



# Ilmavirranmittaus laboratorio- työnä

Elina Turja

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Talotekniikka  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

TURJA ELINA  
Ilmavirranmittaus laboratoriotyönä

Opinnäytetyö 28 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa ilmavirran perussäädöissä ja toiminnan tarkastusmittauksissa hyödynnettäviä menetelmiä. Tavoitteena oli selvittää, minkä tyyppiset mittalaitteet ovat yleisimmin käytössä. Opinnäytetyö toteutettiin TAMKin LVI-talotekniikan tutkinto-ohjelmalle.

Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuustutkimuksen ja haastattelututkimuksen avulla. Materiaalina käytettiin kotimaista kirjallisuutta sekä eri laitevalmistajien tuotetietoja. Haastattelututkimuksessa haastateltiin Pirkanmaan alueella toimivia yrityksiä.

Työ koostuu teoreettisesta osuudesta ja sen pohjalta luodusta laboratoriotyöstä. Sitä voidaan soveltaa tai jalostaa soveltumaan paremmin sen käyttäjän tarpeisiin.

Tulosten perusteella ilmavirtaa voidaan mitata monenlaisilla mittalaitteilla. Mittalaitteen valintaan vaikuttaa mittauspisteen sijainti. Sillä, halutaanko tarkastella huonetilanvirtauksia vai säätää ilmanvaihdon päätelaitteiden ilmavirtoja, on suuri merkitys mittalaitteen valinnassa. Monet mittalaitteet hyödyntävät mittauksessa samoja periaatteita, joten ne ovat myös ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Systems

TURJA ELINA:  
Air Flow Measurement as Laboratory Work

Bachelor's thesis 28 pages, appendices 1 pages  
April 2023

---

The purpose of this thesis was to collect methods for basic airflow adjustments and performance check measurements. The aim was to find out which types of measuring instruments are most commonly used. The thesis was carried out for TAMK's degree programme in HVAC engineering.

The thesis started with a literature review and an interview survey. The material used was domestic literature and product information from various equipment manufacturers. In the interview study, representatives of randomly selected companies in the Pirkanmaa region were interviewed.

The study consists of a theoretical basis and laboratory work based on it. It can be applied or further developed to better suit the needs of its user.

Based on the results of the study, airflow can be measured with a wide range of different instruments. The choice of instrumentation is influenced by the location of the measurement point. Whether looking at room airflows or adjusting the airflows of ventilation terminal units, the choice of measuring instrument plays an important role. Many measuring instruments use the same principles for measurement and therefore have very similar characteristics.

---

Key words: air flow measurement, air flow measurement method

## SISÄLLYS

|   |  |    |
|---|--|----|
| 2 | JOHDANTO .....   | 5  |
| 3 | ILMAVIRRAN MITTAUKSEN PERUSTEET JA MENETELMÄT .....      | 6  |
|   | 3.1 Paine-eroon perustuvat mittausmenetelmät.....        | 7  |
|   | 3.1.1 Paine-eromittari .....                             | 7  |
|   | 3.1.2 Päätelaitteiden kiinteät mittalaitteet .....       | 9  |
|   | 3.1.3 Kuristusmittari.....                               | 10 |
|   | 3.1.4 Ilmamääräsäädin .....                              | 10 |
|   | 3.1.5 Pitot-putki.....                                   | 11 |
|   | 3.2 Virtausnopeuteen perustuvat mittausmenetelmät .....  | 12 |
|   | 3.2.1 Siipipyöranemometri .....                          | 12 |
|   | 3.2.2 Kuppianemometri .....                              | 14 |
|   | 3.3 Jäähdytymiseen perustuvat anturit .....              | 15 |
|   | 3.3.1 Kuumalanka-anemometri.....                         | 15 |
|   | 3.3.2 Kuumakalvoanturi.....                              | 16 |
|   | 3.3.3 Termistorianturi.....                              | 16 |
|   | 3.3.4 Suuntariippumattomat anturit.....                  | 17 |
|   | 3.4 Muut mittalaitteet ja mittausmenetelmät.....         | 17 |
|   | 3.4.1 Anemometritorvi .....                              | 18 |
|   | 3.4.2 Huppumittari .....                                 | 18 |
|   | 3.4.3 Keskinopeusmenetelmä .....                         | 18 |
|   | 3.4.4 Keräysmenetelmä.....                               | 19 |
| 4 | HAASTATTELUT .....                                       | 20 |
| 5 | ILMAVIRRAN MITTAUKSEN LABORATORIOTYÖ.....                | 22 |
|   | 5.1. Työhön tutustuminen .....                           | 22 |
|   | 5.2. Laboratoriotyö.....                                 | 22 |
|   | 5.3. Työn raportointi.....                               | 24 |
|   | 5.4. Esimerkki laboratorioharjoituksen etenemisestä..... | 24 |
| 6 | POHDINTA .....   | 26 |
|   | LÄHTEET.....   | 27 |
|   | LIITTEET .....   | 28 |
|   | Liite 1. Haastattelu tuloksien anonyymi kooste .....     | 28 |

## 2 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa menetelmiä ilmavirtojen perussäädöissä ja toiminnan tarkastusmittauksissa. Opinnäytetyö toteutetaan TAMK:n LVI-talotekniikan tutkinto-ohjelmalle. Tarve syntyi uudistuneen opetussuunnitelman myötä. Vanhaa laboratorioharjoitusta haluttiin päivittää ajankohtaisemmaksi, sekä paremmin uudistuneeseen opetussuunnitelmaan sopivaksi.

Opinnäytetyössä kartoitetaan ilmavirran perussäädöissä ja toiminnan tarkastusmittauksissa käytettäviä menetelmiä. Tavoitteena on perehtyä olemassa oleviin ilmavirtojen mittausmenetelmiin, sekä selvittää mitkä menetelmät ovat yleisimmin käytössä Pirkanmaan alueella. Lisäksi opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ympäristö laboratoriotyöharjoitukselle. Laboratorioympäristössä on tarkoituksena kokeilla Pirkanmaan alueella käytössä olevia mittausmenetelmiä ja vertailla niillä saatuja tuloksia keskenään.

### 3 ILMAVIRRRAN MITTAUKSEN PERUSTEET JA MENETELMÄT

Ilmanvaihdon tarpeenmukaisen toiminnan edellytyksenä on, että ilmavirrat kulkevat suunnitelmien mukaisesti. Ilmavirtoja täytyy tämän takia mitata, koska niiden suuruutta ei voida tietää muulla tavalla kuin mittausten avulla. Ilmavirtaa mitataan lähinnä kahden eri tarkoituksen takia. Sillä halutaan selvittää kanaviston tai päätelaitteen tilavuusvirta tai virtausnopeuteen perustuvia lämpöolosuhteita huoneiloissa. (Sirén 1995, 173; Sisäilmayhdistys ry)

Tilavuusvirtaa voidaan mitata eri pisteistä kanavasta, poisto- tai tuloilmalaitteesta tai patterin tai säleikön otsapinnalta. Ilman virtausnopeudet näissä tapauksissa ovat tavallisesti luokkaa 1–10 m/s. Nopeusalueesta johtuen suuri osa mittareista soveltuu tämän tyyppiseen mittaamiseen. Hyvänä esimerkkinä ilmanvaihtokanavistojen ilmavirtojen mittauksesta on ilmanvaihtojärjestelmien perussäädöt. (Sirén 1995, 173–174)

