

Olli Heikkinen

## **FYSIIKAN LABORATORION ILMANVAIHTOKONE**

Suunnittelu, asennus ja mittausjärjestelyt

# **FYSIIKAN LABORATORION ILMANVAIHTOKONE**

Suunnittelu, asennus ja mittausjärjestelyt

Olli Heikkinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka

---

Tekijä: Olli Heikkinen

Opinnäytetyön nimi: Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokone

Työn ohjaaja: Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi:  
Kevät 2015

Sivumäärä: sivut + liitteet  
36 + 2

---

Tässä työssä suunniteltiin ja asennettiin ilmanvaihtokone kanavistoineen fysiikan laboratoriotilaan. Työn tilasi lehtori Hannu Sarkkinen palvelemaan omalta osaltaan fysiikan laboratorioskursseiden opiskelijoita. Työssä haluttiin saada aikaan ilmanvaihtojärjestelmä, josta voidaan mitata talotekniikkaan liittyviä fysikaalisia suureita, kuten painetta ja ääntä.

Laboratorioon asennettiin Vallox 75 -ilmanvaihtokone ja kanavisto päätelaitteineen. Kanavisto tehtiin osittain harvemmin käytetystä muovikanavasta ja osittain yleisemmästä kierresaumakanavasta. Kanavistoon asennettiin lisäksi äänenvaimennin ja tarvittavat sulkupellit. Lisäksi kanavistoa eristettiin tarvittavilta osin.

Työn toinen osio koostui mittausmenetelmistä. Osiossa käytiin läpi vaihtoehtoja, millä mitäkin fysikaalista ominaisuutta voidaan mitata. Mittausmenetelmien tarkastelussa käytettiin paljon rakennustietokortistoa, josta löytyy paljon tietoa eri mittausmenetelmistä. Lisäksi käytiin läpi lämmöntalteenoton lämpötilasuhteen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen, sekä yleisesti, että fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneelle.

Lopuksi työssä laadittiin 2 kappaletta suuntaa antavia laboratoriotyöohjeita sekä käytiin läpi Arduino-mittausalustan käyttämistä osana mittauksia. Laboratoriotyöohjeita voi hyödyntää fysiikan laboratoriotyökursseilla.

---

Asiasanat: asuntoilmanvaihtokone, mittausmenetelmät, lämpötilasuhte, vuosihyötysuhde, laboratorio työohje

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services

---

Author(s): Olli Heikkinen

Title of thesis: Air supply unit of physics laboratory

Supervisor(s): Pirjo Kimari

Term and year when the thesis was submitted:  
Spring 2015

Number of pages:  
36 + 2

---

The aim of this thesis was to plan and install ventilation system for physics laboratory. Ventilation system is for students to do different kind of measurements from the system. From the system you can measure for example temperature and humidity.

The chosen ventilation unit was Vallox 75, which is meant for small and medium size houses. Part of air distribution was made from rarely used plastic duct and other with normal duct. Fläkwoods circular supply and exhaust valves were used as air terminal devices in the system. Other components that were installed in the system were airflow dampers, silencer and climecon UPSI exhaust nozzle.

Other section of thesis was about different measurement methods which can be used to measure physical features. For example different ways of measuring airflow from valves or from duct. Many of the methods told in this thesis are from Building Information which has lots of guides and standards about building construction in Finland. Also in this section we told about heat recovery and how to determine temperature ratio and annual efficiency for the heat recovery device.

At the last section there is couple examples of laboratory working instructions which can be done in the physics laboratory.

