

Janne Löfman

# Muuttuvilmavirtaisten ilmastointijärjestelmien ohjaus ja säätö toimistorakennuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.5.2018

|   |  |
|---|--|
| Tekijä<br>Otsikko   | Janne Löfman<br>Muuttuvailmavirtaisten ilmastointijärjestelmien ohjaus ja säätö<br>toimistorakennuksessa |
| Sivumäärä<br>Aika   | 42 sivua<br>5.5.2018   |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma  | talotekniikka  |
| Ammatillinen pääaine  | LVI-suunnittelu  |
| Ohjaajat  | ryhmäpäällikkö Kauri Salminen<br>lehtori Katri Onnela  |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää vaihtoehtoisia ratkaisuja muuttuvien ilmavirtojen ohjaukseen ja säätöön erityisesti toimistokäyttöön tarkoitettujen rakennusten ilmastointijärjestelmissä. Työssä perehdyttiin erilaisiin muuttuvailmavirtajärjestelmien järjestelmäperiaatteisiin sekä järjestelmiin soveltuviin ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteisiin. Työ koostuu teoriaosuudesta sekä esimerkkikohteen käsittelystä.</p> <p>Työn teoriaosuudessa selvitettiin muuttuvailmavirtaperiaatteella toteutettavien ilmastointijärjestelmien ilmavirtojen ohjaus- ja säätöperiaatteita sekä järjestelmiin liittyvien ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteiden toimintaa. Ilmavirtojen säätölaitteita käsittelevässä osuudessa perehdyttiin erityisesti ilmanvaihtokanavistoon asennettavien ilmavirtasäätimien ominaisuuksiin ja ohjauslaitteita käsittelevässä osuudessa erilaisten huoneantureiden toimintaan. Ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteisiin liittyvän teoriaosuuden yhteydessä esiteltiin laitteista muutamia saatavilla olevia esimerkkituotteita.</p> <p>Esimerkkikohteenä työssä tarkasteltiin erään toimisto- ja liikerakennuksen ilmastointijärjestelmiin tehtyjä muutostöitä, joissa vakioilmavirtaperiaatteella toimineet ilmastointijärjestelmät muutettiin muuttuvailmavirtaperiaatteella toimiviksi järjestelmiksi. Esimerkkikohteen tarkastelulla pyrittiin selvittämään, mitä muutostöitä ilmastointijärjestelmiin tulisi tehdä, jotta toimistorakennuksen ilmastointijärjestelmä toimisi tarpeenmukaisesti ja järjestelmä tukisi paremmin tilojen käyttötarkoitusta sekä käyttäjiä.</p> <p>Työn tuloksista voidaan todeta, että ilmavirtojen tarpeenmukaiselle ohjauksen ja säädön toteutukselle on saatavilla monenlaisia vaihtoehtoja. Ilmastointijärjestelmien tarpeenmukainen ilmavirtojen ohjaus voidaan toteuttaa niin järjestelmä-, vyöhyke-, kerros- kuin huonekohtaisestikin.</p> |  |
| Avainsanat  | muuttuvailmavirta, ilmastointijärjestelmä, toimistorakennus  |

|  |   |
|--|---|
| Author<br>Title<br>Number of Pages<br>Date   | Janne Löfman<br>Controlling and Adjusting Variable Air Conditioning Systems in Office Buildings<br>42 pages<br>5 May 2018 |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Building Services Engineering   |
| Professional Major   | HVAC Design   |
| Instructors  | Kauri Salminen, Group Manager<br>Katri Onnela, Senior Lecturer  |
| <p>The objective of this bachelor's thesis was to find alternative solutions for control and adjustment of variable air flows in air conditioning systems especially in office buildings. A major aim was to find out which equipment is usually used in variable air volume systems and what impact it had on the function of the systems.</p> <p>The functions of equipment and systems were established by studying literature about the subject and by exploring technical guides published by equipment manufacturers. Furthermore, a case building, an office building in Helsinki was studied. The study of the case building showed what modifications were made to the air condition systems during a renovation.</p> <p>The results of the final year project showed that there are many ways to carry out demand-controlled ventilation and its control and adjustment. The client company can make good use of the results of this study. The thesis will support the design of ventilation systems and ease the process of choosing equipment to control and adjust air flows. The results can be used for both new construction and renovation projects.</p> |   |
| Keywords   | variable air flow, air conditioning system, office building   |

# Sisällys

## Lyhenteet

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto  | 1  |
| 2     | Ilmanvaihto   | 2  |
| 2.1   | Ilmanvaihto yleisesti                                   | 2  |
| 2.2   | Rakennusten ilmanvaihdon suunnittelu ja rakentaminen    | 3  |
| 3     | Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät                 | 3  |
| 3.1   | Ilmanvaihtojärjestelmät                                 | 4  |
| 3.2   | Ilmastointijärjestelmät                                 | 4  |
| 3.3   | Ilmajärjestelmät  | 6  |
| 3.3.1 | Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV-järjestelmä              | 7  |
| 3.3.2 | Muuttuvilmavirtajärjestelmä, VAV-järjestelmä            | 8  |
| 3.3.3 | Huonekohtainen toteutus                                 | 9  |
| 3.3.4 | Vyöhykekohtainen toteutus                               | 10 |
| 4     | Ilmavirtojen säätö                                      | 12 |
| 4.1   | Paineesta riippuva ilmavirtasäädin                      | 13 |
| 4.2   | Paineesta riippumaton ilmavirtasäädin                   | 14 |
| 4.3   | Vakiopainesäädin  | 16 |
| 4.4   | Vakiovirtaussäädin                                      | 17 |
| 4.5   | Aktiivipäätelaite                                       | 17 |
| 5     | Ilmavirtojen ohjaus                                     | 18 |
| 5.1   | Säädökset ilmavirtojen ohjaukselle                      | 18 |
| 5.2   | Yleistä ilmavirtojen ohjauksesta                        | 19 |
| 5.2.1 | Ilmavirtojen ohjaus lämpötilatiedon perusteella         | 21 |
| 5.2.2 | Ilmavirtojen ohjaus todellisen läsnäolon perusteella    | 23 |
| 5.2.3 | Ilmavirtojen ohjaus huoneilman laadun perusteella       | 25 |
| 5.2.4 | Ilmavirtojen ohjaus aikaohjelman perusteella            | 26 |
| 5.2.5 | Huonesäätimet   | 28 |
| 6     | Muuttuvilmavirtaiset järjestelmät toimistorakennuksissa | 28 |
| 6.1   | Perinteinen järjestelmä                                 | 29 |
| 6.2   | Vakiopainejärjestelmä                                   | 30 |

|     |                              |    |
|-----|------------------------------|----|
| 6.3 | Paineoptimoitu järjestelmä   | 32 |
| 7   | Case: Ratavirtijankatu 3     | 34 |
| 7.1 | Tilanne ennen muutostöitä    | 34 |
| 7.2 | Tilanne muutostöiden jälkeen | 36 |
| 8   | Yhteenveto ja päätelmät      | 38 |
|     | Lähteet                      | 41 |

## Lyhenteet

|     |  |
|-----|--|
| CAV | <i>Constant Air Volume System.</i> Vakioilmavirtajärjestelmä.    |
| IMS | <i>Ilmamääräsäädin.</i>  |
| IVS | <i>Ilmavirtasäädin.</i>  |
| VAV | <i>Variable Air Volume System.</i> Muuttuvailmavirtajärjestelmä. |
| VPS | <i>Vakiopainesäädin.</i>   |
| VVS | <i>Vakiovirtaussäädin.</i>                                       |

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää muuttuvilmavirtajärjestelmäperiaatteilla toimivien ilmastointijärjestelmien vaihtoehtoisia toteuttamistapoja toimistokäyttöön tarkoitetuissa rakennuksissa. Työ painottuu käsittelemään muuttuvilmavirtaisten ilmastointijärjestelmien ilmavirtojen ohjausperiaatteita sekä ilmavirtojen säätölaitteita.

Työn teoriaosuudessa selvitetään muuttuvilmavirtaperiaatteella toteutettavien ilmastointijärjestelmien ilmavirtojen ohjaus- ja säätöperiaatteita sekä järjestelmiin liittyvien ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteiden toimintaa. Ilmavirtojen säätölaitteita käsittelevässä osuudessa käsitellään erityisesti ilmanvaihtokanavistoon asennettavien ilmavirtasäätimien ominaisuuksia ja ilmavirtojen ohjauslaitteita käsittelevässä osuudessa erilaisia järjestelmiin soveltuvia huoneantureita. Ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteisiin liittyvän teoriaosuuden yhteydessä esitellään laitteista muutamia saatavilla olevia esimerkkituotteita. Insinööriyön painottuessa käsittelemään ilmastointijärjestelmien ohjaus- ja säätötapoja rajataan sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteiden hallinnan käsittely pienemmälle huomiolle.

Työssä esitellään esimerkkikohteena pääkaupunkiseudulla sijaitsevaan liike- ja toimistorakennukseen tehtyä ilmastointijärjestelmiin liittyntä peruskorjausta, jonka yhteydessä rakennuksen toimistokerroksia palvelleet ilmastointijärjestelmät muutettiin vakioilmavirtaperiaatteella toimineista järjestelmistä muuttuvilmavirtaperiaatteella toimiviksi järjestelmiksi. Esimerkkikohteen käsittelyllä selvitetään, mitä muutoksia järjestelmiin tehtiin, jotta ilmastointijärjestelmät saatiin muutettua tarpeenmukaisesti ohjautuviksi ja uutta tilajakoa palveleviksi.

Insinööriyön tilaaja on Granlund Oy, joka on suomalainen talotekniikkasuunnitteluun, ympäristö- ja energia-asioiden konsultointiin sekä ohjelmistoihin keskittynyt yritys. Yritys on perustettu vuonna 1960, ja se työllistää noin 800 henkilöä. [1]

Tämän insinööriyön tuloksia tullaan käyttämään Granlund Oy:n sisäiseen käyttöön tukemaan ilmastointijärjestelmien ja järjestelmiin liittyvien ilmavirtojen ohjaustapojen suunnittelua ja valintaa erityisesti korjausrakennuskohteissa.

## 2 Ilmanvaihto

### 2.1 Ilmanvaihto yleisesti

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan huoneilman laadun ylläpitämistä sekä parantamista vaihtamalla huoneen ilmaa. Oleskelutiloihin on niiden käyttöaikana johdettava turvallisen, viihtyisän ja terveellisen sisäilman laadun varmistamiseksi riittävä ulkoilmavirta. Ilmanvaihto tulee suunnitella niin, että se vastaa tilojen ja niissä harjoitettavan toiminnan tarpeita. [2, s. 1, 4.]

Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda rakennuksiin puhdasta ilmaa ihmisten hengitettäväksi ja poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet. Epäpuhtauksia vapautuu huoneilmaan pääsääntöisesti rakennus- ja sisustusmateriaaleista, minkä vuoksi perusilmanvaihdon tulisi toimia jatkuvasti vähintään minimiteholla. Tilojen käyttöaikana epäpuhtauksia vapautuu huoneilmaan lisäksi ihmisten ja laitteiden toiminnan seurauksena, jolloin tarvittavan ilmanvaihdon määrä on suurempi. Asuinrakennuksen ilmanvaihtoa voidaan pitää sopivana, kun ilma vaihtuu oleskelutiloissa vähintään kerran kahdessa tunnissa. [3, s. 5.]

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroon, joka saadaan aikaan joko puhaltimilla tai lämpötila-eron ja tuulen yhteisvaikutuksella. Puhaltimella toteutettua ilmanvaihtoratkaisua kutsutaan koneelliseksi ilmanvaihdoksi ja lämpötila-erojen ja tuulen yhteisvaikutuksella toteutettuja ratkaisuja painovoimaiseksi ilmanvaihdoksi. Koneellinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko tulo- ja poistoilmanvaihtoperiaatteella tai pelkällä poistoilmanvaihdolla. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtoperiaatteessa ilma tuodaan ja poistetaan tiloista erillisten puhaltimien avulla, kun taas pelkässä poistoilmanvaihdolla toteutetussa järjestelmässä ilma johdetaan tilaan esimerkiksi ulkoilmaventtiilien tai rakenteiden ilma-vootojen kautta ja poistetaan koneellisesti puhaltimien avulla. Mikäli tiloihin tuotavaa ilmaa jäähdytetään tai kostutetaan, on kyse ilmastoinnista. [3, s. 5.]

Ilmanvaihto pyritään toteuttamaan siten, että puhdas ilma tuodaan tiloihin, joissa oleskellaan ja poistetaan tiloista, joissa epäpuhtauksia pääasiassa syntyy. Ilma pyritään saamaan virtaamaan oleskelutiloista siirtoilmana aputiloihin, jotka varustellaan poistoilman päätelaitteilla [3, s. 5]. Toimistorakennuksissa oleskelutiloja voivat olla esimerkiksi avoimisto- ja aulatilat ja aputiloja WC-, keittiö- ja siivoustilat.



## 2.2 Rakennusten ilmanvaihdon suunnittelu ja rakentaminen

Suomessa rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamista säädetään ympäristöministeriön Helsingissä 27.12.2017 julkaiseman asetuksen 1009/2017 mukaan. Säädöskokoelman asetukset koskevat uuden rakennuksen, rakennuslaajennuksen ja kerrosalaan laskettavan tilan lisäämisen yhteydessä sisäilmastoon ja ilmanvaihtoon tehtävien muutostöiden suunnittelua ja rakentamista. Asetusta ei sovelleta maatalouden tuotantorakennuksiin eikä sellaisiin uusiin asuinrakennuksiin, jotka on tarkoitettu käytettäväksi vähemmän kuin neljän kuukauden ajan vuodessa. [2, s. 1.]

Asetus 1009/2017 ilmanvaihdon suunnittelusta ja rakentamisesta tuli voimaan 1.1.2018, ja se kumosi samalla aiemman, vuonna 2011 julkaistun rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan määräyskokoelman osan D2 – Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. Uudet asetukset joustattavat säännöksiä ja antaa suunnittelijoille aiempaa enemmän vapauksia. Uusilla asetuksilla pyritään edistämään energiatehokkaiden rakennusten rakentamista kustannustehokkaasti tinkimättä rakennuksen hyvästä sisäilmastosta. [4]

Rakennusten ilmanvaihdon suunnittelun tueksi ympäristöministeriö tilasi kesällä 2017 FINVAC ry:ltä selvityksen ilmanvaihdon ilmavirtojen suunnitteluarvoista. Selvityksen tarkoituksena oli laatia ohjearvot ilmanvaihdon ilmavirtojen määrittämiselle asuinrakennuksissa sekä muissa kuin asuinrakennuksissa. FINVAC ry nimesi työhön asiantuntijaryhmän, johon kutsuttiin sisäilmasto- ja ilmanvaihtoasiantuntijoita eri aloilta. Lopputuloksena saatiin synteesi asiantuntijoiden kokemuksista ja näkemyksistä sekä kansainvälisistä ilmanvaihtoon liittyvistä standardeista. Laaditun ohjeistuksen nimi on ”Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet”. [5, s. 3.]

## 3 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät poikkeavat monesti hyvin vähän toisistaan, minkä vuoksi termejä käytetään vaihtelevasti myös alan ammattilaisten keskuudessa. Periaatteellinen ero järjestelmien välillä on tuloilman käsittelyssä ja ilmavirtojen mitoituksessa. Termit sekoittuvat usein senkin takia keskenään, kun ei voida tietää jonkun kyseessä olevan rakennuksen järjestelmien mitoitus- tai toimintaperiaatteita. [6, s. 113.]

### 3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmillä (ventilation system) tarkoitetaan sisäilman laatutavoitteiden, eli ilman puhtauden hallintaa, jolloin ilmapirrat mitoitetaan palveltavien tilojen ilman puhtaustarpeen mukaan. Vaikka ilmanvaihtojärjestelmä suunniteltaisiin toimimaan tarpeen mukaisesti, sitä ei silti tulisi kutsua ilmastointijärjestelmäksi. [6, s. 113.]