Lämpöolosuhteita määritellään pääasiassa valitustapauksissa. Joskus myös rakennusta vastaanottaessa halutaan selvittää sen lämpöolosuhteita. Koska huoneilojen virtaukset ovat hyvin pieniä, luokkaa alle 0,2 m/s, tarvitsee niiden mittaamiseen käytettyjen mittalaitteiden olla erityisen herkkiä. Niiden virtaussuunnat ovat usein myös tuntemattomia ja lämpötilat saattavat vaihdella, joten mittalaitteiden tulisi pystyä mittaamaan virtaussuunnasta riippumatta ja pystyä olla välittämättä lämpötilavaihteluista. (Sirén 1995, 173)

Tutkimus ja tuotekehityksessä tarvitaan myös virtausnopeuden mittausta. Näissä tapauksissa mittalaite valitaan tapauskohtaisesti, sillä sopivien mittaustyyppien määrä on erittäin laaja. Esimerkkeinä esimerkiksi tuloilmasuihkun nopeusjakauman tai tuulen nopeuden mittaus. (Sirén 1995, 174)

Tämän opinnäytetyön kannalta olennaisimpia ilmavirran mittaustapoja ovat kanavista ja poisto- tai tuloilmalaitteesta tehtävät mittaukset. Alla on kuitenkin esitelty kaikenlaisia mittausten menetelmiä ja -laitteita.

### 3.1 Paine-eroon perustuvat mittausmenetelmät

Monissa mittausmenetelmissä hyödynnetään paine-eroa ilmavirtojen selvittämiseen. Alla olevissa kappaleissa on esitelty näitä menetelmiä.

#### 3.1.1 Paine-eromittari

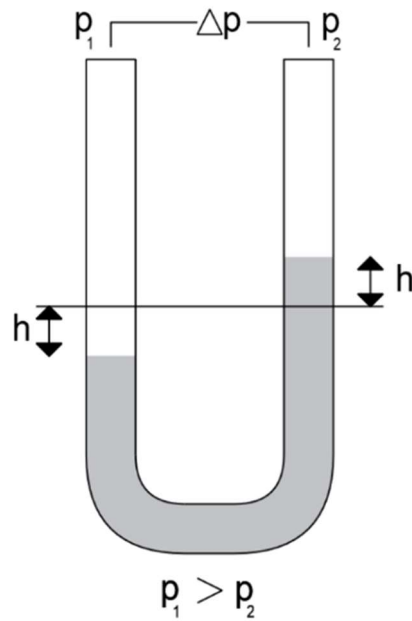
Monet ilmavirran mittauksessa käytetyt mittalaitteet hyödyntävät paine-eron mittausta. Paine-eromittareita on erilaisia ja ne mittaavat paine-eroa hieman eri lailla. Erilaisia paine-eromittarimalleja ovat nestemanometrit, sähköiset paine-eromittarit ja mekaaniset manometrit. (LVI-laitosten mittaukset, 7)

Nestemanometrit esittävät paine-eroa nestepatsaiden korkeuserojen avulla. Niiden neste on tyypillisesti tislattua vettä tai värjättyä alkoholia. Elohopeaakin voidaan nesteenä käyttää, mutta tämä on tyypillisempää, kun mitataan suuria paine-eroja. Nestepatsaista saatava paine-ero lasketaan kaavalla (kaava 2)

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad (2)$$

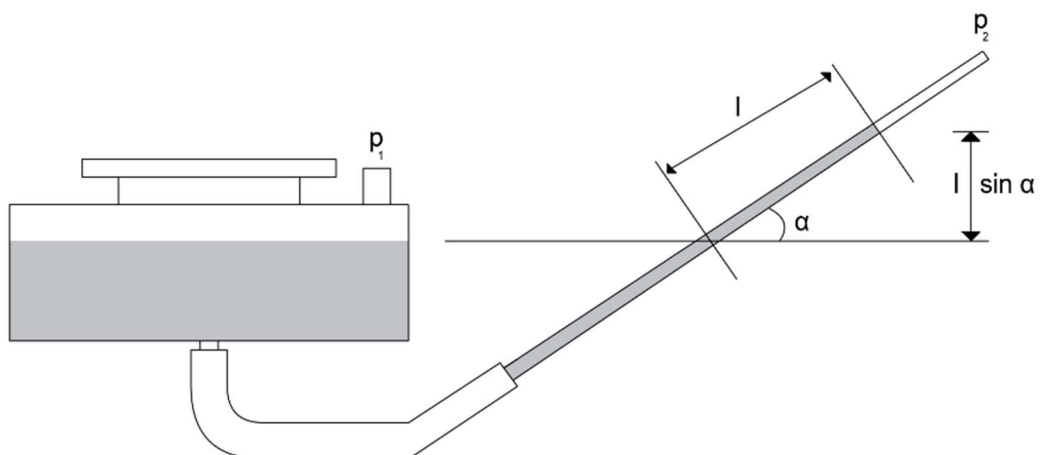
jossa  $\Delta p$  on paine-ero,  $\rho$  on väliaineen tiheys,  $g$  on maan vetovoiman kiihtyvyys ja  $\Delta h$  on nestepatsaan korkeus. (LVI-laitosten mittaukset, 7)

Tyypillisintä nestemanometrimallia kutsutaan U-putkimanometriksi. Nimi tulee sen U-kirjaimen muotoisesta putkesta. Paine-ero vaikuttaa U-putken haarojen välillä. Putken sisällä oleva neste asettuu siten, että paine-eron ja hydrostaattisen paineen aiheuttamat voimat ovat tasapainossa putken sisällä. U-putkea käytetään pääasiallisesti laboratorioissa. (LVI-laitosten mittaukset, 7)



Kuva 1 U-putki

Kentällä käytännöllisempiä nestemanometrejä ovat kallistettava manometri ja mikromanometri. Kallistettavassa manometrissa nestesäiliö on liitettyä putken toiseen päähän. Tämän avulla manometriputkea pystytään kallistamaan. Kallistusominaisuus tuo mittalaitteeseen muunneltavuutta sen mittausalueen ja manometrin herkkyyden osalta. Kallistettavaa manometriä käytetään laboratorioympäristöissä sekä tarkkuutta vaativissa kenttämittauksissa. (LVI-laitosten mittaukset, 7)



Kuva 2 Kallistettava manometri

Mikromanometri on kaikista nestemanometreista herkin manometrityyppi. Sen ominaisuutena on nestesäiliön korkeuden säätö ja lähes vaakasuora nousu-putki. Nestepatsaan nousukorkeutta luetaan mikroskoopin avulla. Mikromanometria käytetään laboratorioympäristöissä. (LVI-laitosten mittaukset, 7)

Sähköiset paine-eromittarit ovat helppokäyttöisiä paine-ero mittareita nestemanometrisiin mittareihin verrattuna. Hintansa puolesta ne ovat usein kalliimpia ja niitä pitää aika ajoin kalibroida. Niiden anturit ovat pietsoresistiivisiä, kapasitiivisia, vastusantureita, induktiivisia tai termisiä antureita. Koska sähköisiä paine-eroantureita on monia erilaisia vaihtelevat niiden ominaisuuden, kuten vaikka kalibroinnin tarve, ja hinnat mallista riippuen. Esimerkkinä pietsoresistiivinen anturi on halpa mittari malli, mutta se ei ole erityisen herkkä mittari. Kapasitiivinen ja termisen anturi ovat puolestaan erityisen herkkiä malleja. (LVI-laitosten mittaukset, 7)

