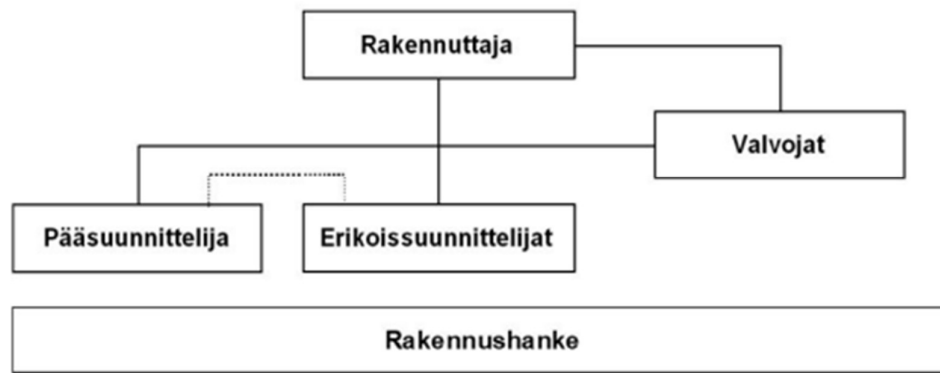
Automaatiojärjestelmät toimivat I/O-pisteiden ja I/O laitteiden avulla. I/O:n avulla voidaan vastaanottaa tietoa järjestelmältä ja lähettää tietoa järjestelmälle. I/O-moduuli on laite, jolla ohjelmoitava logiikka liitetään muihin laitteisiin, erityisesti kenttälaitteisiin. Näihin tuloihin tai lähtöihin on kytketty tyypillisesti kentällä olevia antureita ja toimilaitteita. Kenttälaitteita ovat esimerkiksi paine- ja lämpötilamittaukset ja toimilaitteita moottorit puhaltimille, ja tulo- ja poistopellistöille.

I/O-pisteitä on neljää eri tyyppiä: AI, AO, DI ja DO. A tarkoittaa analogista tuloa tai lähtöä, joilla voidaan muodostaa säätöviestejä ja lukea mittauksia. Analogiset signaalit toimivat yleensä 0-10V säätöviestillä. D tarkoittaa digitaalista eli 0/1 tietoa, jolla voidaan indikoida tilatietoja sekä toteuttaa päälle/pois -ohjauksia.

2.1.3 Automaatiojärjestelmän suunnittelu

Automaatiojärjestelmää varten on aina laadittava suunnitelma, jonka mukaan se toteutetaan. On otettava huomioon asiakkaan toiveet ja käytännöllisyys erilaisiin olosuhteisiin, jotta voidaan tuottaa järkevä kokonaisuus. Säättökaavio ja toimintaselostus tehdään suunnitteluvaiheessa kaikille automaatiojärjestelmille. Työssä käytettävän järjestelmän säätökaavio esitetään liitteessä 2. Niissä määritellään järjestelmään tulevat laitteet, ja kuinka kokonaisuuden tulee toimia täyttäen annetut ehdot ja säädökset.

Tilaaja vastaa suunnittelun organisoinnista. Rakennushanke organisoidaan tyypillisesti oheisessa kaaviossa esitetyllä tavalla.



Kaavio 1.

Automaatiosuunnittelun ohjauksesta ja valvonnasta vastaa rakennushankkeelle nimetty automaatiourakan valvoja ja automaatiosuunnitelmat hyväksytetään valvojalla ennen kuin ne lähetetään urakkalaskentaan. (Airix talotekniikka. Tampereen kaupunki, 2013, 7)

2.2 Ilmanvaihtokoneen rakenne

Ilmanvaihtokoneen rakenne on päällepäin yksinkertainen. Se koostuu tuloilmakanavasta, poistoilmakanavasta, lämmityspatterista ja lämmöntalteenottokiekosta, jos kone on suunniteltu lämmöntalteenotolla. Molemmissa kanavissa on pellit, puhaltimet ja anturit, jotka vaaditaan halutun toiminnan saavuttamiseksi. Yksityiskohtaisemmin osioista kerrotaan niiden omissa kappaleissaan.

2.2.1 Tuloilmaan liittyvät säädöt

Ilmanvaihtokoneen automaatiojärjestelmissä pyritään pitämään tuloilman lämpötila ja ilmavirta asetusarvoissaan. Tässä työssä tuloilman asetusarvona on 21 celsius astetta ja ilmavirta tuloilmalle 400 l/s nimellisajossa, mutta asetusarvoja voidaan muokata sopimaan erilaisiin tilaisuuksiin ja olosuhteisiin. Tuloilmakanavassa on tyypillisesti pelti, suodatin, puhallin ja lämmityspatteri, virtaus-, paine- sekä lämpötilamittauksia.

Tuloilman lämpötilaan voidaan vaikuttaa lämmöntalteenoton ja lämmityspatterin tuottamalla lämpöteholla. Lämmöntalteenotto siirtää automaattisesti paljon lämpöenergiaa poistoilmasta tuloilmaan, mutta mitä kylmempää ulkoilma on sitä

enemmän lämpöenergiaa tarvitaan patterilta, jotta tuloilman pysyy asetusarvossaan.

Automaatiikan ohjelmointi on tehty säätämään lämmityspatterin venttiiliä. Kaukolämpöön liitetyn ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa käytetyssä putkikytkennässä virtaama patterilla on vakio, mutta lämpötila muuttuu. Venttiilin asentoa säätää ohjelmallinen PID-säädin. Termi PID tarkoittaa suhteellista integraalijohdannaisuutta, jota käytetään prosessimuuttujien kuten paineen, virtauksen, lämpötilan ja nopeuden säätämiseen (Parede. PID-säätimen toiminta ja sovellukset).

2.2.2 Poistoilma

Poistoilmakanavassa kuljetetaan lämmintä ilmavirtaa lämmöntalteenottolaitteistolle, joka lämmittää tuloilmakanavassa etenevää ulkoilmaa. Poistoilman virtausnopeus on suurempi kuin tuloilman virtausnopeus ja tässä projektissa poistoilman virtausnopeus halutaan pitää 400 l/s nopeudessa. Poistoilmakanavassa tyyppillisesti on lämpötila ja painemittaus, suodatin ennen lämmöntalteenottoa ja puhallin ja pelti lämmöntalteenoton jälkeen.

