



ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN OHJAUKSEN UUSIMINEN

Tero Katiskalahti

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Sähkötekniikan
koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

KATISKALAHTI, TERO:
Ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksen uusiminen

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2015

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdashallin ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksen uusiminen. Vanhasta ohjauksesta puuttui puhaltimen tehosäätö. Tämä aiheutti ylimääräistä energian kulutusta ja työhyvinvoinnin heikentymistä liiallisen ilmavirran takia. Työn tarkoituksena oli lisätä olemassa olevaan ohjausjärjestelmään puhallustehon säätö.

Työn aikana perehdyttiin ympäristöministeriön ja työturvallisuuslaitoksen ilmanvaihdolle asettamiin vaatimuksiin. Näihin vaatimuksiin vaikuttivat ilmanvaihdon kohteena olevassa tehdashallissa sijaitsevat metallin työstökoneet ja hitsauslaitteistot. Laitteistoja valittaessa perehdyttiin TORBAR-virtausmittareihin ja NDIR-ilmanlaadun seurantalaitteisiin. Näiden laitteiden avulla luotiin puhaltimien tehoa säättävä järjestelmä. Säätö itsessään toteutettiin Trendin automaatiojärjestelmillä. Trendin automaatiojärjestelmiin tutustuttaessa täytyi opetella niiden käyttämä toimilohkoihin perustuva ohjelmointikieli. Näin kerätyistä pohjatiedoista luotiin suunnitelma tehdashallin ilmanvaihdon ohjaamiselle.

Toteutettu suunnitelma täyttää teoriatasolla kaikki sille asetetut vaatimukset. Koska järjestelmää ei vielä ole otettu käyttöön, sen toimivuutta todellisessa tilanteessa ei kyetä toteamaan. Suunnitelmaa tehtäessä selvisi, että ilmanvaihdon optimoiminen vaatii suurempia rakenteellisia muutoksia nykyiseen järjestelmään. Suunnitelmaa ja sen pohjatietona olevia vaatimuksia voidaan soveltuvin osin käyttää vastaavissa ilmanvaihtojärjestelmissä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Automation Engineering

KATISKALAHTI, TERO:
Revising the Ventilation System Control

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 3 pages
April 2015

The purpose of this thesis was to revise the control of the air conditioning system in a factory hall. In the old control system there was no measurement or controlling abilities for the air velocity in ducts. This resulted in waste of energy and weakening work welfare. The main purpose of this thesis was to design air velocity control to the existing control system.

One part of the thesis process was to familiarize with requirements given for the ventilation systems by the Ministry of the Environment and Finnish Institute of Occupational Health. In the hall there were welding and other machines which pollute air. This required an effective air conditioning. While planning the new control system it was necessary to get familiarized with possible instruments for the system. These instruments included TORBAR flow meters, NDIR air quality meters and Trend automation system. Trend used programming language that is based on function blocks. With this background information it was possible to design a new control system for the ventilation system.

In theory the new system meets all given requirements. But because it is not yet built and tested, it is impossible to say if it works as it is meant to work. To optimize the ventilation system in the factory hall it is necessary to implement major structural changes to the system. Even untested it is possible to use the new design and its requirements in the similar ventilation systems.

Key words: building automation, ventilation systems

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEHDASHALLIN ILMANVAIHDON LÄHTÖKOHDAT	6
	2.1 Rakennus.....	6
	2.2 Tuloilma.....	8
	2.3 Poistoilma	8
	2.4 Ohjaus	9
	2.4.1 Hallin tuloilmakoneen ohjaus	9
	2.4.2 Hallin poistoilmakoneen ohjaus.....	12
3	SÄÄDÖKSET JA VAATIMUKSET	13
	3.1 Ympäristöministeriön asetus.....	13
	3.2 Työturvallisuuden asettamat vaatimukset.....	14
	3.3 Ongelmat ilmanvaihdon ohjaukselle.....	16
4	LAITTEISTO	18
	4.1 Virtausmittaus	18
	4.2 Ilman laadun seuranta	20
	4.3 Trendin automaatiojärjestelmä.....	21
	4.3.1 Trendin automaatioyksiköt	21
	4.3.2 Trendin ohjelmointikieli.....	23
5	SUUNNITELMA	28
	5.1 Tulokoneen 1 ilmanvaihdon ohjaus.....	28
	5.2 Hallin poistoilmakoneiden ohjaus	29
	5.3 Toimistotilan ilmanvaihtokoneiden ohjaus.....	31
6	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	35
	Liite 1. Hallin pohjapiirustus ilmanvaihtokanavista. (Pohjapiirustukset 2002.)	35
	Liite 2. Nykyinen ilmanvaihdon säätöstrategia.	36
	Liite 3. Uusi ilmanvaihdon säätöstrategia.	37

1 JOHDANTO

Työn kohteena on Sampo-Rosenlew Oy:n yhden tehdashallin ilmanvaihtojärjestelmän automatiikan uusiminen. Työ koostuu perehtymisestä vanhaan ilmanvaihtojärjestelmään ja sen toimintaan. Ilmanvaihtojärjestelmään perehtymisen yhteydessä selvitetään, miten Trendin automaatiojärjestelmät toimivat ja miten niitä on käytetty vanhan ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksessa. Perehtymisen lisäksi työhön kuuluu ilmanvaihdolle asetettujen määräysten ja ohjeistuksen selvitys. Lisäksi pitää määrittää miten ne koskevat uutta ohjausjärjestelmää. Ennen varsinaisen suunnitelman luomista selvitetään, millaisia laitteistoja, esimerkiksi mittalaitteita, voidaan tässä ilmanvaihtojärjestelmässä käyttää. Näiden pohjatietojen jälkeen luodaan uusi ohjausstrategia ilmanvaihtojärjestelmälle soveltaen pohjatiedoista opittuja vaatimuksia järjestelmälle.

Työn tavoitteena on kasvattaa olemassa olevan ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta. Vanha järjestelmä ei säädi puhallustehoa mitenkään, ja tilassa on huomattava ilmavirta. Toisena tavoitteena onkin työhyvinvoinnin lisääminen vähentämällä tuntuvaa ilmavirtaa, mutta säilyttämällä mahdollisimman puhdas ilmanlaatu. Viimeisenä tavoitteena työlle on rakennusautomaatiojärjestelmän laajennusmahdollisuuden järjestäminen tuleville muutoksille.

Työn tilaaja on Sampo-Rosenlew Oy, jonka toimipiste sijaitsee Porissa Kokemäenjoen rannalla. Tämä perheyritys on perustettu 1991 ja se valmistaa leikkuupuimureita ja metsäkoneita. Yrityksen toiminta sijoittuu tehdasympäristöön, joka muodostuu useasta toisiinsa liitetystä tehdashallista, joista vanhimmat ovat aivan 1900-luvun alkupuolelta. (Sampo-Rosenlew.)

2 TEHDASHALLIN ILMANVAIHDON LÄHTÖKOHDAT

Työn kohteena oleva ilmanvaihtojärjestelmä sijoittuu yhteen Sampo-Rosenlew Oy:n tehdashalleista. Halli on osa suurempaa tehdaskokonaisuutta, joka muodostuu useasta toisiinsa yhteydessä olevasta tehdashallista. Tarkastelussa olevaan tehdashalliin kuuluu useita erityyppisiä toiminnallisia yksiköitä, joilla on erilainen tarve ilmanvaihdon kannalta. Nykyinen hallin ilmanvaihtojärjestelmän ohjaus ei kata kaikkia siltä vaadittuja ominaisuuksia.

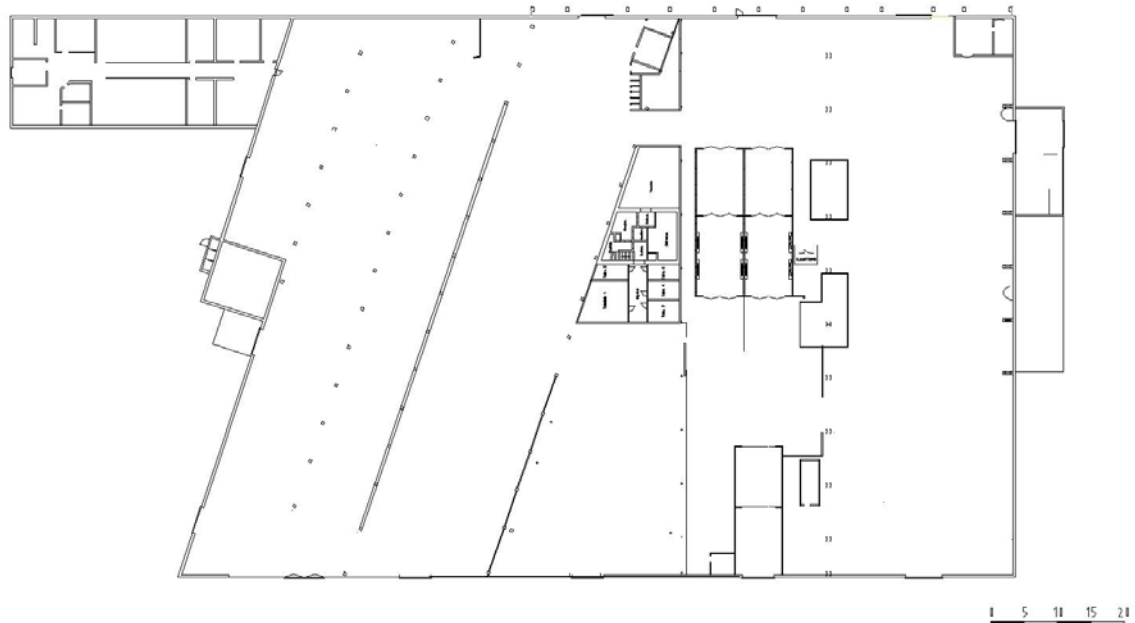
2.1 Rakennus

Ilmastoinnin ohjauksen uusimisen kohteena on Sampo-Rosenlew Oy:n tehdashalli, jota kutsutaan P-tehtaaksi. Se sijoittuu muusta tehdasalueesta nähdessä kaakkoon. Kuviossa 1 esitetään hallin sijoittuminen tehdasalueella. Tehdashalli on merkitty sinisellä viivoituksella kuvioon. Sen tarkempi pohjapiirustus näkyy kuviossa 2. Muista tehtaan osista pääsee kyseiseen tehdashalliin sen luoteisreunalta. Tarkempaa tarkastelua varten voidaan tehdashalli jakaa kolmeen osaan.



KUVIO 1. Tehdashallin sijoittuminen. (Pohjapiirustukset 2002.)

Tehdashallin keskellä on nelikerroksinen tila, jossa on toimistoja, saniteettitiloja ja kahvihuone. Tämä toimistotila on kuviossa 2 olevan pohjapiirustuksen keskellä. Tämän tilan ylimmässä kerroksessa on tärkeimmät tehdashalliin vaikuttavat tuloilmakoneet ja lisäksi niitä ohjaava valvonnan alakeskus (VAK 1). (Pohjapiirustukset 2002.)



KUVIO 2. Tehdashallin pohjapiirustus. (Pohjapiirustukset 2002.)