Mekaanisia manometreja käytetään usein ilmastointilaitoksen kiinteästi asennettavissa mittareissa tai vaatimattomissa kenttämittauksissa. Niiden toiminta perustuu tyypillisesti paine-eroa erottavan kalvon, palkeen tai muun sopivan elimen liikkeen välittämiseen osoittimen tai potentiometrin liikkeeksi. (LVI-laitosten mittaukset, 7)

### 3.1.2 Päätelaitteiden kiinteät mittalaitteet

Monissa tulo- ja poistoilmapäätelaitteissa on jo valmiiksi asennettu paineenmittausyhteet. Niiden avulla voidaan määrittää laitteen läpi kulkeva ilmavirta paineeron avulla. Laittevalmistaja on ilmoittanut laitteelle ilmavirran riippuvuuden mittauspaine-erosta. Se ilmoitetaan yhtälönä tai käyrästä. Mikäli riippuvuus on ilmoitettu yhtälönä, laittevalmistajan ilmoitettava käyttämänsä yksiköt, jotta ilmavirta saataisiin laskettua oikein kaavalla (kaava 1)

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

jossa  $q_v$  on mitattu ilmavirta,  $\Delta p_m$  on mittauspaine-ero ja  $k$  on laitteen kalibroitu ilmavirrankerroin. Kerroin  $k$  on yleensä yksiköllä  $(l/s) / (Pa)^{0,5}$ . (Sandberg 1 2014, 71; Sandberg 2 2014, 116)

Koska suurempi ilman tiheys kasvattaa mittauspaine-eroa täytyy lasketulle ilmavirralle tehdä tiheyskorjaus, mikäli se poikkeaa ilman tiheydestä  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . Se tehtäisiin kaavalla (kaava 2)

$$q_{vx} = q_v \sqrt{\frac{1,2}{\rho_x}} \quad (2)$$

jossa  $q_{vx}$  tiheydellä korjattu ilmavirta ja  $\rho_x$  on tiheys. (Sandberg 2 2014, 116)

### 3.1.3 Kuristusmittari

Ilmastointikanaviin on mahdollista asentaa kiinteitä mittalaitteita, joiden avulla voidaan mitata niissä kulkevaa ilmavirtaa. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi mittarengas ja iirissäädin. (LVI-laitosten mittaukset, 9)

Mittarengas on kapea, renkaan muotoinen mittalaite. Ilma pääsee kulkemaan renkaan keskellä olevasta reiästä. Mittalaite hyödyntää paine-eroa virtausnopeuden selvittämiseen. Renkaan molemmilla puolilla on rei'itetyt paineenmittausputket. (LVI-laitosten mittaukset, 9)

Iirissäädintä käytetään myös ilmavirtojen tasapainotuksessa. Sen sisäosan kulkuaukkoa voidaan suurentaa ja pienentää ilmavirran säädössä halutulla tavalla. Iirissäädin hyödyntää virtasnopeutta mitattaessa myös paine-eroa. Sen sivussa on kaksi mittauspistettä, joista paine-ero säätimen kohdalla saadaan. Lopullinen virtausnopeus saadaan mittalaitteen käyrästä. (LVI-laitosten mittaukset, 9)

### 3.1.4 Ilmamääräsäädin

Ilmamääräsäädin eli IMS on yksi tapa säätää ilmamääriä ilmanvaihtokanavistoissa. Säätääkseen ilmamääriä se mittaa sen läpi kulkevaa tilavuusvirtaa. Ilmamääräsäätimissä tilavuusvirtaa voidaan mitata paine-eron tai ultraäänen avulla. Paine-erolla toimivissa IMS-laitteissa mittaus tapahtuu mittausosassa olevien erittäin tarkkojen imuputkien avulla, jotka tunnistavat paine-eron. Ultraäänellä toi-

mivavassa mittauksessa ultraäänisignaali lähtee virtaussuuntaan nähden 90 asteen kulmassa. Sen läpi kulkeva ilmanvirtaus saa signaalin taipumaan, mikä on melkein täysin lineaarisesti riippuvainen ilman virtausnopeuteen. Kun vastaanottimilla mitataan signaalin vaihe-eroa, saadaan selville ilman virtausnopeus ja siten myös ilmavirta. (Halton; Kaasalainen. 27.6.2017)

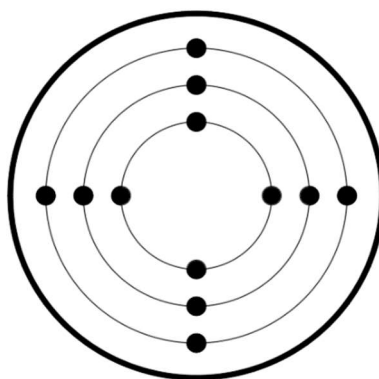
### 3.1.5 Pitot-putki

Pitot-putki on yleinen ilmanvaihtokanavistossa käytetty mittalaite ilmavirtausmittauksissa. Sen toiminta perustuu dynaamisen paineeseen, jotta mitataan virtauksen kokonaispaineen ja staattisen paineen erotukseen. Pitot-putken kärki mittaa virtauksen kokonaispainetta. Pitot-putken sivusta saadaan puolestaan mitattua staattinen paine. Mitatut paineet ohjataan manometriin, joka antaa suoraan paineiden erotuksen. Nopeus voidaan erotuksen avulla laskea kaavalla (kaava 3)

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3)$$

jossa  $v$  on nopeus,  $\Delta p$  on paine-ero ja  $\rho$  on aineen tiheys. (Sirén 1995, 175; Sandberg 1 2014, 69)

Virtausnopeus kanavassa ei ole sen poikkipinta-alalla vakio, joten pitot-putkella mitattaessa käytetään usein monipistemenetelmää. Sen ideana on ottaa mittauksia kanavan poikkipinta-alasta useasta eri kohdasta. Mittauspisteet voivat olla esimerkiksi kuvan 1 mukaiset. Mittauspiste on syytä valita huolella, sillä virtauksen on hyvä olla mahdollisimman tasaista ja laminaarista. Kanavien mutkat ja haarat sekä kaikki kanavalaitteet, kuten säätöpellit aiheuttavat häiriöitä. Tämä takia mittauspiste on syytä valita riittävän kaukaa näistä pisteistä, jotta mittaustulokseen tulisi mahdollisimman vähän virhettä. (LVI-laitosten mittaukset, 9; Sandberg 2 2014, 116)



Kuva 3 Monipistemenetelmä

Useiden mittauspisteiden avulla saadaan keskinopeus kanavassa mittaustulosten keskiarvon avulla. Pitot-putki on ominaisuuksiltaan erittäin luotettava, eikä sitä tarvitse käytännössä kalibroida koskaan, mikäli se on valmistettu ISO 3966 standardin mukaisesti. Tämä johtuu siitä, että se on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen, eikä siinä ole liikkuvia osia. Mikäli voidaan sulkea pois myös vääränlaisesta käytöstä johtuvat mittausvirheet, pitot-putken mittaustarkkuus riippuu enää sen yhteydessä käytetyn manometrin tarkkuudesta. (Sirén 1995, 179)