2.2.3 Lämmöntalteenotto

Tämän luvun kuvaus perustuu L. Laakson ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton huurtumista käsittelevään artikkeliin (L. Laakso. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton huurtuminen). Lämmöntalteenotto on nykyään välttämätön osa hyvää ilmanvaihtojärjestelmää sen energiatehokkuuden vuoksi, sillä se automaattisesti siirtää paljon lämpöenergiaa valmiiksi lämpöisestä poistoilmasta. Lämmöntalteenotto on altis huurtumiselle pakkaskaleilla ja automaatiojärjestelmän täytyy pystyä pitämään huurteen määrä lämmöntalteenotossa vähäisenä, jotta energiatehokkuus säilyy.

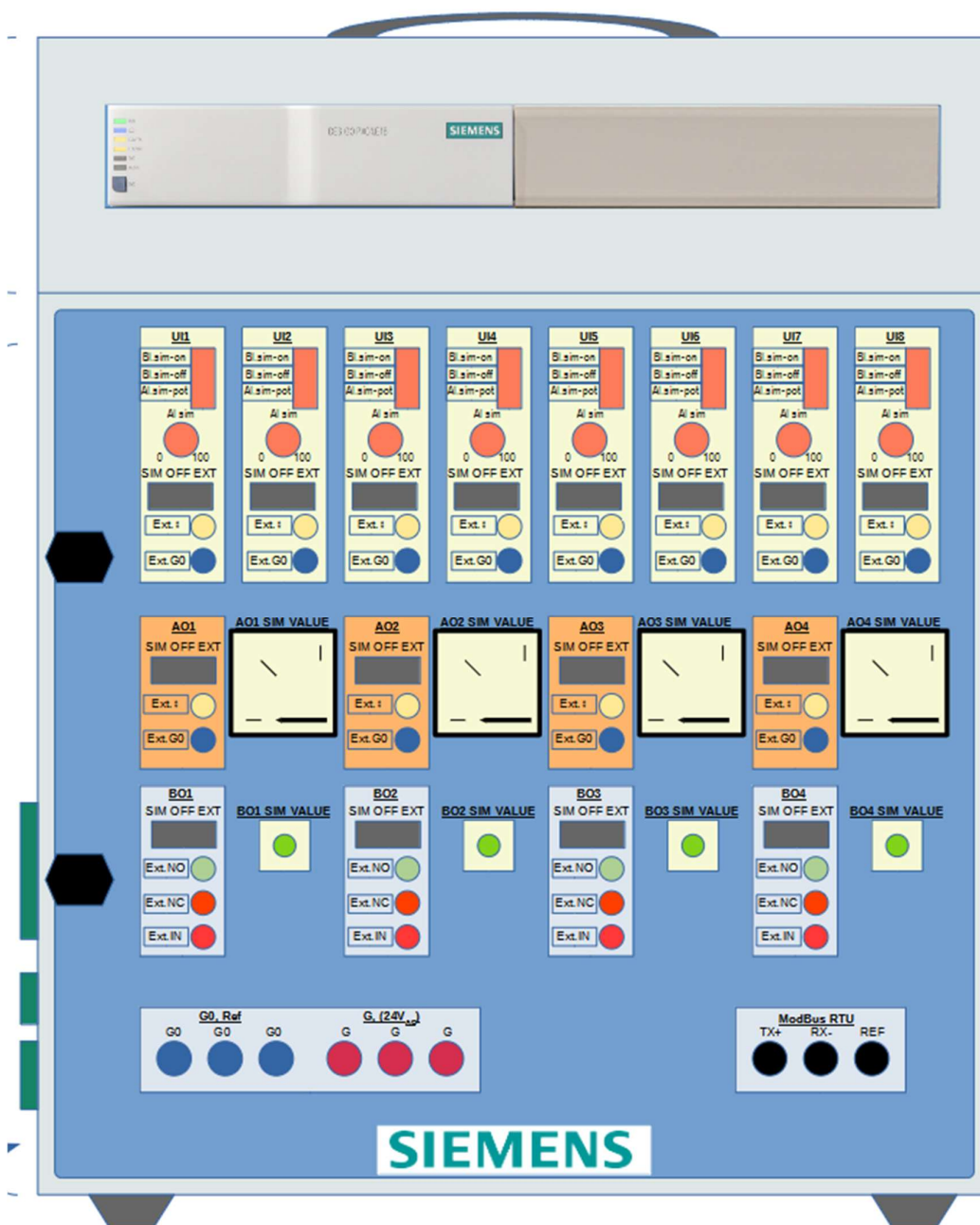
Lämmöntalteenottolaitteisto, jolla on korkea hyötysuhde, on alttiimpi huurtumiselle. Jos huurteenestoa automaatiikassa käytetään varmuuden vuoksi tai jos huurtuminen tunnistetaan epävarmasti, käytetään energiaa välillä silloin kun sitä ei välttämättä tarvita. Automaatio on ohjelmoitava niin että ylimääräistä energiaa

ei kuluteta turhaan, jolloin LTO-laitteiston vuosihyötysuhde heikentyy ja joudutaan käyttämään ulkopuolista energiaa. Tapauksessa, jossa LTO-laitteisto huurtuisi ja jäätyisi kokonaan voi se vaurioitua tai jopa rikkoutua.

