



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Markus Malinen

Markkinoilla olevien ultraäänitoimisten ilmamääräsäätimien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

7.5.2019

Tekijä Otsikko	Markus Malinen Markkinoilla olevien ultraäänitoimisten ilmamääräsäätimien vertailu
Sivumäärä Aika	46 sivua 7.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää toimitusjohtaja Aki Kurronen
<p>Tässä insinööriyössä tutkitaan markkinoilla olevia ultraääni-ilmavirtasäätimiä sekä niiden ominaisuuksia. Opinnäytetyössä käsitellään ilmavirtasäätimen roolia osana terveellistä ja energiatehokkaasti toimivaa tarpeenmukaista ilmanvaihtojärjestelmää ja perehdytään ilmavirtasäätimien säätö- ja ohjaustapoihin keskitetyssä ilmanvaihtoratkaisussa.</p> <p>Opinnäytetyön mittaustyötä varten rakennettiin pieni ilmanvaihtokanavisto, jossa vertailtiin ilmavirtasäätimien toimivuutta sekä käyttäytymistä erilaisiin häiriölähteisiin nähden. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että ilmavirtasäätimien toiminnassa voi olla suuria eroja riippuen käytetyistä suojaetäisyyksistä, säätimien asennosta sekä häiriölähteistä. Ilmavirtasäätimien suunnittelussa ja asennuksissa tulee noudattaa erityistä huolellisuutta, jotta järjestelmä toimii oikealla tavalla.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tuloksissa esitetään ratkaisuja ilmavirtasäätimen haasteisiin ja niiden ennaltaehkäisyyn. Mittaustyön tuloksia voidaan käyttää tukemaan tehokasta ilmanvaihtosuunnittelua kiristyneiden energiamääräysten rinnalla. Ultraäänitekniikan hyödyntäminen ilmavirtojen mittaamisessa on erittäin toimiva ja se sulkee pois perinteisen ilmavirtasäätimen ongelmia.</p>	
Avainsanat	ilmamääräsäädin, tarpeenmukainen ilmanvaihto

Author Title	Markus Malinen Comparison of Ultrasound-based Variable Air Volume Dampers
Number of Pages Date	46 pages 7 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Aki Kurronen, Chief Executive Officer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the properties and functionality of ultrasound-based variable air volume (VAV) dampers, especially to explore the control strategies and adjustment of variable air flows in well-functioning demand control ventilation systems, especially in residential buildings. A major aim was to measure the performance of two ultrasound VAV dampers.</p> <p>The damper measurements were carried out with the help of a small ventilation system in order to find out the differences and the functionality of the two ultrasound VAV-dampers. According to the measurement results, there can be large differences between air control dampers resulting from differences in the safety distance, disturbance, and the position of the dampers.</p> <p>The results showed that using ultrasound technology for measuring airflows can be very effective and it excludes some of the problems that traditional VAV dampers have. Full understanding of the system principles and accurate system design are key factors of a healthy building.</p> <p>This thesis provides insight into how some of the challenges of VAV dampers can be solved in practice. The results of this thesis can be used to support energy efficient HVAC design.</p>	
Keywords	variable air volume damper, demand control ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vertailutyön perusteet	1
3	Ilmanvaihtojärjestelmät	2
3.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	2
3.2	Ilmastointijärjestelmät	3
4	Ilmajärjestelmät	3
4.1	Vakioilmavirtajärjestelmä	3
4.2	Muuttuvilmavirtajärjestelmä	5
5	Ilmavirran säätö ja ohjaus	8
5.1	Yleistä säädöstä ja ohjauksesta	8
5.2	Muuttuvilmavirtajärjestelmän säätötavat	9
5.3	Ilmavirran säätölaitteet	11
6	Ilmavirtasäätimet keskitetyssä asuinkerrostalon ilmanvaihdossa	13
7	Ilmavirtasäätöjärjestelmien haasteet	15
8	Ilmamääräsäätimien mittaustyö	17
8.1	Yleistä mittausten suorittamisesta	17
8.2	Mittalaitteet	18
8.2.1	PHM-V1	18
8.2.2	Halton PRA	18
8.2.3	Halton MSD -mittarengas	19
8.2.4	FläktGroup Optivent ultra – ULSA	20
8.2.5	Lindab Ultralink – FTCU	21
9	Mittausten suorittaminen	22

9.1	Mittausjärjestelyt	22
9.2	Mittaukset suorassa kanavassa	24
9.3	Mittaukset häiriölähteen jälkeen	31
10	Yhteenveto	40
	Lähteet	44

Lyhenteet

CAV	<i>Constant Air Volume System.</i> Vakioilmavirtajärjestelmä
DCV	<i>Demand Control Ventilation.</i> Tarpeenmukainen ilmanvaihto
IMS	Ilmamääräsäädin
IVS	Ilmavirtasäädin
VAV	<i>Variable Air Volume System.</i> Muuttuvailmavirtajärjestelmä.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on verrata markkinoilla olevia ultraääni-ilmamääräsäätimiä ja niiden ominaisuuksia. Ultraääntä hyödyntävä ilmamääräsäädin on uusi keksintö markkinoilla, minkä vuoksi säätimien toimivuudesta ja tarkkuudesta ei ole saatu paljoa palautetta kentältä. Ultraääni-ilmavirtasäätimiä on tällä hetkellä markkinoilla kahdella eri valmistajalla: Fläkt Groupilla sekä Lindabilla.

Tämän opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään ilmamääräsäätimien roolia muuttuvailmavirtaperiaatteella (VAV) toimivissa ilmastointijärjestelmissä. Työssä verrataan IMS-järjestelmän toimivuutta yhteiskanavajärjestelmän ja asuntokohtaisen kanavajärjestelmän välillä sekä tutkitaan IMS-peltien mittaustekniikkaa ja haasteita niiden käytössä. Ilmanvaihdon kosteuden ja lämpötilan hallinta jätetään pienemmälle huomiolle ja pääpaino työssä pyritään pitämään ilmavirtasäätimissä.

Insinööriyössä IMS-peltien mittauserä tarkkuutta selvitettiin rakentamalla Metropolian tiloihin pieni kanavisto, jossa ilmamäärää mitattiin eri valmistajien mittalaitteilla eri puolilta kanavistoa. Vertailutyössä IMS-pelleille syötettiin ilmaa monilla eri ilmamääräalueilla, jotta niille saatiin vaihteleva säätöalue ja tätä kautta saatiin monipuolinen mittaus aikaiseksi.

Työn tilaajana toimi Insinööritoimisto Entalcon Oy, joka on vuonna 1981 perustettu LVIA-suunnittelualan yritys ja työllistää tällä hetkellä noin 15 henkilöä. [1.]

2 Vertailutyön perusteet

Ilmamääräsäätimiä käytetään asuintuotannossa pääosin muuttuvailmavirtajärjestelmissä, jossa säätimet on sijoitettu yleensä huoneistokohtaisesti ja säätimiä on paineesta riippuvia sekä paineesta riippumattomia malleja. Perinteisiä ilmamääräsäätimiä, jotka käyttävät mittaussauvaa ilmamäärän mittauksessa, ovat olleet pidemmän aikaa markkinoilla, ja niiden toiminnasta on saatu tarkempi käsitys. Haasteena näissä mittaussauvaa hyödyntävissä ilmavirtasäätimissä

on niiden vaatima korkea painehäviö, äänitasot sekä mahdollinen epäluotettavuus mittaustarkkuudessa. Mittaustarkkuuden suurin epäluotettavuus johtuu kanavassa vallitsevien epäpuhtauksien, kuten pölyn ja lian esiintymisestä, jonka vuoksi ne tukkivat mittausantureita ja tällöin mittalaite mittaa virheellisesti todellista ilmamäärää. Säätimissä oleva mittaussauva ei aiheuta juurikaan painehäviötä, mutta ilmavirtaa säätelevä säätöläppä kasvattaa painehäviötä ja saattaa nostattaa ääntä ilman mennessä siitä läpi. Ultraäänisäätimessä puolestaan mittausanturi ei aiheuta painehäviötä, mutta samalla tavalla ilmaa säättävä pelti aiheuttaa painehäviötä kuten tavanomainen IMS-pelti. Lindab on ilmoittanut, että mittausantureiden likaantumista ei tapahdu ultraääni-ilmamääräsäätimissä, sillä ilmavirtojen mittaaminen tapahtuu kanavan pinnasta ja tällöin likaantuminen ei vaikuta mittaukseen eikä säätöön. [2.]

3 Ilmanvaihtojärjestelmät

3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihdon tarkoituksena on luoda viihtyisä sisäilmasto kiinteistössä sen käyttäjille oleskelutiloissa. Perusperiaatteena ilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on hallita ilman laatua poistamalla epäpuhtauksia sisäilmasta ja tuoda tilalle puhdasta ilmaa, jolloin puhtauden tarve määrittää ilmavirtojen mitoituksen. Käytännössä ilma suodatetaan ulkoilman haitallisista epäpuhtauksista ja tämän jälkeen lämmitetään sisäilmalle sopivaksi. Ilmanvaihto pyritään suunnittelemaan mahdollisimman hyvin, jotta haluttuihin lämpötiloihin päästään. [3, s. 113.]

Ympäristöministeriön laatima asetus 1009/2017 sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta velvoittaa, että ilmanvaihtojärjestelmää tulee voida mitata, ohjata ja seurata. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellun käyttöiän saavuttamiseksi sitä tulee käyttää, huoltaa ja kunnossapitää oikein. [4, s. 4.]

3.2 Ilmastointijärjestelmät

Ilmastointijärjestelmät (air conditioning system) käsittävät yleensä ilmanvaihdon lisäksi myös lämpötilojen ja kosteuden hallintaa. Näiden olosuhteiden hallitsemiseksi tuloilmavirran mitoittaminen riippuu lämmityksen ja jäähdytyksen toteustustavasta tiloissa. Tiloissa kiertävän tuloilman lisäksi jäähdytystä voidaan hallita erillisillä huonelaitteilla esimerkiksi puhallinkonvektoreilla ja jäähdytyspalkeilla. Suhteellisen kosteuden nousua liian suureksi sisätiloissa estetään kuivaamalla sisään puhallettavaa ilmaa riippuen ulkoilmaolosuhteista.

Jäähdytetyllä tuloilmavirralla ei kuitenkaan välttämättä saavuteta tavoiteltua huonelämpötilaa, vaikka tuloilmasta saadaan huoneilmaa viileämpää. Tässä tapauksessa käytetään termiä viilennys, joka erottaa sen lämpöolojen hallinnasta. Nämä kaksi on välillä epäselvää erottaa toisistaan.

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät eroavat toisistaan monesti hyvin vähän toisistaan. Ilmanvaihtoalan ammattilaistenkin keskuudessa termejä ilmanvaihto ja ilmastointi käytetään vaihtelevasti, varsinkin jos kyseessä on rakennus, jonka järjestelmän toimintaa tai mitoitusta ei voida tietää. Pääasissa näiden ero on kuitenkin tuloilman käsittelyssä ja mitoitusperiaatteissa. [3, s. 113.]

4 Ilmajärjestelmät

4.1 Vakioilmavirtajärjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmässä eli CAV-järjestelmässä (Constant Air Volume) lämmitys tapahtuu yleensä radiaattoreilla ja viilennys tuloilman avulla tai mahdollisesti huonelaitteilla. Järjestelmässä ilmavirta on vakio, eli käyttöaikana ilmavirrat pysyvät muuttumattomina ja ilmavirrat mitoitetaan yleensä kesäajan jäähdytystarpeen perusteella tai käyttötarpeen mukaan. Ilmavirtoja säädetään kanavistossa vakioilmavirtasäätimillä ja säätöpelleillä. Mikäli rakennuksessa on useammassa kerroksessa tiloja, tulee ilmavirtojen pienennystä välttää, jotta rakennuksen painesuhteet

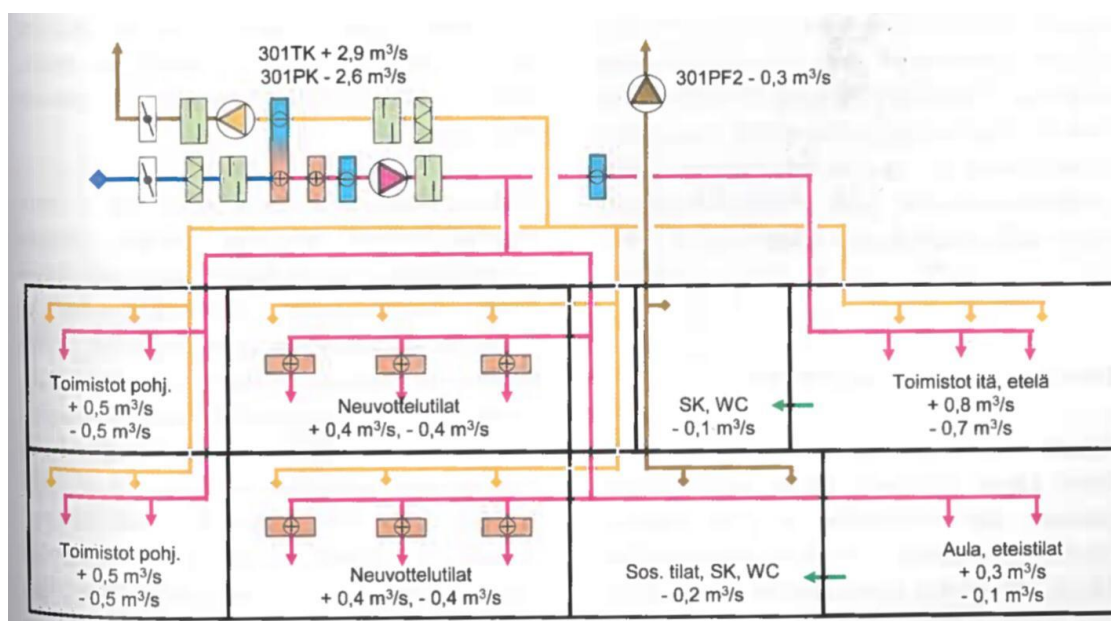
eivät mene sekaisin. CAV-järjestelmä sopii käytettäväksi kohteissa, joissa tilojen käytönaikaiset lämpökuormat eivät juuri poikkea toisistaan. Myös suurissa tiloissa CAV-järjestelmä on sopiva vaihtoehto. Vakioilmavirtajärjestelmä on edullinen ilmanvaihtoratkaisu, johtuen sen pienistä investointikustannuksista verrattuna esimerkiksi muuttuvailmavirtajärjestelmiin, joissa saattaa olla arvokkaita ilmanhallintalaitteita. [3, s. 132.]