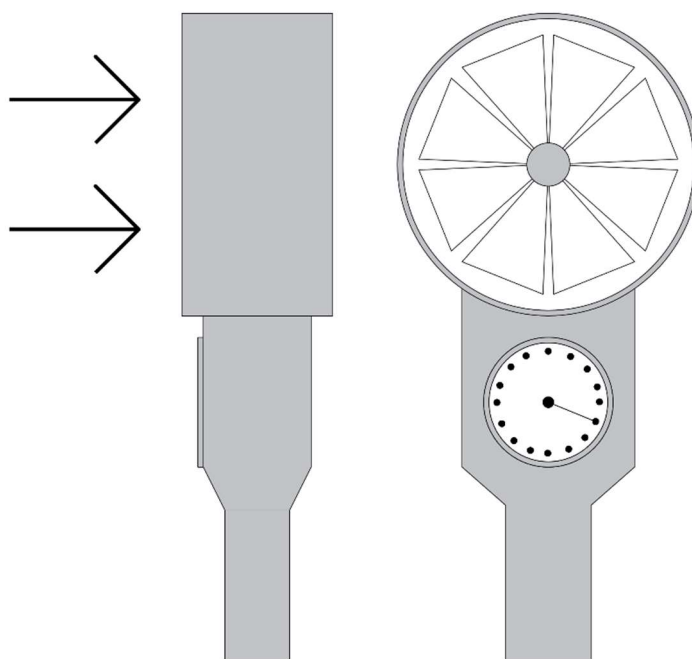
### 3.2 Virtausnopeuteen perustuvat mittausmenetelmät

Osa ilmvirranmittauslaitteista hyödyntää virtausnopeuden mittausta. Alla on esiteltynä sitä hyödyntäviä mittalaitteita.

#### 3.2.1 Siipipyöranemometri

Siipipyöranemometri on ilmvirran mittauksessa yleisesti käytetty mittari. Sen toiminta perustuu mittarin päässä olevan siipipyörän pyörimisnopeuteen. Mitä nopeammin siipipyörä pyörii sitä nopeampi, on sen mitaama virtausnopeus. Siipipyörananturi ei ole kovin pieni mittalaite, joten sillä mitattu mittaustulos ei kuvaa paikallista nopeutta yhtä hyvin kuin joillain pienemmällä, kuten esimerkiksi pitot-putkella, mitattu tulos. Sen sijaan siipipyörän mitaama nopeus kuvaa paremmin keskimääräistä nopeutta sen peittämältä alueelta. Tästä on erityisesti hyötyä silloin kun halutaan esimerkiksi mitata ison säleikön keskinopeutta. (Sirén 1995, 181)

Siipipyöräänemetrin on oikein käytettynä erinomainen vaihtoehto ilmavirran mittaukseen. Sen luotettavuuteen vaikuttavat kuitenkin käyttö ja mittausolosuhteet. Siipipyörällä mitataan usein keskinopeutta suuremmalta alueelta, mitä siipipyörä itsessään pystyy peittämään. Esimerkiksi suuret ilmanvaihtosäleiköt. Tällöin mittaus tapahtuu yleensä liikuttamalla mittalaitetta otsapinnalla. Liikuttelun tavoitteena on käydä koko otsapinta lävitse tasapuolisesti. Liikuttelu sivusuunnassa aiheuttaa kuitenkin epätarkkuutta mittaustuloksessa. Tätä virhettä voidaan ehkäistä parhaiten edestakaisella liikuttelulla, sillä tällöin niiden vaikutukset kumoavat toisensa. Siipipyöräänemetri on myös erittäin herkkä siihen kohdistuville kolhuille ja lialle. Tämä johtuu sen hienomekaanisesta rakenteesta. Siipipyörän tai laakerein vaurioituminen vaikuttaa välittömästi mittaustuloksen luotettavuuden heikentymisenä. Jokaisen kolhun jälkeen siipipyöräänemetri olisikin syytä kalibroida mittausvirheiden välttämiseksi. Muuten normaalikäytössä kalibrointi on suositeltua suorittaa noin vuoden välein. (Sirén 1995, 183–184)

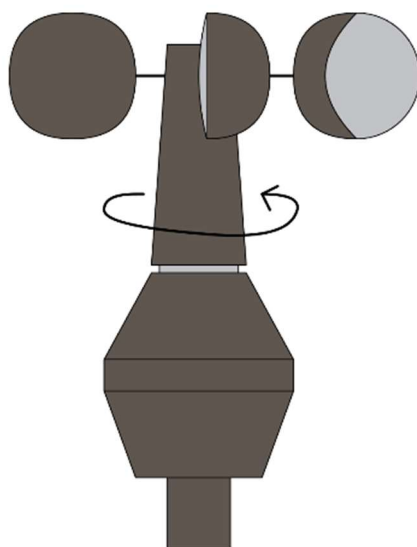


Kuva 4 Siipipyöräänemetri

### 3.2.2 Kuppianemometri

Kuppianemometri on rakenteeltaan hyvin samantapainen mittalaite kuin siipipyöränemometri. Perinteisesti kuppianemometrin päässä on kolmesta neljään olevaa puolipallon muotoista kuppia, jotka pyörivät ilmavirran vaikutuksesta. Kupit pyörivät niiden koverapuoli edellä, sillä virtaus aiheuttaa suuremman voiman kupin kuperalle puolelle. Nykyisin kuppianemometrin kupit on muotoiltu ennemminkin kartion kuin kupin mallisiksi. Tällä on saatu pienennettyä pyörimistä vastustavaa voimaa ja kasvatettua mittausaluetta pienillä nopeuksilla. Puolipallon mallisissa kuppianemometreissä mittausalue on luokkaa 1–60 m/s, kun taas kartion mallisissa 0,4–60 m/s. (Sirén 1995, 185)

Kuppianemometrin sijoituspakan kanssa on oltava erittäin tarkkana, sillä se on hyvin herkkä virtauskentän häiriöille. Tästä syystä se sijoitetaan usein avoimelle alueelle. Useimmiten se tarkoittaa sijoitusta korkealle esimerkiksi maston päähän. Korkeuksiin sijoitettuja kuppianemometrejä pitää uudelleen kalibroida hyvin harvoin, sillä ne ovat siellä suojassa mekaanisilta kolhuilta. Koska kuppianemometriä käytetään enimmäkseen tuulen nopeuden mittaamisessa, vähentää se myös uudelleen kalibroinnin tarvetta, sillä tällöin vaatimattomampikin tarkkuus riittää usein. Kuppianemometriä voidaan käyttää myös ilmastointitekniikassa, mutta sitä käytetään lähinnä vain silloin kun on tarve rekisteröidä meteorologisia suureita. (Sirén 1995, 186)