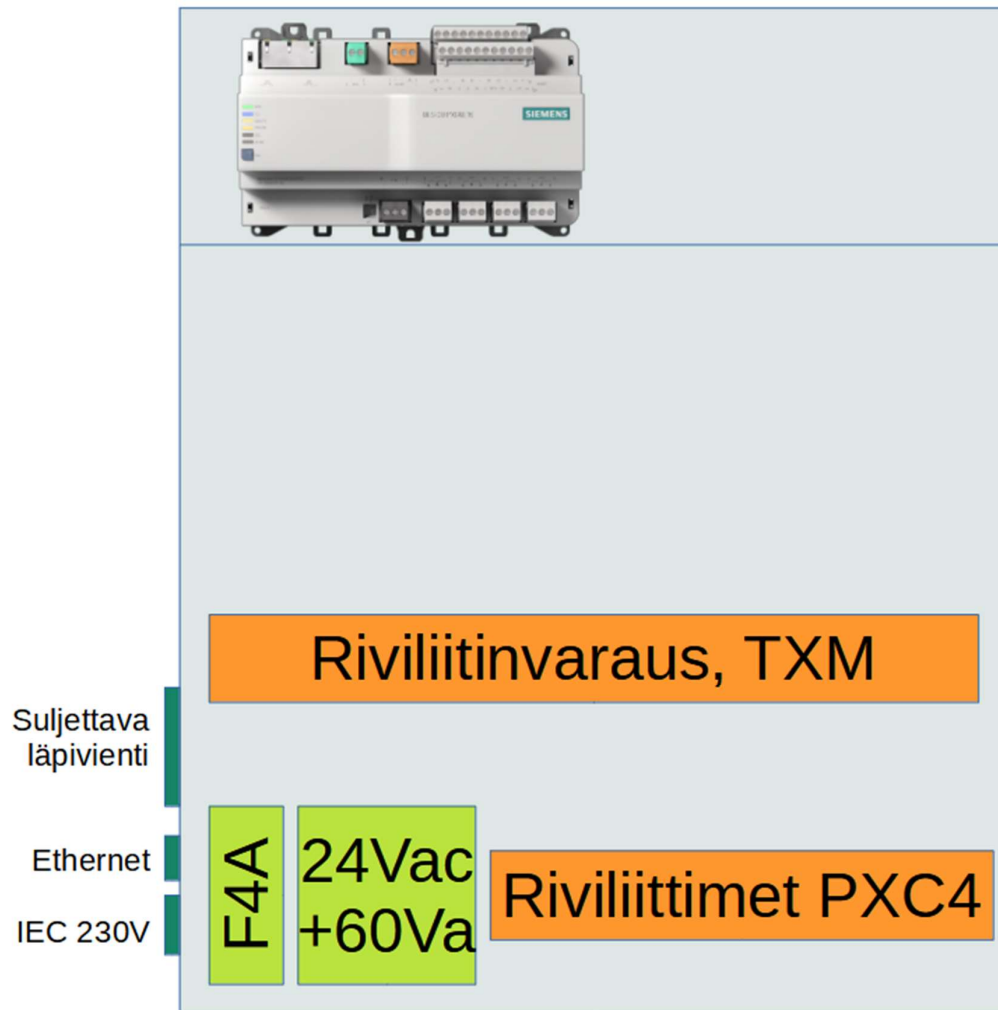
Huurtuminen johtuu poistoilmakanavan kosteuden tiivistymisestä sen kastepisteessä. Kun nestettä on tiivistynyt LTO-laitteistoon ja jäteilma tai ulkoilma ovat liian kylmiä, neste jäätyy ja pienentää lämmöntalteenoton hyötysuhdetta. Huurtumisen tunnistamiseen käytettäviä teknologioita ovat paine-ero ja lämpötila-, lämpötilakosteusanturi tai näiden yhdistelmä

3 OPETUSYMPÄRISTÖN KOKOONPANO JA LÄHTÖTILANTEEN KARTOITUS

Ohjelmointi tehtiin Siemens Oy:n keskuksen, jota ohjaa PXC4-säädin. Keskus on suunniteltu helppokäyttöiseksi tehokkaaksi opetuskäyttöön ja siinä voidaan muuttaa arvoja ja nähdä oleelliset muutokset ohjelmassa mittareilta. Keskuksessa on yhteensä kaksitoista universaalia vapaasti ohjelmoitavaa pistettä ja neljä relelähtöä. Projektissa käytetään hyödyksi kaikkia keskuksessa olevia pisteitä.



KUVA 1. Oppilaitospaketin keskuksen kansi.



KUVA 2. Keskuksen sisältö kannen alla

Tutkimusmenetelmänä työssä on käytetty haastatteluja, joita suoritettiin kahteen korkeakouluun ja yhteen ammattikoulutason oppilaitokseen. Haastattelujen tarkoituksena oli selvittää nykyisen rakennusautomaation opetuksen tilannetta ja mitä kehitystoiveita haastateltavilla olisi mahdollisesti tämän työn kokonaisuuteen.

Ohjelmointi ja simulaatio on tehty Siemes ABTSite -toolilla, joka on Siemens Osa-
keyhtiön ohjelmointityökalu. ABTSite sovellusta käytetään kaikissa uusissa pro-
jekteissa Siemensillä, joten kyseisen järjestelmän toiminnan osaaminen on arvo-
kas taito opiskelijalle.

3.1 Haastattelut

Työhön haettiin lähtötietoja ja ideoita haastattelujen avulla. Haastateltavina olivat Tampereen ammattikorkeakoulu, Lapin ammattikorkeakoulu ja Kemissä sijaitseva Ammattiopisto Lappia. Haastateltavilta kerättiin tietoa tämänhetkisestä opetuksen tilanteesta ja minkälaisia haasteita ja ongelmakohtia nykyiset olosuhteet pitävät sisällään. Tärkeintä haastatteluissa oli löytää eri näkökulmien perusteella paras tapa tuottaa uusi oppimisympäristö, joka on toiminnallinen suurelle kohderyhmälle.

Haastatteluista huomattavaa oli selkeä ero ammattikoulu- ja ammattikorkeakoulutason opetuksen tarpeista. Korkeakoulutasolla tärkeämpää on enemmän järjestelmän toiminnan ja ohjelmoinnin luominen, analysointi ja soveltaminen. Ammattikoulutasolla tarkoituksena on enemmän saada oppilas ymmärtämään käytännön asioita kuten miten järjestelmä ja sen laitteet on kytketty ja miten kytkentävirheet tai muut viat vaikuttavat järjestelmän toimintaan.

Työtä lähdettiin tekemän suurempana kokonaisuutena, joka soveltuu paremmin ammattikorkeatason oppilaitoksiin, mutta työssä on otettu huomioon myös ammattikoulujen tarpeet kuten kytkentöjen tekemisen mahdollisuus ja yleinen järjestelmän toiminnan ymmärtäminen.

4 SIMULOINTITYÖN TOTEUTUS

Simulaatio on opinnäytetyön osa, joka pyörittää automaatiojärjestelmää siten että se reagoi ympäristön vaihteluihin samalla tavalla kuin todellinen ilmanvaihtokonekin. Simulaatiossa käytetään keskusesta potentiometreillä annettuja arvoja. Niiden perusteella fysikaalisia kaavoja käyttämällä mallinnetaan arvoja, jotka riippuvat valmiiksi annetuista arvoista. Simulaatiosovelluksen naamakuva esitetty liitteessä 1.

Simulaatiolla luodaan arvot tuloilman ja jäteilman lämpötiloille, tulo ja poistopuhaltimien painesäädöille ja lämmöntalteenoton huurtumiselle. Tässä osiossa kerrotaan, miten simulaatio on luotu ja miten ratkaisuihin on päästy. Simuloinnissa käytettyjä mallinnuskaavoja on jouduttu muokkaamaan tiettyihin tilanteisiin sopiviksi, eivätkä ne täysin vastaa fysikaalista todellisuutta. Simuloinnin tarkoituksena on saada oppimisympäristö kuvaamaan ilmanvaihtokoneen toimintaa riittävällä tarkkuudella, jotta sitä voidaan hyödyntää automaatiojärjestelmän toimintaan liittyvässä opetuksessa. Simulaation tarkoituksena on antaa oikean ilmanvaihtokoneen mukainen toiminta järjestelmälle ja se ei vaadi täysin fysikaalisesti tarkkaa tarkastelua. Kaavat, joita avataan seuraavissa kappaleissa ovat kuitenkin laskukaavat simulaation sisällä, joilla järjestelmä operoi.