Toimistotilaa ympäröivät korkeat hallitilat, joissa tapahtuu puimureiden kokoonpano ja testaus. Tehdashallissa sijaitsee myös maalaamo, jonka ilmastointilaitteet eivät ole muu-
tostyön kohteena tässä työssä. Toimistotilan koillispuolella on katossa ja seinillä vanhoja ilmastointiputkia käytöstä poistetun tuloilmakoneen jäljiltä. Toimistotilan länsipuolella on puolestaan käytöstä poistettuja poistoilmakoneen kanavia. Näistä kanavista on vedetty putket viereisen matalan alueen ilman poistoa varten. (Pohjapiirustukset 2002.)

Alueen länsireunalla on muusta alueesta seinällä eristetty matalampi alue, jossa valmistetaan puimureiden leikkuupöytiä. Tässä tilassa on työstökoneita ja hitsauspisteitä. Tästä tilasta on lisäksi käynti alueen lounaispuolella olevaan toimistotilaan. Tämä toimistotila näkyy kuviossa 2 vasemmassa reunassa olevana ulokkeena muusta hallista katsottuna. (Pohjapiirustukset 2002.)

2.2 Tuloilma

Tehdashallin keskellä olevaan toimistotilaan on oma tuloilmakoneensa, tuloilmakone 2. Tämä sijaitsee toimistotilan ylimmässä kerroksessa. Tuloilmakone on vanha ja sitä ohjataan vain kontaktorilla. Toimistotilaa ympäröivässä korkeassa hallitilassa tuloilma tulee pääasiassa tuloilmakone 2:n vieressä olevasta suuremmasta tuloilmakone 1:stä. Tämäkin kone on vain kontaktoriohjauksen takana. Liitteessä 1 näkyy punaisina kanavistoina kaikki tunnetut hallitilaan vaikuttavat tuloilmakoneet tuloilmakonetta 2 lukuun ottamatta. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

Tuloilman lämmitykseen liittyvien sulkujen ohjaus tapahtuu VAK 1 -keskuksella olevalla Trendin automaatioyksiköllä (Toimintaselostus 1998). Tuloilmakoneelle otetaan lisäksi kiertoilmaa tehdashallista (Ilmastointi Salminen Oy 2014). Tuloilman lämmitys on tällä hetkellä muutostyön alla. Jatkossa tullaan luoteisreunalla sijaitsevan kompressorihuoneen tuottama lämpö ottamaan talteen ja hyödyntämään tuloilman lämmityksessä.

Matalampaan hitsaustilaan tuloilma tulee sekä edellä mainitusta tuloilmakone 1:stä että tilan länsireunalla olevasta ikkunaan asennetusta huonokuntoisesta tuloilmakoneesta. Näiden lisäksi tilan länsireunalla on viereisen toimistotilan poistoilmakoneen puhallus. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

2.3 Poistoilma

Toimistotilan poistoilmakonetta lukuun ottamatta kaikki poistoilmakoneet ja niiden kanavistot näkyvät liitteessä 1 sinisinä. Toimistotilan poistoilma on toteutettu yhdellä poistoilmakoneella, joka on tehdashallin katolle asennettu kanavapuhallin. Puhaltimelle ei ole järjestetty kulkua, joten sen tarkempi tarkastelu ei onnistu. Lisäksi puhaltimen sähkönsyötön lähtö ei ole tiedossa. Poistoilmapuhaltimen koko on huomattavasti ylimitoitettu tilaan nähden. Toimistotilan huoneistoihin on asennettu huomattava määrä poistoilmaventtiilejä. Lisäksi poistoilmakanaviston kautta kuuluu kovaa meteliä poistoilmakoneelta. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

Korkean hallin poistoilma on toteutettu painovoimaisella ilmastointijärjestelmällä. Siinä lämmin sisäilma kohoaa hallin katossa oleviin poistoilmakanaviin itsestään ilman ko-

neistusta (Sandberg (toim.) 2014b, 390). Nämä kanavistot on kuitenkin suojattu limittäisellä metallilevyistä tehdyllä sululla, jonka pitäisi aueta kanavassa olevan ilmanpaineen johdosta. Sulkupellit ovat kuitenkin kovin raskaat ottaen huomioon tehdashallissa vallitsevan normaalin ilmanpaineen. Ne eivät milloinkaan aukea itsestään. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

Matalassa hitsaustilassa on kaksi poistoilmakonetta. Viereisen korkean hallin länsireunalla on aikoinaan käytöstä poistettu poistoilmakone, joka on otettu uusiokäyttöön matalammassa tilassa. Kanavaan on sijoitettu mittalaite, jonka lähempi tarkastelu ei onnistu sen hankalan sijoittelun vuoksi. Tämä mittausarvo on johdettu kellokytkimen lävitse taajuusmuuttajalle. Käyttöajan ulkopuolella kellokytkin lähettää sammutus käskyn taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajalla on sisäinen PID-säädin, jolla se ohjaa poistoilma puhallinta. Uusiokäyttöön otetun poistoilmakoneen lisäksi tilan luoteisreunalla on toinen poistoilmakone. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

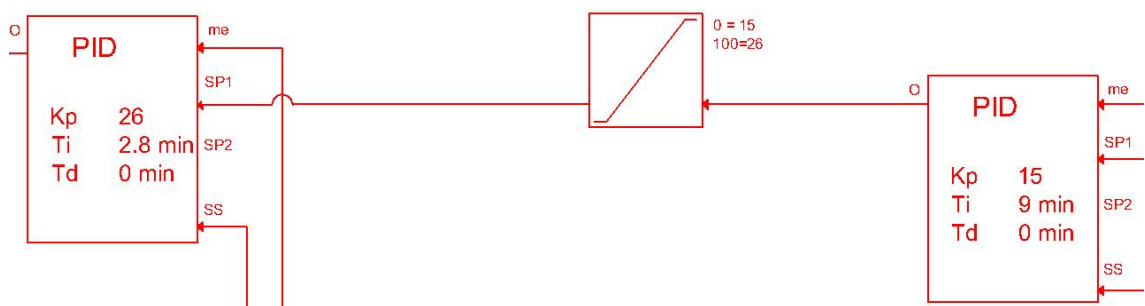
2.4 Ohjaus

Tehdashallin ilmastoinnissa on kaksi tunnettua ohjausjärjestelmää. Tuloilmakoneiden vieressä on VAK 1, joka ohjaa kummankin tuloilmakoneen ilmavirtausta ja ilman lämmitystä. Ohjausjärjestelmä on toteutettu Trendin automaatiojärjestelmällä. Hitsaustilan uudemmassa poistoilmakoneessa on taajuusmuuttajaohjaus. (Ilmastointi Salminen Oy 2014.)

2.4.1 Hallin tuloilmakoneen ohjaus

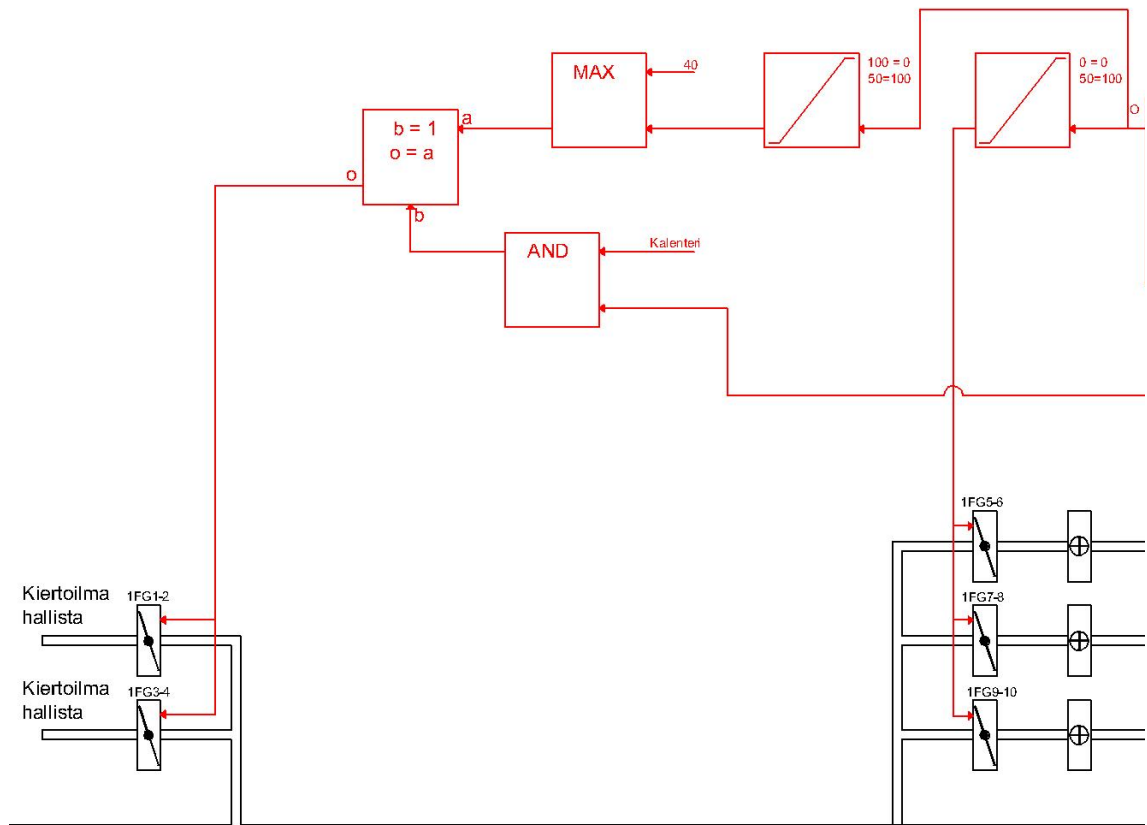
Tuloilmakoneita ohjataan Trendin automaatiojärjestelmällä. Tuloilmakoneella 1, joka puhaltaa halliin, on selvästi monimutkaisempi ohjauskytkentä. Ohjausmenetelmä näkyy liitteessä 2. Se toimii kaskadisäädön tapaan. Kuviossa 3 näkyy liitteestä 2 otettu suurenos kaskadisäädöstä. Oikeanpuoleinen pääsäädin saa mittausarvonsa, me, tehdashallissa olevasta lämpötila-anturista. Asetusarvo, SP1, on asetettu 20 °C:een. Asetusarvon valintaparametri, SS, saa arvonsa puhaltimen tilatiedosta. Tilatieto saa arvon nolla, kun puhallin ei ole käynnissä ja arvon 1 puhaltimen ollessa käynnissä. Trendin käyttämien toimilohkojen tarkempi esittely on luvussa 4.3.2.