Kuva 5 Kuppianemometri

### 3.3 Jäähtymiseen perustuvat anturit

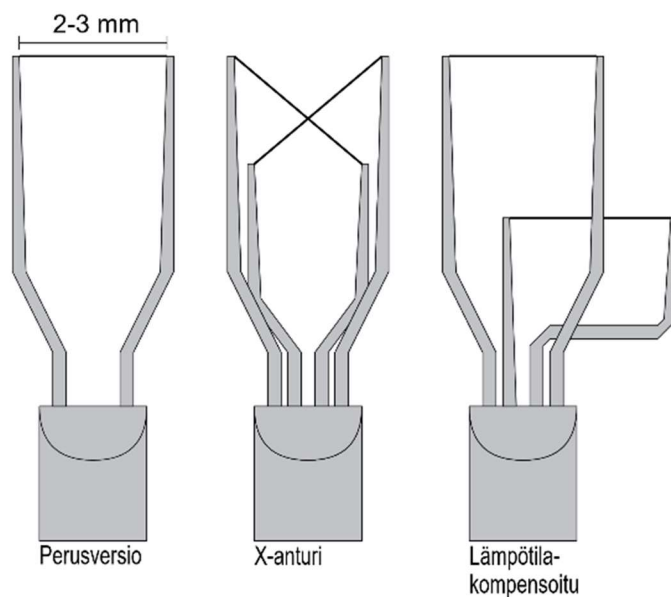
Ilmavirtoja voidaan mitata myös lämpöhäviöiden avulla. Lämpöhäviöt saadaan aikaiseksi lämmittämällä mittalaitteen päätä, jonka ylitse ilmavirrat kulkevat. Ilmavirta aiheuttaa jäähtymisen, jonka perusteella ilmavirran nopeus saadaan selville. Alla olevissa kappaleissa on esitelty sitä hyödyntäviä mittalaitteita

#### 3.3.1 Kuumalanka-anemometri

Kuumalanka-anemometri mittaa ilmavirran nopeutta lämpötilahäviöiden perusteella. Se on perinteisesti noin millimetrin pituinen ja halkaisijaltaan 5  $\mu\text{m}$  oleva volframilanka, joka on kiinnitettynä kahden neulamaisen tuen välille. Tästä perinteisestä mallista on kuitenkin useita eri versioita. Langan materiaalina voidaan käyttää myös platinaa tai platinairidium seosta. Myös langan kiinnittävät tuet voidaan asetella eri tavoilla, jolloin lanka asettuu mittarin päähän eri tavalla. Tukiä voi olla myös useampia samassa anturissa. Tällöin kyseessä on monilanka-anturi. (Sirén 1995, 193)

Käyttötilassa kuumalangan lämpötila on 150°C-300°C välillä. Kuumalanka-anturi pystyy itsessään seuraamaan nopeuden vaihteluita, jotka tapahtuvat maksimissaan 500 Hz taajuudella. Mikäli kuumalanka on osana vakio­lämpötila-anemometriä kasvaa taajuusalue 400 kHz. Tämän takia se onkin erinomainen vaihtoehto turbulenssin mittaamiseen. (Sirén 1995, 193)

Jotta kuumalanka-anemometrillä saisi mahdollisimman luotettavan tuloksen vaatii se uudelleen kalibroinnin usein. Tämä johtuu lähinnä siitä, että kuumalangan lämpötilan takia ilmassa olevat hiukkaset palavat lankaan kiinni aiheuttaen langan kontaminoitumista ja lämmönsiirto-ominaisuuksien muuttumista. Koska lanka on erittäin haurasta, on sitä lähes mahdoton puhdistaa. Kaikki pienimmätkin muutokset langan jännityksessä aiheuttavat tarvetta laitteen uudelleen kalibrointiin. Kuumalanka-anemometriä voidaan kuitenkin käyttää ainoastaan tutkimuskäytössä ja silloinkin nopeuden vaihtelun mittauksessa. (Sirén 1995, 194)



Kuva 6 Kuumalanka-anemometri

### 3.3.2 Kuumakalvoanturi

Kuumakalvoanturi on hyvin saman tyyppinen mittalaite, kuin kuumalanka-anemometri. Langan sijasta mittarissa on tyypillisesti kvartzialustalle höyrystetty erittäin ohut tinakalvo. Hyviä puolia kalvoanturissa ovat sen vankempi mekaaninen rakenne ja monipuoliset mahdollisuudet muotoilussa, lanka-anturiin verrattuna. Lisäksi se ei ole yhtä herkkä kolhuille tai likaantumiselle, kuin lanka-anturi. Tämän takia sitä ei tarvitse myöskään kalibroida yhtä usein kuin lanka-anturia. Kalvoanturi ei kuitenkaan ole dynamiikaltaan yhtä nopea kuin lanka-anturi. Tämän takia se on parempi vaihtoehto hitaanpien nopeusvaihteluiden ja keskinopeuksien mittaamiseen. Kuumakalvoanturi sopii kuitenkin parhaiten laboratorioympäristöön, sillä se on tutkimusinstrumentti. (Sirén 1995, 194)

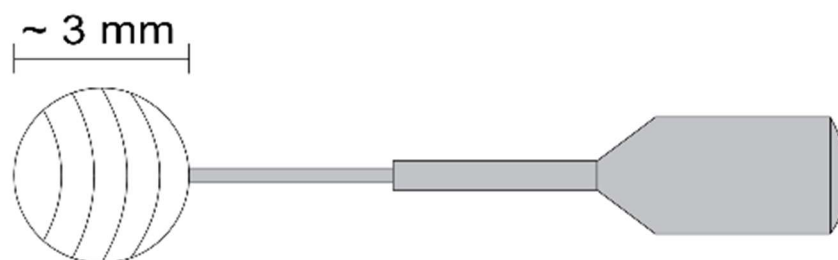
### 3.3.3 Termistorianturi

Eniten termistoria käytetään lämpötilan mittauksessa, mutta sitä voidaan käyttää anturina virtausnopeusmittareissa. Lanka-anturiin verrattuna termistorianturissa on paljon suurempi sähkövastus. Sen suuruus on parista sadasta ohmista muutama kilo-ohmiin. Termistori on myös erittäin herkkä lämpötilan vaihteluille. Termistorin ominaisuudet eivät tee siitä erityisen stabiilia mittalaitetta. Tämä korostuu korkeammissa lämpötiloissa. Siksi sen toimintalämpötila onkin 50°C-80 °C

asteen välillä. Termistorianturit, joita käytetään nopeuden mittaamisessa, ovat yleensä pallomaisia. Niiden halkaisija on usein vain muutaman millimetrin. Termistorianturia käytettäessä itse termistori lämpenee ja johtaa lämmön siinä kiinni oleviin metallisiin johtimiin, joista se lopulta siirtyy ilmaan. Termistorianturi on hyvä vaihtoehto kentällä käytettäviin mittareihin. (Sirén 1995, 195)

### 3.3.4 Suuntariippumattomat anturit

Suuntariippumaton anturin erinomainen vaihtoehto huonetilan ilmavirtojen mittaamiseen. Se kykenee mittaamaan virtauksia anturin ja virtauksen kohtauskulmasta huolimatta ilman, että sen suunta vaikuttaa juurikaan mittaustulokseen. Suuntariippumattomassa anturissa on kuitenkin yksi asia mikä voi vaikuttaa ilmavirtaukseen ja näin ollen mittaustulokseen. Anturin varsi aiheuttaa esteen ilmavirtaukselle, väärentäen mittaustulosta, mikäli virtaus sattuu tulemaan juuri varren suuntaa lähellä olevasta suunnasta. Siksi suuntariippumatonta anturia käytettäessä on hyvä koittaa arvioida virtauksen pääsuuntaa karkeasti ja sijoitella anturi sen mukaisesti mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Suuntariippumaton anturi kykenee myös mittaamaan pieniä ilmavirtoja, joita huonetiloissa yleensäkin kulkee. Nämä ovat luokkaa 0,1–0,5 l/s. (Sirén 1995, 195–196)



Kuva 7 Suuntariippumaton anturi

## 3.4 Muut mittalaitteet ja mittausmenetelmät

Alla olevissa kappaleissa on esitelty muita mittausmenetelmiä ja laitteita, joita voidaan myös hyödyntää ilmavirtojen mittaamisessa.