4.1 Tuloilman ja jäteilman lämpötilojen mallintaminen

Mallintamisessa käytettävät kaavat perustuvat R. Saarnion materiaaliin (R. Saarnio. 2019 Lämpöoppi). Lämpötilojen simuloinnissa käytetään lämpömäärän fysikaalisia ominaisuuksia ja vaikuttavat tekijät lämpötilojen simulaatioon ovat lämmöntalteenottolaitteisto, puhaltimet ja lämmityspatteri. LTO, puhaltimet ja lämmityspatteri tuottavat lämpöenergiaa toisistaan poikkeavilla tavoilla, joten kaavaa on jouduttu soveltamaan eri osissa.

Kaikki lämpömäärän kaavat ovat jatkettuja versioita lämpömäärän kaavasta:

$$Q = cm\Delta T \quad (1)$$

jossa c on ominaislämpökapasiteetti, m on massa ja ΔT on lämpötilaero.

4.1.1 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenoton tuottama lämpömäärä on laskettu seuraavasti:

$$Q = (\eta/100) \cdot \Delta T \cdot c \cdot \rho \cdot (q + V_k) \quad (2)$$

jossa η on lämmöntalteenoton hyötysuhde, ΔT on ulkoilman ja poistoilman erotus, c on ilman ominaislämpökapasiteetti, ρ on ilman tiheys, q on virtaama ja V_k on kanavan vakiotilavuus.

4.1.2 Tuloilmapuhallin

Puhaltimen tuottaman lämpömäärän laskentaan käytetään kaavaa:

$$Q = P \cdot \Delta T \quad (3)$$

jossa P on puhaltimen teho ja ΔT on lämpötilaero LTO-jälkeisen ilman ja tuloilman välillä.

4.1.3 Lämmityspatteri

Lämmityspatterin tuottaman lämpömäärän kaavana käytetään:

$$Q_{LP} = (T_{meno} - T_{paluu}) \cdot c \cdot q \cdot \Delta t \quad (4)$$

jossa T_{meno} on lämmityspatterin menoveden lämpötila, T_{paluu} on lämmityspatterin paluueden lämpötila, c on veden ominaislämpökapasiteetti, q on lämmityspatterin veden virtaama ja Δt on kerroin nopeudelle, joka ohjelmointityökalussa on 1 s.

4.1.4 Kokonaislämpömäärä

Kun kaikkien ilmaa lämmittävien osien kaavat ovat valmiina, voidaan ne sijoittaa lopulliseen kaavaan, jossa selvitetään, kuinka paljon ilman lämpenee.

Kokonaislämpötilan nousulle käytetään kaavaa:

$$\Delta T = \frac{(Q_{TF01} + Q_{LP04} + Q_{LTO})}{c \cdot \rho \cdot (q + V_k) \cdot \Delta t} \quad (5)$$

jossa Q on eri osien tuottama lämpömäärä, c on ilman ominaislämpökapasiteetti, ρ on ilman tiheys, q on virtaama ja V_k on kanavan vakio-tilavuus ja Δt on ohjelmointityökalun kierrosaika 1 sekunti.

4.1.5 Tuloilma TE10 ja jäteilma TE20

Kun kokonaislämpötilan muutos on laskettu tuloilman lämpötila, lasketaan lisäämällä saatu lämpötilaero ulkoilman lämpötilaan, jolloin selviää kuinka paljon ulkolämpötila on noussut matkalla tuloilmaan.

Tuloilman lämpötila saadaan kaavalla:

$$TE10 = TE00 + \Delta T_{tulo} \quad (5)$$

jossa $TE00$ on ulkoilman lämpötila ja ΔT on kokonaislämpötilan muutos.

Jäteilma TE20 muodostuu poistoilman TE19 jäljelle jäävästä lämpötilasta lämmöntalteenottolaitteiston ja poistoilmapuhaltimen lämpöhäviöiden jälkeen. Jäteilman lämpötilan mallintamiseen on käytetty kaavasta (2) saatua arvoa negatiivisena, koska energia on siirtynyt poistoilmasta tuloilmaan. Simulaatiossa arvoon on lisätty poistoilmapuhaltimen tuottama lämpömäärä, jonka laskemiseen käytetään kaavaa (3).

Jäteilman lopullinen lämpötila lasketaan vähentämällä poistoilman TE19 lämpötilasta lämmöntalteenoton ja puhaltimen tuottama lämpötilaero:

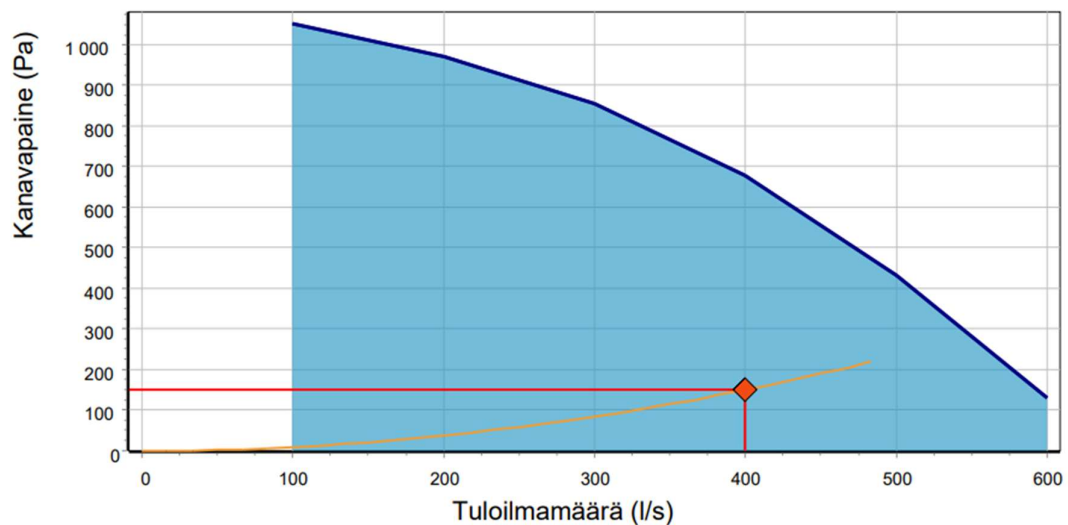
$$TE20 = TE19 - \Delta T_{poisto} \quad (6)$$

jossa $TE19$ on poistoilman lämpötila ja ΔT_{poisto} poistoilmakanavassa tapahtuva lämpötilan muutos.