Ympäristöministeriön uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta vuonna 2018 voimaan tulleen asetuksen taustamateriaalissa Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet -hankkeen loppuraportissa on ohjeita erityyppisten rakennusten ilmavirtojen mitoitukseen. Rakennuksesta riippuen ilmamäärät saattavat vaihdella käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolisen ajan aikana. Ympäristöministeriön sisäilma-asetuksen pykälässä 10 todetaan ilmavirtojen ohjauksesta, että ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen tai ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti. Asuinhuoneistojen ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava niin, että tulo ja poistoilmavirtoja voi ohjata joko rakennus- tai asuntokohtaisesti siten, että niitä voidaan tehostaa vähintään 30 % suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat. Tämän asetuksen perusteella keskitettyssä ilmanvaihdossa asuintaloissa on ruvettu ottamaan käyttöön moottoripeltitehostusta, jossa tuloilmavirtaa tehostetaan moottoritoimisella sulkupellillä liesikuvun ollessa tehostusasennossa. Samalla ilmanvaihtokone nostaa kierroksia. Asuintaloissa ilmavirtoja on siis voitava tehostaa, jolloin asuintalot ovat nykyisin muuttuvailmavirtajärjestelmiä. [4.]

Vakioilmavirtajärjestelmä toimii yleensä joko maksimi-ilmavirralla, tai se on kokonaan pois päältä. Käyttöajan ulkopuolella koulujen, päiväkotien ja toimistojen ilmanvaihtojärjestelmiä pyritään käyttämään minimi-ilmavirtaohjauksella, jotta ilmavirrat saadaan ympäristöministeriön laatiman oppaan mukaiselle tasolle. Ympäristöministeriön mukaan ilmavirtojen käyttöajan ulkopuolella tulee olla vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{m}^2$ ja, jokaisessa huonetilassa ilman tulee vaihtua. [4; 5, s. 49.]

Kuvassa 1 on esitetty periaate CAV-järjestelmän järjestelmäkaaviosta. Kuvassa tuloilma on suodatettu ulkoilman epäpuhtauksista, minkä jälkeen sitä on lämmitetty ensin ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton läpi hyödyntäen poistoilman sitomaa lämpöä ja sen jälkeen sitä joko lämmitetään tai jäähdytetään, riippuen käyttötarpeesta. Jos

rakennuksessa on tiloja, joiden lämpökuorma vaihtelee keskenään huomattavasti esimerkiksi auringon lämpösäteilyn vuoksi, voidaan eri tilojen kanaviston haarojen jälkeen lisätä tarvittaessa lämmitys- ja jäähdytyspattereita. Tällöin vakioilmavirtajärjestelmää voidaan hyödyntää rakennuksissa, joissa lämpöolot ovat vaihtelevia. Puhaltimet ovat kaksinopeuksisia, jotta ilmanvaihtoa voidaan käyttää myös käyttöajan ulkopuolella osateholla. Kuvan ilmanvaihtokoneessa tuloilmavirta on mitoitettu hieman suuremmaksi kuin poistoilmavirta, sillä likaiset tilat, kuten WC ja sosiaaliset tilat on varustettu omalla huippuimurillaan, jossa ilmaa poistetaan sen verran, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuria. [6, s. 293.]



Kuva 1. CAV-järjestelmän järjestelmäkaavion esimerkki [6, s. 293]

4.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmä

Muuttuvailmavirtajärjestelmällä eli VAV-järjestelmällä tarkoitetaan yleisesti ilmastointijärjestelmää, jossa ilmavirrat määräytyvät tilojen kuormituksen ja epäpuhtauksien perusteella. Kyseisestä järjestelmästä käytetään useita eri nimityksiä, kuten DCV-järjestelmä (Demand Control Ventilation), jolla tarkoitetaan yleensä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Siinä ilmavirtaa säädetään jatkuvasti sopivaksi todellisen tarpeen mukaan. Muita lyhenteitä näille järjestelmille, joita käytetään on mm. MIV-

(muuttuvilmavirta), IMS- (ilmamääräsäätöinen) ja IVS-järjestelmä (ilmavirtasäätöinen). [3, s. 133–136.]

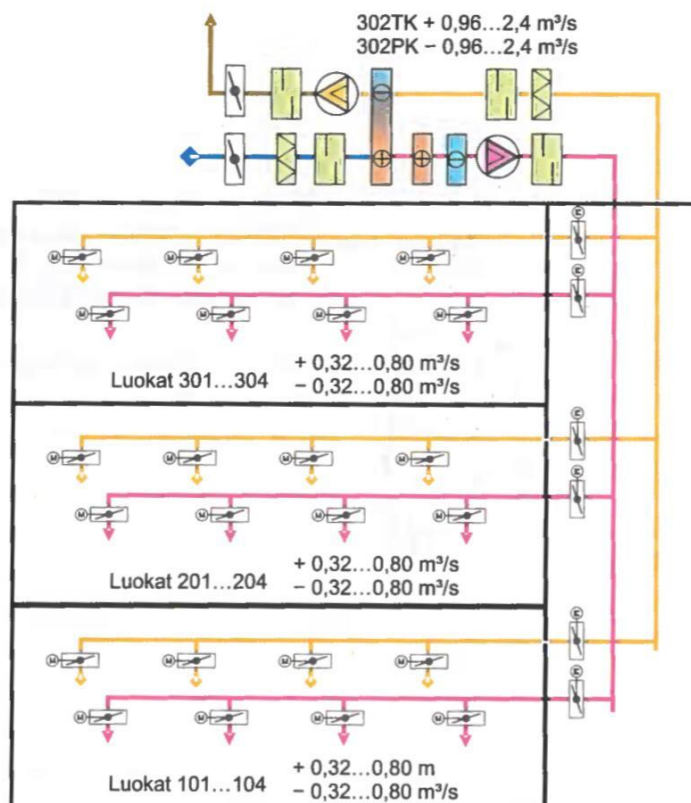
Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon merkitys ilmanvaihdossa on yksinkertaisesti huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huonetilan ilmavirtaa muuttamalla kuormituksen ja epäpuhtauksien perusteella. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ohjataan yleensä huonesäätimillä, joko manuaalisesti tai huoneanturin ohjaamana esimerkiksi hiilidioksidi-, lämpötila- tai läsnäoloanturin perusteella. Se määritellään käytännössä samaksi kuin muuttuvilmavirtajärjestelmä, mutta MIV-järjestelmä luokitellaan yleisesti ilmastointijärjestelmäksi. [3, s. 395–96.]

Muuttuvilmavirtajärjestelmä on tyypillisimmillään toimistoissa ja liikerakennuksissa huonekohtainen, jolloin rakennuksen jokaisessa huonetilassa on oma ilmavirran säätö. Jos rakennuksen tiettyihin osiin kohdistuu auringon säteilyä, järjestelmä voidaan toteuttaa vyöhykekohtaisesti, jolloin säätölaitteilla ohjataan ilmavirtaa useammille huoneille. Tällöin huoneiden kuormituserot olisi hyvä olla yhtäsuuriset. Asuintaloissa ilmavirran säätö toteutetaan yleensä huoneistokohtaisesti, jolloin jokaiselle asunnolle tulee omat ilmavirtayksikkönsä. [3, s. 133–136.]

Muuttuvilmavirtajärjestelmän keskusyksikköön kuuluu suodatus, lämmön talteenotto, sekä lämmitys ja jäähdytys. Talviaikaan jäähdytys voidaan hyödyntää ulkoilman alilämpöisyydellä ja kesäaikaan se hoidetaan jäähdytyspatterilla, jossa kiertävä vesi on jäähdytetty esimerkiksi vedenjäähdytyskoneella. Yksinkertaisinta on pitää tuloilmavirran lämpötila vakiona vuoden jokaiseen aikaan (esimerkiksi 16 °C) ja huoneen lämpötilaa ohjataan säätämällä ilmavirtaa. Tuloilman lämpötila pyritään pitämään vakiona, sillä talviaikaan muuttamalla tuloilman lämpötilaa suuremmaksi saattaa joistakin tiloista jäähdytysteho jäädä liian pieneksi. Jos vierekkäisten huoneiden lämpökuormat ovat hyvin erilaiset, varustetaan järjestelmän huoneyksikkö jälkilämmityspatterilla. [3, s. 133; 6, s. 301.]

Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu VAV-järjestelmän kaavio, jossa tuloilma on käsitelty samalla tavalla kuin edellisessä CAV-järjestelmäkuvassa. Kuvassa oleva ilmanvaihtokone palvelee vain luokkatiloja, ja esimerkiksi käytävät ja sosiaaliset tilat on

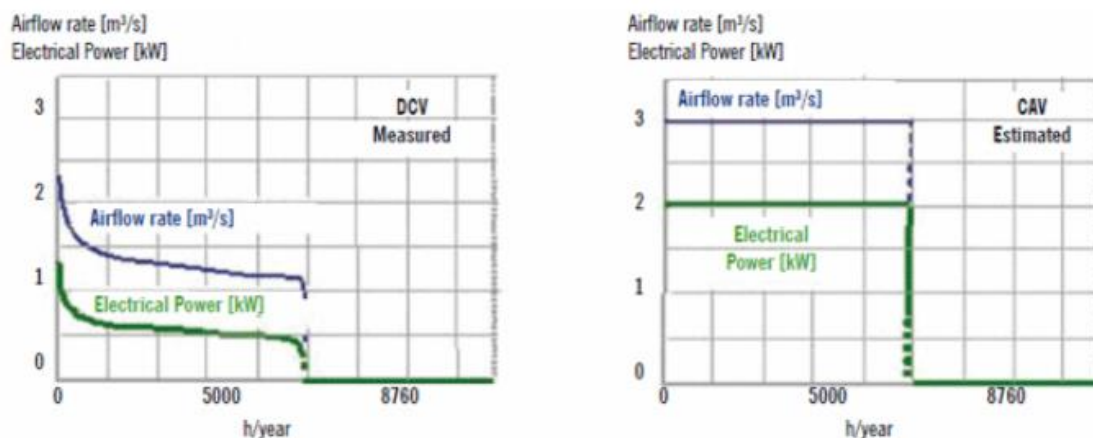
toteutettu omilla ilmanvaihtokoneillaan. Kuvaan on merkitty tilojen, vyöhykkeiden, ja koneiden ilmavirrat. Vyöhykkeiden kanavan paineen säädössä säädetään kunkin vyöhykkeen kanavaan ilmavirtasäätimien avulla vakio paine. Tilakohtaiset ilmavirtasäätimet säätelevät kunkin tilan ilmanvaihtoa tilan tarpeen mukaan, jolloin vyöhykkekanavistossa ilmavirta vaihtelee, mutta vyöhykkekanaviston paine pysyy anturin kohdalla vakiona. [6, s. 301–302, 307.]



Kuva 2. VAV-järjestelmän järjestelmäkaavion esimerkki [11, s. 302]

Ruotsissa eräässä toimistorakennuksessa tehtiin tutkimus, kuinka paljon tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla on energiansäästömahdollisuuksia verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään. Tutkimuksen kohteena olleen rakennuksen tuloilmaa ohjattiin lämpötilan ja läsnäolon perusteella, ja tuloilman lämpötila oli noin 15 °C. Kohteen suunniteltu ilmavirta oli 3 m³/s, ja kohde koostui 58 toimistohuoneesta ja useista neuvotteluhuoneista. Kuvassa 3 on esitetty rakennuksen tuloilmapuhaltimen ilmavirrat ja sitä vastaava sähkönkulutus vuoden aikana. Tuloksista huomataan, että on mahdollista

rakentaa hyvin toimiva järjestelmä, jossa on potentiaalia säästää energiaa säilyttämällä käyttömukavuus, ja käyttäjille mahdollisuus hallita ilman olosuhteita. Kuvasta 3 huomaa, että ilmavirrat eivät missään vaiheessa vuotta käyneet maksimissa, vaan korkeimmillaan ilmavirrat olivat 76 % suunnitellusta maksimista ja 80 % ilmastointikoneen käyntiajasta ilmavirrat olivat 45 % mitoitusilmavirrasta. [14, s. 4–5.]



Kuva 3. Vasemmassa taulukossa on mitattu tuloilmavirta ja sitä vastaava sähkönkulutus vuoden aikana. Oikeassa taulukossa on teoriassa laskettu saman rakennuksen tuloilmavirta ja sitä vastaava puhaltimen sähkönkulutus vakioilmavirtaperiaatteella toteutettaessa. [14, s. 5.]

5 Ilmavirran säätö ja ohjaus

5.1 Yleistä säädöstä ja ohjauksesta

Muuttuvailmavirtajärjestelmässä huoneen maksimi- ja minimi-ilmavirrat määrittävät ilmamääräsäätimen mitoituksen yhdessä kanavapaineen vaihtelun kanssa. Ilmavirtojen vaihtelu saadaan aikaiseksi kanavaan asennettavilla säätöpelleillä sekä tarvittaessa aktiivisilla päätelaitteilla, joilla pyritään välttämään vedon tunnetta pitämällä heittopituus vakiona. Yleensä tuloilmavirtaa säädetään huoneanturien ohjaamana ja poistoilmavirta toteutuneen tuloilmavirran perusteella. Kokonaisuuden kannalta on tärkeää varmistaa ilmavirtasäätimien toiminta koko ilmavirta-alueella käytettävissä olevan kanavapaineen mukaan. Yleensä ilmamääräsäätimen säätöalue alkaa

säätöläpän ollessa 30 % auki. Ilmavirtasäädintä valittaessa sen toiminta-alueita voi tarkastella valmistajan antamista ilmavirta-painehäviö-käyrästä. [6, s. 302–303.]