Ilmanvaihtojärjestelmä tulee suunnitella ja rakentaa rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo edellytykset terveelliselle, viihtyisälle ja turvalliseen sisäilmastolle tavanomaisissa sääoloissa. Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelussa tulisi huomioida myös rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen mahdolliset muutokset. [7, s. 13.]

Ympäristöministeriön ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelemiselle laatimien asetusten mukaan järjestelmät on suunniteltava siten, että niiden keskeisiä toimintoja voidaan mitata, seurata sekä ohjata. Järjestelmien toiminta tulee voida pysäyttää kokonaisuudessaan, ja oikein huollettuna, käytettynä ja kunnossapidettynä järjestelmien tulee kestää toimintakuntoisena suunnitellun käyttöajan. [2, s. 4.]

### 3.2 Ilmastointijärjestelmät

Ilmastointijärjestelmillä (air conditioning system) tarkoitetaan ilman puhtauden hallinnan lisäksi sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteiden hallintaa. Ilmastointijärjestelmissä tuloilmavirtojen mitoitus riippuu tilojen jäähdytyksen ja lämmityksen toteutustavasta. Ilmapirrat voidaan mitoittaa kokonaan tilan tarvittavan jäähdytyskuorman ja lämmitystarpeen perusteella tai siten, että osa tilan tarvittavasta jäähdytystehosta toteutetaan erillisillä jäähdyttävillä huonelaitteilla, jolloin tuloilmavirtojen tarve on pienempi. Jäähdyttävä huonelaite voi olla esimerkiksi tilan alakattoon asennettu puhallinkonvektori, jonka sisältämä puhallin tai puhaltimet kierrättävät huoneilmaa puhallinkonvektorin sisällä olevan lamellipatterin läpi. Ilmastointijärjestelmissä sisään otettavan ulkoilman jäähdyttämisellä myös kuivatetaan tiloihin puhallettavaa tuloilmaa, jolloin sisäilman suhteellinen kosteus ei pääse liian suureksi. Ulkoilmaolosuhteista riippuen ilmastointijärjestelmä voidaan tarvittaessa varustaa myös ilman kostuttimella tai kuivaimella. [6, s. 113, 138.]

Ilmavirtojen ohjaus- ja säätötavat ovat periaatteiltaan hyvin samanlaiset kaikissa ilmastointijärjestelmissä riippumatta siitä, miten tilojen jäähdytys on toteutettu. Ilmavirtojen mitoitus eri järjestelmätyyppien välillä perustuu siihen, toteutetaanko tilojen jäähdytys kokonaan keskitetysti ilmanvaihdon avulla, tilakohtaisilla tilajäähdyttimillä vai ilmanvaihdon ja tilajäähdytyksen yhteisvaikutuksella. [8]

Ilmastointijärjestelmät luokitellaan sen mukaan, miten tilojen tarvitsema jäähdytysteho tuodaan huoneeseen. Kuva 1 on periaatekuva ilmastointijärjestelmien jaottelusta. Jaottelussa järjestelmät on jaettu neljään pääryhmään sen mukaan, miten järjestelmien ilmavirrat mitoitetaan ja jäähdytys toteutetaan. Periaatekuvassa jokaisessa ryhmässä on esimerkkejä kyseisen ryhmän järjestelmistä sekä selvitys ilmavirtojen mitoitusperiaatteesta. [6, s. 129.]

| Ilmastointijärjestelmien jaottelu  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Ilmajärjestelmät   | Ilma-vesijärjestelmät   | Vesijärjestelmät   | Hajautetut järjestelmät   |
| <p>Vakioilmavirtajärjestelmä</p> <p>Muuttuvilmavirtajärjestelmät:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konekohtainen säätö</li> <li>• Vyöhykekohtainen säätö</li> <li>• Huonekohtainen säätö</li> </ul> <p>Ilmavirta mitoitetaan jäähdytystarpeen mukaan, vakioilmavirralla tarvittaessa huonekohtaisia jälkilämmityspattereita.</p> | <p>Puhallinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Suutinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyspalkkijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyspaneelijärjestelmä</p> <p>Jäähdytyskatto- ja jäähdytyslattiajärjestelmät</p> <p>Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Jäähdytys tuloilmalla ja laitteen jäähdytysvesipatterilla. Lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.</p> | <p>Puhallinkonvektorijärjestelmä</p> <p>Muut puhallinpatterijäähdytysjärjestelmät</p> <p>Ilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen mukaan. Ilmanvaihto erikseen jäähdytyksestä. Jäähdytys laitteen jäähdytysvesipatterilla ja lämmitys laitteen lämmitysvesipatterilla tai radiaattoreilla.</p> | <p>Huonekohtaiset jäähdytyslaitteet</p> <p>Huoneistokohtaiset jäähdytyslaitteet</p> <p>Ilmalämpöpumput (jos edellisissä lämpöpumpputoiminto mukana)</p> <p>Ilmanvaihto ja jäähdytys samassa huone- tai huoneistokohtaisessa yksikössä, yleensä suorahöyrysteisessä jäähdytyslaitteessa.</p> |

Kuva 1. Ilmastointijärjestelmien jaottelu [6, s. 129].

Lähtökohtana ilmastointijärjestelmän valinnassa on tilakohtaiset sisäilmastotavoitteet, joiden tultua hyväksytyksi LVI-suunnittelija ryhmittelee rakennettavat tilat vyöhykkeiksi arkkitehdin kerroskohtaisten pohjaratkaisujen perusteella. Vyöhykkeiden määrittelyssä tulee huomioida palo-osastot sekä pystykanavien ja konehuoneiden sijainnit. [9, s. 30.]

Ilmastointijärjestelmien ja niihin liittyvien ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden määrittelyssä tärkeintä on määrittää tilojen käyttötaparyhmä. Käyttötaparyhmän määrittelyllä selvitetään, mitä tiloja voidaan paloturvallisuuden kannalta yhdistää samaan keskusilmastointilaitokseen. Keskusilmastointilaitoksella tarkoitetaan ilmastointijärjestelmää, jossa ilmastointikoneet palvelevat kahta tai useampaa palo-osastoa. Mikäli joitakin tiloja ei saa yhdistää samaan ilmastointilaitokseen, niiden tulo- ja poistoilmakoneita ei myöskään saa sijoittaa samaan ilmanvaihtokonehuoneeseen. Erilaisia käyttötaparyhmiä ovat esimerkiksi asunnot, autosuojat, kokoontumis- ja liiketilat sekä uloskäytävät. Muita rajoituspeusteita tilojen yhdistämiseksi samaan ilmastointijärjestelmään tai puhaltimelle ovat tilojen sijainti, rakennuksen korkeus, tilojen käyttöajat sekä sisäilmastotekijät. [9, s. 365.]

### 3.3 Ilmajärjestelmät

Insinööriyön käsitellessä ilmastointijärjestelmien ohjaus- ja säätötapoja, rajataan sisäilman lämpö- ja kosteusolosuhteiden hallinnan käsittely työssä pienemmälle huomiolle. Käsitellen tässä luvussa ilmastoinnin ilmajärjestelmiä (kuva 1), koska kyseisessä järjestelmäperiaatteessa ilmavirrat ovat usein suuret ja ilmavirtojen määrällä sekä ohjauksella on suuri merkitys järjestelmien toimintaan. Vaikka luvussa painotutaan käsittelemään ilmajärjestelmiä, voidaan esille tulleita ilmavirtojen ohjaus- ja säätötapoja soveltaa muihinkin ilmastointijärjestelmiin, joissa ilmavirrat ovat vakiot tai ne säätyvät tarpeenmukaisesti.

Ilmastoinnin ilmajärjestelmät käsittävät vakioilmavirtaperiaatteella toimivat CAV- ja muuttuvailmavirtaperiaatteella toimivat VAV-järjestelmät, jotka eroavat tavanomaisesta tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmästä ominaisuuksiltaan pääasiassa vain siinä, että järjestelmien keskusyksikössä myös jäähdytetään ilmaa. [6, s. 113.]

CAV- ja VAV-järjestelmät ovat toiminnoiltaan ja ominaisuuksiltaan hyvin samanlaiset kuin tämän insinööriyön lopussa olevan esimerkkikohteen yhteydessä käsiteltävät ilmastointijärjestelmät. Esimerkkikohteenä käsitellään toimistorakennukseen kohdistunutta peruskorjausta, jonka yhteydessä rakennuksen vanhat vakioilmavirtaperiaatteella toimineet ilmastointijärjestelmät muutettiin muuttuvailmavirtaperiaatteella toimiviksi järjestelmiksi.

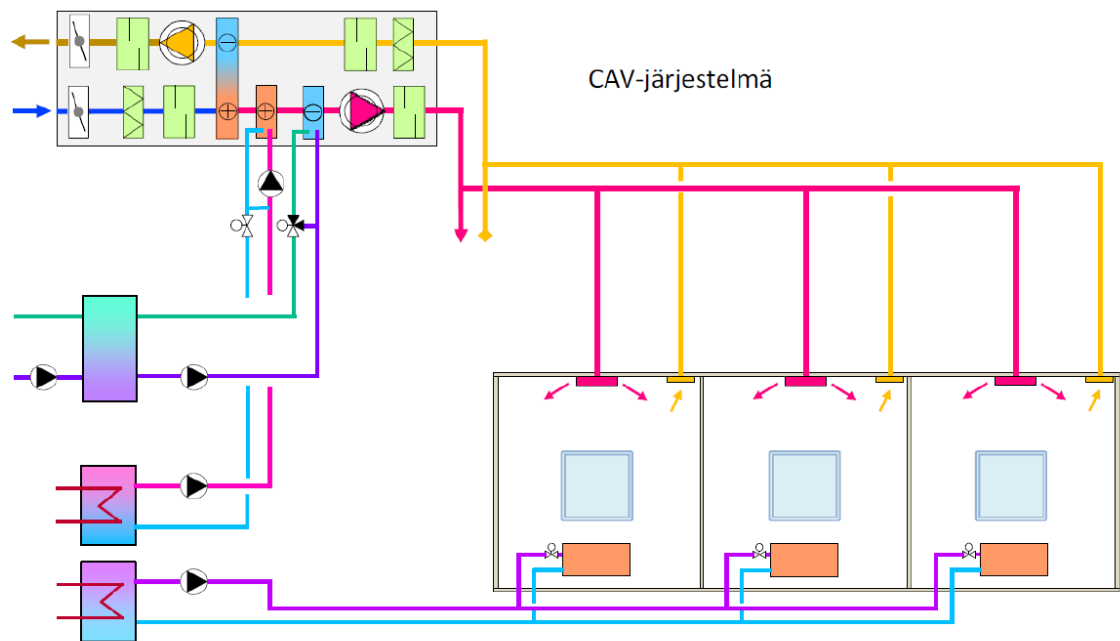
### 3.3.1 Vakioilmavirtajärjestelmä, CAV-järjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmän, eli CAV-järjestelmän (CAV = Constant Air Volume System) tehtävänä on huolehtia sisäilman lämpöolosuhteista ja puhtaudesta. Vakioilmavirtajärjestelmä on rakentamiskustannuksiltaan edullinen järjestelmä, jonka käyttökohteina on tyypillisesti suuret tilat tai vierekkäin sijaitsevat samankaltaiset huoneet, joiden käytönaikeiset lämpökuormat eivät käytön aikana selvästi poikkeaisivat toisistaan. [6, s. 131, 132.]

Vakioilmavirtajärjestelmässä ilmavirta on vakio. Toisinaan kuitenkin vakioilmavirtajärjestelmän ilmanvaihtokoneen puhaltimet voidaan varustaa kaksinopeusmoottorilla, jolloin puhaltimien kierroslukua voidaan säätää esimerkiksi puoliteholle. Ilmavirta pienenee tällöin suhteessa puhaltimen kierrosluvun pienenemiseen. [10, s. 21.]

Vakioilmavirtajärjestelmässä ilmavirtojen käytönaikeista säätöä rajoittaa se, ettei huonekohtaista säätömahdollisuutta ole. Vakioilmavirtaisissa järjestelmissä ilmavirrat on usein mitoitettu kesäajan jäähdytystarpeen mukaan, minkä vuoksi ilmamäärien nostaminen esimerkiksi talviaikana voi aiheuttaa huoneen liiallisen kylmenemisen ilman tuloilmakanavaan asennettavaa jälkilämmityspatteria. Vakioilmavirtajärjestelmän käytönaikeisten säätömahdollisuuksien puutteen vuoksi järjestelmä ei sovellu palvelemaan huoneita, joiden lämpökuormat käytön aikana selvästi poikkeaisivat toisistaan. [6, s. 132.]

Kuva 2 on periaatekuva CAV-järjestelmästä. Kuvan tilojen tulo- ja poistoilmavirrat pysyvät vakioina ilmanvaihtokoneen puhaltimien kierrosluvun mukaan, eikä ilmavirtoja voida ohjata huone- tai vyöhykekohtaisesti. Kuvan vakioilmavirtaperiaatteella toteutetussa ilmastointijärjestelmässä tiloihin puhallettavaa tuloilmavirtaa lämmitetään tai jäähdytetään tarpeen mukaan ilmanvaihtokoneessa olevilla lämmitys- ja jäähdytyspattereilla. Ilmanvaihtokone on varusteltu myös lämmöntalteenottopatterilla, joka esilämmittää ulkoa otettua raitisilmaa poistoilmasta hyödynnetyllä lämmöllä ennen ilman ohjautumista lämmityspatterille. Ilmavirtoja suodatetaan ja puhaltimien aiheuttamia äänihaittoja vaimennetaan ilmanvaihtokoneeseen asennettujen äänenvaimentimien ja suodattimien avulla. Kuvan tapauksessa koneen puhaltimet ovat kaksitoimisia, eli järjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi puoli- ja täysteholla. Kuvan huonetilat on varusteltu lämmityspattereilla, joiden avulla huonetiloja lämmitetään ilmanvaihtokoneessa lämmitetyn tuloilmavirran lisäksi.



Kuva 2. CAV-järjestelmän periaatekuva [6, s. 132].

### 3.3.2 Muuttuvaimavirtajärjestelmä, VAV-järjestelmä

Korkealuokkainen ilmastointi voidaan toteuttaa muuttuvaimavirtajärjestelmällä, eli ilmavirtasäätteisellä järjestelmällä. Järjestelmää kutsutaan monella eri termillä, joista yleisin on VAV-järjestelmä (Variable Air Volume System). Suomessa käytettyjä muita termejä järjestelmälle ovat IVS- (ilmavirtasäätäinen), MIV- (muuttuvaimavirta) ja IMS-järjestelmät (ilmamääräsäätäinen). [6, s. 133.]