Säätimen lähtö eli ohjaussuure, o , siirretään skaalauslohkon lävitse apusäätimen asetusarvoksi. Apusäädin saa mittausarvonsa, me , kanavassa sijaitsevasta lämpötilanturista. Apusäätimenkin asetusarvon valintaparametri, SS , saa arvonsa puhaltimen tilatiedosta. Koska kummallekaan säätimelle ei ole asetettu toista asetusarvoa, lakkaavat ne toimimasta, kun puhallin ei ole toiminnassa. Apusäätimelle on lisäksi asetettu pakko-ohjaus, joka ei näy kuviossa. Siinä käsikäyttökytkin pakottaa säätimen lähdeksi käsiajo-ohjauskytkimen arvon. Kummankin säätimen viritysparametrien arvot näkyvät kuviossa 3. (Toimintaselostus 1998.)



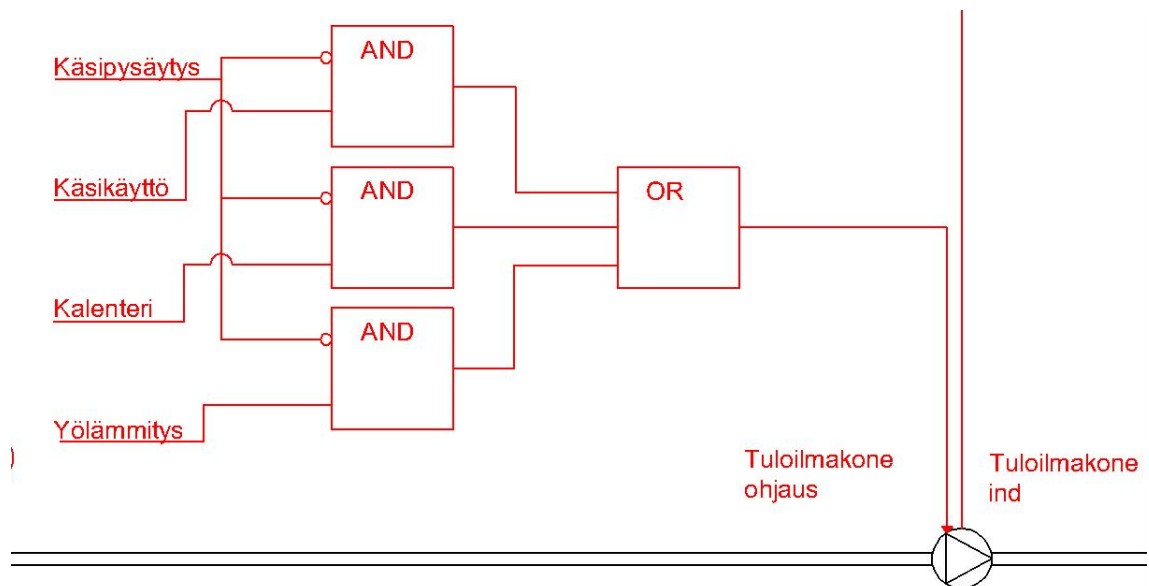
KUVIO 3. Kaskadisäätö

Apusäätimeltä saadulla ohjausarvolla ohjataan sekä lämmityspeltejä että kiertoilmapeltejä. Kuviossa 4 näkyy, miten apusäätimeltä saadun ohjausarvon avulla ohjataan sulkupelejä. Kuvion oikeassa alareunassa on lämmityspellit. Niiden ohjausarvo tulee apusäätimen ohjaussuureesta skaalauksen lävitse. Peltien ohjausarvon ollessa 100 kaikki ilma menee lämmityspatterien lävitse. Kiertoilmapelit saavat ohjausarvonsa kaksiosaisen skaalauksen lävitse. Ensiksi arvot skaalataan välille nolasta sataan käänteisesti. Tämän jälkeen varmistetaan ohjausarvon olevan aina vähintään 40. Ohjelmassa olevan portti-toiminnon takia kiertoilmapelit saavat ohjausarvon vain tilan käyttöaikana puhaltimen ollessa toiminnassa. Muuna ajanhetkenä ne saavat ohjausarvokseen nolla. Käyttöajalla tarkoitetaan ajanhetkeä, jolloin tilassa tehdään töitä. Kiertoilmapeltien ohjausarvon ollessa 100 pellit ovat kiinni ja kaikki tuloilma tulee ulkoa. (Toimintaselostus 1998.)



KUVIO 4. Sulkupeltien ohjaus Trendin järjestelmällä.

Tuloilmakoneen 1 toiminta-aikaa ohjataan kuvion 5 mukaisella logiikalla. Varsinainen ohjaus tapahtuu kontaktorilla, joten logiikka antaa tiedon vain siitä, milloin tuloilmakone on toiminnassa. Se on toiminnassa ohjelmassa olevan kalenterin antamina kellonaikoina. Kalenterin arvoja kyetään muuttamaan valvomo-ohjelmistolla. Tuloilmakone on toiminnassa myös käsikäyttöohjauksen avulla tai hallin lämpötilan laskiessa alle 16 °C:een käyttöajan ulkopuolella. Käsipysäytyksellä tuloilmakoneen toiminto saadaan aina pysäytettyä. (Toimintaselustus 1998.)



KUVIO 5. Tuloilmakoneen 1 ohjaus.

Tuloilmakonetta 2, joka puhaltaa toimistotilaan raitisilmaa, ohjataan samalla automaatiojärjestelmällä kuin tuloilmakonetta 1. Tuloilmakoneen 2 ohjaus on huomattavasti yksinkertaisempi. Siinä on vain yksi PI-säädin, joka ohjaa kanavassa olevan ilman lämpötilan avulla, kuinka suuri osuus tulevasta ilmasta lämmitetään. Tämä ohjaus tapahtuu sulkupeltien avulla. Tuloilmakone 2 ei käytä kiertoilmaa toiminnassaan. Koneen käyttöaikaa ohjataan muuten samoin kuin tuloilmakone 1:n, paitsi että se ei ole koskaan käynnissä käyttäjän ulkopuolella. (Toimintaselostus 1998.)

2.4.2 Hallin poistoilmakoneen ohjaus

Hallin toisen poistoilmakoneen kanavassa on tuntematon mittalaitte. Tämän mittalaitteen lähtö ohjataan kellokytkimen lävitse taajuusmuuttajalle. Kellokytkimellä on mahdollista pakottaa lähtö päälle normikäyttäjän ulkopuolellakin. Taajuusmuuttaja ohjaa tuloilmakonetta mittalaitteelta saadun mittaustuloksen perusteella käyttäen sen sisäistä PID-säädintä hyväksi.

3 SÄÄDÖKSET JA VAATIMUKSET

Ilmanvaihdon ohjeita ja määräyksiä Ympäristöministeriön taholta. Lisäksi MIG-hitsauksessa ilmaan päätyviin saasteisiin on ottanut kantaa Työterveyslaitos. Työterveyslaitoksen ohjeet parantavat työympäristön työhyvinvointia ja työturvallisuutta. Myös tilan monipuolisuus asettaa rajoituksia sille, miten ilmanvaihdon uudistuksen voi toteuttaa toimivasti.

3.1 Ympäristöministeriön asetus

Ympäristöministeriö on antanut 30.3.2011 asetuksen rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. D2 asetus on osa suurempaa Suomen rakentamismääräyskokoelmaa. Asetuksen sisältämät määräykset ja ohjeet koskevat uuden rakennuksen ilmanvaihtoa. Näitä ohjeita voidaan kuitenkin soveltaa vanhankin kohteen uusimiseen. Asetus keskittyy niin ilmanlaatuun kuin ilmastointijärjestelmän rakentamiseen liittyviin määräyksiin. (Ympäristöministeriö 2011.)

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. (Ympäristöministeriö 2011.)

Ympäristöministeriö on antanut tehdashallin lämpötilan ohjearvoksi 17 °C, mikäli siellä tehdään keskiraskasta työtä. Lisäksi minkään tilan oleskelualueen lämpötila ei saisi ylittää 25 °C:n raja-arvoa. Poikkeuksena on tilanne, jolloin ulkolämpötilan keskiarvo viiden tunnin ajalta ylittää 20 °C. Tällöin voidaan edellä mainittu maksimiarvo ylittää viidellä asteella. (Ympäristöministeriö 2011.)

Ympäristöministeriön antaman asetuksen ilmanlaatua koskevat määräykset pohjautuvat valtioneuvoston asetukseen (711/2001) epäpuhtauksien enimmäismääristä. Sisäilmassa hiilidioksidin enimmäismäärän tulisi olla enintään 2160 mg/m³. Muiden haitallisten aineiden enimmäismäärät sisäilmassa näkyvät taulukossa 1. (Ympäristöministeriö 2011.)

TAULUKKO 1. Sisäilman epäpuhtauksien enimmäisarvoja (Ympäristöministeriö 2011)

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvopitoisuus enintään
Ammoniakki ja amiinit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbesti	kuitua/ cm^3	0
Formaldehydi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Hiilimonoksidi	mg/m^3	8
Hiukkaset PM_{10}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	Bg/m^3	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

Ympäristöministeriön määräyksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmiä tulisi voida valvoa ja ohjata. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikkia tärkeitä toiminta-arvoja tulisi voida mitata. Tämä voidaan toteuttaa kiinteillä mittalaitteilla tai mittayhteillä, joihin voidaan liittää tilapäinen mittalaite. (Ympäristöministeriö 2011.)

Ohjeellisella tasolla ilmanvaihtojärjestelmän ulko- ja jäteilmavirran tulisi olla mitattavissa kiinteällä mittausanturilla. Ulkoilmavirta tarkoittaa tuloilmakoneelle ulkoa tulevaa ilmavirtaa. Jäteilmavirralla tarkoitetaan poistoilmakoneen ulos puhaltamaa ilmavirtaa. Poikkeuksena on tilanne, jolloin ilmavirta on alle $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tällöin voidaan asentaa mitausyhde, johon voidaan liittää tilapäinen mittalaite. Tehdashallin ulkoilmavirta on ohjeellisesti $10 \text{ (dm}^3/\text{s)/hlö}$, mikäli henkilökuormitteinen mitoitusjärjestelmä on kannattava. Henkilökuormitteisella järjestelmällä tarkoitetaan henkilömäärään pohjautuvaa ilmanvaihdon mitoitusta. Tämä on kannattavaa silloin, kun henkilömäärä pinta-alaan nähden on suuri. Muuten käytetään pohjapinta-alaa ilmanvaihdon mitoituksessa. Tällöin ulkoilmavirran arvon tulisi olla $1,5 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$. Nämä arvot ovat vain ohjeellisia ja niistä voidaan poiketa tilanteen niin vaatiessa. Käyttöajan ulkopuolella ulkoilmavirran tulisi olla vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$. (Ympäristöministeriö 2011.)

3.2 Työturvallisuuden asettamat vaatimukset

Tehdashallin matalassa osassa on MIG-hitsauslaitteita. Hitsauksessa vapautuu metallioksideja, joiden koko on alle $1 \mu\text{m}$, mikä tekee niistä hengittäessä vaarallisia ihmiselle. MIG-hitsauksen yhteydessä vapautuu kromi-, nikkeli- ja mangaanioksideja. Hitsauksen

muodostamia vaarallisia kaasuja ovat otsoni, typpioksidit ja hiilimonoksidi. Otsonin määrä kuitenkin vähenee nopeasti ilmassa. (Työterveyslaitos 2011.)