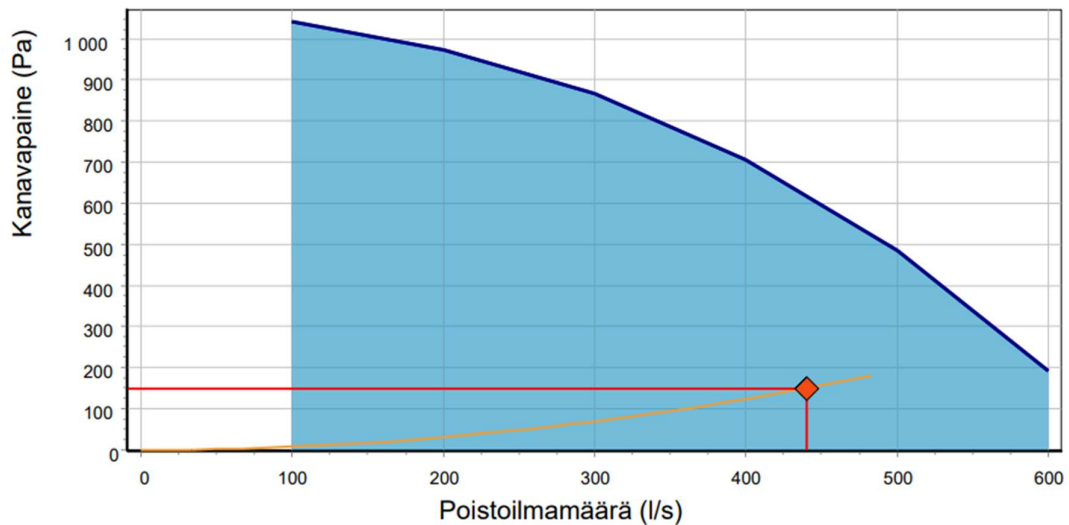
4.2 Kanavapaineiden mallintaminen

Tulo- ja poistokanavien painemittausten simulaatio on toteutettu käyttämällä Kai-rin ilmanvaihtokoneen koneajon taulukoita (1.) ja (2.) paineen ja virtaaman suhteesta. Tuloilmakanavan ilmavirta halutaan olevan 400 l/s ja poistoilmavirta halutaan olevan 440 l/s. Kanavapaine muodostuu puhaltimen säätöviestistä ja kanavistojen painehäviötä tuottavista osista. Ilmanvirran nopeuden määrää simulatio mallintama kanavapaine, ja ilmavirran nopeus vaikuttaa kanavistoissa sijaitsevien painehäviöiden määrään suodattimissa, puhaltimissa, lämmöntalteenotossa ja lämmityspatterissa. Kanavapaineiden ja virtaamien mallintamisessa kaikki muuttujat vaikuttavat toisiinsa.

Kuvaaja 1. Tuloilmamäärän nimellispiste 400 l/s, 150Pa



Kuvaaja 2. Poistoilmamäärän nimellispiste 440 l/s, 150Pa



4.2.1 Kanavien painemittaukset PE10 ja PE19

Tuloilman kanavapaine muodostuu Ahu21 ohjelman tuloilmapuhaltimen säätöviestistä ja lämmöntalteenoton, lämmityspatterin ja tulosuodattimen tuottamasta painehäviöstä. Kun säätöviesti kasvaa kanavaan muodostuva paine kasvaa. Paineasetusarvo kanavapaineille on 150Pa ja järjestelmä säätää puhaltimia sen mukaan, että simuloitujen kanavapaineet saadaan pidettyä annetuissa asetusarvoissaan.

Virtaama tulokanavassa muodostuu paineen määrästä ja virtaama vaikuttaa kanaviston osien tuottamaan painehäviöön. Mitä suurempi virtaama, sitä enemmän esimerkiksi suodatin vastustaa ilman kulkua ja synnyttää painehäviötä.

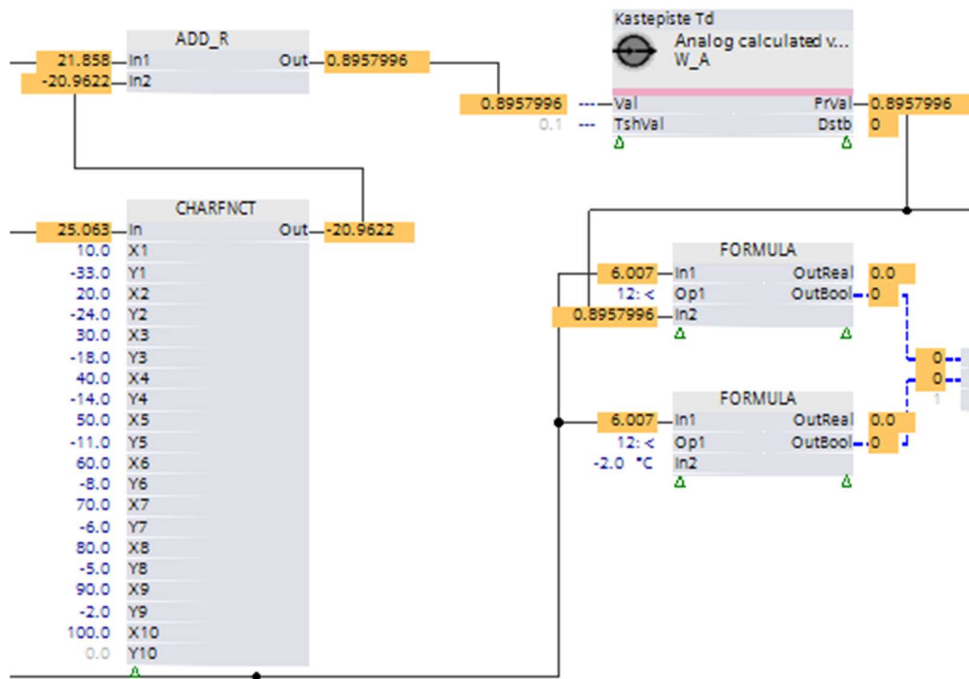
Poistoilmanpaine simuloidaan samalla tavalla kuin tulo puoli, mutta poistopuolen kanavapaineeseen ei vaikuta tuloilmakanavan lämmityspatteri. Toisin kuin tuloilmanpaineeseen, poistoilmanpaineeseen vaikuttaa lämmöntalteenoton huurtuminen, jota käsitellään huurtumisen simulaation osassa.