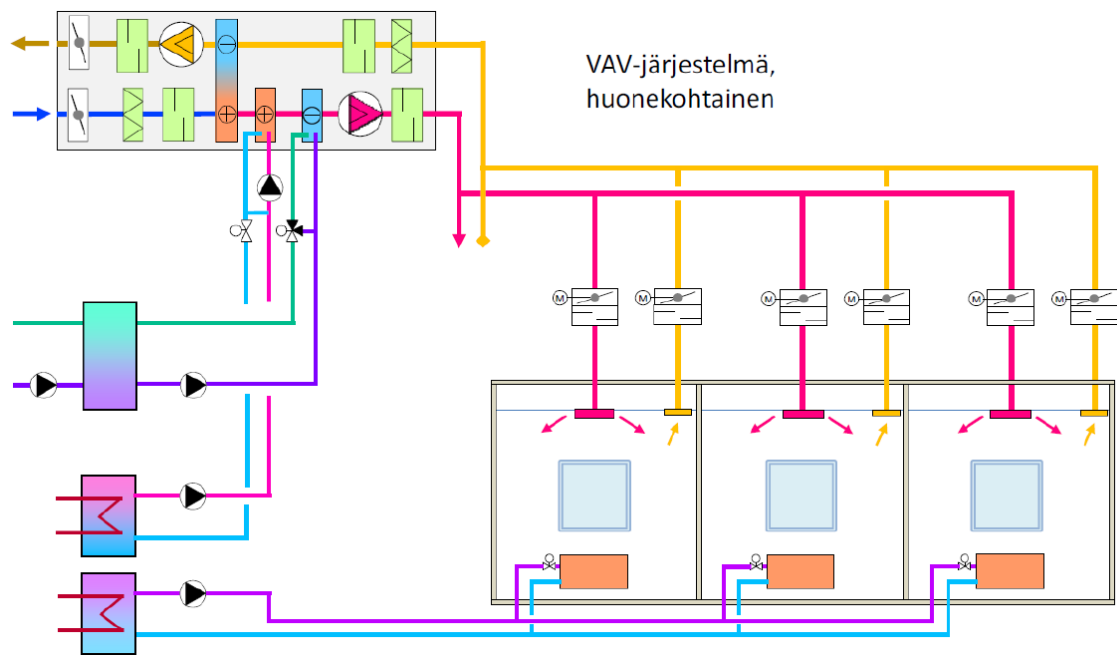
Muuttuvaimavirtajärjestelmä, eli VAV-järjestelmä on tyypillisesti huonekohtainen, jolloin jokaisessa huonetilassa on oma ilmavirran säätö. Mikäli huonetilojen lämpökuorma muodostuu pääasiassa aurinkokuormasta, voidaan järjestelmä toteuttaa vyöhykekohtaisena. Ilmavirran säätö voi olla myös ilmanvaihtokonekohtainen, jos se palvelee vain yhtä tilaa. [6, s. 133.]

Tyypillisesti muuttuvaimavirtaperiaatteella toteutetut ilmastointijärjestelmät ovat soveltuneet hyvin kohteisiin, joissa tilojen lämpökuormat ovat olleet suuret ja vierekkäisten tilojen kuormitukset vaihtelevat käytönaikaisen kuormituksen mukaan. Muuttuvaimavirtajärjestelmän tyypillisimmät käyttökohteet ovat kokoontumistilat, kuten neuvottelu-, koulutus-, kokous- ja liiketilat. [6, s. 134.]

### 3.3.3 Huonekohtainen toteutus

Huonekohtaisessa muuttuvilmavirtajärjestelmässä jokainen huone varustellaan omilla ilmavirran säätimillä, jotka ovat yleensä moottoroituja säätöpeltejä. Ilmavirran säätölaitteet asennetaan palveltavan huonetilan tai sen viereisen käytävän alakattoon tulo- ja poistoilmakanaviin. Säätöpeltien moottoreiden sekä säätöpeltiin osuvien ilmavirtojen aiheuttamat äänet vaimennetaan äänenvaimentimilla. Äänenvaimentimet sijoitetaan joko säätöpellin yhteyteen tai säätöpelteihin integroituina. [6, s. 133, 135; 8]

Kuva 3 on periaatekuva huonekohtaisesti toteutetusta muuttuvilmavirtajärjestelmästä. Huoneiden tulo- ja poistoilmavirrat ohjautuvat säätöpeltien ohjaamana tarpeenmukaisesti esimerkiksi huonetilan lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Kuvan tapauksessa ilmanvaihtokoneen puhaltimet ovat jatkuväsäätöisiä, eli puhaltimien kierrosnopeutta voidaan ohjata portaattomasti tarpeen mukaan. Kuvan huonekohtaisesti toteutetussa muuttuvilmavirtajärjestelmässä tiloihin puhallettavaa tuloilmavirtaa lämmitetään tai jäähdytetään tarpeen mukaan ilmanvaihtokoneessa olevilla lämmitys- ja jäähdytyspattereilla. Ilmanvaihtokone on varusteltu myös lämmöntalteenottopatterilla, joka esilämmitteä ulkoa otettua raitisilmaa poistoilmasta hyödynnetyllä lämmöllä ennen ilman ohjautumista lämmityspatterille. Ilmavirtoja suodatetaan ja puhaltimien aiheuttamia äänihaittoja vaimennetaan ilmanvaihtokoneeseen asennettujen äänenvaimentimien ja suodattimien avulla. Kuvan huonetilat on varusteltu lämmityspattereilla, joiden avulla huonetiloja lämmitetään ilmanvaihtokoneessa lämmitetyn tuloilmavirran lisäksi.



Kuva 3. VAV-järjestelmä, eli muuttuvilmavirtajärjestelmä huonekohtaisesti toteutettuna [6, s. 133].

### 3.3.4 Vyöhykekohtainen toteutus

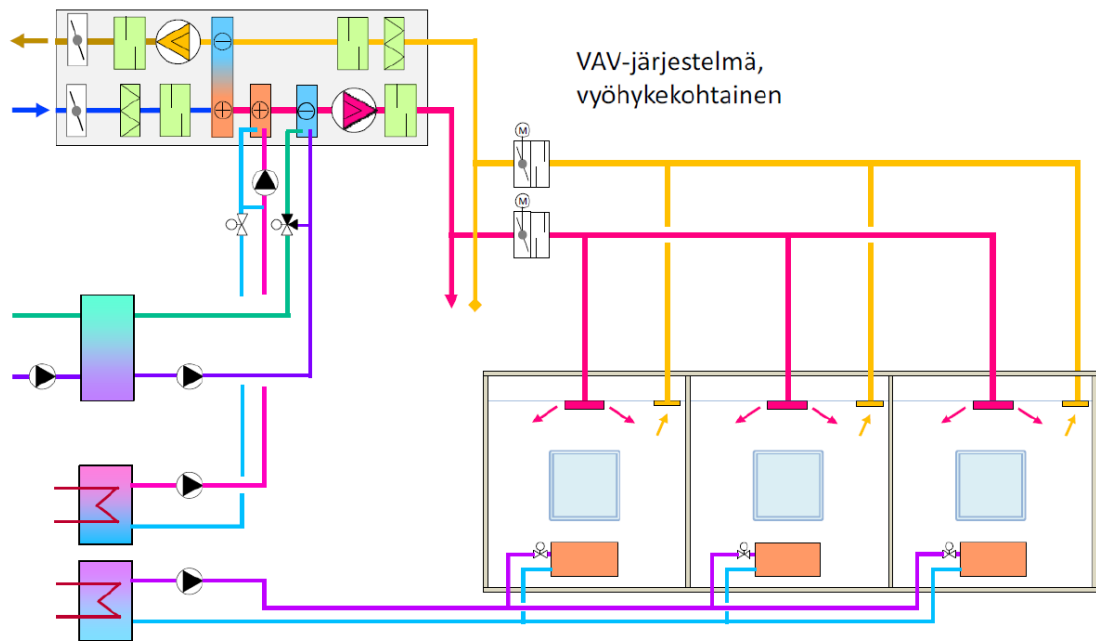
Vyöhykekohtaisessa muuttuvilmavirtajärjestelmässä ilmavirran säädön periaate on samanlainen kuin huonekohtaisessa järjestelmässä, sillä erotuksella, että säätölaitteilla säädetään useammalle huoneelle meneviä ilmamääriä. Vyöhyke voi olla esimerkiksi toimistorakennuksessa yhden julkisivun huonetilaryhmä, jonka kaikissa huoneissa on samansuuruinen aurinkokuorma. Toteutettaessa järjestelmä vyöhykekohtaisena huoneiden välillä ei tulisi olla isoja kuormituseroja. [6, s. 136.]

Vyöhykekohtaisesti toteutetussa muuttuvilmavirtajärjestelmässä käytetään samantyyppisiä tulo- ja poistoilmalaitteita kuin huonekohtaisesti toteutetussa muuttuvilmavirtajärjestelmässä. Ilmavirtojen säätölaitteet ovat myös samantyyppisiä kuin huonekohtaisessa järjestelmässä, tosin kooltaan muutamaa kokoluokkaa suurempia. Ilmavirtasäätimien ilmavirtojen säätöpeltien moottoreiden sekä säätöpeltiin osuvien ilmavirtojen aiheuttamat äänet vaimennetaan äänenvaimentimilla. Äänenvaimentimet sijoitetaan joko säätöpellin yhteyteen tai säätöpelteihin integroituina. [6, s. 136; 8.]



Yleensä vyöhykekohtaisesti toteutetussa järjestelmässä vyöhykkeelle ohjattavat ilmavirrat säätyvät huoneiden yhteiseen poistoilmakanavaan asennetun lämpötila-anturin lähettämän ohjausviestin mukaan. Poistoilmakanavaan sijoitetun anturin lisäksi voidaan muutamisiin huoneisiin sijoittaa lämpötila-anturit, jotka nostavat vyöhykkeen ilmavirtoja huonetilojen lämpötilan noustessa liian korkeiksi tilojen käyttöaikojen ulkopuolella. [6, s. 136.]

Kuva 4 on periaatekuva vyöhykekohtaisesti toteutetusta VAV-järjestelmästä. Vyöhykkeen tulo- ja poistoilmavirrat ohjautuvat säätöpeltien ohjaamana tarpeenmukaisesti esimerkiksi vyöhykkeen poistoilman haarakanavaan sijoitetun lämpötila-anturin ohjausviestin perusteella. Kuvan tapauksessa ilmanvaihtokoneen puhaltimet ovat jatkuvasäätöisiä, eli puhaltimien kierrosnopeutta voidaan ohjata portaattomasti tarpeen mukaan. Kuvan vyöhykekohtaisesti toteutetussa muuttuvilmavirtajärjestelmässä tiloihin puhallettavaa tuloilmavirtaa lämmitetään tai jäähdytetään tarpeen mukaan ilmanvaihtokoneessa olevilla lämmitys- ja jäähdytyspattereilla. Ilmanvaihtokone on varusteltu myös lämmöntalteenottopatterilla, joka esilämmittää ulkoa otettua raitisilmaa poistoilmasta hyödynnetyllä lämmöllä ennen ilman ohjautumista lämmityspatterille. Ilmavirtoja suodatetaan ja puhaltimien aiheuttamia äänihaittoja vaimennetaan ilmanvaihtokoneeseen asennettujen äänenvaimentimien ja suodattimien avulla. Kuvan vyöhykkeen huonetilat on varusteltu lämmityspattereilla, joiden avulla huonetiloja lämmitetään ilmanvaihtokoneessa lämmitetyn tuloilmavirran lisäksi.



Kuva 4. VAV-järjestelmä, eli muuttuvilmavirtajärjestelmä vyöhykekohtaisesti toteutettuna [6, s. 137].

#### 4 Ilmavirtojen säätö

Muuttuvilmavirtajärjestelmässä ilmavirtojen vaihtelut saadaan aikaan ilmanvaihtokanaviin asennettavilla säätöpelleillä tai aktiivisilla päätelaitteilla, joissa on valmiina säätöpellit. Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä tuloilmavirran säätöpellit säätävät yleensä huoneiloissa olevien huoneantureiden ohjaamana. Poistoilmavirta säätyy toteutuneen tuloilmavirran perusteella, jotta huoneen ilmavirtatasapaino säilyy. [11, s. 526; 7, s. 302.]

Ilmavirtasäätimet mitoitetaan huonetilojen maksimi- ja minimi-ilmavirtojen mukaan yhdessä kanavapaineen vaihtelualueen kanssa. Muuttuvilmavirtaisen järjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää varmistaa ilmavirtasäätimien toiminta koko ilmavirta-alueella käytävissä olevan kanavapaineen mukaan. Valitun ilmavirtasäätimen toiminta-alue tulee varmistaa kyseisen ilmavirtasäätimen ilmavirta-painehäviö-käyrästä. [9, s. 303.]

Ilmavirtojen säätöalueiden perusteella voidaan tuloilman päätelaitteeksi tarvittaessa valita myös aktiivinen päätelaite, joka automaattisesti pitää ilmavirran heittopituuden lähes vakiona riippumatta ilmavirran suuruudesta. Heittopituuden pysyessä lähes vakiona väl-

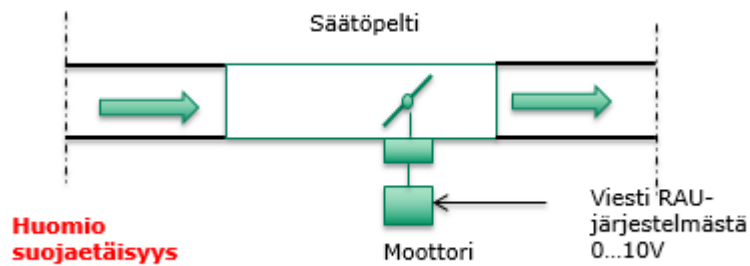
tytään vedon tunteelta huonetilassa pienilläkin ilmavirroilla. Erilaisten ilmanvaihtokanavistoon asennettavien ilmavirtasäätimien ja aktiivisten päätelaitteiden vaatimat kanavapaineet ja ominaisuudet on varmistettava valmistajan tuotetiedoista laitteiden soveltumisen takaamiseksi järjestelmään. [9, s. 302.]

Ilmanvaihtokanavistoon asennettavat ilmavirtasäätimet voivat olla paineesta riippuvaisia tai riippumattomia. Paineesta riippumaton säädin edellyttää toimiakseen ilmavirran mittausta virtaussäätimellä. Paineesta riippuvassa järjestelmässä ilmavirran mittausta ei tarvita. [12, s. 1.]

Tämän luvun alaluvuissa käsitellään erilaisten ilmavirtojen säätölaitteiden toimintaperiaatteita, jotka soveltuvat muuttuvailmavirtaperiaatteella toteutettuihin ilmastointijärjestelmiin. Alaluvuissa esitellään säätimien toimintaperiaatteiden lisäksi muutamia saatavilla olevia esimerkkituotteita kyseisistä säätimistä. Laitteiden ominaisuus- ja toimintatiedot perustuvat laitevalmistajien ilmoittamiin tietoihin.

#### 4.1 Paineesta riippuva ilmavirtasäädin

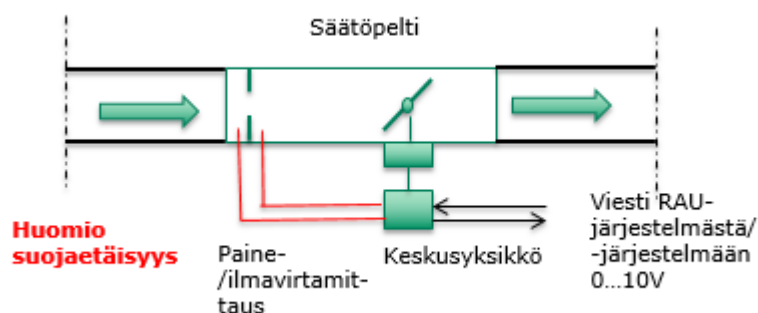
Paineesta riippuva ilmavirtasäädin vaatii vakio-paineen ilmanvaihtokanavassa, eikä se siedä toimiakseen lainkaan paineen vaihteluja. Kun säätimen yhteydessä oleva moottori saa rakennusautomaatiojärjestelmästä ohjausviestin ilmavirran muutoksen tarpeesta, moottori säätää säätöpellin asentoa ohjausviestin mukaiseksi. Ilmavirtasäätimien säätöpeltien avautuessa tai sulkeutuessa tulee ilmanvaihtokoneen puhaltimien nostaa tai laskea kierroslukuaan kanavistoon asennetun paineanturin lukemien perusteella, jotta tarvittava vakio-paine pysyisi kanavistossa. Kuva 5 on periaatekuva paineesta riippuvasta ilmavirtasäätimen toiminnasta. Säätimen sijoituksessa kanavistoon on huomioitava suojaetäisyydet, jotta säädin toimisi mahdollisimman tarkasti. [13, s. 13; 8.]