Työterveyslaitos on kerännyt työhygieenisii raja-arvoja metallipitoisuuksille hitsaus-huuruissa eri maissa. Taulukossa 2 näkyy Suomessa voimassa olevat raja-arvot. Raja-arvot on asetettu kahdeksan tunnin altistumisajoille. Taulukosta huomataan raja-arvojen olevan todella pieniä ja niiden alentamista on suunniteltu. Näistä metalleista ainakin kromin ja nikkelin tiedetään lisäävän syöpäriskiä (Työterveyslaitos 2011).

TAULUKKO 2. Työterveyslaitoksen keräämiä kahdeksan tunnin altistumisen raja-arvoja metallioksideille ilmassa. (Työterveyslaitos 2011.) (Muokattu.)

Epäpuhtaus	Yksikkö	Raja-arvo
Hitsaushuuru, hengittävät hiukkaset	mg/m ³	-
Rautaoksidi, huurut	mg Fe/m ³	5
Mangaani, alveolijae	mg Mn/m ³	0,1
Kromi (VI)	mg Cr/m ³	0,02
Kromi (0,II,III)	mg Cr/m ³	0,5
Nikkelioksidi	mg Ni/m ³	0,1

Työterveyslaitos on kerännyt raja-arvotiedot myös hitsaushuuruissa esiintyville kaasuille eri maissa. Taulukossa 3 on raja-arvotiedot Suomessa. Vaikutusaikoja taulukkoon on kerätty kaksi. Kahdeksan tunnin pitkäaikainen vaikutus, jolloin raja-arvot ovat alhaisemmat. Lyhytaikainen vaikutus, jolloin raja-arvot ovat korkeammat. Otsonia lukuun ottamatta sallitut pitoisuudet ovat huomattavasti suurempia kuin metalleilla.

TAULUKKO 3. Työterveyslaitoksen keräämiä altistumisen raja-arvoja kaasuille ilmassa. (Työterveyslaitos 2011.) (Muokattu.)

Epäpuhtaus	Vaikutusaika	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvo-pitoisuus enintään
Typpidioksidi	8 h	mg/m ³ / ppm	5,7 / 3
Typpidioksidi	15 min	mg/m ³ / ppm	11 / 6
Typpioksidi	8 h	mg/m ³ / ppm	31 / 25
Otsoni	8 h	mg/m ³ / ppm	0,1 / 0,05
Otsoni	15 min	mg/m ³ / ppm	0,4 / 0,2
Hiilimonoksidi	8 h	mg/m ³ / ppm	35 / 30
Hiilimonoksidi	15 min	mg/m ³ / ppm	87 / 75

Hitsauksessa vapautuvien haitallisten huurujen hallinta on työturvallisuuden kannalta tärkeää. Henkilökohtaisia altistumisen hallintakeinoja ovat puhallinsuojainten käyttö ja työasennon valitseminen niin, etteivät huurut nouse suoraan kasvoille. Laitteistopuolella hallintakeinoja ovat kohdepoisto ja hyvä yleisilmanvaihto. Kohdepoisto tulisi asettaa mahdollisimman lähelle hitsauspistettä ja sen kanavassa olevan ilmapirran tulisi olla lähes 10 m/s. Yleisilmanvaihdon tulisi olla alueella tehokasta ja alueen ilmanvaihtokerroin tulisi olla 5 – 10 krt/h. Ilmanvaihtokerroin kertoo, kuinka suuri osuus ilman tilavuudesta vaihtuu tunnin aikana.

3.3 Ongelmat ilmanvaihdon ohjaukselle

Ilmanvaihdon vaikutuksenalaisen tilan monipuolisuus aiheuttaa useita ongelmia ilmanvaihdon kattavan ohjauksen toteuttamiselle. Tehdashallin eri tilat aiheuttavat erilaisia vaatimuksia yleisilmanvaihdolle. Lisäksi nykyinen järjestelmä ei ole täysin tunnettu tai jotakin sen osia ei ole mahdollista tutkia. Osa näistä ongelmista kyetään korjaamaan laitevalinnalla ja ohjelmasuunnittelun avulla.

Tuloilmakone 1:n vaikutusalueeseen kuuluu korkeampi halliosuus, jossa on vähemmän ilmanlaatua saastuttavia elementtejä. Tässä osassa riittäisi nykyistä tehottomampi ilmanvaihto. Viereisessä matalassa hallissa, johon vaikuttaa sama tuloilmakone, on huomattavasti enemmän saastuttavia elementtejä, kuten MIG-hitsauslaitteet ja laserleikkurit. Tämä tila vaatii huomattavasti tehokkaamman ilmanvaihdon.

Hallin poistoilma on toteutettu sekä painovoimaisesti että koneellisesti. On mahdoton määrittää, kuinka paljon ilmaa poistuu painovoimaisen järjestelmän kautta. On mahdollista, että poistoilma hakeutuu viereisiin halleihin tai karkaa rakenteiden lävitse. Ilmanvaihtokerrointa, joka kertoo sisäilman vaihtumistaajuuden, on mahdoton määrittää ilman poistoilman suuruuden tuntemista.

Hallin matala osuus vaatii korkean ilmanvaihtokertoimen. Ilmanvaihtokertoimen laskemiseen käytetään sekä tilaan tulevaa ilmavirtaa että siitä poistuvaa ilmavirtaa. Tilan avoimuuden, painovoimaisten poistojen ja tuntemattomien ilmanvaihtokoneiden aiheuttamien ilman tilavuusvirtojen takia on mahdotonta laskea, saavutetaanko tässä tilassa vaadittu ilmanvaihtokerroin.

Koska tuloilmakone 1:n yhteydessä ei ole ilmamäärän mittausta, ei tiedetä koneen puhallustehoa. Tämän tiedon puutteen takia ei tiedetä, riittääkö nykyisen puhaltimen tuottama ilmamäärä uuden ohjausstrategian vaatimiin ulkoilmavirtoihin.

Tuntemattomia laitteita on useita nykyisessä järjestelmässä. Hallin toisessa poistoilmakanavassa on jokin anturi. Anturi sijaitsee sellaisessa paikassa, ettei sen tarkempi tarkastelu onnistu. Myös toimistotilan poistoilmakone on suurilta osin tuntematon. Itse puhallin on kanavapuhallin, joten sen tietoja ei saa purkamatta kanavaa. Sen ohjaustapa on myös tuntematon.

4 LAITTEISTO

Pelkkä säätöstrategian muuttaminen ei riitä sujuvan ilmanvaihdon luomiseksi. Fyysisiä laitteitakin pitää muuttaa uuden säätöstrategian toteutumiseksi. Säädön kohteeksi tulevia ulkoilmavirtaa ja ilmanlaatua ei nykyisellään seurata millään mittalaitteella. Niitä varten täytyy siis valita tilanteeseen sopivat laitteistot. Trendin automaatioyksikkökin jää muutosten yhteydessä pieneksi ja sen tilalle täytyy suunnitella uutta yksikköä, joka soveltuu nykyisiin ja mahdollisiin tuleviin tarpeisiin.

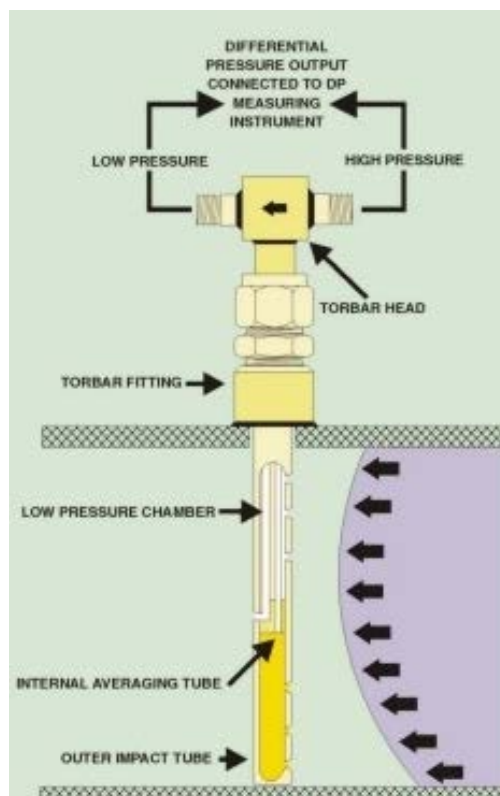
4.1 Virtausmittaus

Ilmanvaihtokanaviston ulkoilmavirran mittaaminen kohtuullisella tarkkuudella on haastavaa, sillä verrattuna putken halkaisijaan siinä esiintyy liian lyhyitä suoria kanavaosuuksia. Perinteisillä mittalaitteilla vaadittava kanavapituus ilman häiriötekijöitä ilmavirralle on noin viisi kertaa kanavan halkaisija. Kyseisessä kanavistossa se merkitsisi yli kymmenen metrin pituista kanavaosuutta. Näin pitkää häiriötöntä kanavaosuutta ei löydy, joten vaihtoehtoiksi jää asentaa joko ilmavirtausta tasaavia elementtejä kanavistoon tai käyttää mittalaitteita, jotka soveltuvat paremmin näihin olosuhteisiin.

Eräs mahdollinen mittalaite on APT, Averaging Pitot Tube, joka tarkoittaa tasoittavaa pitot-putkea. Eri valmistajilla on eri tuotemerkkejä ja periaatteita kyseiselle mittalaitteistolle. ABB:n käyttämä TORBAR-järjestelmä kehitettiin vuonna 1985, minkä jälkeen sitä on käytetty laajalti eri teollisuuden aloilla, esimerkiksi LVI-tekniikassa. Järjestelmää voidaan käyttää niin nesteen, kaasun kuin höyrynkkin virtausnopeuden mittaamiseen. (ABB.)

TORBAR-laitteiston lähtökohtana on pitot-putki. Se mittaa kanavassa olevaa painetta sekä mittausputken virtauksen puoleiselta sivulta, johon muodostuu virtauksen takia suurempi ilmanpaine, että mittaputken toiselta puolelta, johon muodostuu huomattavasti pienempi ilmanpaine. Näiden kahden ilmanpaineen eron perusteella pystytään laskemaan virtausnopeus kanavistossa. (ABB.)

TORBAR-mittalaitteisto näkyy kuviossa 6. Kuten siitä huomataan, mittaputken virtauksen puolella on useita aukkoja, joista ilmavirta ja siis myös paine muodostuu putken sisällä olevaan ulompaan tasoituskammioon (OUTER IMPACT TUBE). Tässä osassa mittalaitetta muodostuu ensimmäinen paineen tasoittuminen. Täältä ilmanpaine johtuu sisempään tasausputkeen (INTERNAL AVERAGING TUBE), jossa tapahtuu lopullinen paineen tasaantuminen. Ilmavirran vastaisella puolella on vain yksi mitta-aukko, josta paine johtuu alemman paineen kammioon (LOW PRESSURE CHAMBER). Kumpikin näistä paineista johdetaan paineliittimille. Niistä paineet voidaan lukea paine-erolähtettimeillä, jolta virtausnopeus saadaan ulos sähköisenä viestinä. Virtausnopeus on riippuvainen mitatusta paine-erosta. Lähetintä valittaessa on huomioitava Trendin automaatioyksikön vaatimukset analogisille tuloviesteille. Trend käyttää yleisesti jänniteviestiä 1-5 V. (ABB.)