Paineesta riippuvassa ilmavirtasäätimessä ilmanvaihtokanavassa tulee olla vakioaine, sillä se ei pysty käsittelemään paineen vaihteluita. Paineesta riippuva ilmavirtasäädin ei tarvitse ilmavirran mittausta toimiakseen. Kun ilmavirtasäätimen moottori saa käskyn RAK-järjestelmästä, säätää IMS:n moottori ilmanvirran rakennusautomaatiojärjestelmän viestin mukaisesti. Riippuen ilmavirran muutoksesta ilmanvaihtokoneen puhaltimen tulee nostaa tai laskea kierroslukuaan kanavistoon asennetun paineanturin mukaisesti, jotta vakioaine pysyisi yllä. [16.]

Paineesta riippumattomassa ilmavirtasäätimessä puolestaan vaaditaan ilmavirran mittaus ilmavirtasäätimessä, mutta paineesta riippumaton ohjaus ei vaadi vakioainetta kanavistossa. Ilmavirtasäätimen säätöpellin asento määräytyy rakennusautomaatiojärjestelmästä saadun viestin ja ilmamääräsäätimen yhteyteen asennettujen paine- tai ilmavirtamittarin mukaan. [16.]

5.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmän säätötavat

VAV-järjestelmän painetasojen yksinkertainen säätötapa on sijoittaa paineanturit ilmastointikoneen yhteyteen, jolloin ilmanvaihtokoneen puhaltimia säädetään taajuusmuuttajalla ja tällöin staattinen paine pysyy vakiona tulo- ja poistoilmakanavissa. Tämä ei kuitenkaan ole järkevin tapa säästää energiaa, sillä staattiset painetasot täytyy määrittää niin, että maksimi-ilmavirralla paine on riittävä. Koneen käydessä osateholla painehäviöt kanavistossa laskevat, jolloin ilmavirtasäätimiä joudutaan kuristamaan enemmän ja energiansäästö jää saavuttamatta. Tätä säätötapaa on käytetty aikanaan toimistorakennuksissa ja johtuen tämän säätötavan ongelmista, sitä ei juurikaan enää käytetä. [17.]

Vakioainejärjestelmässä runkokanavasta lähtevissä haarakanavissa on vakioainesäätimet, jotka jakavat kanaviston vyöhykkeisiin. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien kerrosnopeudet säätävät staattisten paineantureiden perusteella, niin että koko vyöhykkeellä pysyy jatkuvasti vakioaine. Painesäätimen tarkoituksena on pitää

haarakanavassa vakioaine paineanturin kohdalla, vaikka tilakohtaisissa ilmavirtasäätimissä ilmavirta muuttuu tarpeen mukaan. Vyöhykesäätöjen painelähettimet on sijoitettava ilman virtauksen suunnassa kanaviston loppupään läheisyyteen. Vakioainejärjestelmässä voidaan käyttää paineesta riippuvia ilmavirtasäätimiä. [6, s. 307.]

Yksi VAV-järjestelmän painetasojen säätötapa on sijoittaa paineanturi runkokanavistoon, jonka tarkoituksena on pitää staattinen paine mahdollisimman alhaisena. Käytettäessä paineesta riippumattomia ilmavirtasäätimiä paineanturi tulisi sijoittaa sellaiseen kohtaan kanavistossa, jossa vallitsee pienin staattinen paine puhaltimen jälkeiseen paineeseen. Mikäli ilmanvaihtokoneen puhallinta ohjataan vain yhdestä pisteestä ja kanavistossa on useita haarakanavia, on mahdollista, että alhaisin staattinen paine esiintyy useassa eri kohdassa, jolloin paineanturi tulisi sijoittaa jokaiseen näihin kriittisiin haarakanaviin. Vaihtelevat ilmavirrat järjestelmässä aiheuttavat vaihtelua staattiseen paineeseen kanavassa, minkä takia paineen hallinnan tulisi olla riittävän monipuolista, jotta välttyttäisiin liialliselta paineennousulta ilmanhallintalaitteissa, kun keskimääräinen ilmavirtauksen määrä on pieni. Yleisesti ilmavirtalaitteiden tulisi kestää paineen tippumista 100 Pa, ilman että siitä syntyy ääniongelmia. Ilmavirtojen kriittiseksi reitiksi kutsutaan sitä reittiä, jossa painehäviöt puhaltimelta päätelaitteelle kussakin käyttötilanteessa ovat suurimmat. Ilmavirtasäätimiä puolestaan ohjataan huonemittausten mukaan esimerkiksi hiilidioksidi- tai lämpötila-anturien perusteella tai käsikäytöllä. [14, s. 2–3.]

Kahdesta edellisestä esimerkistä vielä edistyneemmässä säätötavassa kanavapainetta pyritään optimoimaan, jolloin ilmavirtoja pyritään pitämään yllä mahdollisimman pienillä puhaltimen kierrosnopeuksilla. Ideana on, että kriittisen reitin ilmavirtasäädin on aina maksimiasennossa ja tällä tavoin kanaviston yli- tai alipaine asettuu mahdollisimman alhaiseksi. Mikäli säätöyksikkö havaitsee, että mikään ilmavirtasäädin ei ole maksimiasennossa, se alentaa puhaltimen kierrosnopeutta, kunnes jokin kanaviston virtaussäätimistä on maksimiasennossa. Ilmavirtasäätimet havaitsevat staattisen paineen laskun ja alkavat avautumaan, jotta ne saavuttavat niille asetetut ilmavirrat. Kun jokin virtaussäätimistä on saavuttanut maksimiasentonsa, siitä lähtee viesti säätöyksikölle ja se pysäyttää puhaltimen kierrosten laskemisen. Vastaavasti staattisen paineen ollessa liian pieni virtaussäätimeltä tulee tästä säätöyksikölle tieto, ja se alkaa

nostamaan puhaltimen kierroksia niin pitkään, kunnes jokin ilmavirtasäätimistä saavuttaa tavoiteilmamäärän. Tässä tilanteessa virtaussäätimet kommunikoivat suoraan säätöyksikölle automaation väylän kautta ja siitä edelleen puhaltimen ohjaukseen. Tällöin paineensäätöantureita ei välttämättä tarvita. Tämä kuitenkin vaatii monimutkaisempaa tekniikkaa, joka on herkempi erilaisille häiriöille ja on usein investointikustannuksiltaan korkeampi verrattuna perinteisiin säätövaihtoehtoihin. [7, s. 15.]

5.3 Ilmavirran säätölaitteet

Fläkt Group toi markkoille OPTIVENT® ULTRA -ilmavirtasäätimen (kuva 4), joka hyödyntää ultraääntä ilmavirran mittauksessa. Ilmavirtasäädin on paineesta riippumaton, ja ilmavirrat voidaan lukea suoraan ilmavirtasäätimessä olevasta toimilaitteesta tai rakennusautomaatiojärjestelmästä, sillä siinä on Modbus vakiona. Fläkt Groupin ilmavirtasäätimessä oleva ultraäänilähetin ja sen kaksi vastaanotinta sijaitsevat ilmanvaihtokanavan vastakkaisilla sivuilla. Signaali lähtee 90°:n kulmassa virtaavaan ilmaan nähden. Ilman virtaus saa aikaan signaalin taipuman, joka on lähes lineaarisesti riippuvainen ilman virtausnopeudesta. Mittaamalla signaalin vaihe-ero vastaanottimilla saadaan selville ilman virtausnopeus ja siten myös ilmavirta. [8] Ultraäänitekniikka mahdollistaa myös painehäviöttämän ilmavirran mittauksen, sillä perinteistä fyysistä mittausturua ei ole. Ilmamääräsäätimen nopeusalue on 0,5–15 m/s, säätimestä on saatavilla yhdeksän eri kokoa kanavahalkaisijoille 100–630 mm, ja siitä on lisäksi saatavilla eristetty ULDA-malli. IMS:n ominaisuuksia on käsitelty tarkemmin mittaustyö-osiossa. [9.]



Kuva 4. Fläkt Group Optivent Ultra – ULSA -ilmavirtasäädin [9, s. 2]

Lindab toi markkinoille myös Lindab Ultralink® FTCU -ultraääni-ilmavirtasäätimen (kuva 5), joka on paineesta riippumaton ja soveltuu muuttuvan ilmavirran ohjaukseen sekä vakioilmavirtalaitteeksi. Mittausantureiden likaantumista ei tapahdu ilmamäärsäätimessä, sillä ilmavirtojen mittaaminen tapahtuu kanavan pinnasta ja tällöin likaantuminen ei vaikuta mittaukseen eikä säätöön. Laite mittaa myös kanavasta ilman lämpötilaa sekä nopeutta, ja toimilaite näyttää säätöpellin asennon prosentteina. Laitetta voidaan ohjata analogisella jänniteviestillä sekä Modbus-väylän kautta. Ilmavirtasäätimestä on myös saatavilla Bluetooth -versio, jossa asetuksia voidaan tehdä langattomasti älylaitteella. Säätimestä on saatavilla myös yhdeksän eri kokoa kanavahalkaisijoille 100–630 mm, ja ilmavirta-alue on jopa 0,1–15 m/s. [10.]



Kuva 5. Lindab Ultralink FTCU -ilmavirtasäädin [10, s. 4]

Paineesta riippumattomia ilmavirtasäätimiä on monella eri valmistajalla Lindabin ja Fläkt Groupin lisäksi, esimerkiksi Swegonilla ja Haltonilla. Ne ovat ominaisuuksiltaan samankaltaisia ultraääni-ilmamääräsäätimien kanssa, mutta niissä käytetään ilmavirran mittaukseen perinteisiä mittayhteitä. Näitä ilmavirtasäätimiä on saatavilla myös suorakaiteen mallisena.

Muuttuvan ilmavirran säätimiä pystytään asettamaan vakioilmavirtatoimintoon, mutta ne ovat investointikustannuksiltaan korkeita pelkästään tähän toimintoon verrattuna vakioilmavirtasäätimiin, jotka kykenevät tekemään tämän saman. Vakioilmavirtasäädin on itsenäinen, omatoiminen ohjauslaite, jolla pystytään pitämään haluttu ilmavirta vakiona paineenvaihteluista riippumatta. Dynaamisen paineen noustessa säätöpelti kääntyy tulevaa ilmavirtaa vastaan, jotta ilmavirta pienenee, ja puolestaan dynaamisen paineen laskiessa jousi palauttaa säätöpellin auki, jolloin painehäviö pienentyy takaisin haluttuun arvoon ja ilman virtaus pysyy vakiona. [11.]

Ilmanvaihtojärjestelmissä voidaan käyttää vakiopainesäädintä, jonka tarkoituksena on ylläpitää haluttua kanavapainetta. Siinä kanavistoon on asennettu staattisen paineen mittaussyksikkö, jonka perusteella vakiopainesäätimen moottori säätää siinä olevaa säätöpeltiä. [12.]

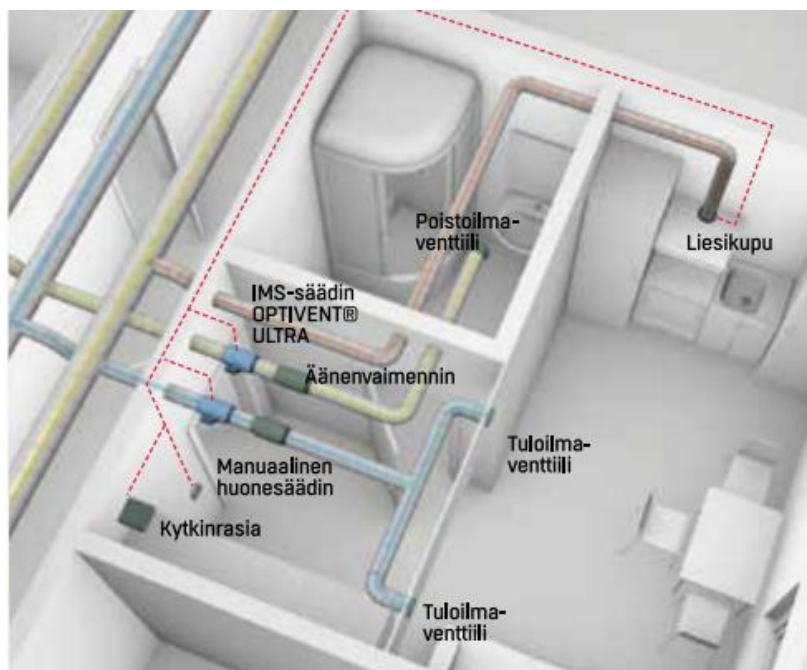
6 Ilmavirtasäätimet keskitetyssä asuinkerrostalon ilmanvaihdossa

Keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihto asuinkerrostalossa voidaan toteuttaa kahdella eri vaihtoehdolla: keskitetysti yhteisellä säädöllä, jolloin ilmavirtasäätimiä ei ole, tai huoneistokohtaisella tarpeenmukaisella säädöllä. Huoneistokohtaisessa tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilmavirran säätimet on sijoitettu yleensä huoneiston alakattoon. Mikäli IMS-peltejä ei ole asetettu säätymään minkään huonelaitteen mukaan, kuten lämpötila- tai hiilidioksidianturin mukaan, säätimiä ohjataan liesikuvulta, siten että ruoanlaiton aikaan ja pesuhuoneen kosteuskuormituksen aikaan ilmavirtasäätimiä voidaan tehostaa. Huoneistosta poissaollessa puolestaan ilmavirtoja voidaan asettaa pienemmälle, jolloin mahdollinen energiansäästö saadaan aikaan. Ilmastointikoneen puhaltimien ilmavirtaa ohjataan kanavapaineen mukaan. [3, s. 123.]