Kuva 5. Paineesta riippuvan ilmavirtasäätimen periaatekuva [13, s. 13].

#### 4.2 Paineesta riippumaton ilmavirtasäädin

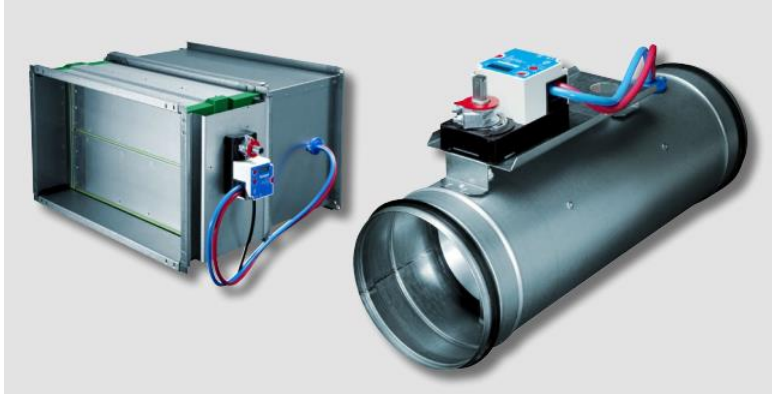
Paineesta riippumaton ilmavirtasäädin ei tarvitse toimiakseen tiettyä vakiopainetta ilmanvaihtokanavistossa. Säätöpellin asento määräytyy säätimen yhteyteen asennetun painetai ilmavirtamittauksen ja rakennusautomaatiojärjestelmästä saadun ohjausviestin perusteella. Ilmavirtasäätimen keskusyksikkö vertaa mittausarvoa rakennusautomaatiojärjestelmästä saatuun ohjausviestin arvoon ja muuttaa säätöpellin asentoa siten, että tarvittava ilmavirta saadaan tilaan. Paineesta riippumaton ilmavirtasäädin tulee valita säätöarvoiltaan tarpeeksi laajaksi, jotta laite toimisi toivotulla tavalla. Kuva 6 on periaatekuva paineesta riippumattoman ilmavirtasäätimen toiminnasta. [13, s. 11.]



Kuva 6. Paineesta riippumattoman ilmavirtasäätimen periaatekuva [13, s. 11].

Kuvassa 7 näkyvät Swegon Oy Ab:n REACT-ilmavirtasäätimet, jotka ovat toiminnaltaan kanavapaineesta riippumattomia. Ilmavirtasäätimiä on saatavilla pyöreällä ja neliönmuotoisella liitännällä useille eri kanavakoille, ja säätimet voidaan asentaa niin tulo- kuin

poistoilmakanavaan. Ilmavirtasäätimet on varusteltu näytöllä ilmavirtojen mittausarvojen lukemista varten. [14, s. 3.]



Kuva 7. REACT-ilmavirtasäätimet [14, s.1].

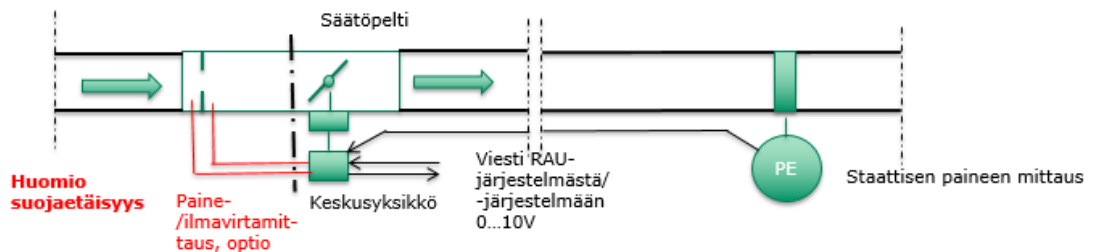
Kuvassa 8 on Fläkt Woods Oy:n kanavapaineesta riippumaton ilmavirtasäädin OPTI-VENT® ULTRA – ULSA, jossa on ultraäänitekniikkaan perustuva ilmavirtojen mittaus. Ultraäänimittaus mahdollistaa tarkan mittaustuloksen koko ilmavirta-alueella, eikä mittaukselta aiheudu painehäviötä. Ilmavirtasäädintä voidaan käyttää ilmavirtojen säädön lisäksi ilmavirran pitämiseen vakiona kanavistossa tai se voidaan tarvittaessa ohjata täysin kiinni asentoon. Säätimeen ei sisälly melua aiheuttavaa ja ilmavirtausta häiritsevää fyysistä anturia, minkä vuoksi se ei tarvitse huoltotoimenpiteitä. Ilmavirtojen ultraäänimittauksella vältetään myös pölyn aiheuttamilta häiriöiltä mittaustulokseen. [15]



Kuva 8. ULSA-ilmavirtasäädin [15, s. 2].

### 4.3 Vakiopainesäädin

Vakiopainesäätimen tarkoituksena on pitää ilmanvaihtokanavan paine vakiona. Säätöpellin asento määräytyy kanavistoon asennetun staattisen paineen mittausturin arvon perusteella. Säätimen keskusyksikkö vertaa mittausarvoa rakennusautomaatiojärjestelmästä saatuun ohjausviestin arvoon ja muuttaa säätöpellin asentoa siten, että tarvittava vakiopaine pysyy jatkuvasti kanavistossa. Vakiopainesäätimiä voidaan sijoittaa ilmanvaihtokanavistoon esimerkiksi kerroskohtaisesti, jolloin jokaiselle kerrokselle voidaan määrittää tietty paine. Staattisen paineen mittausturini tulisi sijoittaa noin puoliväliin kerroksen kanavistoa. Kuva 9 on periaatekuva vakiopainesäätimen toiminnasta. [13, s. 14.]



Kuva 9. Vakiopainesäätimen periaatekuva [13, s. 14].

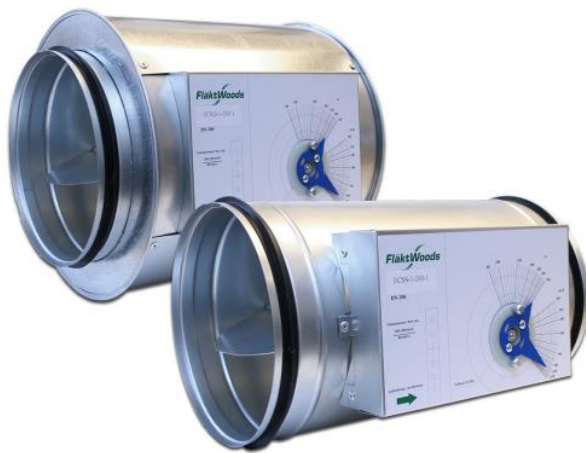
Kuvassa 10 on Bevent Oy:n elektroninen vakiopainesäädin BVAP, joka on tarkoitettu asennettavaksi pyöreään ilmanvaihtokanavaan. Säädintä käytetään pitämään ilmanvaihtokanavan kanavapaine vakiona. Säädin koostuu säätöosasta ja paineanturista. [16]



Kuva 10. BVAP-vakiopainesäädin [16].

#### 4.4 Vakiovirtaussäädin

Vakiovirtaussäätimen tarkoituksena on pitää ilmavirta vakiona ilmanvaihtokanavassa. Säätimet eivät vaadi toimiakseen ulkoista virtalähdettä. Haluttu ilmavirta säädetään mekaanisesti säätölaitteessa olevalla asteikolla tai säädin voidaan varustaa toimilaitteella. Kuvassa 11 näkyvät Fläkt Woods Oy:n valmistamat ECSS- ja ECSD-vakiovirtaussäätimet. Säätimet voidaan asentaa tulo- ja poistoilmakanaviin. [17]

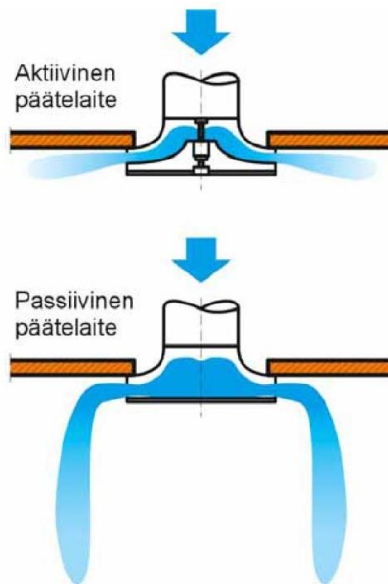


Kuva 11. Vakiovirtaussäätimet ECSS ja ECSD [17].

#### 4.5 Aktiivipäätelaite

Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä käytetään ilmavirtojen ohjaukseen usein aktiivisia päätelaitteita, joilla estetään viileän tuloilman putoaminen oleskeluvyöhykkeelle myös pienemmillä ilmavirroilla. Aktiivisessa päätelaitteessa laitteen sisäänpuhallusaukko pienenee ilmavirran alentamiseksi, jolloin sillä voidaan toteuttaa huonetilan tarpeenmukainen ilmanvaihto. Aktiivipäätelaitteessa ilmavirtojen nopeus ja heittopituus pysyvät vakiona kaikilla ilmavirroilla, jolloin vedon vaaraa huonetilassa ei synny. [6, s. 135.]

Kuva 12 on periaatekuva ilmavirtojen käyttäytymisestä aktiivisessa ja passiivisessa päätelaitteessa. Passiivissa päätelaitteessa sisäänpuhallusaukko pysyy vakiona, jolloin ilmavirtojen pienentyessä ilmannoisuus laskee ja ilmasuihku kääntyy alas, jolloin vedon vaara on suuri. [6, s. 135.]



Kuva 12. Periaatekuva aktiivisesta ja passiivisesta päätelaitteesta [6, s. 135].

## 5 Ilmavirtojen ohjaus

### 5.1 Säädökset ilmavirtojen ohjaukselle

Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 mukaisesti ilmavirtoja on voitava ohjata käyttötilannetta vastaavaksi tilojen kuormituksen tai ilman laadun mukaan. Asuinhuoneistoissa ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava siten, että tulo- ja poistoilmavirtoja voidaan ohjata asunto- tai rakennuskohtaisesti. Ilmavirtoja tulee voida tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmiksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat ovat. Asuntokohtaisesti ohjattavissa ilmanvaihtojärjestelmissä tulee lisäksi voida pienentää asuinhuoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista. [2, s. 4.]



Muissa kuin asuinrakennuksissa tiloihin johdettavaa ulkoilmavirtaa tulee voida säätää tila- tai vyöhykekohtaisesti sisäilman laadun tai tilojen kuormituksen mukaan. Ilmavirtojen tehostus perustuu yksinkertaisimmillaan lisäaikapainikkeisiin, läsnäolotunnistimiin tai tehostuskytkimiin. Muissa kuin asuinrakennuksissa tiloihin johdettavan ulkoilmavirran on oltava vähintään  $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  lattian pinta-alaa kohden suunnitellun käyttöajan ulkopuolella. [7, s. 18.]

## 5.2 Yleistä ilmavirtojen ohjauksesta

Yleisesti ilmastointijärjestelmien tarpeeton käyttö kuluttaa sähköenergiaa ja ilmanvaihdon lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen kuluva energiaa. Muuttuvailmavirtajärjestelmällä voidaan säästää energiaa ja parantaa samalla sisäilmaston olosuhteita. Ilmanvaihdon tarve vaihtelee huonetilojen kuormituksen mukaan ja erityisesti muuttuvien ilmavirtojen tarve on tiloissa, joissa on vaihteleva henkilökuormitus, kuten neuvottelutiloissa tai luokkahuoneissa. Muuttuvailmavirtaisten järjestelmien käyttökohteita on paljon, minkä vuoksi ilmavirtojen, säätötarpeiden, lämpötilojen sekä sisäilman pitoisuuksien ohjaukset tulee tarkastella tapauskohtaisesti. [9, s. 302; 6, s. 136.]

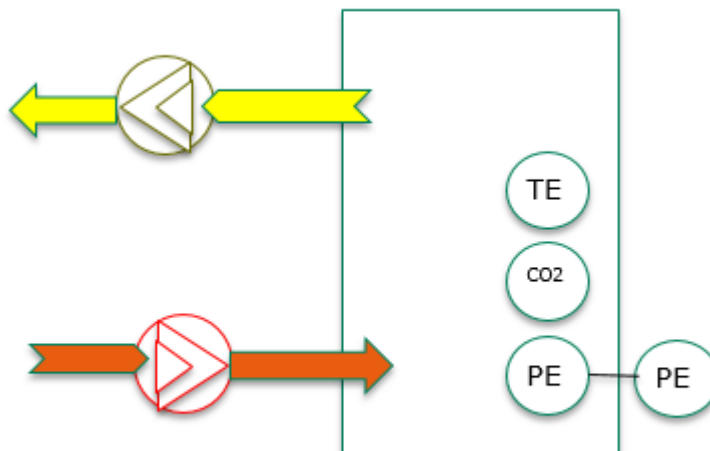
Säädön periaatteena muuttuvailmavirtaisissa ilmastointijärjestelmissä on pyrkiä pitämään staattinen paine kanavistoissa matalana ja säästämään sillä tavoin sähköenergiaa. Paineen pysyessä kanavistossa mahdollisimman alhaisena, myös kanaviston äänitaso pysyy matalana. Säätolaitteiston ohjaus tapahtuu painesäätimellä, joka ylläpitää jatkuvaa staattista painetta kanavassa suhteessa vallitsevaan paineeseen rakennuksessa. Puhaltimien säätö toteutetaan yleensä taajuusmuuttajalla, mutta se voidaan toteuttaa myös EC-moottoreilla, joissa kierrosnopeutta säädetään suoraan jännitettä muuttamalla ilman taajuusmuuttajaa. [6, s. 134; 8.]

Muuttuvailmavirtajärjestelmässä keskusilmanvaihtokoneen ilmavirran säätöalueen suuruus riippuu tilojen käyttöajoista ja kuormituksista. Normaalisti tavanomaisessa toimistorakennuksessa riittää ilmavirtojen säätöalueeksi 50–100 %, mikäli tiloja ei käytetä työaikojen ulkopuolisina aikoina. Jos osa toimitiloista on käytössä työajan ulkopuolella, keskusilmanvaihtokoneen ilmavirran minimin tulee olla 15–30 % maksimista. Toisinaan kes-

kusilmanvaihtokoneen ilmavirrat voidaan mitoittaa pienemmiksi kuin huonetilojen maksimi-ilmavirtojen summa, mutta tällöin tulee varmistaa, ettei suunniteltua suurempaa ilmavirran tarvetta tule esiintymään tiloissa. [9, s. 301.]

Ilmanvaihdon tarve voi vaihdella paljonkin eri huonetilojen välillä. Muuttuvilmavirtajärjestelmissä huonetiloihin johdettavaa tuloilman määrä voidaan säädellä huonetiloihin asennettujen mittalaitteiden antamien tietojen tai aikaohjelmien perusteella. Ilmavirtojen määrää voidaan ohjata esimerkiksi huonetilan lämpötilan, ilman laadun, henkilötunnistimien, rakennusautomaation aikaohjelman tai paikallisen kellon avulla. [6, s. 136.]

Kuva 13 on periaatekuva yksittäisen tilan tarpeenmukaisesti ohjautuvasta ilmanvaihdosta. Kuvassa olevien tulo- ja poistoilmapuhaltimien pyörimisnopeus säätyy suoraan huonemittauksien mukaan. Kuvan merkinnöillä havainnollistetaan lämpötilaa (TE), hiilidioksidipitoisuutta (CO<sub>2</sub>) ja tilan ja sen viereisen tilan paine-eroa (PE) mittaavia antureita. [13, s. 7.]



Kuva 13. Yksittäisen tilan tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säätöperiaate [13, s. 7].