KUVIO 6. TORBAR-mittalaitteen toimintaperiaate. (Caledonia)

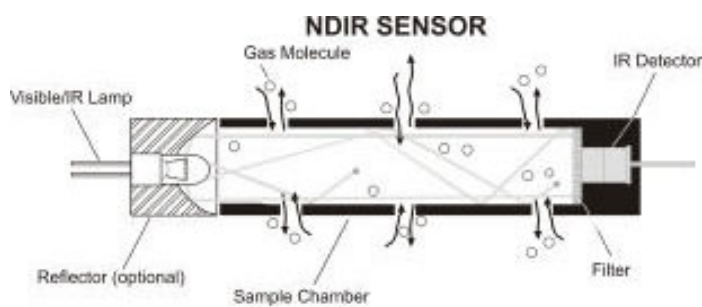
TORBAR-järjestelmän etuja tässä yhteydessä ovat sen toiminta suurella kanavakoon alueella ja se, että se soveltuu sekä pyöreään että neliskulmaiseen kanavaan. Se voidaan asentaa jo olemassa olevaan kanavistoon ilman suurempia muutostöitä. Sen tarkkuus

pysyy hyvänä pitkään pienilläkin käyttökustannuksilla. Suurimpana etuna on sen asennusmahdollisuus lähelle virtausta muuttavia elementtejä. (ABB.)

4.2 Ilman laadun seuranta

Hitsauslaitteiden ja muiden koneiden vuoksi tilassa on paljon ilmanlaatua heikentäviä kaasuja ja hiukkasia. Useimpia näistä on mahdotonta mitata hinnaltaan edullisilla mittalaitteilla. Ilmanlaatua eniten heikentävät metallioksidit, mutta niiden mittaamiseen käytetyt laitteistot ovat liian kalliita yksinkertaisen ilmanvaihtojärjestelmän ohjaamista varten. Mittalaitteiden hinta huomioonottaen toteutuskelpoisimmat mittakohteet ovat hiilidioksidi ja hiilimonoksidi.

Ilmanlaadun tarkkailussa käytettävät hiilidioksidimittarit perustuvat yleensä NDIR (Non-Dispersive Infrared) -antureihin. Näiden toimintaperiaate näkyy kuviossa 7. Laite koostuu infrapunalamppusta, näytekammiosta, suodattimesta ja infrapunasensorista. Kaasut absorboivat tietyllä aallonpituudella olevaa infrapunavaloa. Suodattimen avulla voidaan rajata sensorille tulevan infrapunavalon aallonpituus vastaamaan mitattavan aineen absorboimaa aallonpituutta. Sensorilla mitataan sille tulevan infrapunavalon intensiteettiä. (International Light Technologies.)



KUVIO 7. NDIR-mittalaitteen toimintaperiaate. (International Light Technologies.)

Mitä korkeampi kaasupitoisuus on, sitä pienempi on mitattu infrapunavalon intensiteetti. Infrapunavalon intensiteetin ja kaasupitoisuuden välillä olevaa suhdetta kuvaa Beerin laki:

$$I = I_0 \cdot e^{kP}, \quad (1)$$

jossa I on mitattu valon intensiteetti, I_0 on tyhjän näytekammion valon intensiteetti, k on laitekohtainen vakio ja P on mitatun kaasun pitoisuus. (International Light Technologies.)

Järjestelmällä voidaan mitata muidenkin aineiden pitoisuuksia ilmassa. Tällöin täytyy kuitenkin käyttää tehokkaampaa infrapunalamppua, jolla on laajempi aallonpituusalue. Nämä tehokkaammat lamput ovat huomattavasti kalliimpia ja niiden käyttö ei sen takia ole järkevää. Halvempien lamppujen aallonpituusalueella kyetään mittaamaan hiilidioksidin ja hiilimonoksidin pitoisuutta ilmassa.

4.3 Trendin automaatiojärjestelmä

Olemassa oleva ilmanvaihdon ohjaus on toteutettu Trendin automaatiojärjestelmällä. Kyseistä järjestelmää käytetään muuallakin tehdasalueella, ja sille on olemassa valvontajärjestelmä.

4.3.1 Trendin automaatioyksiköt

Nykyinen Trendin automaatioyksikkö on Trend IQ223, joka näkyy kuvassa 1. Laitteeseen on kytketty kolme analogista mittausta ja kaksi digitaalista tuloa. Varalle on jätetty kolme universaalia tuloporttia. Universaalilla tuloportilla tarkoitetaan porttia, jota voidaan käyttää analogisena- tai digitaalisena tuloporttina riippuen oikosulkupalan sijainnista valitsinnastoilla. Käytössä on lisäksi kuusi analogista lähtöä peltien ohjaukseen ja kaksi digitaalista lähtöä tuloilmakoneiden ohjaukseen. Lähtöjä ei ole yhtään varalla. (Toimintaselostus 1998.)



KUVA 1. Trend IQ223 -automaatioyksikkö. (Trend)

Trend IQ223 -automaatioyksikön sisääntuloportit muodostuvat seitsemästä universaalista ja yhdestä digitaalisesta portista (Trend). Sen lähtöportit puolestaan muodostuvat seitsemästä analogisesta lähdöstä ja yhdestä digitaalisesta lähdöstä (Trend). Uuden suunnitelman mukainen I/O-tarve on viisi tai useampi analoginen sisääntulo riippuen ilmanlaadusta seuraavien mittareiden tarpeesta ja yksi digitaalinen sisääntulo. Lähtöjä puolestaan vaaditaan yhdeksän analogista lähtöä ja yksi digitaalinen. Tässä I/O-listauksessa ei ole otettu huomioon manuaaliohjausten luomaa lisätarvetta I/O-porteille. Työn yhtenä tavoitteena oli valmistautuminen mahdollisille laajennustarpeille tulevaisuudessa. Trend IQ223 -yksikön I/O-määrää ei kyetä laajentamaan, joten sitä ei voida käyttää uuden suunnitelman mukaisessa toteutuksessa.

Vanhan Trend-automaatioyksikön tilalle täytyy siis vaihtaa toinen yksikkö, joka tukee olemassa olevaa Trendin valvomo-ohjelmistoa. Trendillä on IQ3XCITE-automaatioyksikkö, jota voi laajentaa lisämoduuleilla ja se tukee vanhoja Trend IQ -järjestelmiä (Trend). Automaatioyksikkö näkyy kuvassa 2. Tämä yksikkö kattaa kaikki uuden ohjaussuunnitelman myötä tulleet lisävaatimukset automaatiojärjestelmälle.

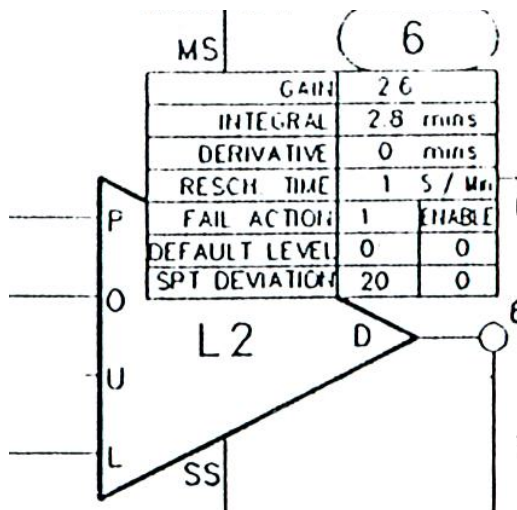


KUVA 2. Trend IQ3XCITE -automaatioyksikkö.(Trend)

4.3.2 Trendin ohjelmointikieli

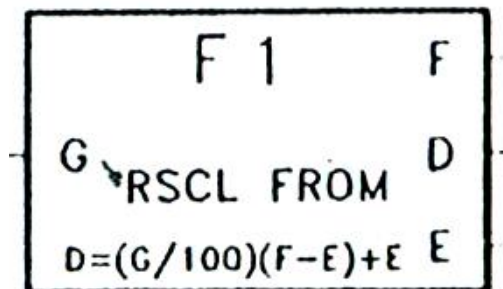
Trendin automaatiojärjestelmien ohjelmointi suoritetaan System Engineering Tool -nimisellä ohjelmistolla (Lamberg 2010). Kyseisen ohjelmiston käyttämä ohjelmointikieli perustuu toimilohkoihin. Toimilohkoja on useita erityyppisiä.

PID-säätö tapahtuu kuvion 8 mukaisella toimilohkolla. Lohkon tuloporttiin P tulee säädön mittausarvo ja porttiin O sen asetusarvo. Lähtöportti D on säätimen ohjaussuure. Lohkon portilla SS valitaan asetusarvo porttien O ja U välillä. Portin MS-arvolla voidaan lohkon lähtö D pakottaa samaksi, mikä on porttiin L tuleva arvo. PID-säätölohkon yläreunassa on taulukko, jossa näkyvät säädön virityspanimet. Näistä tärkeimmät ovat gain eli säätimen vahvistus, integral eli integrointi-aika ja derivative eli derivointiaika. (Lamberg.)

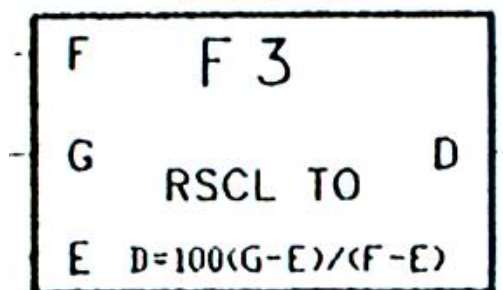


KUVIO 8. PID-toimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Ohjelmiston käytössä on kaksi eri skaalaustoimilohkoa. Nämä näkyvät kuvioissa 9 ja 10. Näiden skaalaustoimilohkojen erona on niiden toimisuunta. Kuviossa 9 näkyvä lohko skaalaa porttiin G tulevan arvon väliltä 0–100 välille E–F. Portin E arvo siis kertoo uuden skaalauksen alarajan ja portin F arvo sen ylärajan. Kuvion 10 lohko skaalaa porttiin G tulevan arvon väliltä E–F välille 0–100. (Lamberg 2010.)

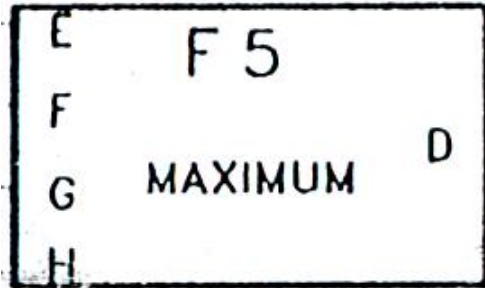


KUVIO 9. Skaalaustoimilohko. (Toimintaselostus 1998.)