Tulo- ja poistoilmakanavat voidaan keskitetyssä ilmanvaihtoratkaisussa johtaa ilmastointikonehuoneeseen kahdella eri tavalla: huoneistokohtaisina erilliskanavanousuina konehuoneisiin, jolloin jokaisen huoneiston tulo- ja poistoilmakanavat johdetaan erikseen hormiin ja sitä kautta ilmastointikonehuoneisiin. Kanavat voidaan yhdistää vesikatolla tai konehuoneessa kokoojakanaviin ja siitä eteenpäin ilmavirtoja voidaan kuljettaa kohti ilmastointikonetta huomattavasti helpommin käyttäen isompaa ilmanvaihtokanavaa. Erilliskanavanousujärjestelmässä hyvänä puolena on nousukanavan toimiminen palonrajoittimena, eikä tällöin jokaista huoneistoa kohden tarvitse lisätä palonrajoitinta. Asuinkerrostalossa täytyy ylimmän kerroksen kohdalla tarkastella tapauskohtaisesti, riittääkö nousukanava toimimaan yksinään palonrajoittimena. Asuntokohtaisen erilliskanavoinnin hyvä puoli on myös se, että myöskään asuntojen ilmavirran säätö ei vaikuta juuri muiden huoneistojen ilmavirtoihin. [3, s. 123.]

Yhteiskanavajärjestelmässä huoneistojen kanavat yhdistetään yhteisiin nousukanaviin. Tällöin huoneistoon haarautuvat kanavat joudutaan varustamaan palonrajoittimilla, sillä asuinhuoneistot toimivat omina palo-osastoinaan. Nousukanavia mitoittaessa täytyy olla tarkkana, että kanavat suunnitellaan riittävän väljiksi, jotta huoneiston ilmamäärien vaihdellessa ne eivät vaikuta eri huoneistoihin. [3, s. 123.]

Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen ratkaisu asuinhuoneistossa, jossa on käytetty Fläkt Groupin ilmamääräsäädintä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon hallinnassa. Siinä ilmavirtoja säädetään manuaalisella huonesäätimellä, jossa on kolme asentoa: minimi-, normaali tai maksimi-ilmavirta. Huonesäädin on yhteydessä myös liesikupuun, jolloin liesikuvun toimiessa täydellä teholla ilmavirtasäädin kasvattaa tuloilmavirtaa ja pienentää poistoilmavirtaa tasapainon säilyttämiseksi. [13, s. 24–25.]



Kuva 6. Ilmavirtasäätimien käyttö asuinhuoneistossa [13, s. 24]

7 Ilmavirtasäätimien järjestelmien haasteet

Vaikka muuttuvilmavirtajärjestelmällä voidaan hallita sisäilman olosuhteita huomattavasti vakioilmavirtajärjestelmää paremmin, liittyy siihen tiettyjä haasteita. Tyypillisesti asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmässä, joka on toteutettu keskitetysti ja joka on vakioilmavirtasäätimien, asuntoon tulevassa tuloilmakanavassa kanavapaine on noin 50 Pa ja poistoilmakanavassa hieman enemmän noin 70 Pa, johtuen liesikuvun painehäviöstä. Ilmamäärää huoneistossa säädetään säätöpelleillä ja päätelaitteina toimivilla tulo- ja poistoilmaventtiileillä. Kun järjestelmä on tarpeenmukainen, ilmavirtasäätimet ovat tulo- ja poistoilmavirtakanavissa jokaisessa asunnossa korvaamassa säätöpeltejä, jolloin ilmavirtasäätimistä syntyy ylimääräistä painehäviötä johtuen ilmavirtasäätimien toiminta-alueesta. Tämä saattaa nostaa asunnon tulo- ja poistoilmavirran vaatimaa kanavapainetta asunnossa monella kymmenellä pascalilla ja koko rakennuksessa jopa sadalla pascalilla. [17.]

Tärkeä asia on tuloilmalaitteiden muodostama heittopituus tilassa. Kun kuormitus vaihtelee tilassa ja tilan ilmamäärät vaihtelevat jatkuvasti, tulisi päätelaitteelle

suunnitellut heittopituudet pysyä vakiona, jotta vedon tunteelta välttyttäisiin. Tämä tarkoittaa, että mikäli kanavassa ei ole vakiopainetta, tarvitaan aktiivinen tuloilmalaite, joka pitää heittokuvion vakiona. Mikäli ei käytettäisi aktiivisia tuloilman päätelaitteita käyttöasteiden ollessa pienet, puhallettava tuloilma ei välttämättä saavuta coanda-ilmiötä, eli käännä kohti sitä lähellä olevaa pintaa, ja tämän myötä saavuta suunniteltua heittopituutta. Tällöin viileä tuloilma saattaa laskeutua suoraan tilan käyttäjän päälle, mikä saatetaan kokea epämukavana. Heittopituuden puolestaan ollessa liian suuri saattaa ilma lähteä kiertämään huoneessa ja tämä aiheuttaa vedon tunnetta. Vedon tunne korostuu, mitä viileämpää tuloilmaa tilaan puhalletaan. [14, s. 3.]

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa, jossa tuloilmaa puhalletaan viileällä ilmalla ja tällä hallitaan lämpöoloja, on suositeltu lämpötila noin 15–16 °C. Syrjäyttävässä ilmanvaihdossa viileää tuloilmaa ei ole suositeltavaa käyttää, sillä syrjäyttävään ilmavaihtoon sopiva tuloilmapäätelaite vaatii lämpötilakseen noin 19 °C:n lämpötilan, jotta vedon tunnetta ei syntyisi. Tällöin vedon tunteen välttämiseksi järjestelmään puhalltettaisiin saman lämpöistä ilmaa jokaiseen tilaan, jolloin viilennyskapasiteetti on olematon. [14, s. 3.]

Lisäksi energiansäästön kannalta käytettäessä viileää tuloilmaa tulee tuloilmakanavat eristää niiden vaatimilla eristyspaksuuksilla, jotta välttyään tuloilman lämpenemisestä kanavistossa.

Haasteita lisäävät myös ilmavirtasäätimistä johtuvat mahdolliset ääniongelmät. Ilmavirtasäätimissä liikkuvia osia on siinä oleva säätöläppä, joka saattaa liikkuessaan pitää kimeää ääntä, mikäli osia ei ole rasvattu, vaikka niiden sanotaan olevan huoltovapaita. Lisäksi Ilmavirtasäätimen säätöläppä kuristaa siitä läpi menevää ilmaa, mistä saattaa syntyä ääniongelmia. Perinteisissä ilmavirtasäätimissä ongelmaksi muodostuu myös mittausantureiden likaantuminen. Varsinkin poistoilmapuolen ilmanvaihtokanavassa liikkuu huoneilmasta tulleita epäpuhtauksia, kuten pölyä, joka saattaa tarttua ja tukkia ilmavirtasäätimen mittayhteet, jolloin säädin mittaa ilmavirtaa virheellisesti ja ilmanvaihtojärjestelmän tasapaino huojuu. Käytännössä mittaukseen menevää kapillaariputkea ei pysty puhdistamaan, vaan laite täytyy uusida.

8 Ilmamääräsäätimien mittaustyö

8.1 Yleistä mittausten suorittamisesta

Mittaustyössä tarkoituksena oli vertailla kunkin valmistajan ultraääni-ilmamääräsäätimiä, niiden ominaisuuksia sekä mittaustarkkuutta. Mittaustyötä varten rakennettiin halkaisijaltaan 125 mm:n ilmanvaihtokanavasta kanavisto (kuva 7), jossa ilmaa tuotettiin portaattomasti säädettävällä koepainepuhaltimella. Puhaltimen ja IMS-pellin lisäksi kanavistossa käytettiin Haltonin PRA-säätöpeltiä sekä MSD-mittarengasta ja niistä ilmamäärät mitattiin mikromanometrillä. Kanavisto päättyi kahteen tuloilman päätelaitteeseen, ja kaikki mittaukset suoritettiin painepuolella. Mittaustarkkuutta tutkittiin molemmissa pelleissä asettamalla minimi-tilavuusvirraksi haluttu ilmamäärä, joka tarkistettiin säätöpelistä ja mittarenkaasta.

Työssä ei ollut tarkoitus liittää peltejä Modbus-väylään, vaan niitä ohjattiin analogisen signaalin avulla suoraan toimilaitteesta 24 V:n syötöllä. Mittauksissa ei käytetty minkäänlaisia lisävarusteita, kuten huonesäädintä, hiilidioksidiantureita, ulkoisia lämpötila-antureita tai läsnäolotunnistimia.



Kuva 7. Ilmamäärien mittauksia varten rakennettu kanavisto.

8.2 Mittalaitteet

8.2.1 PHM-V1

IMS-peltien vertailutyössä mittalaitteena käytettiin HK-Instrumentsin valmistamaa PHM-V1-mikromanometriä (kuva 8), jolla ilmamäärät saatiin mitattua säätöpelistä ja mittarenkaasta. Mikromanometrissä on yli 1 000 esiasetettua venttiilivalintaa eri valmistajilta, mikä nopeuttaa mittausten suorittamista laskennan osalta. Mittaustyössä mittarista valittiin mitattavan säätö/mittauslaitteen tiedot, minkä jälkeen suoritettiin paineeron mittausta.

Mittarin mittausalue on $-250 \text{ Pa} \dots + 2\,500 \text{ Pa}$, ja sen tarkkuus on $\pm 1,4 \%$ luetusta arvosta. [15.]



Kuva 8. Mittauksissa käytettiin PHM-V1-mikromanometriä.

8.2.2 Halton PRA

Kanavistossa ensimmäisenä T-haaran jälkeen sijaitsi Haltonin PRA- ilmavirran säätöpelti (kuva 9). Pellin asentoa voi säätää manuaalisesti ilman työkaluja. Ilmavirta

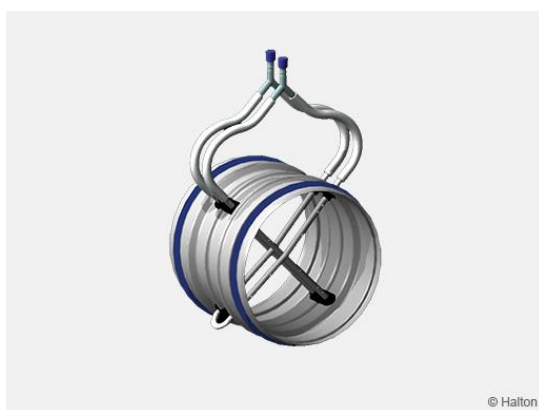
mitataan mittaamalla säätimen kartion yli kulkevan ilmavirran aiheuttama paine-ero. Suojaetäisyys suorassa kanavassa on $\geq 4 \times D$. Tuotevalmistajan epävirallisen tiedon mukaan mittausepäätarkkuus on $\pm 10 \%$. [18.]



Kuva 9. Halton PRA -ilmavirtasäädin [18]

8.2.3 Halton MSD -mittarengas

Säätöpellin jälkeen kanavistossa sijaitsi Haltonin MSD-mittarengas (kuva 10), jossa kanavan ilmavirta aiheuttaa paine-eron laitteen etu-, ja takareunassa olevien mittaussiipien välille. Suojaetäisyys häiriölähteestä on suorassa kanavassa $\geq 4 \times D$. Mittaustyössä mittarenkaasta luettiin myös staattinen paine kanavassa. Tuotevalmistajan mukaan mittausepäätarkkuutena voidaan pitää $\pm 10 \%$:a, mutta mittarenkaan mittausepäätarkkuus tulee kertoa kertoimella 0,5, mikäli valmistaja ei ole sitä ottanut huomioon mittausepäätarkkuudessaan. [19; 6, s. 115.]



Kuva 10. Ilmavirran mittauslaite Halton MSD [19]

8.2.4 FläktGroup Optivent ultra – ULSA

Mittauksissa yksi vertailtava laite oli FläktGroupin Optivent ultra – ULSA -IMS-pelti, joka asetettiin mittarenkaan jälkeen kanavistoon. ULSA:n käyttöliittymä on varustettu 3-merkkisellä näytöllä, jonka ansiosta ilmavirtaa ja asetuksia voidaan tarkkailla ilman ulkoisia laitteita. Ilmavirtasäädintä voidaan ohjata Modbus-väylän kautta tai analogisella signaalilla. Ilmavirtasäätimen pellin asennon ja ilman lämpötilan näkee rakennusautomaatiojärjestelmästä. Käyttöliittymä IMS-pellissä on helppokäyttöinen. Siinä on kaksi valitsinta: arvonvalitsin ja toiminnonvalitsin, joita voidaan muokata ruuvitaltalla tai rakennusautomaation kautta. Niiden lisäksi toimilaitteeseen kuuluu 3-merkkinen näyttö, joka koostuu seitsemästä merkkisegmentistä. Kuvassa 11 on esitetty toimilaitte, jossa ilmavirta on 40 l/s. [20, s. 2–3.]



Kuva 11. IMS-pellin toimilaitte ja sen toiminnot.

Säädin voidaan asentaa pitämään ilmavirta vakiona asettamalla V_{max} asentoon 0, jolloin ilmavirtasäädin asettuu V_{min} asetuksen mukaan. Toinen vaihtoehto kyseisessä pellissä on mennä Test-valikkoon ja asettaa pelti LO-asentoon (Low), jolloin pelti asettuu V_{min} :n mukaan. Pelti voidaan tarvittaessa ohjata täysin kiinni tai täysin auki asentoon. Mittausten kannalta tärkeitä asetuksia oli aikaisempien lisäksi Inst-toiminto, jota säädetään lyhyillä suojaetäisyyksillä. Tätä toimintoa ei tarvitse muuttaa

tehdasasetuksesta, kun suojaetäisyys häiriölähteestä on yli $2 \times D$, muissa tapauksissa tulee asennusasetusta muuttaa Fläktin käyttöönotto-ohjeiden mukaisesti.

Mittausepäätarkkuus on nopeudella 0,5–1 m/s häiriölähteen jälkeen $\pm 10\%$ tai 1 l/s. Suuremmissa nopeuksissa kuin 1 m/s $\pm 8\%$ ja yli 4 m/s nopeuksissa $\pm 6\%$. Suorassa kanavassa suojaetäisyyden häiriölähteestä tulee olla suurempi kuin $2 \times D$, jolloin mittaustarkkuus on nopeudella 0,5–1 m/s $\pm 8\%$ tai 1 l/s. Nopeuksissa yli 1 m/s $\pm 5\%$ ja yli 4 m/s nopeuksissa $\pm 4\%$. Nämä epätarkkuudet ovat voimassa, kun säätöpellin avaus on yli 30%. [9, s. 8.]