### 3.4.1 Anemometritorvi

Anemometritorvi on perinteinen mittalaite päätelaitteista mitattavien ilmavirtojen mittaukseen. Sitä voidaan käyttää sekä tulo-, että poistoilmapäätelaitteissa. Poistoilmapäätelaitteissa anemometritorvessa voidaan käyttää lyhyttä torvea. Sen sijaan tuloilmapäätelaitteissa mittari varustetaan pitkähköllä tasaosalla varustetulla torvella luotettavan mittaustuloksen saamiseksi. Anemometritorvella mitattaessa torvi asetetaan tiiviisti päätelaitteen ympärille siten, että ilmavirta ohjautuu mittalaitteen lävitse. Virtausmittarina torvessa on yleensä kuumalanka-, siipipyörä- tai termistorianemometri. (LVI-laitosten mittaukset, 9)

### 3.4.2 Huppumittari

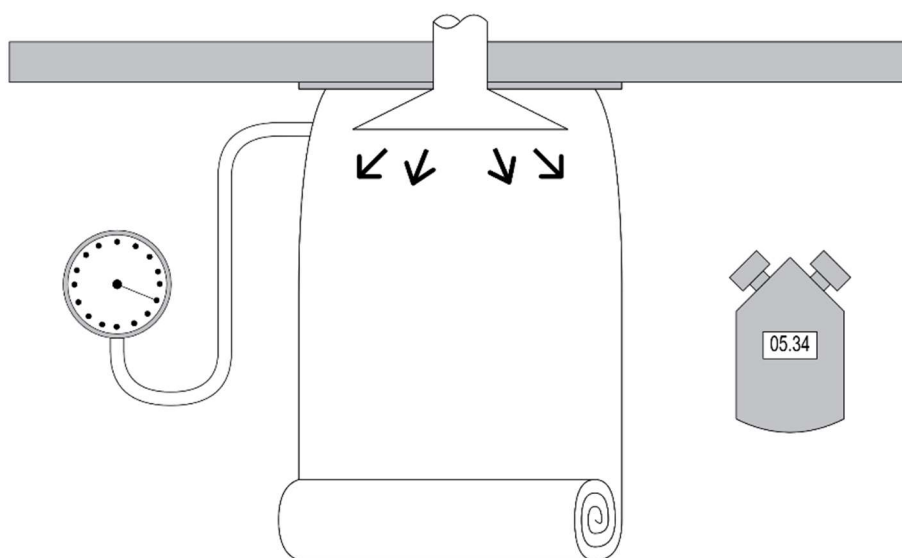
Huppumittari on hyvin saman tyyppinen mittalaite kuin anemometritorvi. Huppumittaria voidaan mitata ilmavirtaa poistoilmapäätelaitteista, mikäli mittalaite saadaan päätelaitteen ympärille mahdollisimman tiiviisti. Huppumittarilla voidaan myös mitata ilmavirtaa tuloilmapäätelaitteesta. Tällöin ei kuitenkaan saada yhtä luotettavaa lopputulosta, koska tuloilmavirta on epätasaista. Virtaus mittaan yleensä kuumalanka- tai paine-eroperiaatteella. Huppumittari on kalibroitu siten, että laite näyttää suoraan mitattua ilmavirtaa. (Sandberg 1 2014, 70)

### 3.4.3 Keskinopeusmenetelmä

Keskinopeusmenetelmä on erinomainen tapa mitata isojen säleikköjen ilmavirtoja. Tämä voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla. Ensimmäisenä vaihtoehtona on jakaa säleikön pinta-ala samansuuruisiin osiin ja mitata virtausnopeus jokaisesta osasta erikseen. Osista saaduista mittausarvoista lasketaan keskiarvo, joka on koko säleikön poikkipinta-alan virtausnopeus. Toisena vaihtoehtona on liikuttaa ilmavirranmittausmittari säleikön virtauspinnan ylitse. Tällöin tulokseksi syntyy keskinopeus mittausjakson ajalta. Itse mittalaitteeksi voi keskinopeus menetelmässä valita minkä tahansa sellaisen mittalaitteen, jolla voidaan mitata ilmavirtaa asettamalla mittalaite päätelaitteen eteen. Hyvä esimerkki tällaisesta on esimerkiksi siipipyöräänemometri. (LVI-laitosten mittaukset, 10)

### 3.4.4 Keräysmenetelmä

Keräysmenetelmä, tunnetaan myös nimellä pussimenetelmä, on perinteinen, tarkka ja luotettava tapa ilmavirran mittaamisessa. Tätä menetelmää voidaan kuitenkin käyttää vain tuloilmapäätelaitteissa. Ideana on ensin asettaa ohuesta muovista valmistetun pussin kaulaosa päätelaitteen ympärille tiiviisti. Tämän jälkeen mittaus voidaan käynnistää ja seurata pussin täyttymistä. Kun pussintäyttymisaika on selvillä, voidaan sen ja pussin tilavuuden avulla selvittää tuloilmapäätelaitteen ilmavirta. (LVI-laitosten mittaukset, 10)



Kuva 8 Keräysmenetelmä

## 4 HAASTATTELUT

Opinnäytetyöhön tehtyjen haastattelujen tarkoituksena oli saada käsitys, minkälaisia ilmavirranmittaustyökaluja käytetään. Haastattelujen tuloksen pohjalta oli tarkoitus luoda opinnäytetyön laboratorioharjoitus.

Haastattelut toteutettiin Pirkanmaan alueella toimineille yrityksille. Haastattelu toteutettiin sähköpostikyselyllä sekä puhelinhaastattelulla. Kysely lähetettiin noin kymmenelle henkilölle eri yrityksistä, joista lopulta viisi oli halukkaita osallistumaan haastatteluun. Haastattelujen vastaukset ovat koottuna yhteen liitteeksi. (liite 1)

Haastattelun alussa tarkoitus oli selvittää, minkä tyyppisiä mittalaitteita haastateltavat käyttävät ja miksi he olivat päätyneet valintoihinsa. Toinen haastattelun tavoite oli saada selville, voisivatko haastateltavat korvata valintansa muun tyyppisellä mittalaitteella, jos käytössä oli vain yksi mittalaite

Kyselyn tuloksena selvisi, että haastateltavat käyttävät lähestulkoon aina erilaisia paine-eromittareita. Pari haastateltavaa kertoi käyttävänsä myös lähes kaiken muun tyyppisiä markkinoilla olevia mittalaitteita. Kuitenkin he painottivat käyttävänsä paine-eromittareita selkeästi eniten. Käyttöä perusteltiin sen luotettavuudella sekä monikäyttöisyydellä. Esimerkkimittareina muutama haastateltava antoi itse käyttämistä mittareistaan TC5815 ja TC5825 mittarit. Erilaisista mittalaitteimerkeistä esille nousivat TSI ja Presso vac. Kaikki haastatteluun osallistuneet käyttivät jommankumman merkkisiä mittareita. Kaikkien haastateltavien käyttämä laitemerkki oli valikoitunut yrityksen omistavien mittalaitteiden perusteella. He olivat kaikki myös sitä mieltä, että voisivat käyttää näistä kahdesta kumman merkkisiä mittalaitteita tahansa.