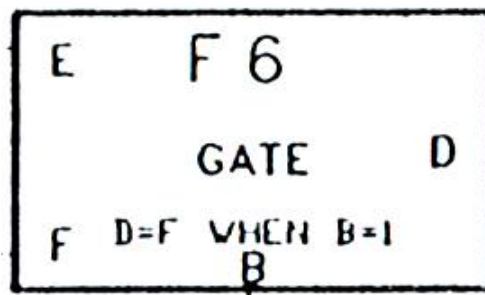
KUVIO 10. Skaalaustoimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Kuviossa 11 on toimilohko, joka valitsee tuloistaan suurimman arvon. Siihen voi liittää neljä eri tuloa E, F, G ja H. Lohko valitsee näiden porttien välillä sen, jonka arvo on suurin, ja lähettää sen edelleen portista D ulos. (Lamberg 2010.)



KUVIO 11. Maksimiarvotoimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Gate-toimilohkolla pystytään toteuttamaan ehdollisia toimintoja. Tämä lohko näkyy kuviossa 12. Se toimii eräänlaisena porttina tiedonkululle. Portin D lähtö saa tuloportin F arvon vain portin B arvon ollessa 1. Portin B arvon ollessa 0 saa lähtö arvokseen portin E arvon.

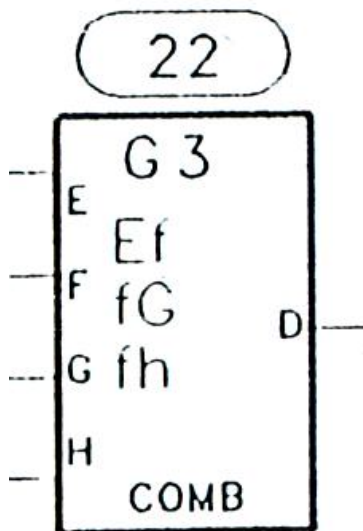


KUVIO 12. Gate-toimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Ohjelmistossa on yhdistetty loogiset OR- ja AND-toiminnot yhdeksi COMB-toimilohkoksi. Tämä lohko näkyy kuviossa 13. Lohkolla on neljä tuloporttia E, F, G ja H. Näiden porttien väliset ehdot näkyvät lohkon sisällä. Yksi vaakarivi muodostaa yhden AND-toiminnon. Rivien välissä puolestaan on OR-toiminto. Kirjaimen koko kertoo negaatiosta. Pieni kirjain tarkoittaa kyseisen portin arvon negaatiota. Lähtö D siis kertoo näiden ehtojen totuusarvon. Kuvion 13 mukaista tilannetta vastaava Boolean yhtälö:

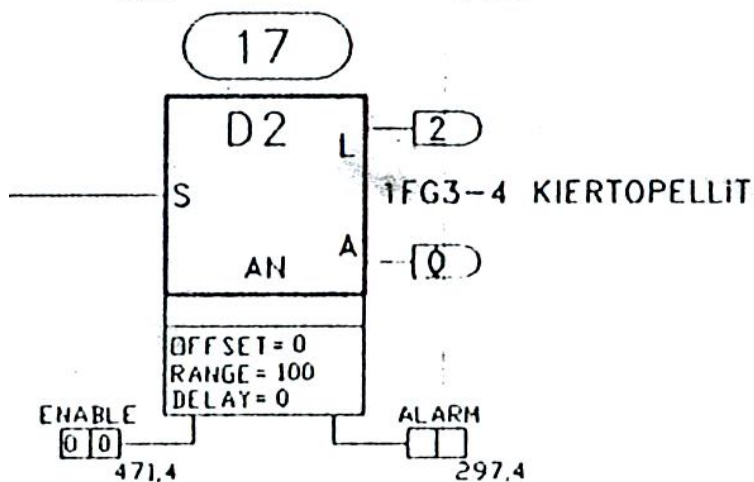
$$D = (E \cdot \bar{F}) + (\bar{F} \cdot G) + (\bar{F} \cdot \bar{H}), \quad (2)$$

missä D on toimilohkon lähtöportti ja E, F, G, H ovat lohkon tuloportteja.



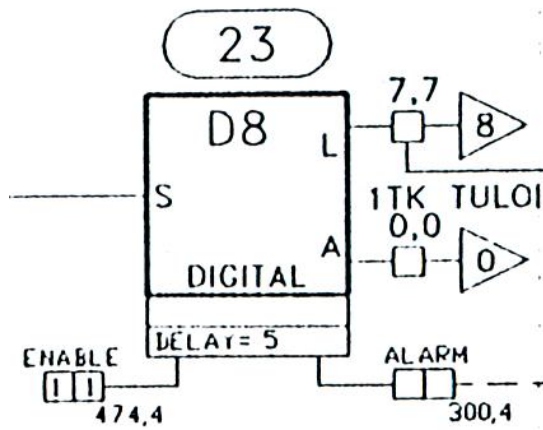
KUVIO 13. Logiikkatoimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Automaatioyksikön fyysisiä analogialähtöportteja ohjataan AN-toimilohkolla. Se näkyy kuviossa 14. Toimilohko saa porttiin S arvon väliltä 0–100. Offset-parametrilla voidaan arvoa nostaa nollassa ylöspäin käyttäen prosenttilukuja alueesta. Tämä ei vaikuta alueen ylärajaan. Delay-parametrilla saadaan lähtöön aikaiseksi viivettä. Lohkolla on myös hälytystoiminto. (Lamberg 2010.)



KUVIO 14. Analogialähtö. (Toimintaselostus 1998.)

Yksikön fyysisiä digitaalilähtöjä ohjataan DIGITAL-toimilohkoilla. Lohko näkyy kuviossa 15. Lohko voi saada vain tilan 1 tai 0 ja lähettää sen edelleen sille osoitettuun digitaalilähtöön. Lohkon tilan muutosta voidaan viivästyttää delay parametrilla. (Lamberg 2010.)



KUVIO 15. Digitaalilähtö. (Toimintaselostus 1998.)

Ohjelmistolla voidaan luoda kalentereita eli aikatauluja eri toiminnoille kalenteritoimilohkon avulla. Tämä toimilohko näkyy kuviossa 16. Kalenteriin voidaan asettaa kellonajat eri päiville. Kalenterin osoittamalla aikavälillä sen tila on 1 ja muulloin se on 0. Tällä toiminnolla voidaan esittää esimerkiksi käyttöaikoja ilmastoinnin tai lämmityksen ohjaukselle. (Lamberg 2010.)

TIME ZONE 1	PERIOD 1	
TITLE	1TK TULOILMAKONE	
	START	STOP
MONDAY	06:00~	18:00
TUESDAY	06:00	18:00
WEDNESDAY	06:00	18:00
THURSDAY	06:00	18:00
FRIDAY	06:00	18:00
SATURDAY	00:00	00:00
SUNDAY	00:00	00:00

KUVIO 16. Kalenteritoimilohko. (Toimintaselostus 1998.)

Ohjelmisto käyttää muitakin toimilohkoja, mutta nämä ovat tärkeimmät työn kohteena olevan ilmastoinnin ohjauksessa käytetyt lohkot. Muita toimilohkoja ovat esimerkiksi matemaattiset operoinnit, vertailu, hystereesi, ajastin ja laskuri (Lamberg 2010).

5 SUUNNITELMA

Uusi säätöstrategia luodaan kerättyjen vaatimusten osalta. Se näkyy kokonaisuudessaan liitteessä 3. Kuvioissa 17 ja 18 on suurennettu siitä tärkeimmät osat tarkempaa tarkastelua varten. Uutta strategiaa ei ole voitu viedä täysin loppuun puutteellisen tiedon vuoksi. Sen pitäisi soveltua nykyiseen kohteeseen muutaman lisäselvityksen jälkeen ja sitä voi soveltuvin osin käyttää muissakin vastaavissa tiloissa.

5.1 Tulokoneen 1 ilmanvaihdon ohjaus

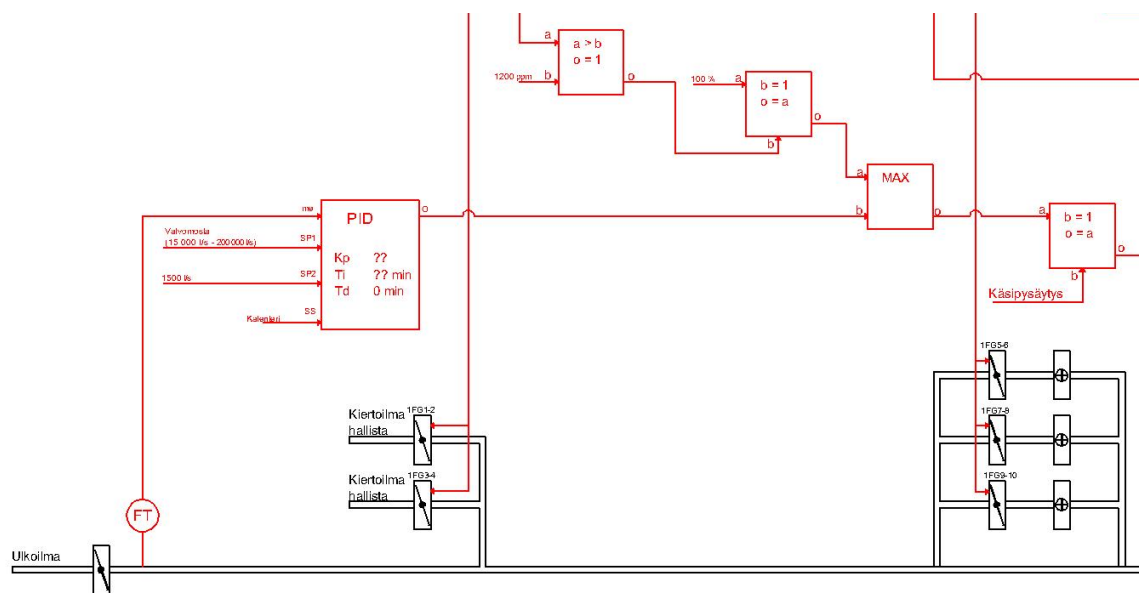
Tuloilmakone 1:n uuden ohjauksen pääideana on puhaltimen tehon säädettävyys. Puhaltimen moottorin ohjauksen täytyy siis tapahtua taajuusmuuttajalla, eikä kontaktorilla. Taajuusmuuttaja saa tiedon halutusta pyörimisnopeudesta Trendin automaatioyksiköltä.

Järjestelmän säädettävänä suurena toimii ulkoilmavirta, jonka pienimmät arvot saadaan ympäristöministeriön määräyksistä. Ulkoilmavirta täytyy mitata ennen kiertoilman liittymistä kanavistoon, sillä halutaan tietää tulevan raittiin ilman määrä. Vaikka TORBAR-mittarit sietävät turbulenttista ilmavirtaa paremmin kuin muut virtausmittarit, on syytä silti asentaa mittalaite mahdollisimman pitkälle suoralle kanavaosuudelle tarkimman mittatuloksen varmistamiseksi. Lähetin tulisi valita siten, että virtausnopeus kyettään muuttamaan virtaamaksi automaatiojärjestelmälle. Samalla on tarkistettava, että lähettimeltä lähtevä signaali on yhteensopiva automaatioyksikön kanssa.