8.2.5 Lindab Ultralink – FTCU

Mittaustyössä toinen vertailtava laite oli Lindabin ilmamääräsäädin Lindab Ultralink FTCU, joka sijoitettiin myös säätöpellin ja mittarenkaan jälkeen kanavistoon. Säädin soveltuu muuttuvan ilmavirran ohjaukseen sekä vakioilmavirtalaitteeksi.

FTCU-ilmavirtasäädin on varustettu kahdella virtausanturilla, jotka on liitetty näyttölaitteeseen. Ilmavirtasäädin on varustettu Belimon peltimoottorilla, joka säätää kanavan sisässä olevaa peltiä. Säätimen näyttölaite on myös helppokäyttöinen. Näyttölaitetta ohjataan Mode-painikkeella, jossa voidaan valita maksimi- ja minimi-ilmavirtojen rajat. Mittauksissa näyttölaitteeseen asetettiin tarkasteltava ilmamäärä valikosta AIn.Set (analogisen ohjaustavan asetukset), josta voidaan valita qL (minimivirtaus) ja qH (maksimivirtaus). Säädin toimii vakioilmavirrassa, mikäli nämä arvot ovat samat. Näiden jälkeen asetettiin jännitealue, jonka jälkeen asetukset tallennettiin ja ilmavirtasäädin rupesi säätymään haluttuun ilmavirtaan. Kuvassa 12 on esitetty Lindabin toimilaite ja Belimon peltimoottori.



Kuva 12. Näyttölaite sekä peltimoottori on asennettu pienelle hyllylle säätöpellin rungon päälle.

Mittausepäätarkkuus laitteella riippuu mittausantureiden asennosta ja etäisyydestä häiriölähteeseen nähden. Lindab on ilmoittanut mittausepäätarkkuuksien olevan 125 mm:n suorassa kanavassa suurempi näistä arvoista: $\pm 5\%$ tai 1 l/s. Lisäksi mittausepäätarkkuudet on ilmoitettu eri häiriötekijöiden jälkeen erikseen Lindabin teknisessä esitteessä. Lindabin ilmamääräsäätimessä on mahdollista pyörittää mittayhdettä, jotta paras mahdollinen mittaustulos saavutetaan, näyttölaitteen lukusuunnan pysyessä sopivana. [10, s. 15.]

9 Mittausten suorittaminen

9.1 Mittausjärjestelyt

Mittaukset suoritettiin Metropolian tiloissa vuoden 2019 alussa. Mittausten tarkoituksena oli tarkastella ultraäänellä mittaavien ilmavirtasäätimien mittausepäätarkkuutta. Mittauksissa tilavuusvirta tarkistettiin käyttämällä mittarengasta sekä säätöpeltiä. Ilmamäärämittariin voidaan asettaa kyseiset säätölaitteet, jolloin se näyttää ilmavirrat suoraan yksikössä l/s, samalla se näyttää myös paine-eron säätölaitteen yli. Molempien ilmavirtasäätimien kohdalla mittaukset suoritettiin asettamalla ensin IMS:lle tarkastettava

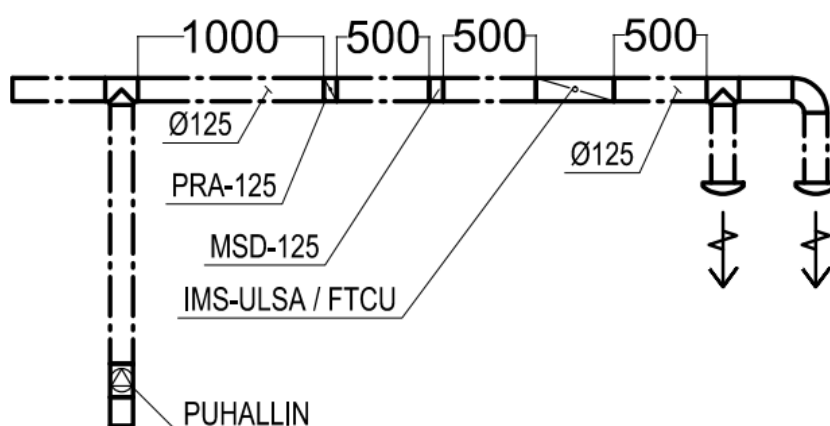
ilmamäärä, jonka jälkeen kanavapuhallin ja säätöpelti säädettiin sellaiselle ilmavirta-alueelle, että staattinen paine kanavassa vastaisi todellisissa kohteissa olevia paineita.

Ensimmäisissä mittauksissa ilmavirtasäätimet asetettiin suoraan kanavaan (kuva 13), jossa suojaetäisyys ennen säätimiä oli 4 x D ja jälkeen 4 x D. Koepainepuhaltimesta tuleva ilmanvaihtokanava yhdistettiin T-haaraan kiinni, jolla pyrittiin vähentämään turbulentsuutta kanavassa. Ilmamääräsäätimen jälkeen kanavistossa sijaitsi kaksi tuloilman päätelaitetta, jotka olivat lisäämässä painetta kanavassa. Ilmamäärät, joita käytettiin mittauksissa, olivat suorassa kanavassa 20 l/s, 30 l/s, 40 l/s ja 50 l/s. Mittauksissa pyrittiin saamaan eri asentoja myös IMS:n säätöpellille. Tilavuusvirran laskemiseksi käytettiin yhtälöä 1. [6, s. 116.]

$$q_v = k * \sqrt{\Delta P_m} \quad (1)$$

jossa

- q_v on tilavuusvirta [l/s]
- k on laitteen kalibroitu ilmavirran kerroin
- Δp_m on mittauspaine-ero [Pa]



Kuva 13. Ilmamäärien mittaaminen suorassa kanavassa.

9.2 Mittaukset suorassa kanavassa

Ensimmäiset mittaukset suoritettiin pienimmällä tilavuusvirralla 20 l/s suorassa kanavassa. Lindabin ilmamääräsäätimen mittauksessa koepainepuhallin asetettiin asentoon 13 ja PRA-säätöpelti asentoon 2. Kun ilmavirtasäädin oli asettunut haluttuun arvoon 20 l/s, oli staattinen paine kanavassa MSD:n jälkeen 92 Pa. Tämän jälkeen mitattiin paine-ero molempien säätölaitteiden yli, ja se oli PRA:lla 33,2 Pa ja MSD:llä 4,1 Pa. Käyttämällä yhtälöä 1 saatiin PRA:n tilavuusvirraksi 19 l/s ja MSD:n 19 l/s.

Suhteellinen virhe PRA:n ja IMS:in ilmamäärien välillä on –5 % ja myös MSD:n ja IMS:n välillä –5 %. Koska mittaukset eivät koskaan ole täysin virheetömiä, on alle laskettu mittalaitteen ja mitattavien laitteiden suhteellinen virhe yhtälöllä 2. Alla on laskettu esimerkkinä MSD:n suhteellinen virhe ilmamääräsäätimen arvoon verrattuna. [6, s. 115.]

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 * c_1} \quad (2)$$

jossa

- m on suhteellinen virhe [%]
- m₁ on mittarin virhe [%]
- m₂ on mittarenkaan virhe [%]
- c₁ on mittarenkaan epätarkkuuden kerroin

Suhteellinen virhe on tällöin,

$$m = \sqrt{1,4^2 + 10^2 * 0,5} \quad (3)$$

$$m \approx 7 \%$$

PRA-säätöpellin ilmavirta on tällöin mittausepätarkkuudet huomioon ottaen 19 l/s ±1 l/s. Pelkästään säätöpellistä johtuva epätarkkuus yksinään ylittää arvon 20 l/s, joten tätä tulosta voidaan pitää ilmavirtasäätimen valmistajan antaman

mittausepätkkuuden rajoissa. Jotta jokaista tehtyä mittausta ei tarvitse erikseen laskea opinnäytetyöhön, on mittaustulokset esitetty taulukoissa.

Taulukko 1. FTCU:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 20 l/s.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	13							
PRA	2	-	33,2	3,3	19	20	-5	5
MSD	-	92	4,1	9,4	19	20	-5	5
FTCU					20	20	0	5

Taulukosta 1 näkee, että myös mittarenkaan kohdalla jo pelkkä mittausepätkkuus ylittää tavoitearvoon 20 l/s. Nopeus kanavassa on laskettu tilavuusvirran yhtälöllä käyttäen yhtälöä 3.

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (3)$$

jossa

v on nopeus kanavassa [m/s]

q_v on tilavuusvirta [m³/s]

A on kanavan poikkipinta-ala [m²]

tällöin nopeus kanavassa on

$$v = \frac{0,02 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{\pi \cdot 0,125^2}{4}\right)} = 1,6 \text{ m/s} \quad (3)$$

Samoilla puhaltimen ja säätöpellin asetuksilla tehtiin myös Fläkt Groupin ilmamääräsäätimen mittausta. Staattinen paine kanavistossa pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä toisiaan. Tässä mittauksessa staattinen paine kanavistossa oli 89 Pa. Yhtälön 1 avulla saadaan tilavuusvirraksi PRA:lle 21 l/s ja MSD:lle 21 l/s.

Taulukko 2. ULSA:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 20 l/s.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö-asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	13							
PRA	2	-	42	3,3	21	20	7	5
MSD	-	89	4,8	9,4	21	20	3	5
ULSA					20	20	0	5

Taulukosta 2 voidaan tämän mittauksen perusteella todeta, että säätöpellin ja mittarenkaan ero ilmamääräsäätimeen on 1 l/s, joka on valmistajan antaman mittausepätkkuuden rajoissa.

Ensimmäisen mittauksen jälkeen voidaan todeta Lindabin ilmavirtasäätimen näyttävän ilmavirtoja hieman korkeammaksi verrattuna muiden mittauslaitteiden arvoihin. Vastaavasti Fläkt Groupin ilmavirtasäädin näyttää ilmavirtaa hieman pienemmäksi verrattuna muiden mittauslaitteiden arvoihin. Arvot poikkeavat molemmissa tapauksissa hyvin vähän ilmavirtasäätimeen asetetuista arvoista.

Seuraavaksi Lindabin ilmavirtasäätimen asetusarvo nostettiin arvoon 30 l/s. Puhaltimen asentoa nostettiin arvoon 21 ja säätöpellin asento muutettiin arvoon 5. Näissä mittauksissa staattinen paine on nostettu yli 200 Pa:n, jotta pientä vaihtuvuutta saatiin aikaiseksi. Yhtälön 1 avulla tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 29 l/s ja MSD:lle 28 l/s. Taulukossa 3 näkyvät mittauksista saadut tulokset.

Taulukko 3. FTCU:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 30 l/s..

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö-asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	21							
PRA	5	-	13,2	7,9	29	30	-4	5
MSD	-	226	8,9	9,4	28	30	-7	5
FTCU					30	30	0	5

Nämäkin mittaustulokset pysyvät ilmavirtasäätimen valmistajan ilmoittamien mittausepäätarkkuuksien rajoissa, kun otetaan huomioon mittausepäätarkkuudet. Ilman nopeus tilavuusvirralla 30 l/s on 2,5 m/s, joka on laskettu käyttämällä yhtälöä 3.

Samoilla puhaltimen ja säätöpellin asetuksilla tehtiin Fläkt Groupin ilmavirtasäätimen mittaus. Staattinen paine kanavassa on 202, Pa ja puhaltimen ja säätöpellin arvot pysyivät samana. Yhtälöä 1 hyödyntäen PRA:n tilavuusvirraksi saatiin 33 l/s, ja MSD:n tilavuusvirraksi 33 l/s.

Taulukko 4. ULSA:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 30 l/s.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	21							
PRA	5	-	17,8	7,9	33	30	11	5
MSD	-	202	12,2	9,4	33	30	9	5
ULSA					30	30	0	5

Fläkt Groupin ilmavirtasäätimen 30 l/s mittauksessa (taulukko 4) poikkeama on hieman korkeampi verrattuna Lindabin ilmavirtasäätimen tuloksiin. Suhteellinen virhe tässä mittauksessa on PRA:n kohdalla 11 % ja MSD:n kohdalla 9 %. Ilmavirtasäätimen valmistajan mukaan suorassa kanavassa mittausepäätarkkuus on 5 %, mikä tarkoittaa tilavuusvirralla 30 l/s maksimissaan ilmamäärää 31,5 l/s. Ottaen tämän jälkeen huomioon säätöpellin ja mittarenkaan mittausepävarmuudet ovat mittauksesta saadut ilmavirrat valmistajan ilmoittamissa mittausepäätarkkuuden rajoissa.

Toisten mittauksien jälkeen voidaan todeta sama kuin ensimmäisten mittauksien jälkeen, että FTCU näyttää hieman korkeampaa lukemaa verrattuna säätöpeltiin ja mittarenkaaseen. Ja myös ULSA näyttää samalla tavalla kuin ensimmäisessä mittauksessa arvoja hieman alakanttiin verrattuna säätöpellin ja mittarenkaan tuloksiin. Tästä voi todeta, että säätöpellin ja mittarenkaan tulokset eivät voi näyttää vakion verran liikaa tai liian vähän verrattuna ilmavirtasäätimeen, sillä tuloksissa niistä saadut ilmavirrat menevät toisessa tapauksessa yli ilmavirtasäätimen ja toisessa ali ilmavirtasäätimen asetettujen arvojen.

Seuraavaksi Lindabin säätimen asetusarvo nostettiin 40 l/s. Tämäkin on hyvin tyypillinen ilmavirta huoneistoissa, joiden koko on luokkaa 75–85 m². Tässä mittauksessa puhaltimen asento pidettiin samana, jotta IMS:ssä oleva säätöpelti saatiin hieman enemmän auki ja staattista painetta laskettua. Lindabin ilmavirtasäätimen mittauksessa staattinen paine oli 105 Pa ja säätöpellin asento oli 5. Yhtälön 1 avulla saatiin PRA:lle tilavuusvirraksi 37 l/s ja MSD:lle 36 l/s (taulukko 5).