Tämän luvun aluvuissa esitellään tyypillisiä toimistorakennuksen muuttuvilmavirtaperiaatteella toimivien tilojen, esimerkiksi neuvotteluhuoneiden, ilmavirtojen ohjauslaitteita

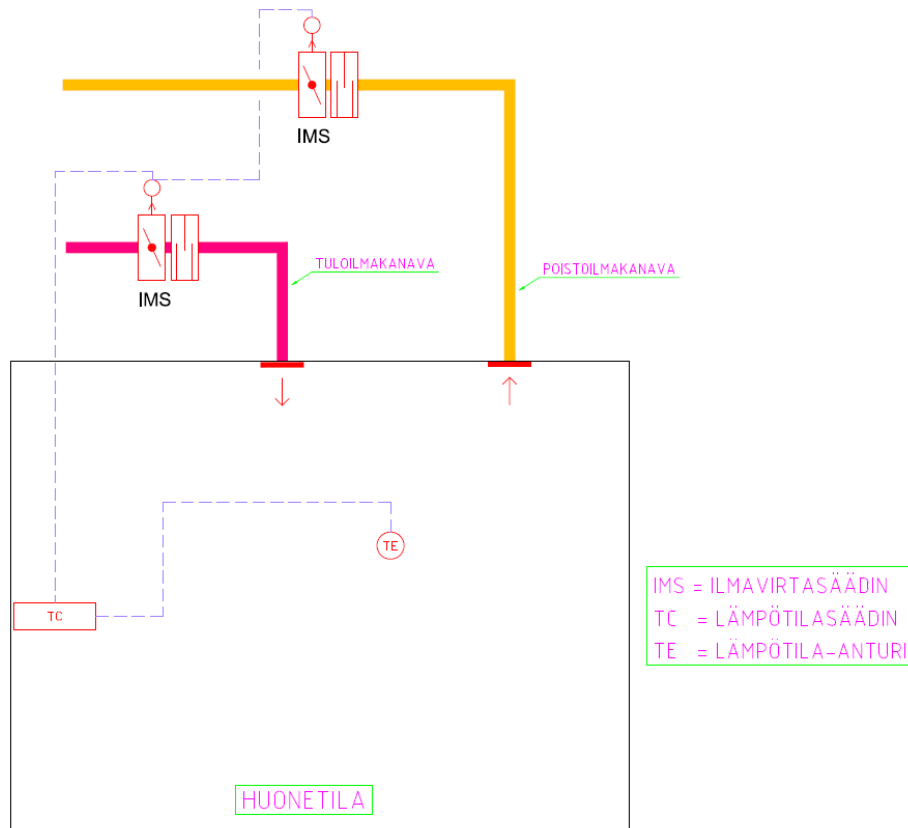
ja niiden toimintaperiaatteita. Alaluvuissa esitellään ohjauslaitteiden toimintaperiaatteiden lisäksi muutamia saatavilla olevia esimerkkituotteita kyseisistä ohjauslaitteista. Laitteiden ominaisuus- ja toimintatiedot perustuvat laitevalmistajien ilmoittamiin tietoihin.

### 5.2.1 Ilmavirtojen ohjaus lämpötilatiedon perusteella

Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä ilmavirtaa säädetään yleensä lämpötilatietojen mukaan. Huonelämpötilan säätö tapahtuu tällöin muuttamalla tuloilmavirtausta ilmavirtasäätimen ja lämpötilasäätimen avulla. Lämpötilasäädin ohjaa tuloilmavirtasäädintä huonetilaan sijoitetun lämpötila-anturin ja lämpötilasäätimeen asetetun asetusarvon perusteella. Tuloilmavirtasäädin ohjaa säätöpellin asentoa pellin yhteyteen asennetun moottorin avulla ja varmistaa lämpötilasäätimeltä saadun ohjausviestin mukaisen ilmavirran pääsemisen huonetilaan. Paineen vaihdellessa kanavistossa, tuloilmavirtasäädin tekee säätöjä säätöpeltiin asennetun moottoripellin avulla siten, että pyydetty ilmavirta säilyy. Poistoilmakanavaan asennetun ilmavirtasäätimen säätöpellin asento määräytyy tuloilmapuolen säätimen ilmavirran perusteella siten, että ilmavirrat pysyvät yhtä suurina. [12, s. 7; 6, s. 134.]

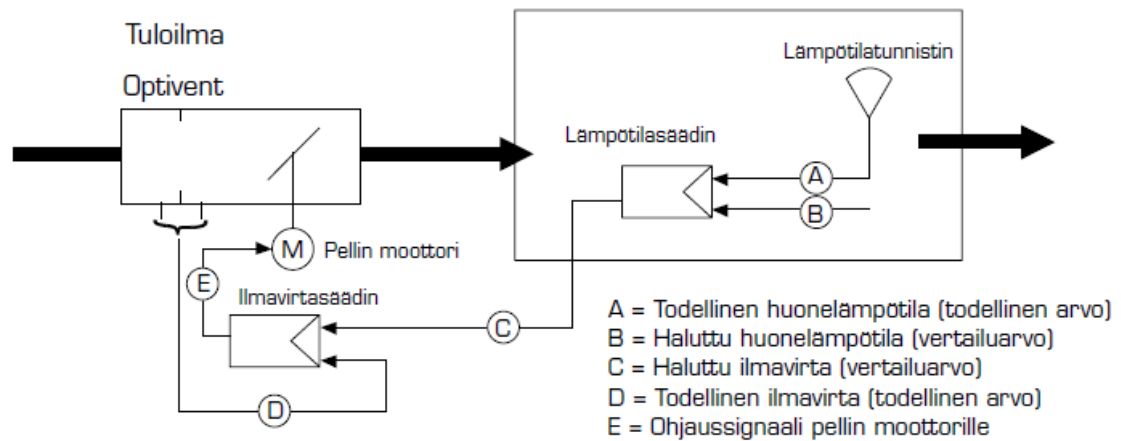
Huoneiden käyttäjä voi säätää huonetilan lämpötilaa tilassa olevan huonesäätimen avulla. Huonesäädin muodostuu lämpötilan säätimestä ja lämpötilaa mittaavasta anturista. Tarvittaessa lämpötila-anturi voidaan sijoittaa myös erilleen lämpötilasäätimestä. Lämpötila-anturi tulee sijoittaa huoneeseen siten, ettei se altistu suoralle auringon säteilylle tai muille suuremmille lämmönlähteille. Lämpötila-anturia ei tulisi myöskään asentaa lähelle oviaukkoa, jottei anturi virheellisesti mittaa esimerkiksi käytävän ilman lämpötilaa, kun ovi on auki. [6, s. 135–136.]

Kuva 14 on esimerkkikuva huonetilasta, jossa tuloilmavirta määräytyy huoneen lämpötilan mukaan. Tuloilmakanavaan asennetun ilmavirtasäätimen (IMS) säätöasento määräytyy huonetilassa olevan lämpötilasäätimen (TC) ohjausarvon perusteella. Lämpötilasäätimen (TC) ilmavirtasäätimelle lähettämä ohjausarvo määräytyy huonetilassa olevan lämpötila-anturin (TE) mittauseron ja säätimeen asetetun asetusarvon perusteella. Poistoilmakanavassa sijaitsevan ilmavirtasäätimen (IMS) säätöasento määräytyy tuloilmavirran perusteella siten, että ilmavirtojen suhde pysyy tasapainoisena. Ilmavirtasäätimien yhteyteen on asennettu äänenvaimentimet.



Kuva 14. Esimerkkikuva ilmavirtojen säätymisestä lämpötilan mukaan.

Suomessa on saatavilla useita eri laitevalmistajien valmistamia ilmavirtasäätimiä, joissa ilmavirrat ohjautuvat huonelämpötilojen mukaan. Kuva 15 on periaatekuva Fläkt Woodsin Optivent-järjestelmän tuloilmavirran säädöstä, jossa huonetilaan johdettava ilmavirta säätyy huonetilasta saadun lämpötilan mittausarvon perusteella. Huonetilassa oleva lämpötilatunnistin mittaa huoneen lämpötilaa ja lähettää mittausarvon A lämpötilasäätimelle. Lämpötilasäädin vertaa tunnistimen lähettämää mittausarvoa A haluttuun huonelämpötilaan B. Mikäli arvot A ja B eroavat toisistaan, korjaa lämpötilasäädin arvojen erotuksen ilmavirtasäätimelle vertausarvolla C. Ilmavirtasäädin vertaa vertausarvoa C mittausarvoon D, joka on kanavasta mitattu todellinen ilmavirta. Ilmavirtasäädin korjaa arvojen C ja D mittausarvojen väliset poikkeamat lähettämällä ohjaussignaalin E säätöpellin moottorille, joka korjaa pellin asennon ohjaussignaalin arvon mukaiseksi. [12, s. 8.]



Kuva 15. Huonelämpötilan perusteella ohjautuvan ilmavirtasäätimen ohjausperiaate [12, s. 8].

### 5.2.2 Ilmavirtojen ohjaus todellisen läsnäolon perusteella

Etuna ilmavirtojen säätymisessä läsnäolotunnistimen mukaan on se, että sillä voidaan estää tehokkaasti tarpeeton ilmanvaihto. Tunnistimet ovat kuitenkin kyvyttömiä tunnistamaan tiloissa olevien henkilöiden määrää tai ilman laatua. [6, s. 136.]

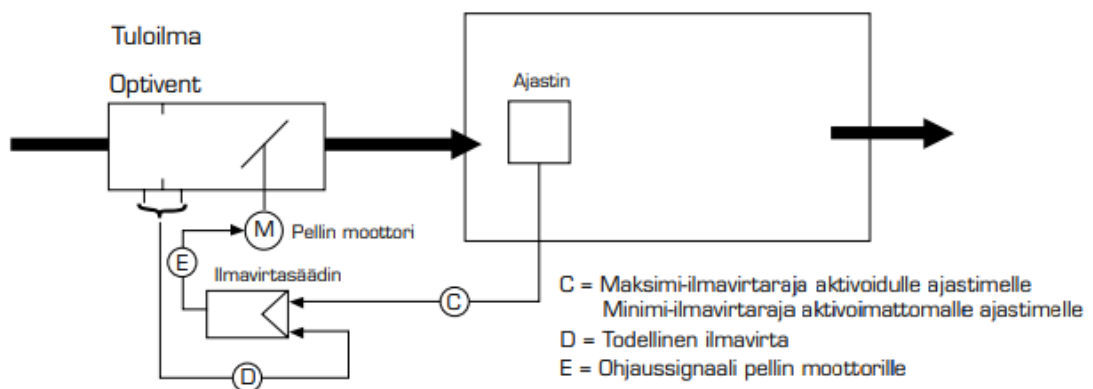
Läsnäolotunnistimet soveltuvat yksistään ilmavirtojen säätöön tiloissa, joissa ilmavirtojen säädöksi riittää minimi- tai maksimi-ilmavirrat. Kyseisessä toteutustavassa ilmavirtasäädin ohjaa säätöpellin asentoa läsnäolotunnistimelta saadun ohjausviestin perusteella joko minimille tai maksimille. Läsnäoloon perustuva ohjaus voi olla myös esimerkiksi huonetilassa oleva ajastin. [12, s. 8.]

Kuvassa 16 on Reginin valmistama IR24-P läsnäolotunnistin, joka soveltuu osaksi tarpeenmukaista ilmanvaihdon ohjausta huonetilassa. Tunnistin käyttää infrapunavaloa, ja se tunnistaa liikettä 15 metrin säteellä. [18, s. 1.]



Kuva 16. Läsäolotunnistin IR24-P [18, s. 1].

Kuva 17 on periaatekuva Fläkt Woods Oy:n Optivent-järjestelmän tuloilmavirran säätimestä, jonka toiminta perustuu läsnäolotunnistimen lähettämään läsnäolotietoon. Huoneillassa oleva läsnäolotunnistin (kuvassa ajastin) lähettää ilmavirtasäätimelle läsnäolotietoon perustuvan ohjausviestin C. Ilmavirtasäädin säätelee tilaan johdettavan ilmavirran minimille tai maksimille ohjaamalla säätöpellin asentoa ohjausviestillä E. Säätöpellin asento määräytyy todellisen ilmavirran mittausravon D perusteella. [12, s. 8.]



Kuva 17. Läsäolon perusteella ohjautuvan ilmavirtasäätimen ohjausperiaate [12, s. 8].

### 5.2.3 Ilmavirtojen ohjaus huoneilman laadun perusteella

Huonetilojen ilman laatua mitataan usein hiilidioksidipitoisuutta mittaavilla antureilla. Ihmiset tuottavat hiilidioksidin lisäksi paljon erilaisia epäpuhtauksia, mutta niiden mittaaminen on varsin hankalaa. Hiilidioksidipitoisuutta on helppo mitata, minkä vuoksi sitä on käytetty usein sisäilman laatua mittaavana arvona. Hiilidioksidipitoisuus indikoi hyvin ihmisen erittämiin epäpuhtauksiin ja hiilidioksidiantureiden toimintaa pidetään yleisesti luotettavana. Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 mukaan huonetilan hetkellisen hiilidioksidipitoisuuden suunnitteluarvo saa olla korkeintaan 1 450 mg/m<sup>3</sup> (800 ppm) korkeampi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. [2, s. 3; 6, s. 99, 136.]

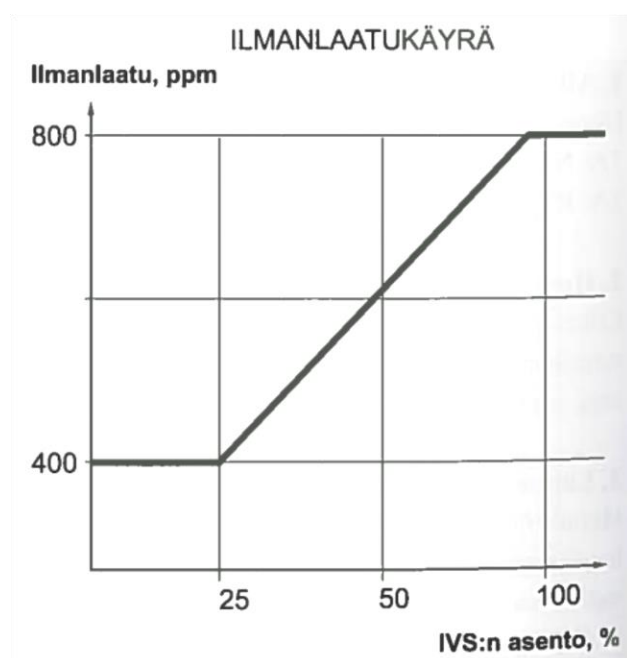
Hiilidioksidipitoisuusanturit eivät reagoi huonetiloissa syntyviin epäpuhtauksiin, joita erittyy huoneilmaan esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai ruoanlaitosta, jonka vuoksi antureita tulisi käyttää vain tiloissa, joissa ihminen on pääasiallinen epäpuhtauden lähde. Tämänlaisia tiloja ovat esimerkiksi neuvotteluhuoneet, teatterit ja luokkahuoneet. Hiilidioksidianturit sijoitetaan huoneessa mahdollisimman keskeiselle alueelle tai joissain tapauksissa poistoilmakanavaan. [6, s. 136; 7, s. 349.]

Kuvassa 18 on Reginin valmistama CO2RT-R huonetilan hiilidioksidipitoisuutta mittaava anturi, joka soveltuu osaksi tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjausta. Laite asennetaan huonetilan seinään, ja laitteen hiilidioksidipitoisuuden mittausalue on 0–2 000 ppm. [19]



Kuva 18. Hiilidioksidianturi CO2RT-R [19].