Haastattelun lopuksi haluttiin selvittää mitkä asiat haastateltavat näkisivät haasteellisimmiksi asioiksi ilmavirran mittauksessa ja miten mittaustuloksesta saataisiin mahdollisimman tarkka ja virheetön. Lisäksi haluttiin selvittää, mitkä minkä tyyppisiä mittalaitteita alan opiskelijoille kannattaisi koulussa opettaa käyttämään.

Luotettavan mittaustuloksen saamiseksi kaikki haastateltavat pitivät tärkeimpänä asiana huolellisuutta ja tarkkuutta luotettavan tuloksen saamiseksi. Lisäksi tärkeänä pidettiin kokonaiskuvan hahmottamista mittaustilanteissa, jotta esimerkiksi verkoston säätötilanteissa voisi paremmin ymmärtää omien mittauksien ja säätöjen vaikutuksia koko verkostossa. Tarpeen vaatiessa mittauspisteillä pitäisi myös jaksaa käydä useamman kerran, jotta mittaustulokset olisivat varmasti oikeat. Haastateltavien näkemysten mukaan opiskelijoille kannattaisi opettaa mahdollisimman laajasti erilaisten mittalaitteiden käyttöä. Tämä siitä syystä, sillä koskaan ei voi tietää minkä tyyppistä mittaria työmaalla tarvitsee. Lisäksi mittarien oikeaoppinen käyttö vähentää niistä johtuvia mittausrvirheitä.

## 5 ILMAVIRRRAN MITTAUKSEN LABORATORIOTYÖ

Opinnäytetyön kirjallisuus- ja haastattelututkimuksien pohjalta oli tarkoitus luoda laboratorioharjoitus, jota Tampereen ammattikorkeakoulun LVI-talotekniikka pysyisi halutessaan käyttämään. Laboratoriotyön tarkoituksena on esitellä opiskelijoille, miten eri ilmavirranmittauslaitteita käytetään. Työ koostuu kolmesta eri osasta:

1. Työhön tutustuminen
2. Laboratoriossa osuus
3. Työn raportointi

Alla olevissa kappaleissa työn vaiheita on käsitelty tarkemmin.

### 5.1. Työhön tutustuminen

Laboratoriotyön ensimmäinen osuus koostuu mittalaitteisiin tutustumisesta kirjallisuuden avulla. Ideana on perehdyttää opiskelijoita tulevaan laboratorio kokeeseen, jotta opiskelijat voisivat oppia siitä mahdollisimman paljon. Opiskelijoiden tulee tutustua tulevan laboratoriotyön ohjeeseen sekä siinä käytettäviin mittalaitteisiin. Mittalaitteista opiskelijoiden tulee selvittää seuraavat asiat:

- Miten mittalaitetta käytetään
- Missä sitä tyypillisesti käytetään
- Mihin sen toiminta perustuu
- Mitkä asiat aiheuttavat mittausmittausvirheitä

Opiskelijat voivat hyödyntää tässä osiossa keräämiään tietoja laboratoriomittauksen jälkeen tehtävässä raportissa.

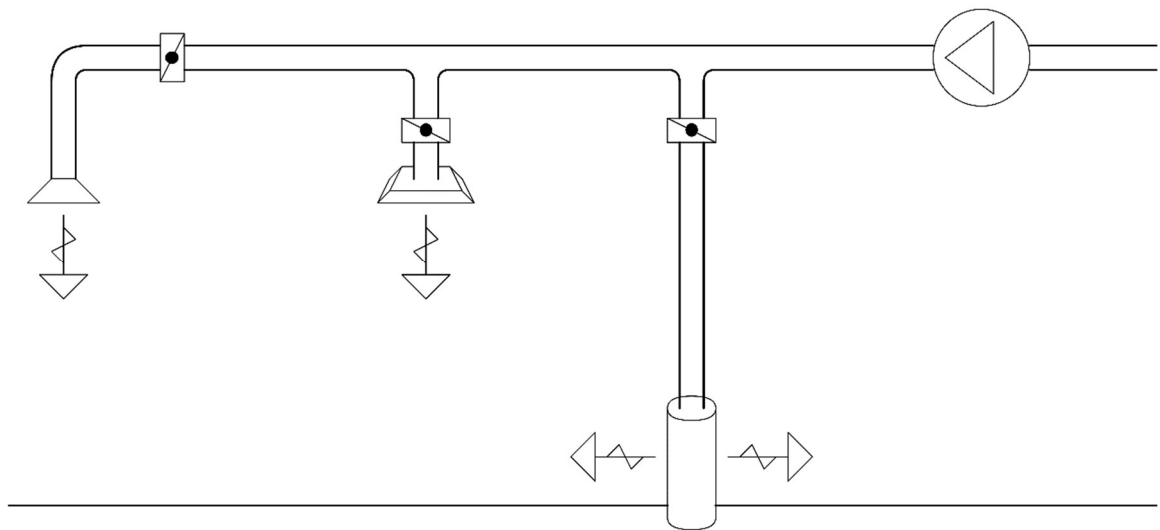
### 5.2. Laboratoriotyö

Laboratoriotyö osuudessa opiskelijoiden on tarkoitus päästä kokeilemaan itse eri mittalaitteiden käyttöä. Työn tärkeimmät tehtävät ovat

- Havainnollistaa erilaisten mittalaitteiden toimintaa käytännössä.

- Antaa ymmärrystä minkälaisia mittausvälineitä ilmavirran mittauksessa voidaan käyttää

Mittaukset suoritetaan laboratorioympäristössä, jossa on ilmavirran mittaamisen koekäyttöön soveltuva laitteisto. Järjestelmä on yksinkertaistettu versio ilmanvaihtojärjestelmästä. Sen avulla voidaan siis hyvin demonstroida ilmavirran mittaamista todellisissa tilanteissa. Alla olevassa kuvassa on esitetty periaatepiirros laitteistosta (kuva 9).



Kuva 9 Laboriolaitteisto

Laboratoriotyön ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus kokeilla erilaisia mittalaitteita erilaisissa päätelaitteissa. Ideana on mitata saman ilmanvaihtokanaviston haaran tai päätelaitteen ilmavirtoja ja katsoa kuinka eri mittalaitteilla saadut tulokset eroavat toisistaan. Lisäksi voitaisiin havainnollistaa kuinka virheellisesti valittu mittalaite tai mittauspaikka vaikuttavat mitattuun ilmavirranmittaus tulokseen. Esimerkiksi kuinka pitot-putkella mittaus heti mutkan jälkeen muuttaa mittaustulosta verrattuna suoralla tehtyyn pitot-putki mittaukseen.

Laboratoriotyön toisessa vaiheessa ilmavirranmittausta harjoitellaan ilmanvaihtokanaviston säädön yhteydessä. Ideana on hyödyntää ilmavirranmittausta samaan tapaan kuin sitä käytettäisiin oikeissakin kohteissa.