Automaatiojärjestelmälle luotu ohjausstrategia ilmavirran säädölle näkyy kuviossa 16. Ideana on PI-säätimen avulla säätää puhaltimen tehoa. Säätimen mitta-arvo on siis mitattu ulkoilmavirta ja sen asetusarvo on valvomosta saatu haluttu virtaama. Hallin pohjapinta-ala on 10 000 m². Tästä johtuen ympäristöministeriön asettama 1,5 (l/s)/m² ulkoilmavirta tarkoittaa kyseisessä hallissa 15 000 l/s. Toisaalta tehdashalleissa käytettyä virtaamaa 20 (l/s)/m² vastaa kyseisessä hallissa 200 000 l/s oleva ma (Ilmastointi Salminen). Valvomosta saatu asetusarvo on välillä 15 000 l/s ja 200 000 l/s. Käyttöajan ulkopuolella kalenterin avulla vaihdetaan asetusarvoksi 1500 l/s, joka vastaa ympäristöministeriön antamaa käyttöajan ulkopuolella olevaa virtaamaa 0,15 (l/s)/m². Säätimen viritysparameetreja on mahdoton arvioida ilman prosessin tuntemusta.

Säädön tulisi kuitenkin olla hitaampi kuin lämpötilan säädön, jottei syntyisi ylimääräistä säätöliikettä kiertoilmapeltien asennon muutoksien takia.

Säätimen jälkeen ohjelmassa on varotoimi ilmanlaadun tarkkailulle. Kuviossa 16 yläreunassa oleva vertailulohko vertailee hallissa olevan ilmanlaadun seurantalaitteen saamaa arvoa kyseisen aineen raja-arvoon. Mikäli tämä ylittyy, ohjaa seuraavaksi vuorossa oleva porttilohko ulostulokseen arvon 100 %. PI-säätimen ohjausarvoa ja edellä mainitun porttilohkon ulostuloja verrataan toisiinsa ja suurempi lähtee taajuusmuuttajalle. Viimeisenä osana ohjelmaa ennen analogialähtöporttia on varmistus käsipysäytyksen tilasta.



KUVIO 16. Virtaaman ohjaustoiminto

Lämmityksen ohjaukseen on tehty muutama muutos alkuperäiseen ohjaukseen verrattuna. Koska ympäristöministeriön säädösten mukaisesti ilmanvaihto toimii ympärivuorokautisesti, on säätimistä poistettu käyttöajan ulkopuolinen pysähdys. Pääsäätimen asetusarvo muuttuu kalenterin avulla käyttöajan ulkopuolella alhaisemmaksi. Järjestelmästä on poistettu myös yölämmitys ja käsikäyttö.

5.2 Hallin poistoilmakoneiden ohjaus

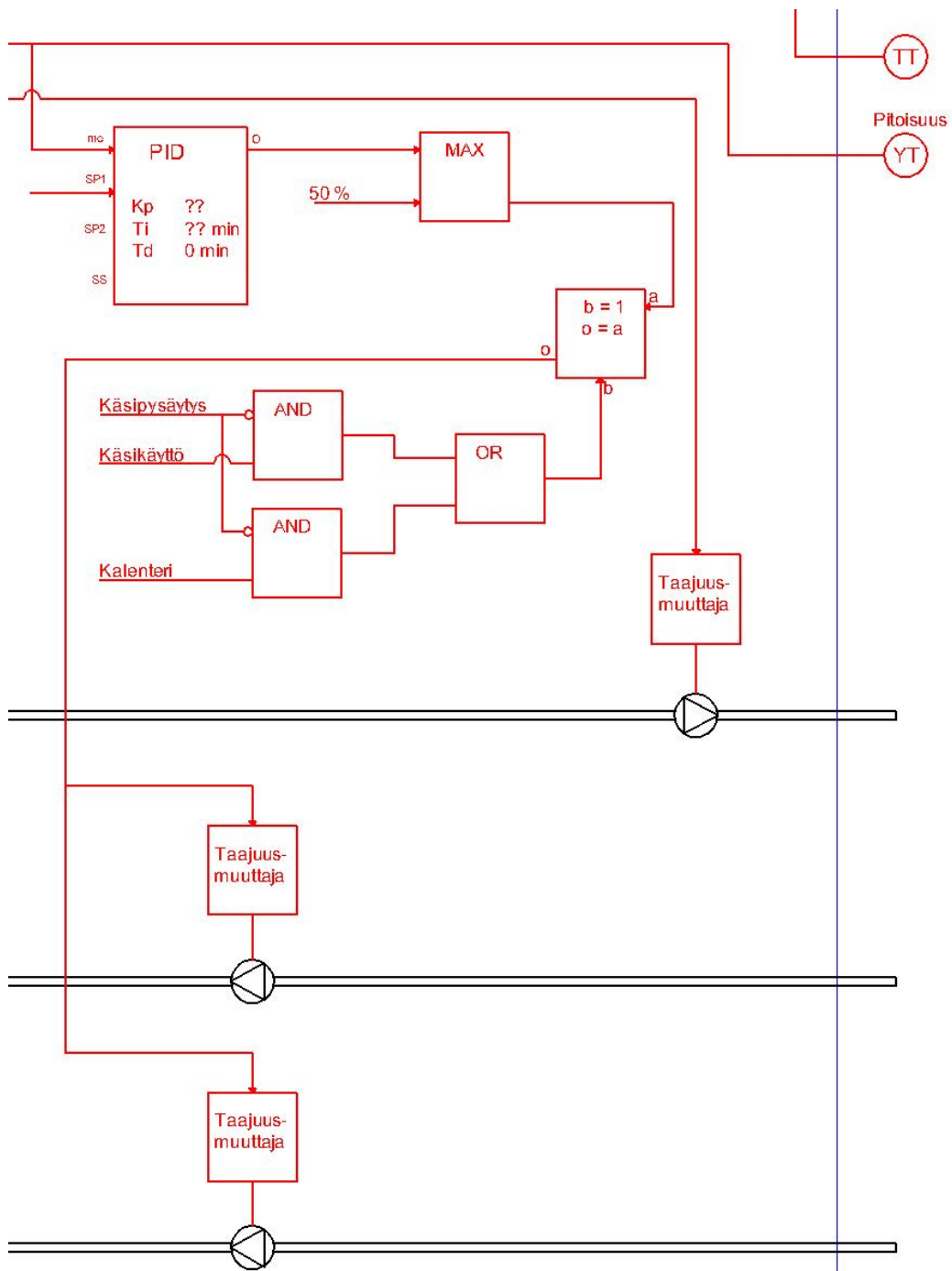
Toisessa hallin poistoilmapuhaltimessa oli valmiiksi taajuusmuuttajaohjaus. Se oli kuitenkin ulkopuolella Trendin automaatiojärjestelmästä ja perustui taajuusmuuttajan sisä-

seen säätimeen. Toisessa poistoilmapuhaltimessa ei ollut ohjausta. Tähänkin puhaltimeen tulisi asentaa taajuusmuuttaja, sillä puhaltimen vaikutusalue on suurempi kuin ohjatun poistoilmapuhaltimen.

Säädön kohteena on ilmanlaatu. Sitä seurataan mittaamalla hallista hiilidioksidipitoisuutta lähellä työpisteitä, jotta saadaan selville työntekijöihin vaikuttava ilmanlaatu. Mittalaitteita on mahdollista asentaa useampi laajalle alueelle ja säätö tehdään pahimman tuloksen pohjalta.

Poistoilmapuhaltimien säätöstrategia näkyy kuviossa 17. Ohjelmassa oleva PI-säädin saa mittauservokseen ilman hiilidioksidipitoisuuden ja asetusarvokseen hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvon, 1000 ppm. Säätimen viritysparametreja ei voida määrittellä tuntematta prosessia paremmin. Säädön tulee kuitenkin olla hidas, sillä hallissa tapahtuvat muutokset ilmanlaadussa ovat hitaita. Säädintä seuraavalla maksimiarvolohkolla varmistetaan poistoilmapuhalluksen pienin teho käyttöaikana. Tämä tehdään, sillä ilmassa on paljon muitakin epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa.

Porttilohkolla on luotu käyttöehdot poistoilmapuhallukselle. Käsipysäytys sammuttaa poiston aina. Muuten puhallin on toiminnassa kalenterin ja käsikäyttökytkimen niin salliessa. Hallissa on painovoimainen poistoilmajärjestelmä, joten käyttöajan ulkopuolella ei tarvita koneellista poistoilmaa.



KUVIO 17. Poistoilmakoneiden ohjaus.

5.3 Toimistotilan ilmanvaihtokoneiden ohjaus

Toimistotilojen ilmanvaihtoa ei kyetä järkevästi parantamaan automaatiojärjestelmällä. Tuloilmaan ei sekoiteta kiertoilmaa, joten tuloilmakanavistossa kiertää täysin raitisilma. Mikään tekijä ei aiheuta tarvetta muuttaa tuloilman määrää käyttöaikana. Käyttöajan ulkopuolella tarvittava ilmavirta tulee viereisestä hallitilasta, joten tuloilmapuhallin voidaan pysäyttää nykyisen ohjauksen tapaan.

Poistoilman kannalta tilanne on ongelmallisempi. Nykyinen puhallin on huomattavasti ylimitoitettu tarpeeseen nähden. Poistoilmasuuttimia on jouduttu sulkemaan osassa tilaa poistoilman rajoittamiseksi. Kyseessä on kuitenkin kanavapuhallin, jota ei päästä käsittelemään purkamatta kanavistoa. Kyseisen puhaltimen nykyinen ohjaus on tuntematon. Kuten toimistojen tuloilmankin kanssa ei siltä vaadita kuin kaksi tilaa, päällä ja pois päältä, joten taajuusmuuttajaohjaus olisi tilanteen ylimitoitusta.

6 YHTEENVETO

Työn aiheena ollut uusi ilmanvaihdon ohjausstrategia pyrkii noudattamaan ympäristöministeriön ja työterveyslaitoksen ilmanvaihdolle asettamia ohjeita. Tavoitteiden osalta suunnitelman pitäisi toteutua. Ilmanvaihdon energiatehokkuus kasvaa, sillä puhaltimet eivät käy täydellä teholla. Lisäksi käyttöajan ulkopuolella on jatkuva alhaisen tehon puhallus ja lämmitys käynnissä, eikä järjestelmän tarvitse käynnistyä tyhjältä aina yölämmityksen niin vaatiessa. Työskentelyolosuhteiden pitäisi parantua liiallisen ilmavirtauksen vähentyessä, koska puhaltimet eivät toimi enää jatkuvasti täydellä teholla. Ilmanlaadun seuranta ja ohjaus tehostavat työhyvinvointia. Järjestelmä on suunniteltu laitteita myöten siten, että sitä voidaan jatkossa laajentaa, kuten viimeinen työlle asetettu tavoite vaati.