Perinteisesti ilmavirtojen säätyessä huonetilan ilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan, ilmavirtasäädin voidaan ohjelmoida toimimaan kuvan 19 ilmanlaatukäyrän mukaisella periaatteella. Kuvan esimerkissä ilmavirtasäätimessä olevan säätöpellin asento ohjautuu huonetilasta mitatun hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Hiilidioksidipitoisuuden ollessa 400 ppm tai vähemmän säätimen asento on 25-prosenttisesti auki ja pitoisuuden ollessa 800 ppm tai enemmän säätimen asento on kokonaan auki. Muissa tilanteissa säätöpellin asento ohjautuu säätökäyrän mukaisesti.



Kuva 19. Ilmanlaatukäyrä [9, s. 306].

Huonetilan hiilidioksidipitoisuuteen perustuva ilmavirtojen ohjaus voidaan toteuttaa myös yhdistämällä ohjaus läsnäolotunnistimen kanssa. Kun läsnäolotunnistin havaitsee tilassa olevan liikettä, ilmavirtasäädin aukeaa aluksi kokonaan, minkä jälkeen säädin alkaa vasta hakemaan tasapainotilannetta hiilidioksidipitoisuuden ja huonetilaan johdettavan ilmamäärän välillä. Tällä tavoin toteutetulla ilmavirtojen ohjauksella hiilidioksidipitoisuus ei missään vaiheessa pääse nousemaan kovin suureksi. [8]

#### 5.2.4 Ilmavirtojen ohjaus aikaohjelman perusteella

Ilmavirtojen ohjautuminen valvontajärjestelmän kautta kellonaikojen perusteella soveltuu tiloihin, joissa ilmanvaihdon tarve on selkeästi ajallisesti vaihtelevaa ja ajoittuu tietyille,



etukäteen määritellyille ajankohdille. Tämänlaisia tiloja voivat olla esimerkiksi koulut tai elokuvateatterit, joissa tilojen käyttö tapahtuu pääsääntöisesti tiettyinä aikoina. [6, s. 136.]

Järjestelmän toimiessa aikaohjelman ohjaamana voidaan valvontajärjestelmään syöttää päiväkohtaiset käynnistys- ja pysäytysajat. Rakennuksen käyttöaikojen ulkopuolisina aikoina tulee kuitenkin huolehtia rakennuksen yleisilmanvaihdon riittävydestä. Toimistorakennuksissa käyttöajan ulkopuolella minimi-ilmavirran tulee olla vähintään  $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  koko rakennuksen lattiapinta-alaa kohden. Ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat tulee ohjata käyttöajan ilmavirroille riittävän ajoissa ennen käyttöajan alkamista, jotta tiloissa olevat epäpuhtaudet tuulettuisivat pois tiloista ennen oleskelun alkamista. [20; 9, s. 18.]

Kuvassa 20 on esimerkki ilmanvaihtokoneen aikaohjelman toimintaperiaatteesta. Esimerkissä tilan käyttöaika ajoittuu normaalisti aikavälille kello 8.00–16.00, mutta tiloissa on toisinaan vähäistä toimintaa hieman ennen ja jälkeen suunniteltua käyttöaika. Tilan tuuletus alkaa aamuisin kello 5.00, jolloin ilmanvaihtokoneen puhaltimen kierrosnopeus alkaa nousta portaattomasti siten, että kello 7.00 puhallin käy täydellä teholla. Puhallin käy täysteholla kello 7.00–17.00, minkä jälkeen puhaltimen kierrosnopeus laskee portaattomasti tilojen käyttöajan ulkopuoliseen asetusarvoon klo 19:ään mennessä. Aikavälillä 19.00–5.00, jolloin tiloissa ei ole käyttöä eikä sitä tuuleteta, ilmanvaihtokoneen puhallin käy puoliteholla.



Kuva 20. Esimerkki ilmanvaihtokoneen aikaohjelmasta.

### 5.2.5 Huonesäätimet

Huonesäätimet ovat huoneisiin asennettavia säätöyksiköitä, joilla käyttäjät voivat säätää huoneiden ilmavirtoja. Käyttäjä voi säätää huonetilaan johdettavia ilmavirtoja esimerkiksi muuttamalla tilaan asetettuja lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvoja. Huonesäätimiin voidaan yhdistää myös esimerkiksi läsnäolotunnistimet, jolloin huoneen ilmavirta säätyy läsnäolotiedon perusteella. [6, s. 134.]

Kuvassa 21 on Fläkt Woods Oy:n STRA-04 huonesäädin, joka sisältää säädinosan lisäksi lämpötila-anturin. Laitteeseen on saatavilla lisävarusteina ulkoinen lämpötila- ja hiilidioksidianturi, läsnäolotunnistin sekä ikkunakosketin. [21, s. 1.]



Kuva 21. Huonesäädin STRA-04 [21, s.1].

## 6 Muuttuvailmavirtaiset järjestelmät toimistorakennuksissa

Muuttuvailmavirtaiset järjestelmät suunnitellaan ja toteutetaan tapauskohtaisesti riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta ja ilmavirtojen tarpeista. Tässä luvussa esitellään muutamia vaihtoehtoja muuttuvailmavirtaisella periaatteella toimivan järjestelmän toteuttamiseen toimistorakennuksissa.

Tavanomainen toimistorakennuksen ilmastointijärjestelmä koostuu keskusilmastointikoneesta, ilmanvaihtokanavistosta, huonelaitteista, erillispuhaltimista sekä sähkö-, rakennusautomaatio-, jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmästä [6, s. 22]. Toimistorakennuksissa on usein käyttötarkoitukseltaan ja käyttöajoiltaan vaihtelevia tiloja, minkä vuoksi ilmavirtojen tarve vaihtelee esimerkiksi huone- tai vyöhykekohtaisesti.

Luvun alaluvuissa esille tulevien järjestelmien esimerkkikuvissa rakennuksen jokaisessa kerroksessa on neuvotteluhuoneiden tyyliä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatteella toimivia tiloja, joiden tulo- ja poistoilmakanavat on varustettu ilmavirtasäätimillä sekä alueita, joille ohjataan vakioilmavirtaa. Vakioilmavirtaisia alueita toimistorakennuksessa voivat olla esimerkiksi avotoimisto-, aula- tai käytävätilat.

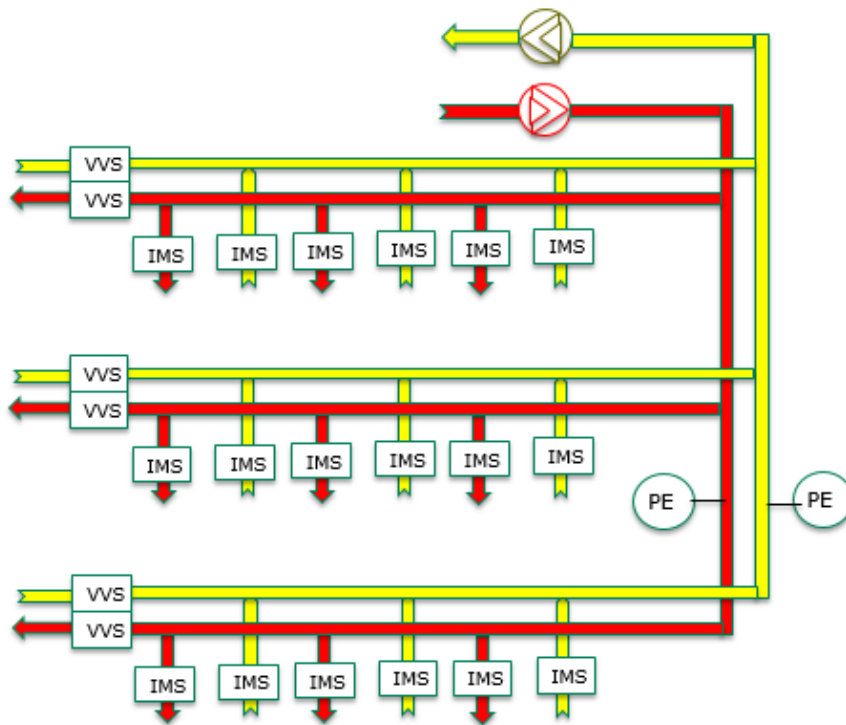
## 6.1 Perinteinen järjestelmä

Perinteisessä muuttuvailmavirtajärjestelmässä toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneiden puhaltimien kierrosnopeudet säätyvät runkokanaviin asennettujen staattisen paineen mittaustulosten perusteella siten, että kanavistoon ohjautuu tarpeenmukainen ja vakiona pidettävä paine. Runkokanaviin asennettavat paineanturit tulee sijoittaa tarpeeksi kauas puhaltimista, jotta välttäisiin mahdollisilta turbulentsien virtauksen aiheuttamilta virheellisiltä mittaustuloksilta. [13, s. 8.]

Perinteisellä tavalla toteutetussa muuttuvailmavirtajärjestelmässä kerroksissa sijaitsevat, esimerkiksi neuvotteluhuoneita palvelevat tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatteella toimivat ilmavirtasäätimet ovat paineesta riippumattomia säätimiä, jotka ohjautuvat huonemittauksien, esimerkiksi lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Vakioilmavirtaisia alueita palvelevat vakiovirtaushaarat varustetaan omavoimaisilla vakiovirtaussäätimillä, koska puhaltimien säätö ei välttämättä riitä pitämään painetta vakiona haarakanavissa kaikissa tilojen käyttötilanteissa. Tässä järjestelmätoteutustavassa kerrokseen meneviä haarakanavia ei varusteta erillisillä säätölaitteilla. [13, s. 8.]

Kuvassa 22 on esimerkki perinteisesti toteutetusta muuttuvailmavirtajärjestelmästä toimistorakennuksessa. Kerroksien neuvotteluhuoneiden ilmavirtasäätimien (IMS) avautuessa paine kanavistossa laskee, jolloin runkokanaviin asennetut paineanturit (PE) reagoivat paineen alenemiseen ja lähettävät puhaltimille ohjausviestin kanaviston paineen

nostamiseksi. Puhaltimet nostavat kierrosnopeutta siten, että paine kanavistossa nousee asetusarvoonsa. Neuvotteluhuoneiden ilmapirtasäätimien sulkeutuessa toiminta on päinvastainen, jolloin paineanturit reagoivat kanaviston paineen nousuun ja lähettävät puhaltimille ohjausviestin kanaviston paineen laskemiseksi. Vakioilmavirta-alueille johdettaviin ilmanvaihtokanaviin asennetaan omavoimaiset vakiovirtaussäätimet (VVS), jotka ylläpitävät alueelle ohjautuvaa vakioilmavirtaa. [13, s. 8.]



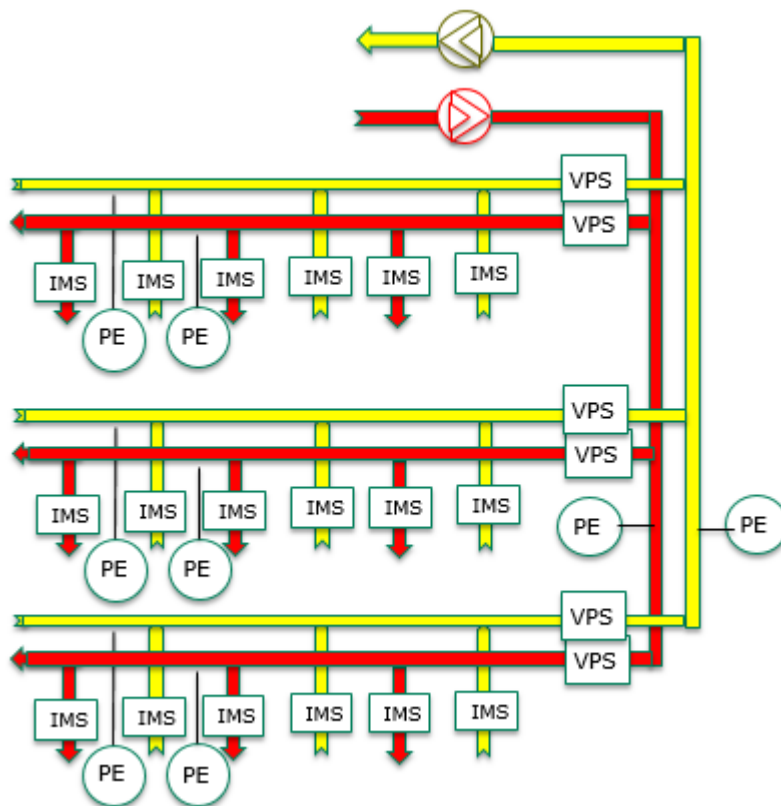
Kuva 22. Perinteisesti toteutetun ilmastointijärjestelmän periaate [13, s. 8].

## 6.2 Vakiopainejärjestelmä

Vakiopainejärjestelmässä toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneiden puhaltimien kierrosnopeudet säätävät runkokanaviin asennettujen staattisen paineen mittaustureiden perusteella siten, että vakioaine pysyy jatkuvasti kanavistossa. Runkokanaviin asennettavat paineanturit tulee sijoittaa tarpeeksi kauas puhaltimista, jotta välttyttäisiin mahdollisilta turbulenssisen virtauksen aiheuttamilta virheellisiltä mittaustuloksilta. [13, s. 9.]

Vakiopainejärjestelmänä toteutetuissa järjestelmissä kerroksiin menevät haarakanavat varustetaan vakiopainesäätimillä, jotka pitävät haarakanavan staattisen paineen jatkuvasti vakiona. Säätimet sijoitetaan toimistokerrosten haarakanaviin heti runkokanavien jälkeen ja staattisen paineen mittaussanturit noin puoliväliin kerroksen ilmanvaihtokanavistoa. [13, s. 9.]

Kuvassa 23 on esimerkki vakiopainejärjestelmänä toteutetusta ilmastointijärjestelmästä toimistorakennuksessa. Kerroksen neuvotteluhuoneiden ilmapirtasäätimien (IMS) avautuessa paine kerroksen kanavistossa laskee, jolloin kerroksen kanavistoon asennetut staattisen paineen mittausanturit (PE) reagoivat paineen alenemiseen. Kerrosten kanavien paineen mittausanturit (PE) lähettävät ohjausviestin kerroksen vakiopainesäätimelle (VPS), joka nostaa haarakanavan painetta muuttamalla säätöpellin asentoa tarvittavan paineen saamiseksi kerroksen kanavistoon. Vakiopainesäätimen (VPS) avautuessa paine runkokanavassa laskee, jolloin runkokanavissa olevat paineanturit (PE) reagoivat paineen alenemiseen lähettämällä ohjausviestin puhaltimille paineen nostamiseksi takaisin vakiopaineeseen. [13, s. 9.]



Kuva 23. Vakiopainejärjestelmän periaate [13, s. 9].

Vakiopainejärjestelmänä toteutetuissa muuttuvilmavirtajärjestelmissä kerroksissa sijaitsevat, esimerkiksi neuvotteluhuoneita palvelevat tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatteella toimivat ilmavirtasäätimet ovat paineesta riippuvia säätimiä, jotka ohjautuvat huonemittauksien, esimerkiksi lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Vakiopainejärjestelmässä vakioilmavirta-alueille johdettavia ilmanvaihtokanavia ei tarvitse varustaa erillisillä ilmavirtasäätimillä, koska paine pysyy haarakanavassa vakiona haarakanavan alkuun sijoitetun vakiopainesäätimen ansiosta. [13, s. 9.]