4.3 Huurtumisen simulaatio

Huurtumiselle ilmanvaihtokoneissa ei ollut etukäteen varsinaista pohjaa, jonka mukaan sitä voitaisiin simuloida. Huurtumisen simulaatiossa muuttuvia tekijöitä ovat poistoilman kastepiste suhteellisen kosteuden ja ulkolämpötilan funktiona. Huurretta syntyy lämmöntalteenottolaitteistoon, kun poistoilman lämpötila laskee alle kastepisteen. Ilma kondensoituu eli tiivistyy lämmöntalteenottoon ja huurtuu.

4.3.1 Kastepiste

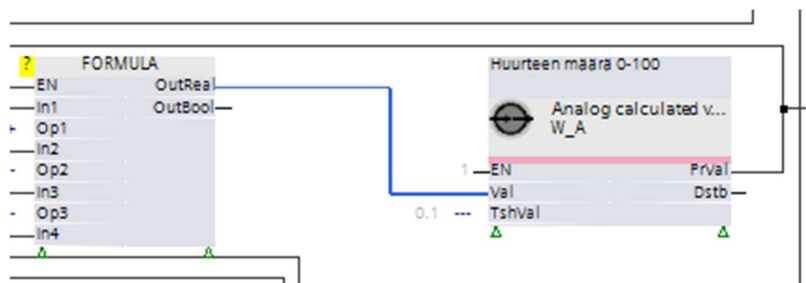
Poistoilman kastepiste vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteiston huurtumiseen ja varsinkin huurtumisen nopeuteen. Kastepisteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilman suhteellinen kosteus ja ilman lämpötila. Simulaatio kastepisteelle tehdään säätökäyrällä, jonka pisteet ovat otettu kastepistelaskurin (Kastepistelaskuri.fi) mukaan. Käyrä on tuotettu yhdellä samalla lämpötilalla ja suhteellisen kosteuden 10 prosentin nousulla nolasta sataan prosenttiin. Saatua absoluuttista kastepistettä verrataan säätökäyrän arvolla poistoilman lämpötilaan, jolloin saadaan sen hetkinen kastepisteen arvo kyseisellä suhteellisella kosteudella ja poistoilman lämpötilalla. Kuvassa 2. on kastepisteen ohjelmallinen simulaatio, jossa CHARFNCT on kastepisteen säätökäyrä.



KUVA 2. Kastepisteen simulaatio

4.3.2 Huurreasteikko

Lämmöntalteenotolle on luotu huurren määrä 0–100, johon vaikuttaa ulkolämpötilan ja kastepisteen lämpötilaero, lämmöntalteenoton nopeus ja ulkoilman palatessa plus asteille sen vaikutus huurren itsenäiseen sulamiseen. Kaikki muuttajat ovat koottu kaavaan, joka laskee sen hetkisen tilanteen muutoksen huurren määrään. Laskukaava ajaa itsensä joka sekunti, jolloin huurretta kertyy esimerkiksi hitaalla huurtumisella ilman huurrenpoistoa noin yksi huurreyksikkö sekunnissa.

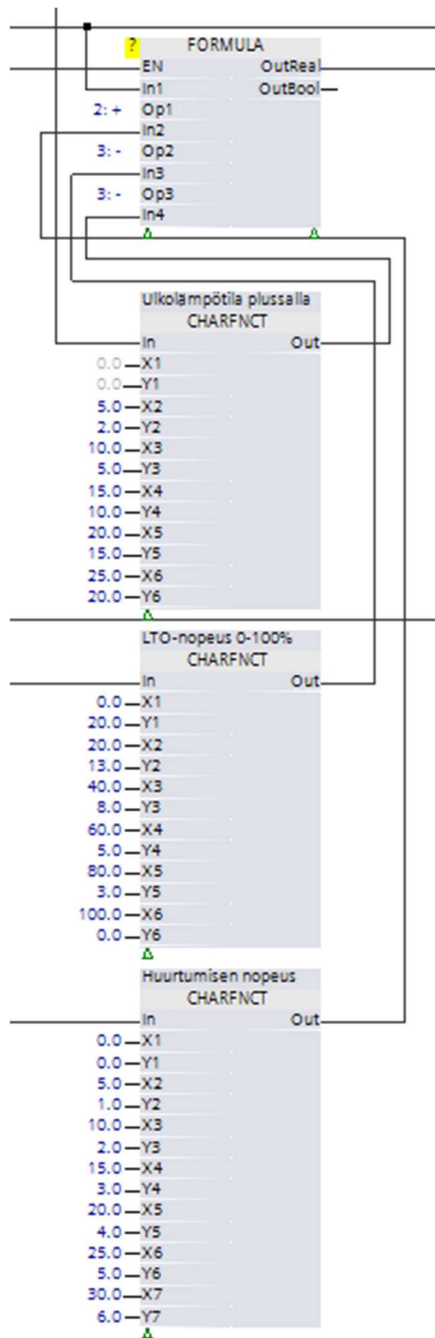


KUVA 3. Huurren määrä

Huurtumisen nopeus otetaan huomioon kastepisteen ja ulkoilman lämpötila-erona. Säätokäyrä KUVA 4. toimii seitsemällä pisteellä 0–30 °C ja se antaa ulos suuremman huurtumisen nopeuden mitä isompi lämpötilaero on ulkolämpötilan ja kastepisteen välillä.

Jos ulkolämpötila on plus asteilla ja huurreyksikkö on suurempi kuin nolla, huurteen määrä laskee itsestään säätokäyrän KUVA 4. arvon perusteella. Säätokäyrän arvo muuttuu mitä lämpöisempää ulkoilma on.

Huurretta poistetaan järjestelmän toimesta hidastamalla lämmöntalteenoton nopeutta. Huurteenpoistolle on luotu säätokäyrä KUVA 4. joka sulattaa huurretta nopeammin mitä alhaisempi lämmöntalteenoton nopeus on.



KUVA 4. Huurreyksikön laskukaava ja säätökäyrät

4.3.3 Huurtumisen vaikutus muihin osiin

Huurreyksikkö on tehty vaikuttamaan lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen ja poistoilmakanavan paine-eroon lämmöntalteenoton ylitse. Kuten tosielämässäkin lämmöntalteenoton hyötysuhde laskee, kun se huurtuu. Simulaatiossa on

säätökäyrä, joka laskee lämmöntalteenoton hyötysuhdetta, kun huurreyksikkö kasvaa.

Lämmöntalteenoton yli poistoilman kanavapaine-eroa on huomioitu kertoimella, joka määrittää kuinka suureksi paine-ero kasvaa. Pieni määrä huurretta ei vaikuta paljoakaan paine-eroon, mutta mitä enemmän huurretta on ja lopulta jos koko LTO jäätyy, niin silloin paine-ero nousee niin korkeaksi, ettei ilman enää kulje poistoilmakanavassa ja ilmavirta menee nolllaan.