Työn aikana luotu uusi säätöstrategia ei kuitenkaan ole optimaalinen ratkaisu kyseisen tilan ilmanvaihdolle. Toiminnaltaan paras ratkaisu olisi, jos matalan hallin ilmanvaihtojärjestelmä erotettaisiin korkeamman hallin ilmanvaihdosta. Kyseisien hallien tarpeet ilmanvaihdolle ovat liian erilaiset, jotta ne voitaisiin toteuttaa optimaalisesti yhdellä tuloilmakoneella. Toinen ilmanvaihdon laatua parantava muutos olisi korkean hallin poistoilman vaihtaminen painovoimaisesta koneelliseksi. Tällöin poistoilman seuranta ja ohjaus olisi tehokkaammin toteutettavissa. Tämä lisäisi ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusmahdollisuuksia ja järjestelmän optimoimisen mahdollistamista. Viimeinen muutos olisi matalaan halliin tulevan toimiston poistoilmakanavan ohjaaminen katolle hallin sijaan. Tästä kanavasta tuleva jäteilma heikentää hallin jo muutenkin heikkoa ilmanlaatua entuudestaan.

Työn yhteydessä tehty tarkempi selvitys ilmanvaihdolle asetetuista vaatimuksista, käytettävistä laitteistoista ja Trendin automaatiojärjestelmistä mahdollistaa muidenkin ilmanvaihtojärjestelmien tarkemman ohjauksen. Luotu ohjausstrategia on myös soveltuvin osin käytettävissä vastaavissa ilmanvaihtojärjestelmissä.

LÄHTEET

ABB. Torbar Averaging Pitot Tubes Economical Flow Metering Solutions for Gases, Liquids and Steam. Luettu 6.3.2015

[http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/515d2522afafd358c12575a9002bd35b/\\$file/PB_Torbar_EN_%20Issue%201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot203.nsf/veritydisplay/515d2522afafd358c12575a9002bd35b/$file/PB_Torbar_EN_%20Issue%201.pdf)

Caledonia. Torbar-mittalaitteen toimintaperiaate. Kuva. Luettu 6.3.2015.

<http://www.cal-inst.com/Torbar-Pitot-Flowmeters/37.htm>

Ilmastointi Salminen Oy. 2014. Keskustelut eri henkilöiden kanssa.

International Light Technologies. Luettu 6.3.2015.

<http://www.intl-lighttech.com/applications/light-sources/ndir-gas-sensor-lamps>

Lamberg, J. 2010. Lämmönjakokohteen logiikkaohjelmiston yksinkertaistaminen. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

LumaSense Technologies. Luettu 6.3.2015.

<http://www.lumasenseinc.com/EN/solutions/techoverview/ndir/>

Sampo-Rosenlew Oy. Pohjapiirustukset. 2.12.2002

Sampo-Rosenlew Oy. Luettu 3.4.2015. <http://www.sampo-rosenlew.fi/fi/etusivu.html>

Sandberg, E. (toim.) 2014a. Ilmastointilaitoksen mitoitus – Opastus sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E. (toim.) 2014b. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät – Perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Talotekniikka-Julkaisut Oy

Trend. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Luettu 29.3.2015.

<http://www.energycontrolsonline.co.uk/shop/CD/index.html>

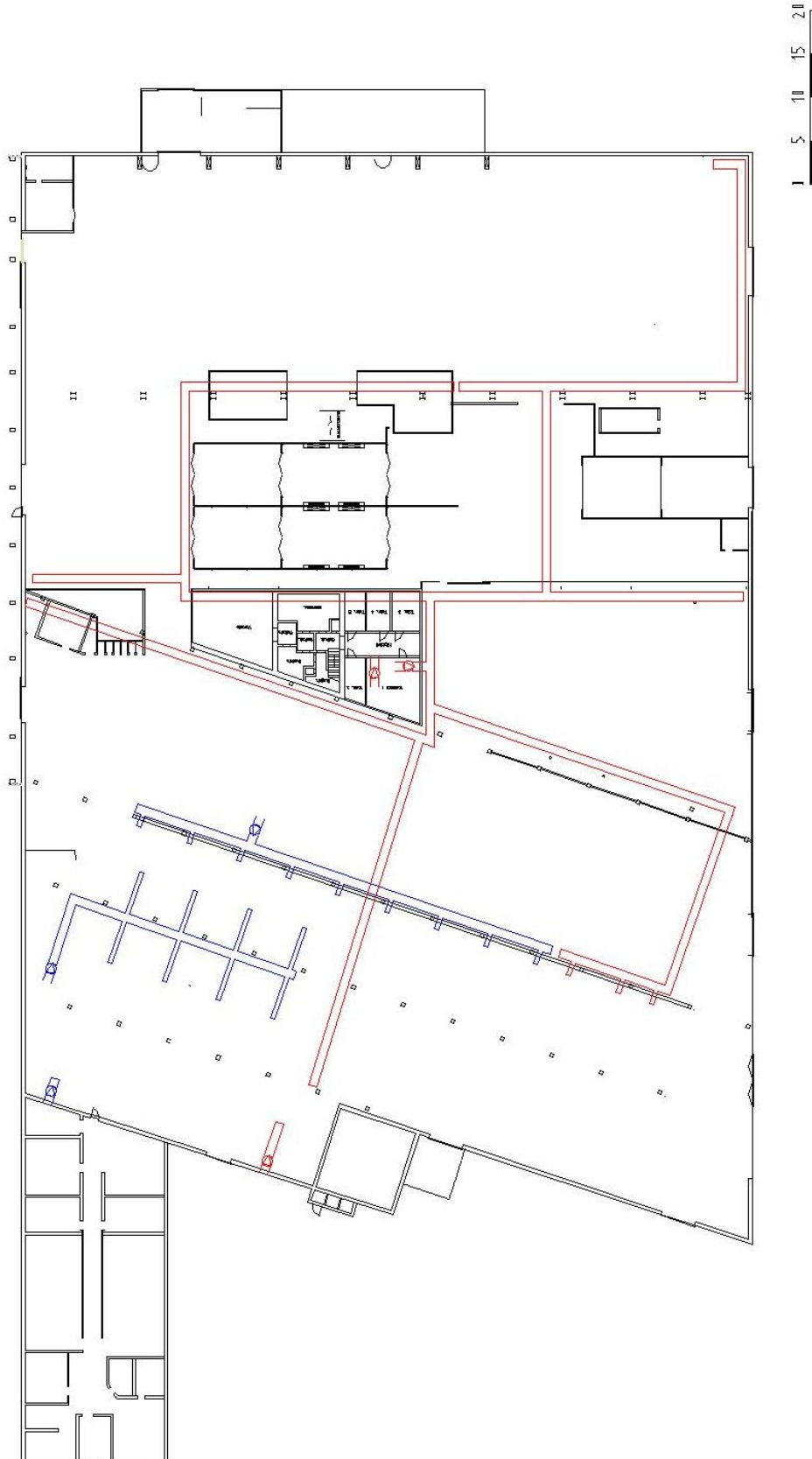
Trentec. Toimintaselostus. 12.3.1998

Työterveyslaitos. Terästen hitsaussavun / huurun tavoitetasoperustelumuistio. 11.10.2011.

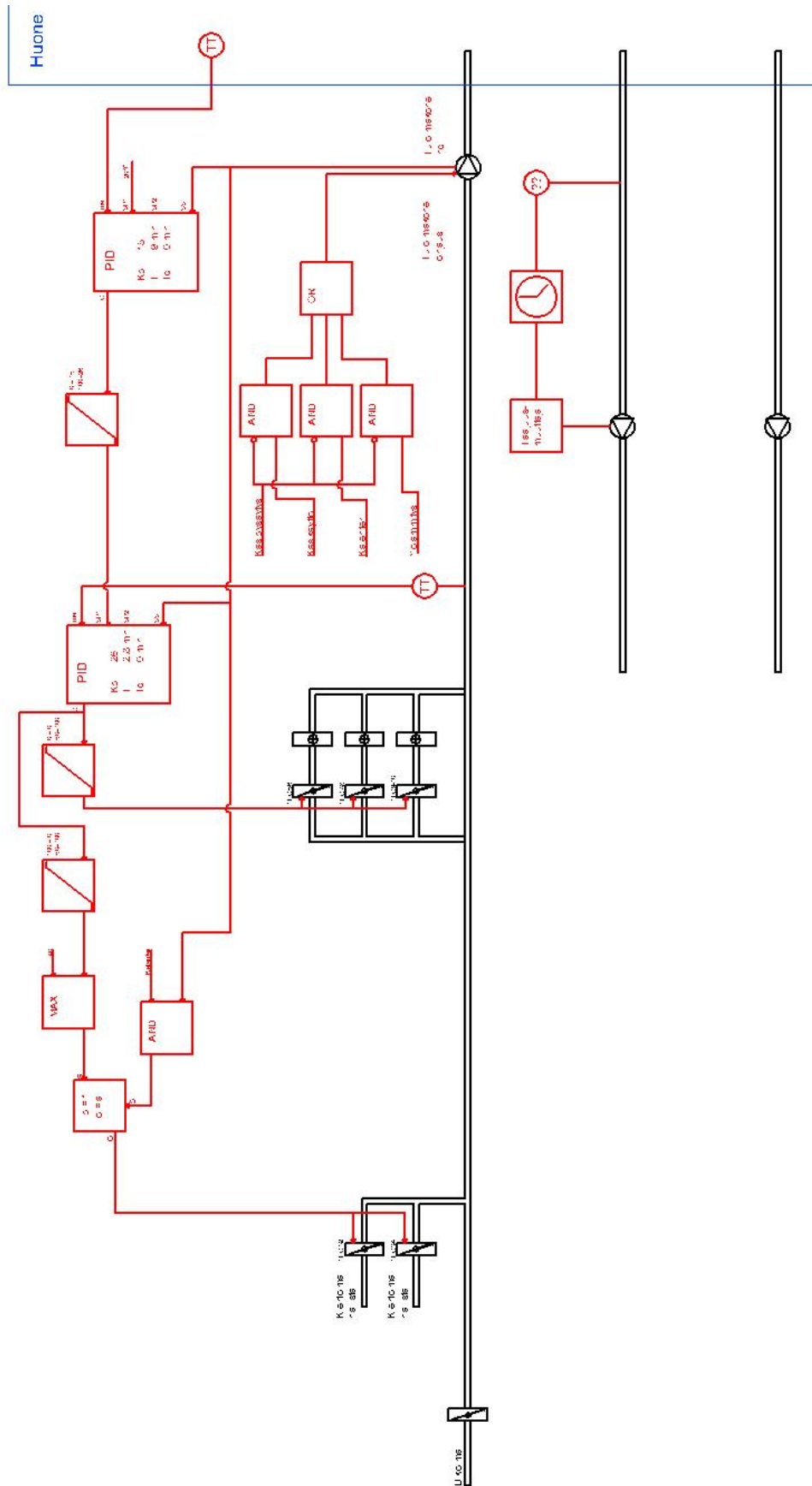
Ympäristöministeriö. D2. Asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta 30.3.2011

LIITTEET

Liite 1. Hallin pohjapiirustus ilmanvaihtokanavista. (Pohjapiirustukset 2002.)



Liite 2. Nykyinen ilmanvaihdon säätöstrategia.



Liite 3. Uusi ilmanvaihdon säätöstrategia.