Taulukko 5. FTCU:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 40 l/s

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö-asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	21							
PRA	5	-	21,2	7,9	37	40	-9	5
MSD	-	105	14,8	9,4	36	40	-9	5
FTCU					40	40	0	5

Mittaustulokset pysyvät ilmaavirtasäätimen valmistajan ilmoittamien mittausepäätarkkuuksien rajoissa, kun huomioidaan mittalaitteiden mittausepäätarkkuudet. Nopeus tilavuusvirralla 40 l/s on 3,3 m/s, joka on laskettu käyttämällä yhtälöä 3.

Samoilla puhaltimen ja säätöpellin asetuksilla tehtiin Fläkt Groupin ilmavirtasäätimen mittaus. Staattinen paine kanavassa oli 110 Pa ja puhaltimen ja säätöpellin arvot pysyivät samana kuin Lindabin säätimen mittauksessa. Yhtälöä 1 hyödyntäen PRA:n tilavuusvirraksi saatiin 43 l/s ja MSD:n tilavuusvirraksi 43 l/s.

Taulukko 6. ULSA:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 40 l/s

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö-asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	21							
PRA	5	-	29,3	7,9	43	40	7	5
MSD	-	110	20,8	9,4	43	40	7	5
ULSA					40	40	0	5

Taulukosta 6 näkee poikkeaman olevan hieman pienempi verrattuna FTCU:n tuloksiin, tulosten pysyessä valmistajan antamien mittausepäätarkkuuksien rajoissa.

Mittaustulokset jatkuivat hyvin samankaltaisena. Lindabin ilmavirtasäädin näytti ilmavirtoja korkeammaksi verrattuna säätöpellin ja mittarenkaan antamiin tuloksiin. Fläkt Groupin säädin näytti tuloksia pienemmiksi verrattuna säätöpellin ja mittarenkaan tuloksiin.

Tämän jälkeen suoritettiin viimeiset mittaukset suorassa kanavassa ja ilmavirrat näissä mittauksissa nostettiin määrään 50 l/s. Tämä ilmavirta alkaa olemaan lähellä maksimi-ilmavirtaa tälle kanavakoolle, sillä nopeus on tässä vaiheessa 125 mm:n kanavassa noin 4 m/s ja kitkapainehäviö nousee korkeaksi. Mittauksissa puhallinta säädettiin vain hieman suuremmalle, jotta ilmavirtasäätimen peltiä saatiin vielä enemmän auki asentoon. Säätöpelti oli näissäkin mittauksissa asennossa 5. Lindabin ilmavirtasäätimen mittauksessa staattinen paine oli 80 Pa. Yhtälön 1 avulla saatiin PRA:lle tilavuusvirraksi 45 l/s ja MSD:lle 45 l/s (taulukko 7).

Taulukko 7. FTCU:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 50 l/s.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	26							
PRA	5	-	32,9	7,9	45	50	-9	5
MSD	-	80	22,9	9,4	45	50	-10	5
FTCU					50	50	0	5

Tässä mittauksessa säätöpelistä ja mittasiivestä mitatut ilmavirrat jäivät jo noin 5 l/s tavoitellusta arvosta. Tilavuusvirran ollessa 50 l/s on kuitenkin sallittu epätarkkuus ilmavirtasäätimessä 2,5 l/s, ja mittausepäätarkkuudesta johtuen mittauksista saatu tulos on ilmamääräsäätimen valmistajan ilmoittamissa mittausepäätarkkuuden rajoissa.

Samoilla puhaltimen ja säätöpellin asetuksilla tehtiin Fläkt Groupin ilmavirtasäätimen mittaus (taulukko 8). Staattinen paine kanavassa oli 62 Pa, ja puhaltimen ja säätöpellin

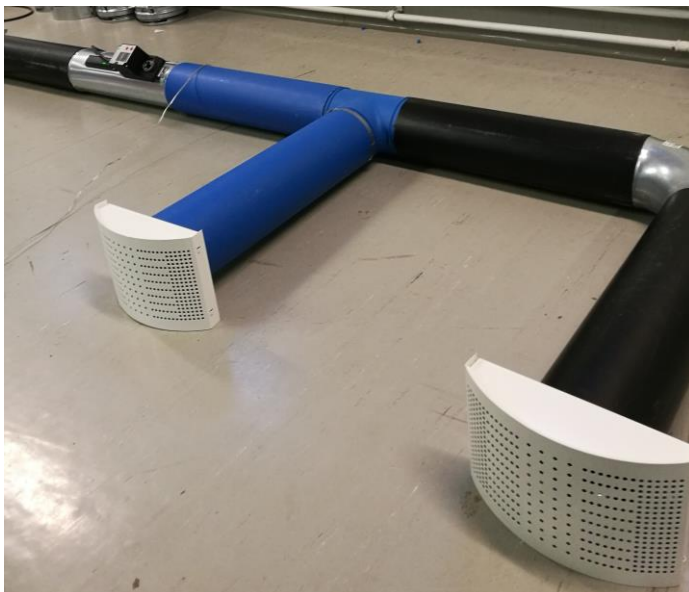
arvot pysyivät samana kuin Lindabin säätimen mittauksessa. Yhtälöä 1 hyödyntäen PRA:n tilavuusvirraksi saatiin 55 l/s. ja MSD:n tilavuusvirraksi 54 l/s.

Taulukko 8. ULSA:n mittauksessa saadut tulokset ilmamäärällä 50 l/s.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama	
	Säätö-asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %
Puhallin	26							
PRA	5	-	48,3	7,9	55	50	10	5
MSD	-	62	32,6	9,4	54	50	7	5
ULSA					50	50	0	5

Näissä mittauksissa suhteellinen virhe oli säätöpellin ja ilmamääräsäätimen kohdalla 10 % ja mittarenkaan ja ilmamääräsäätimen välillä 7 %. Nämäkin tulokset pysyvät pysyvät valmistajan antamien rajojen sisäpuolella, kun otetaan huomioon kaikkien mittalaitteiden mittausepätkkuudet huomioon.

Yhteenvedona suoran kanavan mittauksissa molemmat pellit pysyivät kaikissa tilanteissa sallituissa ilmamäärissä, kun mittausepätkkuudet otettiin huomioon. Mittarenkaassa oleva ± 7 % on kuitenkin melko suuri epätarkkuus. Halton ei ole ilmoittanut tuotetiedoissaan minkäänlaista mittausepätkkuutta säätöpellille eikä mittarenkaalle, mutta kysellessä Haltonilta heidän tuotepäälliköltä sekä teknisestä tuesta, vastaukseksi annettiin ± 10 %, joka vielä kerrotaan luvulla 0,5. Halton on kuitenkin tehnyt mittarenkaillaan tarkistusmittauksia MSD-200:lle, ja niissä tarkistusmittauksissa MSD:n mittausepätkkuus oli maksimissaan vain 2 %. Tämä ei kuitenkaan ole virallisissa tiedoissa, eikä tällöin sitä voi käyttää ottaessa huomioon epätarkkuuksia. Kuvassa 14 on esitetty Fläkt Groupin ilmavirtasäädin suorassa kanavassa.



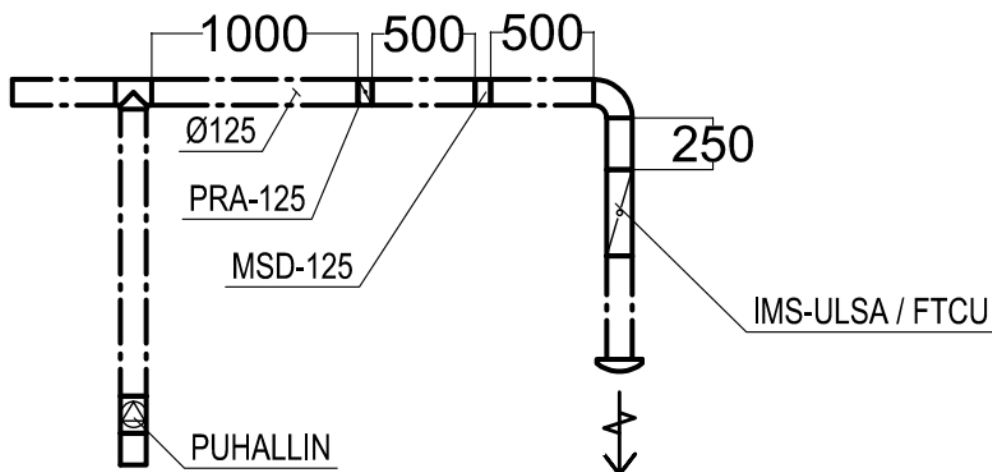
Kuva 14. Fläkt Groupin ultraääni-ilmavirtasäädin ja tuloilman päätelaitteet.

9.3 Mittaukset häiriölähteen jälkeen

Ultraääntä hyödyntävä mittaustapa markkinoilla on tuonut mukanaan tarkempia mittaustarkkuuksia sekä lyhyempiä suojaetäisyyksiä. Fläkt Groupin ultraääni-ilmavirtasäätimelle ei tarvita ollenkaan suojaetäisyyksiä häiriölähteen jälkeen. Kuitenkin huomioon tulee ottaa, että esimerkiksi muuttuvan ilmavirran säätimet EMMS ja EHSS ovat 400 millimetrin pituudellaan 100 mm lyhyempiä verrattuna ultraäänitoimiseen ilmamääräsäätimeen. Lindab lupaa ultraääni-ilmamääräsäätimelleen suojaetäisyydeksi $2 \times D$, mutta sen IMS-pelti on myös 100 mm lyhyempi kuin Fläkt Groupin vastaava tuote. [21.]

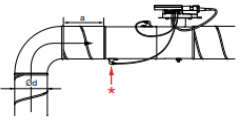
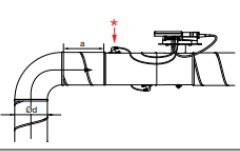
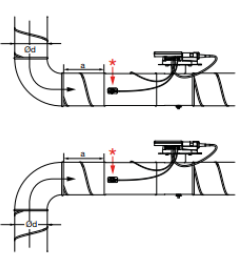
Opinnäytetyön mittauksissa testattiin ilmavirtasäätimien mittaustarkkutta erilaisten häiriölähteiden jälkeen, kuten T-haaran sekä 90° :n käyrän jälkeen. Ilmavirtasäätimissä olevien mittausantureiden asento häiriölähteisiin nähden vaikuttaa myös mittaustarkkuuteen. Mittaukset häiriölähteen jälkeen tehtiin 90° :n käyrän jälkeen kolmella eri ilmavirralla: 12 l/s, 30 l/s sekä 55 l/s. Lisäksi mittaukset tehtiin myös suoraan T-haaran jälkeen, jossa pidettiin yksi tilavuusvirta 30 l/s, mutta mittausantureiden

asentoa muutettiin T-haaraan nähden. Kuvassa 15 on esitetty periaatekuva suoritetuista mittauksista 90°:n käyrän jälkeen.



Kuva 15. Periaatekuva mittauksista 90°:n käyrän jälkeen.

Ensimmäiset mittaukset tehtiin Lindabin ilmavirtasäätimellä 90°:n käyrän jälkeen. Ilmavirtasäätimen toimilaitteeseen ei tarvitse muuttaa minkäänlaisia asetuksia, kun ilmavirtasäädin asennetaan häiriölähteen jälkeen. Lindab on ilmoittanut asennusohjeissaan (kuva 16), kuinka eri häiriölähteet vaikuttavat mittaustarkkuuteen. Ensimmäinen mittaus suoritettiin niin, että ensimmäinen virtausanturi oli sisäsäteellä käyrään nähden. [12, s. 4.]

Häiriö	* Ensimmäisen virtausanturin paikka	Mittaepätarkkuus ± % tai 1 l/s sen mukaan, kumpi on suurempi			
		a			
		2 x Ød	>4 x Ød	>5 x Ød	
Käyrä		Sisäsäde	5	5	5
Käyrä		Ulkosäde (Ei suositeltava)	20	10	5
Käyrä		Sivu	10	5	5

Kuva 16. Mittausepätkkuudet etäisyydestä häiriölähteeseen nähden [10, s. 4]

Tässä tilanteessa tilavuusvirraksi oli asetettu 12 l/s, ja PRA-säätöpelti oli asennossa 5. Ilmavirtasäätimen säätöpellin asennon pystyy lukemaan toimilaitteesta suoraan ja sen asento tässä mittauksessa oli 41 % auki, staattisen paineen ollessa 42 Pa mittarenkaan jälkeen. Yhtälöä 1 hyödyntämällä saatiin tilavuusvirraksi säätöpellille 13 l/s ja mittarenkaalle 12 l/s.

Seuraava mittaus tehtiin tilavuusvirralla 30 l/s, jossa ensimmäinen mittausanturi oli asetettu ulkosäteelle. Tämä ei ole Lindabin ohjeiden mukaisesti suositeltavaa, sillä mittausepätkkuus nousee lyhyillä suojaetäisyyksillä häiriölähteeseen nähden suureksi. Staattinen paine oli mittarenkaan jälkeen 155 Pa. Ilmavirtasäätimen säätöpelti oli 50 % auki. Yhtälöä 1 hyödyntämällä saatiin tilavuusvirraksi säätöpellille 33 l/s ja mittarenkaalle 31 l/s.

Viimeinen mittaus tehtiin tilavuusvirralla 55 l/s, jossa ilmavirtasäätimen ensimmäinen virtausanturi oli sivussa käyrään nähden. Ilmavirtasäätimen säätöpelti oli 54 % auki ja näin ollen staattinen paine oli 140 Pa mittarenkaan jälkeen. Yhtäöä 1 hyödyntämällä

saatiin tilavuusvirraksi säätöpellille 56 l/s ja mittarenkaalle 53 l/s. Taulukossa 9 on esitetty kaikki 3 mittausta 90:n käyrän jälkeen.