5 JÄRJESTELMÄ- JA SIMULAATIOYMPÄRISTÖN KÄYTTÖ

Kun järjestelmä on toiminnassa, voidaan simuloida tilanteita, joista aiheutuvia muutoksia pystytään seuraamaan ohjelmassa. Suurinta osaa simulaation arvojen muutoksista voidaan seurata simulaation pääsivulta, joka on esitetty liitteessä 1. Arvojen muuttaminen potentiometreiltä ja seurauksien tarkastelu auttaa havainnollistamaan miten nykypäiväinen automaatiojärjestelmä reagoi erilaisiin tilanteisiin. Seuraavien kappaleiden pisteet ohjelmassa löytyvät taulukosta 1.

TAULUKKO 1. ATBSite Engineering

↻	U1	Outside air temperature	°C	AI	0...2500 Ohm
↻	U2	Extract air temperature	°C	AI	0...2500 Ohm
↻	U3	Relative humidity	%RH	AI	0...2500 Ohm
↻	U4	Extract air filter Differential pressure	%	AI	0...2500 Ohm
↻	U5	Outside air filter Differential pressure	%	AI	0...2500 Ohm
↻	U6	Fire detection contact	Normal ...	BI	Switch on/off, contact norm...
↻	U7	Frost protection monitor	Normal ...	BI	Switch on/off, contact norm...
↻	U8	Heating coil Pump Indication	Inactive ...	BI	Switch on/off, contact norm...
↻	U9	Supply air fan speed	%	AO	0...10 V DC (normalized 0.....
↻	U10	Exhaust air fan speed	%	AO	0...10 V DC (normalized 0.....
↻	U11	Heating coil valve Position	%	AO	0...10 V DC (normalized 0.....
↻	U12	Energy recovery Speed	%	AO	0...10 V DC (normalized 0.....

5.1 Arvojen muutoksien vaikutukset universaaleissa inputeissa

Tässä osioissa käydään läpi, miten arvojen muutokset universaaleissa inputeissa vaikuttavat järjestelmään. Jokainen liityntä on selvitetty erikseen ja kappaleissa selvennetään miten ja miksi ne vaikuttavat simulaatiossa.

5.1.1 U1 Ulkoilman lämpötila

Kun ulkoilman lämpötilaa muutetaan sen normaaliarvostaan, järjestelmä muuttaa lämmityspatterin venttiilin arvoa, jotta pysytään tuloilman lämpötilan asetusarvossa. Kun ulkoilman lämpötila laskee lämmityspatterin venttiili aukeaa enemmän ja kun lämpötila nousee, venttiili sulkeutuu sen verran että pysytään asetusarvossa.

Ulkoilman lämpötila voi myös vaikuttaa simulaation huurteen määrään, jos lämpötila on alarajoillaan ja poistoilman suhteellinen kosteus korkea, tai jos huurteenpoisto on otettu pois käytöstä, lämmöntalteenottolaitteisto huurtuu.

5.1.2 U2 Poistoilman lämpötila

Poistoilman lämpötila vaikuttaa simulaatiossa pääasiallisesti suoraan kastepisteeseen ja lämmöntalteenotossa tuloilmaan siirtyvän lämpöenergian määrään.

5.1.3 U3 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus vaikuttaa huurtumiseen. Mitä suurempi suhteellinen kosteus on poistoilmassa, sitä helpommin ja nopeammin lämmöntalteenotto huurtuu.

5.1.4 U4 Poistosuodattimen paine-ero

Poistosuodattimen tuottama paine-ero annetaan potentiometriltä prosenttiyksikönä, jonka määrittäminen on nollassa prosentissa kyseisen suodattimen puhtaana tuottama painehäviö, 50 prosentissa on likainen suodatin ja 100 prosentissa on täysin tukossa oleva suodatin, joka vastustaa ilman kulkua merkittävästi.

Paine-ero vaikuttaa ilmavirran tuottoon. Kun suodattimet ovat likaisia ne estävät ilman kulkua, jolloin puhaltimilta vaaditaan enemmän tehoa, jotta säilytetään haluttu virtaama kanavistossa.

5.1.5 U5 Ulkoilmasuodattimen paine-ero

Ulkoilmasuodattimen simulaatio on toteutettu samalla tavalla kuin poistosuodattimen.

5.1.6 U6 Palohälytys

Palohälytys pysäyttää käynnissä olevan operaation, pysäyttää puhaltimet ja sulkee pellit. Palohälytys on kuitattava ohjelmablockista, jotta ohjelma voi käynnistyä uudelleen.

5.1.7 U7 Lämmityspatterin jäätymissuoja

Jäätymissuojan lauetessa ohjelma pysäyttää operaation ja avaa lämmityspatterin venttiilin täysin auki. Jäätymissuojahälytys on kuitattava ohjelmablokkista, ennen kuin ohjelma voi käynnistyä uudelleen.

5.1.8 Lämmityspatterin pumpun tilatieto

Lämmityspatterin pumpun tilatieto vaikuttaa lämmityspatterin tuottamaan lämpö- määrään. Simulaatio on tehty niin että jos pumppu ei ole päällä, lämmityspatteri ei lämmitä ollenkaan.

6 POHDINTA

Tavoitteena työllä oli luoda tehokas oppimisympäristö, joka opastaa ja opettaa oppilasta rakennusautomaation kokonaisuudesta. Opinnäytetyön osina olivat selvitys automaatiojärjestelmän yleisestä toiminnasta, järjestelmän ja simulaation ohjelmointi, ja käyttöönotto-ohjeen teko järjestelmälle.

Kun verrataan aikaisempiin rakennusautomaation opetusympäristöihin, työssä on kehitetty kaikkia osa-alueita. Itse järjestelmä toimii niin kuin kokonainen toiminnallinen ilmanvaihtokone ja kaikki tilanteet voidaan havainnollistaa valitun koneen sisällön puitteissa. Työskentely ja rakennusautomaatiojärjestelmän opettelu uudessa oppimisympäristössä on nopeampaa, tehokkaampaa ja ennen kaikkea halvempaa, kuin kokonaisen ilmanvaihtokonelaitteistosta koituvat kustannukset.

Työ on tehty tukemaan oppilaiden itsenäistä opiskelua vähäisen kontaktiopetuksen takia ja käyttöönotto-ohje on pyritty pitämään yksinkertaisena ja helppona ymmärtää ilman suurempaa taustatietoa aiheesta.