### 6.3 Paineoptimoitu järjestelmä

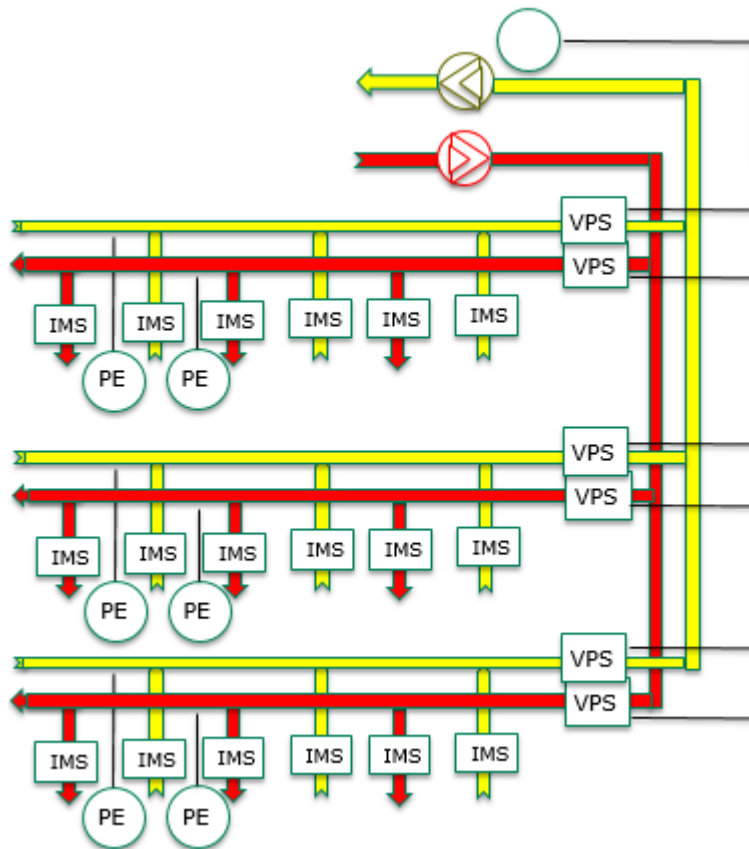
Paineoptimoidussa järjestelmässä toimistorakennuksen ilmanvaihtokoneiden puhaltimien kierrosnopeudet säätyvät kerroksien haarakanavien alkuun asennettujen vakiopainesäätimien säätöpeltien asentojen perusteella. Puhaltimien kierrosnopeudet ja painetuotot säätyvät suoraan kerroskohtaisten vakiopainesäätimien mukaan, minkä vuoksi runkokanavassa ei ylläpidetä tiettyä vakiopainetta. Järjestelmän toiminta edellyttää kuitenkin minimipaineen, minkä vuoksi vähintään yhden kerroskohtaisen vakiopainesäätimen tulee olla jatkuvasti kokonaan auki. [13, s. 10.]

Kerroksiin menevät haarakanavat varustetaan vakiopainesäätimillä, jotka pitävät haarakanavan staattisen paineen jatkuvasti vakiona. Säätimet sijoitetaan haarakanaviin heti runkokanavien jälkeen ja staattisen paineen mittausanturit noin puoliväliin kerroksen ilmanvaihtokanavistoa. [13, s. 10.]

Kerroksissa sijaitsevat tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatteella toimivat ilmavirtasäätimet ovat vakiopainejärjestelmän tapaan paineesta riippuvia säätimiä, jotka ohjautuvat huonemittauksien, esimerkiksi lämpötilan tai hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Paineoptimoidussa järjestelmässä vakioilmavirta-alueille johdettavia ilmanvaihtokanavia ei tarvitse varustaa erillisillä ilmavirtasäätimillä, koska paine pysyy haarakanavassa vakiona haarakanavan alkuun sijoitetun vakiopainesäätimen ansiosta. [13, s. 10.]

Kuvassa 24 on esimerkki paineoptimoituna järjestelmänä toteutetusta ilmastointijärjestelmästä toimistorakennuksessa. Kerroksen neuvotteluhuoneita palvelevien ilmavirtasäätimien (IMS) avautuessa paine kerroksen kanavistossa laskee, jolloin kerroksen

kanavistoon asennetut staattisen paineen mittaussanturit (PE) reagoivat paineen alenemiseen. Kerrosten kanavien paineen mittaussanturit (PE) lähettävät ohjausviestin kerroksen vakiopainesäätimelle (VPS), joka nostaa haarakanavan painetta muuttamalla säätöpellin asentoa tarvittavan paineen saamiseksi kanavistoon. Vakiopainesäätimen (VPS) avautuessa paine runkokanavassa laskee, jolloin puhaltimet optimoivat kaikkien kerrosten haarakanavien vakiopainesäätimien (VPS) asentoja ja puhaltimien pyörimisnopeutta siten, että tarvittava ilmavirta saadaan kerrokseen mahdollisimman pienellä kokonaispainella. Staattisen paineen pitämällä mahdollisimman matalana kanavistoissa vähennetään puhaltimien kuluttamaa sähköenergiaa ja lasketaan merkittävästi järjestelmän äänitasoja. [13, s. 10.]



Kuva 24. Paineoptimoitun järjestelmän periaate [13, s. 10].

Paineoptimoitu järjestelmä on yleensä yhden järjestelmätöimittäjän kokonaisuus, johon kuuluu tyypillisesti ilmamääräsäätimet, paineanturit sekä tarvittavat kerroskohtaiset painesäätimet sekä ilmanvaihtokoneen puhaltimien kierroslukua säättävä keskusyksikkö [8]. Paineoptimoituja järjestelmäkokonaisuuksia ovat esimerkiksi Fläkt Woods Oy:n IPSUM- ja Swegon Oy Ab:n Super WISE -järjestelmät.

## 7 Case: Ratavartijankatu 3

Tässä luvussa käsittelen referenssikohteena Helsingin Pasilassa sijaitsevaan toimisto- ja liikerakennukseen vuonna 2016 tehdyn laajan peruskorjauksen yhteydessä tehtyjä ilmastointijärjestelmiin liittyviä muutostöitä. Peruskorjauksen yhteydessä kiinteistön toimistokerrosten 2–5 ilmastointijärjestelmät muutettiin vakioilmavirtaperiaatteella toimivista järjestelmistä muuttuvailmavirtaisiksi järjestelmiksi. Muutostöiden tarkoituksena oli muuttaa toimistokerrosten ilmastointijärjestelmät kauttaaltaan uutta tilajakoa palvelevaksi.

Osoitteessa Ratavartijankatu 3 sijaitsevan kiinteistön toimistokerrosten 2–5 ilmanvaihtojärjestelmät käsittävät kaksi keskusilmanvaihtokonetta (TK01 ja TK02) sekä muutamia erillisiä huippuimureita, jotka palvelevat toimistokerrosten WC-tiloja, porraskäytäviä ja hissikuiluja. Keskusilmanvaihtokoneet TK01 ja TK02 sijaitsevat erillisissä konehuoneissa rakennuksen etelä- ja pohjoispään ullakkokerroksen (6. kerros) ilmanvaihtokonehuoneissa.

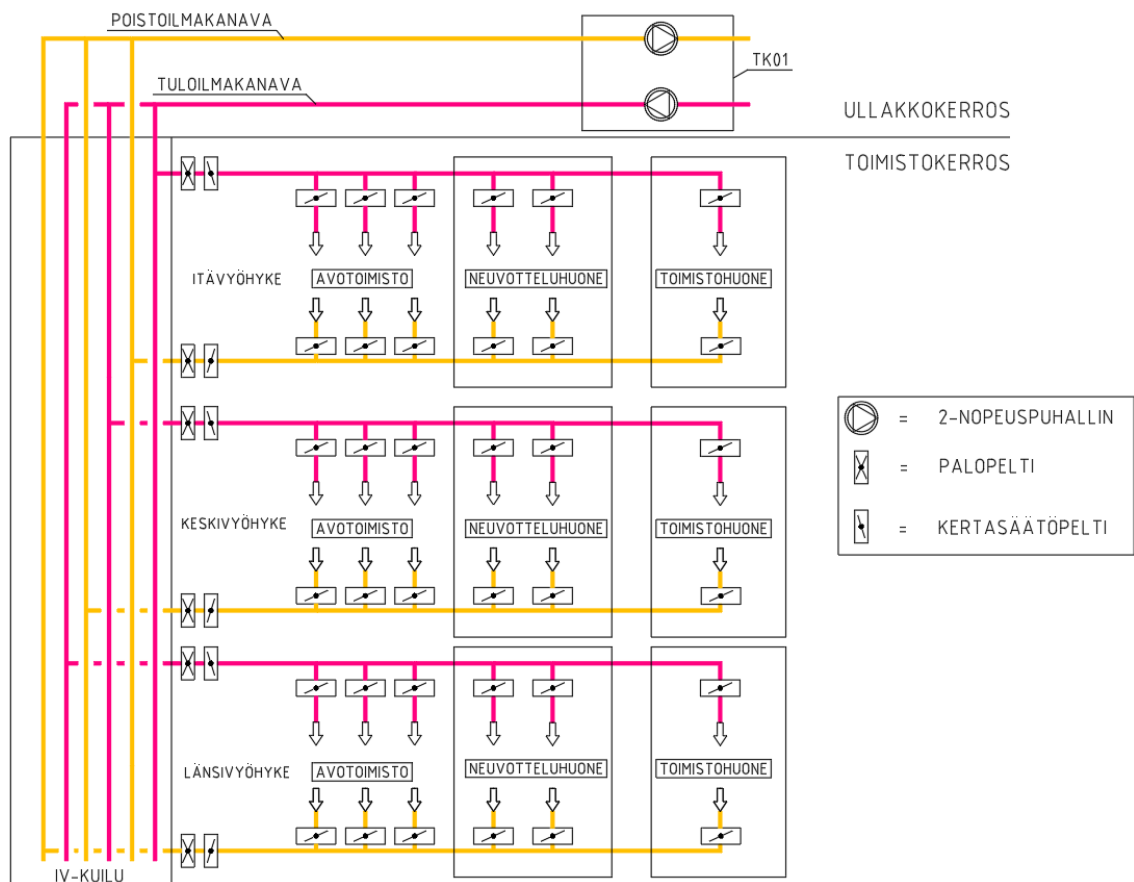
Ilmanvaihtokone TK01 palvelee toimistokerrosten 2–5 pohjoispuolen tiloja ja TK02 toimistokerrosten 2–5 etelänpuoleisia tiloja. Toimistokerrokset on lisäksi jaettu lisäksi kolmeen erilliseen vyöhykkeeseen (itä-, länsi- ja keskivyöhyke), joista jokaiselle johdetaan kuilujen kokoojakanavista omat tulo- ja poistoilman haarakanavat. Peruskorjauksen yhteydessä toimistokerrosten tilajakoja muutettiin, mutta tilojen käyttötavat pysyivät periaatteiltaan samanlaisina. Ennen ja jälkeen peruskorjausta jokaisessa toimistokerroksessa sijaitsi toimisto- ja neuvotteluhuoneita sekä avointa toimistotilaa.

### 7.1 Tilanne ennen muutostöitä

Ennen muutostöitä toimistokerrosten ilmanvaihtojärjestelmät oli toteutettu vakioilmavirtaisena järjestelmänä. Ilmanvaihtokoneiden TK01 ja TK02 tulo- ja poistoilmapuhaltimet olivat kaksinopeusmoottorilla varustettuja puhaltimia, jotka pyörivät tilojen käyttöaikoina jatkuvasti täysteholla ja käyttöaikojen ulkopuolella puhaltimet olivat pysähdyksissä. Käyttöaikoina puhaltimet pyörivät puoliteholla vain silloin, kun ulkoilman lämpötila oli todella alhainen eikä tarvittavaa ilmapirta saatu lämmitettyä tarpeeksi ilmanvaihtokoneen lämmityspattereilla.



Tulo- ja poistoilmakanavat haarautuivat ullakkokerroksessa kolmeksi erilliseksi kokoojakanavaksi ennen kuilua, josta kanavat edelleen haarautuivat kerroksien katonrajaan haarakanaviksi. Jokainen kuilusta lähtevä haarakanava oli varusteltu kuilun jälkeen palo- ja kertasäätepelleillä. Jokaisen vyöhykkeen alueella sijaitsi toimisto- ja neuvotteluhuoneita sekä avotoimistotilaa. Kaikki toimistoalueen liityntäkanavat oli varusteltu omilla kertasäätepelleillä, eikä tila- tai vyöhykekohtaista ilmavirtojen säätömahdollisuutta ollut. Kuvassa 25 on järjestelmäkaavio ilmanvaihtokone TK01:n toiminnasta yhdessä toimistokerroksessa ennen järjestelmiin tehtyjä muutostöitä. Piirrosmerkkien selitteet on listattu kuvan oikeassa reunassa olevaan listaan.



Kuva 25. Ilmanvaihtokoneen TK01 järjestelmäperiaate yhdessä kerroksessa ennen muutostöitä.

Ennen muutostöitä ilmanvaihtokanavistoa ei ollut varusteltu erillisillä ilmavirtojen ohjauksilaitteilla, minkä vuoksi mahdollisuutta tila- tai vyöhykekohtaisille ilmavirtojen tarpeenmukaisille ohjauksille ei ollut. Toimistokerrosten tilojen käyttö oli vaihtelevaa, minkä vuoksi tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle oli tarvetta.

## 7.2 Tilanne muutostöiden jälkeen

Peruskorjauksen yhteydessä toimistokerrosten vyöhykejako pysyi muuttumattomana, mutta tilajakoihin tehtiin muutoksia. Kerroksiin lisättiin neuvotteluhuoneita ja toimistotilat muuttuivat lähes kokonaan avotoimistoksi.

Peruskorjaushankkeen yhteydessä toimistokerrosten 2–5 ilmastointijärjestelmiin kohdistuneen muutostöiden tarkoituksena oli muuttaa toimistokerrosten ilmastointijärjestelmät kauttaaltaan uutta tilajakoa palvelevaksi. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon aikaansaamiseksi järjestelmät muutettiin aiemmista vakioilmavirtaperiaatteella toimivista järjestelmistä vakio paineperiaatteella toimiviksi muuttuvailmavirtajärjestelmiksi. Vakio painejärjestelminä toteutettujen ilmastointijärjestelmien toimintaperiaatteena on ylläpitää kanavistossa jatkuvasti vakio painetta riippumatta ilmavirtojen tarpeesta. Vakio painetta ylläpidetään ilmanvaihtokoneiden puhaltimien kierrosnopeutta säätämällä kanavistoon asennettujen paine-antureiden ohjausviestien perusteella.

Peruskorjauksessa ilmanvaihtokoneet TK01 ja TK02 peruskorjattiin kokonaisuudessaan. Koneiden puhaltimet uusittiin ja puhaltimien vanhat kaksinopeusmoottorit vaihdettiin portaattomasti säätyviin EC-moottoreihin. Kuilujen kaikkiin kokoojakanaviin asennettiin paineanturit. Kokoojakanaviin asennettujen paineantureiden ohjausviestin perusteella ohjautuvien EC-moottorilla varustettujen uusien puhaltimien kierrosnopeutta pysytään säätämään laajalla pyörimisnopeusalueella.

Ullakon alueella ja kuilussa oleviin ilmanvaihtokanaviin ei tehty muutostöiden aikana paineanturien lisäämisen lisäksi muita muutostöitä. Kuilujen ulkopuolisiin toimistokerrosten tulo- ja poistoilman haarakanaviin asennettiin sulkutoiminnolla varustetut vakio painesäätimet. Kuilujen lähtöjen tuntumaan asennettujen vakio painesäätimien avulla haarakanavien paine pysyy jatkuvasti vakiona riippumatta ilmavirtojen tarpeesta. Noin puoli väliin haarakanavistoa asennettiin paineanturit, joiden lähettämän ohjausviestin perusteella vakio painesäätimen säätöpellin asento määräytyy.