Taulukko 9. Ilmamäärämittaukset 90°:n käyrän jälkeen Lindabin ilmavirtasäätimellä.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama		Tilanne
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %	
Puhallin	5	-	-	-	-	-	-	-	
PRA	5	-	2,5	7,9	12	12	4	5	sisäsäde
MSD	-	42	1,5	9,4	12	12	-4	5	sisäsäde
FTCU					12	12	0	5	sisäsäde
Puhallin	20								
PRA	4	-	31,8	5,9	33	30	11	20	ulkosäde
MSD	-	155	11	9,4	31	30	4	20	ulkosäde
FTCU					30	30	0	20	ulkosäde
Puhallin	35								
PRA	4	-	89,4	5,9	56	55	1	10	sivu
MSD	-	140	32,3	9,4	53	55	-3	10	sivu
FTCU					55	55	0	10	sivu

Saadut tulokset ovat Lindabin ilmoittamien mittauserätarkkuuksien rajoissa, kun otetaan huomioon säätöpellin, mittarenkaan ja ilmamäärämittarin mittauserätarkkuudet. Tuloksista päätellen mittayhteen ollessa ulkosäteellä tulokset olivat epätarkimmat, ja sisä- ja sivusäteellä tulokset olivat hyvin lähellä tavoiteltua arvoa. Kuvassa 17 on Lindabin ilmavirtasäädin 2 x D suojaetäisyydellä häiriölähteeseen nähden.



Kuva 17. Lindabin ilmavirtasäädin häiriölähteen jälkeen, jossa ensimmäinen virtausanturi on asetettu ulkosäteelle käyrään nähden.

Toiset mittaukset tehtiin Fläkt Groupin ilmamääräsäätimellä ilman suojaetäisyyttä 90°:n käyrän jälkeen (taulukko 10). Toimilaitteessa on kohta ”Inst.”, jota säädetään koon, etäisyyden ja häiriölähteen mukaan. Tässä tapauksessa Inst. asetettiin arvoon 123, joka lukee Fläkt Groupin käyttöönotto-ohjeissa kohdassa asennusasetukset. Fläkt Groupin ohjeissa ei ole asetettu minkäänlaisia vaatimuksia mittausantureiden asennosta häiriölähteeseen nähden, joten mittaukset tehtiin kolmessa eri asennossa, kuten Lindabin mittauksissa tehtiin. [22, s. 6.]

Ensimmäisenä mittauksissa oli hyvin pieni ilmamäärä 12 l/s, jotta nopeudeksi saatiin 0,5–1 m/s. Näin tehtiin, koska Fläkt Group antaa eri nopeuksille eri mittausepä tarkkuuden, joten mittaukset tehtiin kaikissa ilmoitetuissa nopeuksissa. Mittaukset tehtiin samalla periaatteella, kuin aikaisemmat mittaukset suorassa kanavassa. Paine-ero oli hyvin pieni säätöpellin ja mittarenkaan ylitse, PRA:lla 2 Pa ja MSD:llä 1,7 Pa staattisen paineen ollessa 41 Pa. Yhtälön 1 avulla tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 11 l/s ja MSD:lle 12 l/s. Ilmavirtasäädin oli asetettu niin, että toimilaitetta vastapäätä oleva mittausanturi oli sisäsäteellä. Ilmavirtasäädin ei ollut kytketty modbus-väylään, joten siinä olevan säätöpellin asentoa ei voi lukea toimilaitteesta.

Toinen mittaus tehtiin tilavuusvirralla 30 l/s, jotta ilman nopeudeksi saatiin yli 1 m/s. Ilmavirtasäätimen toimilaitetta vastapäätä oleva mittausanturi osoitti tässä mittauksessa ulkosäteelle käyrään nähden. Staattinen paine kanavassa oli 149 Pa, ja yhtälöä 1 hyödyntämällä saatiin tilavuusvirraksi säätöpellille 30 l/s ja mittarenkaalle 29 l/s.

Viimeinen Fläktin ilmavirtasäätimen mittaus 90°:n käyrän jälkeen tehtiin tilavuusvirralla 55 l/s, jotta ilman nopeudeksi saatiin yli 4 m/s. Ilmavirtasäätimen toimilaitte osoitti tässä mittauksessa sivulle käyrään nähden. Staattinen paine kanavassa oli 151 Pa, ja yhtälöä 1 hyödyntämällä saatiin tilavuusvirraksi säätöpellille 52 l/s ja mittarenkaalle 50 l/s.

Taulukko 10. Ilmamäärämittaukset 90°:n käyrän jälkeen Fläkt Groupin ilmapirtasäätimellä.

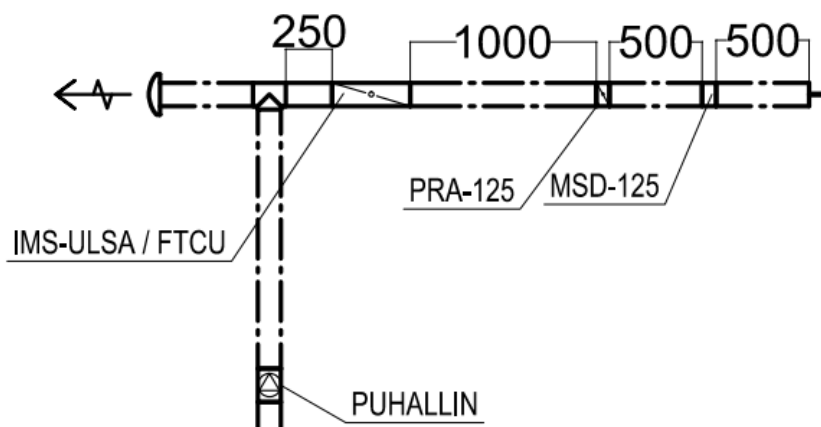
Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama		Tilanne
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %	
Puhallin	5	-	-	-	-	-	-	-	
PRA	5	-	2	7,9	11	12	-8	10	sisäsäde
MSD	-	41	1,7	9,4	12	12	4	10	sisäsäde
ULSA					12	12	0	10	sisäsäde
Puhallin	20								
PRA	4	-	26,6	5,9	30	30	1	8	ulkosäde
MSD	-	149	9,5	9,4	29	30	-3	8	ulkosäde
ULSA					30	30	0	8	ulkosäde
Puhallin	35								
PRA	4	-	77	5,9	52	55	-6	6	sivu
MSD	-	151	28,5	9,4	50	55	-9	6	sivu
ULSA					55	55	0	6	sivu

Saadut tulokset ovat Fläktin ilmoittamien mittausepäätarkkuuksien rajoissa, kun otetaan huomioon säätöpellin, mittarenkaan ja ilmamäärämittarin mittausepäätarkkuudet. Lindabin tuloksista poiketen mittausepäätarkkuus oli ulkosäde -tilanteessa pienin. Kuvassa 18 on Fläkt Groupin ilmapirtasäädin häiriölähteen jälkeen ilman suojaetäisyyttä.



Kuva 18. Fläkt Groupin ilmapirtasäädin suojaetäisyydellä 0 x D häiriölähteen jälkeen.

Tämän jälkeen vuorossa oli vielä mittaukset, joissa häiriölähteenä oli T-yhde (kuva 19). Tilavuusvirta pidettiin näissä mittauksissa vakiona 30 l/s, mutta ilmavirtasäätimen virtausantureiden asentoa T-yhteeseen nähden muutettiin. Kummallakin ilmavirtasäätimellä mittaukset tehtiin kolmella eri asennolla, jossa IMS:ien asennot olivat samat kuin mittauksissa 90°:n käyrän jälkeen. Ensimmäisenä tehtiin Lindabin mittaukset T-haaran jälkeen.



Kuva 19. Periaatekuva mittauksista, joissa häiriölähteenä on T-yhde.

Lindab on ilmoittanut eri mittausepäätarkkuuksia asennusohjeissaan T-haaraan nähden, mutta ohjeissa ei ole ilmoitettu mittausepäätarkkuutta samassa virtaussuunnassa, kuten näissä mittauksissa. Oletuksena kuitenkin on, että mittausepäätarkkuudet ovat samat kuin Lindabin teknisessä esitteessä. Suojaetäisyys T-haaran jälkeen oli $2 \times D$.

Ensimmäinen mittaus suoritettiin niin, että ensimmäinen virtausanturi oli sisäsaiteella. Säätöpelti oli asennossa 6, ja yhtälöä 1 hyödyntämällä tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 33 l/s ja MSD:lle 33 l/s.

Toisessa mittauksessa ensimmäinen virtausanturi oli ulkosäiteellä. Säätöpelti ja mittarengas olivat samassa asennossa jokaisessa mittauksessa. Tällöin yhtälön 1 avulla tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 24 l/s ja MSD:lle 23 l/s. Lindab ei suosittele tätä tilannetta, minkä vuoksi mittausepäätarkkuudeksi on annettu 20 % ja siitä syystä ilmamäärät jäivät melko kauaksi tavoitearvosta. [10, s. 5.]

Viimeisessä mittauksessa ensimmäinen mittausanturi oli sivussa T-yhteeseen nähden. Säätopelti ja mittarengas olivat samassa asennossa kuin edellisissä tapauksissa. Yhtälön 1 avulla PRA:n tilavuusvirraksi saatiin 27 l/s ja MSD:n 28 l/s.

Taulukko 11. Ilmamäärämittaukset T-yhteen jälkeen Lindabin ilmavirtasäätimellä.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama		Tilanne
	Sääto- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %	
Puhallin	35	-	-	-	-	-	-	-	
PRA	6	-	8,2	11,6	33	30	11	10	sisäsäde
MSD	-	2,2	12,2	9,4	33	30	9	10	sisäsäde
FTCU					30	30	0	10	sisäsäde
Puhallin	35								
PRA	6	-	4,3	11,6	24	30	-20	20	ulkosäde
MSD	-	1,3	5,9	9,4	23	30	-23	20	ulkosäde
FTCU					30	30	0	20	ulkosäde
Puhallin	35								
PRA	6	-	7	11,6	27	30	-9	10	sivu
MSD	-	1,4	9	9,4	28	30	-6	10	sivu
FTCU					30	30	0	10	sivu

Tulosten perusteella (taulukko 11) voidaan todeta, että virtausanturi kannattaa sijoittaa sisäsäteelle tai sivulle häiriölähteeseen nähden, sillä virtausanturin ollessa ulkosäteellä alkaa mittausepä tarkkuus olemaan suuri, aivan kuten Lindabin asennusohjeissa sanotaan. Mittauksessa ilmavirtasäädin on paljon lähempänä puhallinta, ja on mahdollista, että ilman turbulenssi vaikuttaa tulosten tarkkuuteen. Tulokset ovat mittausepä tarkkuudet huomioon ottaen kuitenkin valmistajan ilmoittamien mittausepä tarkkuuksien rajoissa. Kuvassa 20 on esitetty mittaustilanne, jossa ilmavirtasäädin on 2 x D suojaetäisyydellä T-haaraan nähden.



Kuva 20. Lindabin ilmavirtasäädin T-yhteen jälkeen, niin että ensimmäinen virtausanturi on sisäsäteellä T-yhteeseen nähden.

Kuten aikaisemmin on todettu, Fläkt Group ei ole ilmoittanut asennusohjeissaan mitään virtausantureiden asennoista häiriölähteeseen nähden, vaan pelkästään ilman nopeuden mukaan. Tilavuusvirralla 30 l/s ilman nopeus on 2,5 m/s, jolloin häiriölähteen jälkeen mittausepätaarkkuus on ± 8 %. Toimilaitteesta tulee asettaa kohdasta "inst" arvo asentoon 125 suojatäisyyden ollessa $0 \times D$, niin kuin tässä mittauksessa. [9, s. 8.]

Ensimmäinen mittaus suoritettiin niin, että toimilaitetta vastapäätä oleva mittausanturi oli sisäsäteellä. Säätopelti oli asennossa 6, ja tällöin yhtälöä 1 hyödyntämällä tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 27 l/s ja MSD:lle 27 l/s. Mittauksessa ilmavirtasäätimen toimilaitteessa lukeva ilmamäärä vaihteli välillä 28–30 l/s.

Toisessa mittauksessa toimilaitetta vastapäätä oleva mittausanturi oli ulkosäteellä T-haaraan nähden. Säätopelti ja mittarengas oli samassa asennossa jokaisessa mittauksessa. Yhtälön 1 avulla tilavuusvirraksi saatiin PRA:lle 27 l/s ja MSD:lle 29 l/s. Myös tässä mittauksessa ilmavirtasäätimen toimilaitteessa lukeva ilmamäärä vaihteli välillä 25–30 l/s. Tilanne on tässä mittauksessa sama kuin Lindabin mittauksessa, jossa ensimmäinen virtausanturi oli ulkosäteellä, joten se ei ole suositeltava tilanne mittaustarkkuuden kannalta.

Viimeisessä mittauksessa toimilaitte oli sivussa T-yhteeseen nähden. Säätopelti ja mittarengas olivat samassa asennossa kuin edellisissä tapauksissa. Yhtälön 1 avulla PRA:n tilavuusvirraksi saatiin 28 l/s ja MSD:n 29 l/s. Tässäkin mittauksessa ilmavirtasäätimen toimilaitteessa näkyvä ilmamäärä vaihteli välillä 28–30 l/s.

Taulukko 12. Ilmamäärämittaukset T-yhteen jälkeen Fläkt Groupin ilmavirtasäätimellä.

Malli ja koko	Mittausarvot				Ilmavirta		Poikkeama		Tilanne
	Säätö- asento	Staattinen paine (Pa)	Paine-ero (Pa)	k-arvo k	Mitattu dm ³ /s	Suunn. dm ³ /s	Mitattu ero %	Sallittu %	
Puhallin	35	-	-	-	-	-	-	-	
PRA	6	-	5,2	11,6	27	30	-12	8	sisäsäde
MSD	-	2,3	8,5	9,4	27	30	-9	8	sisäsäde
ULSA					30	30	0	8	sisäsäde
Puhallin	35								
PRA	6	-	5,3	11,6	27	30	-10	8	ulkosäde
MSD	-	2,2	9,2	9,4	29	30	-5	8	ulkosäde
ULSA					30	30	0	8	ulkosäde
Puhallin	35								
PRA	6	-	5,8	11,6	28	30	-6	8	sivu
MSD	-	2,7	9,5	9,4	29	30	-3	8	sivu
ULSA					30	30	0	8	sivu

Tässä mittauksessa (taulukko 12) kaikki mitatut tilavuusvirrat jäivät hieman alle tavoitearvon. Toimilaitteessa näkyvät ilmavirrat vaihtelivat hieman koko ajan, joka todennäköisesti johtuu ilman epätasaisesta liikkumisesta heti T-haaran jälkeen. Mittaustulokset kuitenkin pysyvät valmistajan antamien rajojen sisäpuolella, kun huomioon on otettu kaikkien eri mittalaitteiden mittauserätarkkuudet.