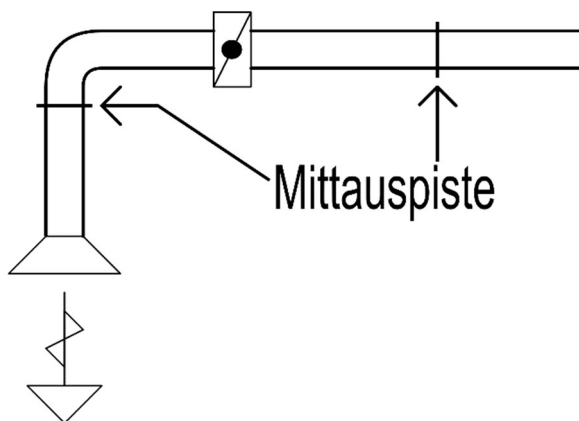
### 5.3. Työn raportointi

Laboratorioisuuden jälkeen opiskelijat kirjoittavat raportin mittauksien kulusta ja tuloksista. Raportin ideana on koostaa mittauksien tulokset yhteen, käsitellä saatuja tuloksia. Raportti sisältö käsittelee seuraavia asioita.

- Käytettyjen mittalaitteiden esittely
- Laboratoriomittauksien kulku
- Mittaustulosten koonti ja vertailu
- Mittauksien virhelaskenta

### 5.4. Esimerkki laboratorioharjoituksen etenemisestä

Laboratoriotyö alkaa erilaisiin mittalaitteisiin tutustumisella sekä niiden kokeilulla. Ensimmäisenä päätelaitteena on tuloilmanventtiili. Sen ilmavirtoja mitataan päätelaitemittauksena huppumittarin ja päätelaitteen kiinteän mittayhteen avulla, sekä kanavamittauksena iris-pellin ja pitot-putken avulla. Päätelaitteen kiinteän mittausyhteen, iris-pellin sekä pitot-putken mittauksessa käytetään paine-eromitaria. Pitot-putkella mitataan ilmavirtaa kahdesta eri kohdasta. Ensimmäinen kohta on heti kanavamutkan jälkeen ja toinen on kanavaosuuden suoralla osuudella. Mittauskohdat ovat esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 10).



Kuva 10 Pitot-mittauspisteet

Toisena päätelaitteena on tuloilmahajotin. Siitä ilmavirtoja mitataan huppumittarin, päätelaitteen kiinteää mittayhteen sekä iris-pellin avulla. Kolmantena pääte-

laitteena on syrjäyttävä tuloilmalaite. Sen ilmavirtoja mitataan siipipyöräänemometrillä, päätelaitteen kiinteää mittaussyhteen sekä iris-pellin avulla. Kaikissa mittauksissa ilmavirta pidetään vakiona.

Laboratoriotyön toisessa vaiheessa kanavisto säädetään siten, että kustakin päätelaitteesta tulee haluttu ilmavirta. Jokaiselle päätelaitteelle on määritetty oma tavoiteltu ilmavirtansa, joka pyritään säätämään jokaiselle päätelaitteelle. Säätö toteutetaan päätelaitteiden kiinteiden mittayhteitä hyödyntäen. Säätöjä voidaan tehdä useampia eri ilmamääriä tavoitellen. Mikäli useampia säätöjä tehdään, voidaan ne tehdä eri tavalla tai eri mittalaitteita hyödyntäen. Esimerkiksi mikäli ensimmäisessä säädön aikana hyödynnetään vain päätelaitteiden kiinteitä mittayhteitä voidaan toisella säätökerralla käyttää vain iris-peltien avulla tehtyjä mittauksia. Säädot voidaan tehdä myös eri mittalaitteiden avulla. Esimerkiksi ensimmäinen säätö voidaan tehdä paine-eromittaria hyödyntäen ja toinen siipipyöräänemometrillä.

## 6 POHDINTA

Ilmavirran mittaamiseen on monia erilaisia tapoja riippuen paikasta ja ympäristöstä missä sitä halutaan mitata. Ilmavirtojen perussäädöissä ja toiminnan tarkastusmittauksissa yleisimmin käytetty tapa oli paine-eromittari.

Opinnäytetyön tuloksena luodun laboratoriotyön tarkoituksena on havainnollistaa erilaisten mittalaitteiden toimintaa käytännössä, sekä antaa ymmärrystä minkälaisia mittausvälineitä ilmavirran mittauksessa voidaan käyttää. Laboratoriotyö on itsessään hyvin muokkuskelpoinen sen käyttäjän tarpeisiin nähden. Sitä voidaan muokata esimerkiksi esittelemään useita erilaisia mittalaitteita tai havainnoimaan yhden mittalaitteen erilaisia käyttö mahdollisuuksia. Laboratoriotyötä varten tehdyn haastattelututkimuksen kehittämismahdollisuutena voisi esimerkiksi olla selvittää mistä ilmanvaihtojärjestelmän osista ilmavirtaa eniten mitataan.

Työ on mielestäni onnistunut, sillä alkuperäiseen tutkimuskysymykseen, minkä tyyppiset mittalaitteet ovat yleisimmin käytössä Pirkanmaan alueella, saatiin vastauksia sekä niiden perusteella saatiin luotua laboratoriotyö.

## LÄHTEET

LVI-laitosten mittaukset, maaliskuu 1999, LVI 014-10290

Sandberg. E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg. E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sirén. K. 1995, Ilmastointitekniikan mittaukset. Espoo: Tietonova Oy

Sisäilmayhdistys ry. n.d. Verkkosivu. Viittaus 1.4.2023. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

Kaasalainen. T, 27.6.2017, Innovaatio mullistaa ilmanvaihdon: terveellinen sisäilma ekologisesti ultraäänien avulla. Fläkt Woods Oy. Viitattu 4.5.2023. <https://www.epressi.com/tiedotteet/rakentaminen/innovaatio-mullistaa-ilmanvaihdon-terveellinen-sisailma-ekologisesti-ultraaanen-avulla.html>

Halton. n.d. Halton Max One Circular (MOC) – Ilmamääräsäädin. Verkkosivu. Viittaus 4.5.2.23. <https://www.halton.com/fi/tuotteet/halton-max-one-circular-moc-ilmavirtasaadin/>

## LIITTEET

Liite 1. Haastattelu tuloksien anonymi kooste

### **Minkä tyyppisiä mittalaitteita yrityksessänne käytetään?**

- Useita erityyppisiä mittareita
- TC5815 mittari
- TC5825 mittari
- PressoVac mittareita
- TSI mittareita
- Paine-eromittari
- Siipipyöranemometri
- Kuumalanka
- Huppumittari

### **Miksi käytätte juuri tämän tyyppisiä laitteita?**

- Emme tarvitse sellaisia mittareita mihin on sisään rakennettu venttiilien k-arvot. Olemme itse tehneet excel pohjaisen mittauspöytäkirjan mikä laskee kaikki litramäärät ja toteumat automaattisesti.
- Asuntopuolella luotettavimmat mittaustulokset
- Koska joskus aloittanut tämän merkkisten mittareiden käytön

### **Voisiko käytössänne olla joku muu mittaus tapa?**

- Kaikki uusi kiinnostaa aina ja jos siitä jotakin voi oppia lisää.
- Ehkä toinen vastaava merkki

### **Mitkä ovat mielestäsi keskeisimmät haasteet mittauksissa ja miten näiltä voidaan välttyä?**

- Yleinen tietotaso. Meillä on useampi henkilö ilmamäärä mittauksilla ja siihen opettamisessa menee riippuen henkilöstä useampi vuosi. Kouluissa ei opeteta ilmamäärä mittauksia tarpeeksi laajasti.
- Kokonaisuus pitää pitää koko ajan mielessä
- Tärkeää muistaa tarkkuus mittauksissa
- Pitää jaksaa käydä mittauspisteillä säätämässä useita kertoja