Paketin huonona puolena voidaan pitää laitteiston puutetta, jonka takia ei päästä näkemään varsinaista ilmanvaihtokonelaitteistoa, mutta monessa oppilaitoksessa muiden kurssien mukana ilmanvaihtokonekin tulee tutuksi.

Työtä voidaan kehittää vielä pidemmälle simulaation osalta tehokkaampaa ja laajemman alan toiminnan havainnollistamista halutessa. Työssä käytetyt kaavat ovat suuntaa antavia, eivätkä kaikki perustu täysin fysikaaliseen tarkasteluun ja esimerkiksi lämpöhäviötä kanavistossa ei ole otettu huomioon. Ohjelmoinnissa voidaan loppuen lopuksi mennä pienimpiinkin yksityiskohtiin, mutta tässä kohtaa se jää vielä seuraavaan versioon ja tulevaisuuden päivityksiin.

LÄHTEET

Airix talotekniikka. Tampereen Kaupunki. Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohje. Tampereentilapalvelut.fi Luettu 14.4.2022 https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/Rakennusautomaatiojarjestelma_suunnitteluohje_200813.pdf

Ekosuunnitteludirektiivin 2018 täyttävät koneet. Kair.fi. Luettu 14.4.2022. <https://www.kair.fi/fi/lvi-suunnittelijalle/valintaohjelma>

Kastepisteelle käytetty säätökäyrä. Kastepistelaskuri.fi. Luettu 10.2.2022. <http://kastepistelaskuri.fi/>

Kiinteistön hallinta ja rakennusautomaatio 2022. Siemens. New.siemens.com. Luettu 14.4.2022 <https://new.siemens.com/fi/fi/tuotteet/talotekniikka/rakennusautomaatio.html>

L. Laakso. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton huurtuminen. Teknocalor.fi. Luettu 10.2.2022. <https://www.teknocalor.fi/ilmanvaihtokoneen-lammontalteenoton-huurtuminen>

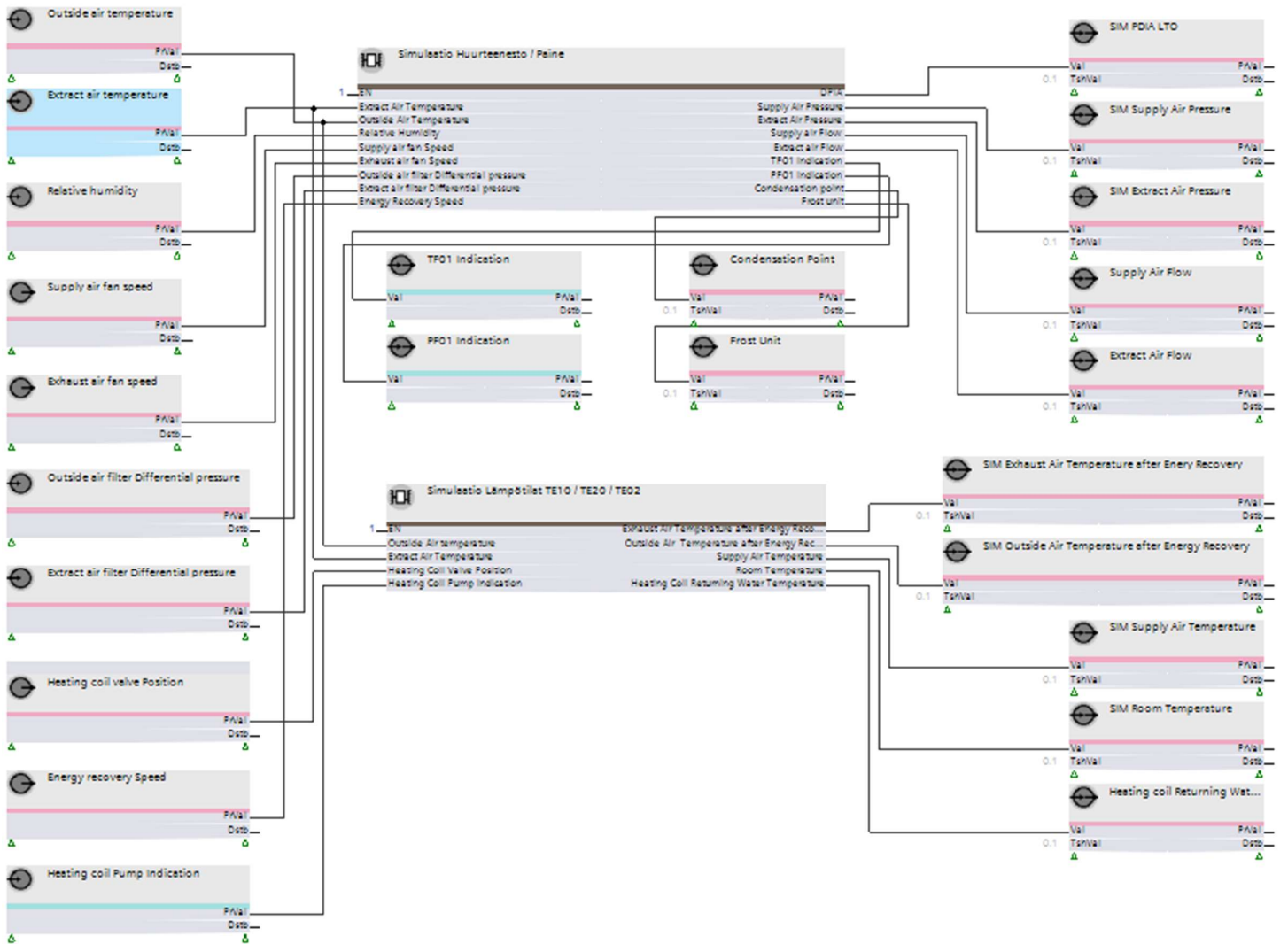
Parede. PID-säätimen toiminta ja sovellukset. Fi.jf-parede.pt. Luettu 14.4.2022 <https://fi.jf-parede.pt/what-is-pid-controller>

R. Saarnio. 2019. LÄMPÖOPPIA: lämpöenergia, lämpömäärä (= lämpö Q) Aineen lämpötila t aineen saaman lämpömäärän Q funktiona; $t = t(q)$. Docplayer.fi. Luettu 14.4.2022. <https://docplayer.fi/111887441-Lampooppia-lampoenergia-lampomaara-lampo-q-aineen-lampotila-t-aineen-saaman-lampomaaran-q-funktiona-t-t-q.html>

Sisäilmayhdistys ry. Ilmanvaihdon perusteet. Sisäilmayhdistys.fi. Luettu 14.4.2022 <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

LIITTEET

Liite 1. Simulaatiosovelluksen naamakuva



Liite 2. Järjestelmän säätökaavio