10 Yhteenveto

Tämän insinööryön tarkoituksena oli selvittää markkinoille tulleiden ultraääni-ilmavirtasäätimien ominaisuuksia sekä verrata niille käytettäviä ohjaustapoja. Työn alussa esiteltiin lyhyesti ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmiä, minkä jälkeen tarkasteltiin hieman tarkemmin vakioilmavirta- ja muuttuvailmavirtajärjestelmiä ja näiden kahden järjestelmän periaatteita. Insinööryössä keskityttiin enemmän muuttuvailmavirtajärjestelmiin, sillä ilmavirtasäätimien tarkoitus on näissä järjestelmissä muuttaa ilmavirtaa erilaisten tarpeiden mukaisesti, toisin kuin vakioilmavirtajärjestelmissä, joissa niitä saatetaan käyttää vain vakioilmavirtatoimintoihin. MIV-järjestelmistä on olemassa kirjallisuutta jonkin verran,

mutta asuintuotannossa käytettävistä muuttuvilmavirtajärjestelmistä ei ole kerrottu erityisen paljon, johtuen todennäköisesti siitä, että toimistorakennuksissa ilmavirtasäätimien käyttö on tarpeellisempaa suurempien kuormituserojen takia ja niissä hyödynnetään yleensä hieman monimutkaisempia ratkaisuja.

Kirjallisuudessa on mainittu hyvin vähän ilmavirtasäätimien aiheuttamista ongelmista, joten työssä osana oli tutkia virtaussäätimen aiheuttamia ongelmia ja keksiä näille mahdollisia parannuksia. Painesäädössä erityisesti muuttuvilmavirtajärjestelmässä paineantureiden sijoituspaikalla on suuri merkitys kokonaisuuden toimivuuden kannalta. Asuinrakennuksissa käytetään asuntokohtaisia paineantureita, jolla pyritään saamaan jokaisesta asunnosta tieto kanavapaineesta ja tällä tavalla saadaan järjestelmälle mahdollisimman tarkka säätö. Ultraääntä ilmavirran mittauksessa hyödyntävien ilmavirtasäätimien hyvänä puolena voidaan pitää tarkempaa mittaustarkkuutta sekä perinteisten mittayhteiden jäämistä pois, joka vähentää pölyn kertymistä mittaasantureihin ja näin ollen parantaa ilmavirtojen mittaamista. Ilmavirtasäätimien äänentuottoa ei tämän opinnäytetyön mittauksiin ollut mahdollista sisällyttää, sillä äänimittauksille ei ollut niille vaatimaa tilaa käytössä.

Ilmavirtasäätimien mittaustyössä tarkoituksena oli verrata niiden mittaustarkkuutta ja käyttäytymistä suorassa ilmanvaihtokanavassa sekä erilaisten häiriölähteiden jälkeen eri etäisyyksillä. Mittausepä-tarkkuus ilmavirtasäätimissä suorassa kanavassa hieman nousi virtausnopeuden kasvaessa, vaikka valmistajien teknisissä esitteissä mittaasepä-tarkkuus pysyy samana, taikka jopa pienenee. Tämä saattaa johtua mittauksissa käytetyn kanaviston pienestä koosta, jonka takia ilma on saattanut turbulentsuudellaan häiritä mittaasantureiden mittaamaa ilmavirtaa. Mittausepä-tarkkuudet häiriölähteiden jälkeen olivat suunnilleen samat molemmilla ilmavirtasäätimillä. Ilmavirtasäätimen mittaasantureiden asento häiriölähteisiin nähden vaikuttaa hieman ilmamäärän mittaukseen. Fläkt Group ei ole ilmoittanut ohjeissaan mitään mittaasantureiden asennosta, joten oletuksena tällöin on, että sillä ei ole mitään väliä. Lindab on puolestaan ilmoittanut teknisessä esitteessään monta erilaista tilannetta mittaasantureiden positiosta häiriölähteisiin nähden. Mittaustarkkuudet huomioiden molempien säätimien toiminnassa ei havaittu mitään, mikä poikkeaisi valmistajien ilmoittamista tarkkuuksista, kun huomioidaan mittausjärjestelyn epätarkkuus.

Ultraäänitekniikan hyödyntäminen ilmamäärien mittauksessa toimii erittäin hyvin. Ultraäänitekniikan myötä ilmavirtasäätimien nuohoustarve vähenee verrattuna perinteisiin mittausletkuja käyttäviin ilmavirtasäätimiin, sillä ilman epäpuhtaudet eivät takerru mittayhteisiin. Ilmavirtasäätimiä asennettaessa tulee noudattaa valmistajan antamia ohjeita käytetyistä suojaetäisyyksistä ja niiden asennoista, sillä mittausepätaarkkuudet saattavat vaihdella paljon, mikäli asennusohjeita ei noudateta. Luonnollisesti mitä pidempää suojaetäisyyttä käytetään, sitä vähemmän ilmavirralla on häiriötekijöitä, jolloin ilmavirtaa voidaan mitata tarkemmin. Kun ilmanvaihtojärjestelmässä käytetään ilmavirtasäätimiä, tulee suunnittelijan ottaa tarkasti huomioon, mitä erilaisia ominaisuuksia eri ilmavirtasäätimillä on ja tarkastella tapauskohtaisesti ilmavirtasäätimien sopivuus kohteeseen. Ultraääni-ilmavirtasäätimet ovat keskenään hyvin samanlaisia, sillä mittausperiaate niissä on sama. Toimilaitteissa on kuitenkin pieniä eroja ominaisuuksissa, kuten myös ajassa, miten nopeasti ilmavirtasäädin reagoi ilmavirran muutoksiin.

Muuttuvailmavirtajärjestelmää toteuttaessa kustannussyistä on mahdollista, että ilmavirtasäätimiä ei lisätä Modbus-väylään. Tällöin vaihtoehtona on käyttää perinteisempää ilmavirtojen ohjausta, jolloin olisi tärkeää, että ilmavirtasäätimistä pystyttäisiin lukemaan ilmavirta, säätöläpän asento sekä ilman lämpötila, jotta ilmavirrat on mahdollista tarkistaa tarvittaessa suoraan huonetilassa sijaitsevasta ilmavirtasäätimestä tai ilmavirta-painehäviö-käyrästä.

Opinnäytetyö on mielestäni toteuttanut sille asetetut tavoitteet. Ilmavirtasäätimien toiminnasta ja ominaisuuksista saatiin laaja käsitys, ja itse opin paljon uutta niiden merkityksestä osana toimivaa rakennuksen ilmanvaihtoa. Muuttuvailmavirtaa käsitteleviä opinnäytetöitä on tehty aikaisemminkin, ja niissä on käsitelty esimerkiksi ilmavirtasäätimien ohjausta ja säätöä tarkasti, joten kerroin työssäni vain periaatteet niistä. Pyrin opinnäytetyössä tuomaan asioita esille hieman eri näkökulmasta, jotta työstä olisi hyötyä myös tulevaisuudessa. Työssä olisi voinut käsitellä tarkemmin ilmavirtasäätimien toimintaa kytkettynä automaatiiväylään ja niiden käyttäytymistä yhdistettynä siihen. Jatkotutkimuksena voisi ilmavirtasäätimistä johtuvia ongelmia tutkia ja selvittää käytännön kohteissa.

Työn tilaajana toiminut Insinööritoimisto Entalcon Oy voi hyödyntää mittaustyössä saatuja tuloksia tukemaan tehokasta ilmanvaihtosuunnittelua kiristyneiden energiamääräysten rinnalla.

Seuraavaan luettelmaan on koottu johtopäätöksiä insinööriyössä esitetyistä asioista, jotta ilmastointijärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla [14, s. 5]:

- Täysi ymmärrys ilmanvaihtojärjestelmän periaatteesta, yksittäisistä huoneista keskusyksikköön asti, sekä täsmällinen ja tarkka suunnittelu.
- Oikea ilmanhallintalaitteiden valinta. On tärkeää selvittää, mitä vaatimuksia valittu ilmanvaihtolaitos asettaa siihen asennettavilta komponenteilta.
- Täysi ymmärrys tarpeenmukaisen ilmanvaihdon hallinasta. Oikea ohjauksen valinta riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta ja siihen liittyvät säätimet, anturit ja niiden sijainnit.
- Täsmällinen asennus ja käyttöönotto. On tärkeää, että rakennukseen tehtävät asennukset tehdään suunnitelmien mukaisesti ja ne on otettu käyttöön tavalla, joka varmistaa järjestelmän oikean toiminnan.
- Ilmastointilaitoksen oikeanlainen huolto. Huollon tekevän henkilön tulee olla koulutettu tehtäväänsä huolellisesti hallitakseen monimutkaisen kokonaisuuden ja mahdolliset vikatilanteet.

Lähteet

- 1 Esittely. Verkkoaineisto. Insinööritoimisto Entalcon Oy. <<http://www.entalcon.fi/>> Luettu 19.12.2018.
- 2 Lindab Ultralink Huoltovapaa ilmanvirran mittaus ja säätö. Verkkoaineisto. Oy Lindab Ab. <<http://www.lindab.com/fi/pro/pages/ultralink.aspx>> Luettu 28.12.2018.
- 3 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- 4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/2017. 27.12.2017. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 5 Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Verkkoaineisto. Helsinki: FINVAC Ry. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B59DC42F9-7C8A-4CBE-817E-1E2DBB67E02E%7D/133706>> Luettu 5.1.2019.
- 6 Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikkajulkaisut Oy
- 7 Mysen, M. Schild, P. Requirements for well functioning Demand Controlled Ventilation. REHVA Journal – October 2011. <https://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/05-2011/rj1105_p14-18_requirements-for-well-functioning-demand-controlled-ventilation.pdf> Luettu 28.02.2019.
- 8 Innovaatio mullistaa ilmanvaihdon: terveellinen sisäilma ekologisesti ultraäänien avulla. 2017. Espresso. <<https://www.espressi.com/tiedotteet/rakentaminen/innovaatio-mullistaa-ilmanvaihdon-terveellinen-sisailma-ekologisesti-ultraaanen-avulla.html>> Luettu. 24.02.2019.
- 9 IMS-säädin OPTIVENT® ULTRA. Tekninen esite. 2019. Verkkoaineisto. FläktGroup Finland Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=3a9fd553-fb10-4ab9-a717-aad2fd6f2c70>> Luettu 02.01.2019.
- 10 Lindab Ultralink® -ilmavirtasäädin FTCU. 2019. Verkkoaineisto. Lindab Oy Lindab AB. <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/PDF/Documentation/ADS/FIN/Technical/UltraLink-Technical-FTCU_FI.pdf> Luettu 02.01.2019.

- 11 Halton RMC -vakioilmavirtasäädin. 2017. Verkkoaineisto. Halton Oy. <https://www.halton.com/dh/AQAzhgIQISbMvdtHv65zq1IMzn0QbZkS1kJKyZOHN5dB_8x7tScv4kERY8OI95Ehnr7_x6Tq0uZ0ZHBsqgf18fOHjpe35LnbYUSwfY0/Halton_RMC_-_fi.pdf> Luettu 20.02.2019.
- 12 Halton HFS -ilmavirtasäädin. 2017. Verkkoaineisto. Halton Oy. <https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/HFS> Luettu 20.02.2019.
- 13 Käyttöopas OPTIVENT® ULTRA. Verkkoaineisto. Fläkt Group Finland Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=590128e7-45dd-4641-9961-8f6b9467f953>> Luettu 15.01.2019.
- 14 Maripuu Mari-Liis. Demand Controlled ventilation (DCV) for better IAQ and energy efficiency. REHVA Journal – March 2011. <https://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/02-2011/Demand_controlled_ventilation_DCV_for_better_IAQ_and_Energy_Efficiency.pdf> Luettu 25.02.2019.
- 15 Micromanometer PHM-V1. Verkkoaineisto. HK Instruments Oy. <<http://hkinstruments.fi/products/micromanometer/phm-v1/>>. Luettu 03.01.2019.
- 16 Optivent suunnittelu. 2013. Verkkoaineisto. Fläkt Group Finland Oy. <<http://m.flaktwoods.fi/12afc3b8-5351-4e2a-bd49-03ccde47b3bf>> Luettu 25.02.2019.
- 17 Kurronen, Aki. 2019. Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto Entalcon Oy. Espoo. Haastattelu 01.03.2019.
- 18 Halton PRA -ilmavirtasäädin. 2017. Verkkoaineisto. Halton Oy. <https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/PRA> Luettu 28.12.2018.
- 19 Halton MSD -mittausyksikkö. 2017. Verkkoaineisto. Halton Oy. <https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/MSD> Luettu 28.12.2018.
- 20 IMS-säädin OPTIVENT ULTRA®. 2019. Verkkoaineisto. FläktGroup Finland Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=0bda3eac-ca01-4979-84d5-dfc01558dda8>> Luettu 15.01.2019.
- 21 IMS-säädin EMSS, EMSD. Tekninen esite. 2019. Verkkoaineisto. FläktGroup Finland Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=8d29af4d-20b5-4323-a9e1-44ee44f5a18b>> Luettu 15.01.2019.

- 22 IMS-säädin OPTIVENT ULTRA®. Asennus, käyttöönotto ja huolto. 2018. Verkkoaineisto. FläktGroup Finland Oy.
<<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=7fb1cef6-ab77-456e-ab22-1ed71b396ba8>> Luettu 04.01.2019.