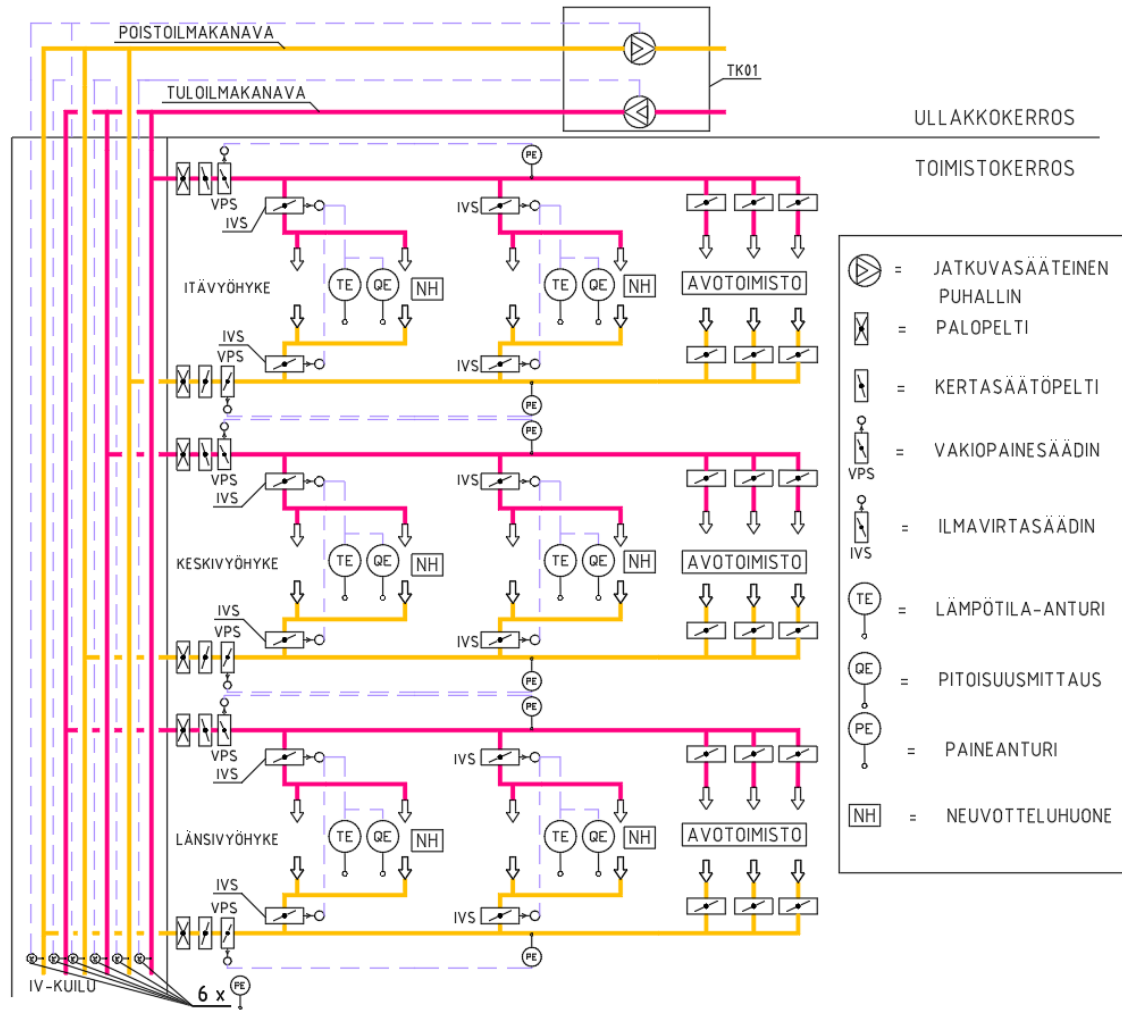
Muutostöiden jälkeen toimistojen työskentelyalueet pidettiin edelleen vakioilmavirtaisena alueena tilojen säännöllisen käytön vuoksi. Toimistojen työskentelyalueiden liityntäkanavissa olevat kertasäätöpellit säädettiin haarakanavaan asetetun vakio paineen määrittä-

mään asentoon, jotta tiloihin ohjautuisi vakiopaineella suunniteltu ilmavirta. Haarakanavassa ylläpidettävän vakiopaineen takia vakioilmavirta-alueille johdettavia kanavaosia ei tarvinnut varustaa erillisillä vakioilmavirtasäätimillä.

Toimistokerrosten neuvotteluhuoneisiin johdettavien tulo- ja poistoilman liityntäkanaviin asennettiin paineesta riippuvat ilmavirtasäätimet. Neuvotteluhuoneiden tuloilmavirtasäätimet ohjautuvat neuvotteluhuoneisiin sijoitettujen lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta mittaavien antureiden ohjausviestien perusteella siten, ettei tilan lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus nouse asetusarvoja korkeammiksi. Neuvotteluhuoneiden poistoilmanavassa sijaitsevan ilmavirtasäätimen säätöasento määräytyy tuloilmakanavan ilmavirtasäätimen asennon perusteella siten, että ilmavirtojen suhde pysyy tasapainoisena.

Järjestelmiin kohdistuneilla muutostöillä saatiin aikaan uutta tilajakoa tukeva tarpeenmukaisesti ohjautuva ilmastointijärjestelmä, joka on myös aiempaa energiatehokkaampi. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien kaksinopeusmoottoreiden vaihtamisella portaattomasti säätöviin moottoreihin vähennettiin huomattavasti puhaltimien kuluttamaa sähköenergiaa.

Kuvassa 26 on järjestelmäkaavio ilmanvaihtokone TK01:n toiminnasta yhdessä toimistokerroksessa järjestelmiin tehtyjen muutostöiden jälkeen. Piirrosmerkkien selitteet on listattu kuvan oikeassa reunassa olevaan listaan.



Kuva 26. Ilmanvaihtokoneen TK01 järjestelmäperiaate yhdessä kerroksessa muutostöiden jälkeen.

## 8 Yhteenveto ja päätelmät

Tällä insinööryöllä pyrittiin selvittämään muuttuvilmavirtaperiaatteella toimivien ilmastointijärjestelmien toimintaa ja vaihtoehtoisia tapoja järjestelmien toteutukselle erityisesti toimistorakennuksissa. Työssä selvitettiin erityisesti muuttuvilmavirtajärjestelmiin liittyvien ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteiden toimintaa sekä niiden käyttötarkoitusta järjestelmissä.

Ilmavirtojen säätölaitteita käsittelevässä osassa perehdyttiin erityisesti ilmanvaihtokanavistoon sijoitettaviin ilmavirtasäätimiin ja niiden erilaisiin käyttötarkoituksiin ilmastointijär-

jestelmissä. Säätimien toimintaperiaatteita käsittelevässä osassa selvisi, että ilmavirtasäätimet soveltuvat moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin ja niitä voidaan hyödyntää niin huonekohtaisessa kuin kerroskohtaisessakin ilmavirtojen säädössä. Ilmavirtasäätimellä voidaan ylläpitää esimerkiksi vakiopainetta kokonaisen kerroksen ilmanvaihtokanavistossa tai sillä voidaan säätää yksittäisen huoneen tarpeenmukaisesti ohjautuvia ilmavirtoja. Säätimiä on saatavilla kanavapaineesta riippuvaisina ja riippumattomina.

Työn ilmavirtojen ohjaustapoja käsittelevässä osuudessa selvisi, että ilmavirtoja voidaan ohjata erilaisten huonetiloihin asennettavien antureiden ja tunnistimien ohjaamana. Osuudessa käsiteltiin erityisesti toimistorakennuksissa usein käytössä olevien huoneantureiden toimintaa ja niiden soveltuvuutta ilmavirtojen ohjaukseen tiloissa, joissa ilmavirrat vaihtelevat tarpeenmukaisesti. Ilmavirtojen tarpeenmukainen ohjaus voi perustua esimerkiksi tilan lämpötilaan, sisäilman laatuun tai läsnäoloon. Ilmavirtojen ohjausperiaatteita käsittelevässä osassa ilmeni, että ilmavirtojen ohjaus tulee suunnitella aina tapauskohtaisesti siten, että se tukee parhaalla mahdollisella tavalla tilojen käyttötarkoitusta ja tilojen käyttäjiä.

Toimistorakennuksissa on usein käyttötarkoitukseltaan ja käyttöajoiltaan vaihtelevia tiloja, minkä vuoksi ilmavirtojen tarve vaihtelee esimerkiksi huone- tai vyöhykekohtaisesti. Tässä insinööriyössä käsiteltiin esimerkkitapauksena erään pääkaupunkiseudulla sijaitsevan toimistorakennuksen ilmastointijärjestelmiin kohdistunutta muutostyötä, jossa aiemmat täysin vakioilmavirralla toimineet järjestelmät muutettiin muuttuvailmavirtaperiaatteella toimiviksi järjestelmiksi. Esimerkkikohteen käsittelyllä pyrittiin selvittämään, mitä muutoksia järjestelmiin tehtiin ja millä perusteella järjestelmien ilmavirrat ohjautuvat ja säätyvät muutostöiden jälkeen. Esimerkkikohteen muutostöiden alku- ja lopputilanetta vertaamalla voidaan todeta, että suhteellisen vähäisillä järjestelmiin tehdyillä muutostöillä saatiin aikaiseksi energiatehokkaampi, uutta tilajakoa tukeva tarpeenmukaisesti ohjautuva ilmastointijärjestelmä.

Tämä insinööriyö toteuttaa mielestäni sille asetetut tavoitteet. Insinööriyön tuloksena saatiin selkeä kuva erilaisten muuttuvailmaperiaatteella toimivien ilmastointijärjestelmien toteutustavoista ja järjestelmiin liittyvien ohjaus- ja säätölaitteiden toiminnasta. Työ painottui käsittelemään erityisesti toimistorakennusten muuttuvailmavirtaisia ilmastointijärjestelmiä. Aiheeseen saatiin teoriaosuuden lisäksi myös käytännön näkökulmaa esimerkkikohteen käsittelyn muodossa.

Samaan aiheeseen liittyviä insinööritöitä on tehty aiemmin, mikä toi oman haasteensa tämän insinööri työn toteuttamiselle. Pyrin saamaan aiheeseen uutta näkökulmaa, jotta tämä insinööri työ ei toistaisi liikaa jo usein aiemmin käsiteltyjä aiheita. Haastavaa työssä oli aiheen rajaus, sillä lähdemateriaalia käsitellyistä aiheista löytyy runsaasti. Lähdemateriaaleista tuli tunnistaa ja löytää ne tiedot, jotka olivat tälle työlle oleellisia ja jotka tukivat tämän insinööri työn aiheen käsittelyä. Työssä pyrittiin keskittymään vain niihin ilmastointijärjestelmiin liittyviin seikkoihin, jotka liittyvät yleensä toimistorakennusten muuttuvilmavirtaisiin ilmastointijärjestelmiin.

Tässä insinööri työssä olisi voitu käsitellä enemmän ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ominaisuuksia, säätötapoja ja niiden merkitystä muuttuvilmavirtaperiaatteella toimivissa ilmastointijärjestelmissä. Puhaltimia ja niiden ominaisuuksia on tutkittu jo aiemmin useissa insinööritöissä, mutta mahdollisena jatkotutkimuksena voitaisiin esimerkiksi selvittää tarkemmin ilmanvaihtokoneiden puhaltimien vaihtamisella aikaansaatuja energiansäästöjä sekä muutostöistä aiheutuneiden kulujen takaisinmaksuaikoja.

Työn tilaajayritys voi hyödyntää tässä insinööri työssä selvitettyjä asioita omissa sisäisissä toiminnoissaan. Työn tuloksia voidaan käyttää tukemaan yleistä ilmanvaihtosuunnittelua ja ilmastointijärjestelmiin liittyvien ilmavirtojen ohjaus- ja säätölaitteiden valintaa niin uudis- kuin korjausrakennuskohteissakin.

## Lähteet

- 1 Yhtiöstä. Verkkoaineisto. Granlund Oy. <<http://www.granlund.fi/yhtiosta/>>. Luettu 29.12.2017.
- 2 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/27.12.2017. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 3 Energiatehokas ilmanvaihto. 2012. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas\\_ilmanvaihto2012.pdf](https://www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas_ilmanvaihto2012.pdf)> Luettu 29.12.2017.
- 4 Rakennusten energiatehokkuutta parannetaan sisäilman laadusta tinkimättä. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[http://www.ymparisto.fi/FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Rakennusten\\_energiatehokkuutta\\_paranneta\(45509\)](http://www.ymparisto.fi/FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Rakennusten_energiatehokkuutta_paranneta(45509))>. Luettu 3.1.2018.
- 5 Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Verkkoaineisto. Helsinki: FINVAC Ry. Ympäristöministeriö. <<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>>. Luettu 6.2.2018.
- 6 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointiteknikka osa 1. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- 7 Sisäilmasto ja ilmanvaihto –opas. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikka-info. <[https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/talotekniikkainfo\\_luonnos-\\_sisailmasto\\_ja\\_ilmanvaihto\\_opas\\_1.pdf](https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/talotekniikkainfo_luonnos-_sisailmasto_ja_ilmanvaihto_opas_1.pdf)>. Luettu 18.1.2018.
- 8 Salminen, Kauri. 2018. Ryhmäpäällikkö, Granlund Oy, Helsinki. Keskustelu 16.3.2018.
- 9 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointiteknikka osa 2. Helsinki. Helsinki. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- 10 Järjestelmätekniikka. 2007. Swegon Vesikiertoiset ilmastointijärjestelmät 2007. Verkkoaineisto. Swegon Oy Ab. <[https://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/\\_fi/SYSTEM-tech.pdf](https://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/_fi/SYSTEM-tech.pdf)>. Luettu 8.1.2018.
- 11 IMS-järjestelmät. 2014. Verkkoaineisto. Oy Lindab Ab. <[https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/a\\_13\\_vav.pdf](https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/a_13_vav.pdf)>. Luettu 3.2.2018.
- 12 Suunnittelu Optivent. 2013. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<http://m.flaktwoods.fi/12afc3b8-5351-4e2a-bd49-03ccde47b3bf>>. Luettu 6.2.2018.

- 13 Ilmamääräsäätöinen ilmanvaihtojärjestelmä. 2016. Yrityksen sisäinen koulutusmateriaali. Granlund Oy.
- 14 REACT Ilmavirtasäädin. 2017. Verkkoaineisto. Swegon Oy Ab. <[http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/\\_fi/REACTa.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/_fi/REACTa.pdf)>. Luettu 12.2.2018.
- 15 IMS-SÄÄDIN OPTIVENT@ULTRA. 2017. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=3a9fd553-fb10-4ab9-a717-aad2fd6f2c70>>. Luettu 9.2.2018.
- 16 Vakiopainesäädin BVAP. Verkkoaineisto. Bevent Oy. <[http://bevent.fi/wp-content/uploads/Tuote-esite\\_BVAP1.pdf](http://bevent.fi/wp-content/uploads/Tuote-esite_BVAP1.pdf)>. Luettu 30.1.2018.
- 17 Vakiovirtaussäädin ECSS, ECSD. 2016. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=506f777f-d717-48ca-9218-3806703229e8>>. Luettu 16.2.2018.
- 18 IR24-P Presence detector. 2014. Verkkoaineisto. AB Regin. <[https://www.regincontrols.com/Root/Documentations/42\\_11960/IR24-P\\_prsh\\_en.pdf](https://www.regincontrols.com/Root/Documentations/42_11960/IR24-P_prsh_en.pdf)>. Luettu 23.2.2018.
- 19 CO2RT-R(-D) CO<sub>2</sub>-sensors with built-in relay. 2012. Verkkoaineisto. AB Regin. <[https://www.regincontrols.com/Root/Documentations/42\\_10414/CO2RT-R\(-D\)\\_prsh\\_en.pdf](https://www.regincontrols.com/Root/Documentations/42_10414/CO2RT-R(-D)_prsh_en.pdf)>. Luettu 23.2.2018.
- 20 Ilmastointikone. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho5/iv-koje/iv-koje.htm>>. Luettu 2.3.2018.
- 21 Huonesäädin STRA-04. 2013. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=e0436ea1-9ebb-4992-ac8b-07927e803657>>. Luettu 29.2.2018.