---

Keywords: ventilation, measure, working instruction

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 ASUNTOILMANVAIHTOKONEET.....	7
2.1 Ilmavirtojen mitoitus.....	7
2.2 Paineentuoton mitoitus.....	7
2.3 Ilmanvaihtokoneen tuottama ääni.....	8
2.4 Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde ja vuosihyötysuhde.....	8
3 FYSIIKAN LABORATORION ILMANVAIHTOKONE.....	10
3.1 Laittevalinta.....	10
3.2 Laitteiden asennus.....	12
3.3 Mittaukset.....	13
3.3.1 Lämpötila ja kosteus.....	13
3.3.2 Paineet.....	15
3.3.3 Virtaamat.....	15
3.3.4 Ääni ja värinä.....	20
3.3.5 Lämpötilasuhde.....	21
3.3.6 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.....	23
4 LABORATORIOTYÖOHJEET.....	26
4.1 Ilmavirtojen mittaus.....	26
4.2 Lämmöntalteenoton lämpötilasuhteen määrittäminen.....	28
5 ARDUINO -MITTAUSALUSTA.....	32
6 YHTEENVETO.....	34
LÄHTEET.....	35

# 1 JOHDANTO

Rakentamista Suomessa säädellään pitkälti Suomen rakentamismääräyskokoelman avulla. Ilmanvaihtoon liittyviä asioita käsitellään osioissa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto sekä D3 Rakennusten energiatehokkuus. Näissä kahdessa on annettu erilaisia arvoja esimerkiksi äänelle, energiatehokkuudelle ja ilmamäärille, jotka tulisi täyttyä ilmanvaihtolaitoksissa. Arvot vaihtelevat rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin pieni ilmanvaihtojärjestelmä, josta voidaan mitata niin ilmanvaihdolle tyypillisiä arvoja kuten painetta ja lämpötilaa kuin myös esimerkiksi ilmanvaihtokoneen aiheuttamaa tärinää. Ilmanvaihtojärjestelmä suunniteltiin siten, että haluttuja mittauksia olisi helppo suorittaa ja laitteisto olisi järkeviltä osin muunneltavissa.

Mittauslaitteistona ilmanvaihtojärjestelmässä voidaan käyttää perinteisiä ilmanvaihtolaitosten mittauksiin tarkoitettuja laitteita, joita on esitelty RT- kortiston ohjekortissa LVI-laitosten mittaukset (1, s. 7–11). Toinen vaihtoehto on käyttää antureita, jotka on kytketty mikrokontrollerin kautta tietokoneeseen. Tällaisia mikrokontrollereita valmistaa esimerkiksi Arduino. Antureita taas on moneen eri tarkoitukseen ja monelta eri valmistajalta.

## 2 ASUNTOILMANVAIHTOKONEET

Asuntoilmanvaihtokoneiden tarkoitus on poistaa asunnon ilman epäpuhtauksia tai ylimääräistä kosteutta ja tuoda tilalle puhdasta ilmaa. Ilman epäpuhtauksia ovat muun muassa ihmisten tuottama hiilidioksidi, asunnon rakennus- ja sisustusmateriaaleista irtoavat hiukkaset sekä hajut keittiöstä ja saniteettitiloista. Puhdas ilma tuodaan sisälle ulkoa. Ulkoilma suodatetaan ja lämmitetään halutun lämpöiseksi käyttäen lämmöntalteenottoa ja pattereita ennen sen levittämistä asuntoon kanaviston ja tuloilmapäätelaitteiden avulla.

### 2.1 Ilmavirtojen mitoitus

Ilmavirtojen mitoittavana tekijänä voi olla lämmitys, jäähdytys, kostutus tai kuivatus. Tällöin ilmavirrat ovat yleensä suurempia kuin hyvään ilmanlaatuun tarvittavat ilmavirrat. Tässä käsiteltävää normaalia asuntoilmanvaihtoa mitoitettaessa määräävä kriteeri on yleensä ilmanlaatu pois lukien ilmalämmitteiset omakotitalot. (2, s. 31.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määritellään, että huonetiloissa tulee olla ilmanvaihto, jolla käyttöaikana taataan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmanlaatu. Rakentamismääräyskokoelmassa on annettu ehdottomaksi vähimmäksi ulkoilmavirtaukseksi  $0,35 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. Kuitenkin usein määräävä tekijä on huonetilan henkilömäärä, jolle rakentamismääräyskokoelma määrää ulkoilmavirran  $6 \text{ (dm}^3\text{/s)/hlö}$ . (3, s. 10.)

### 2.2 Paineentuoton mitoitus

Paineentuoton mitoitusta tarvitaan puhaltimen valintaan ja haluttu paine riippuu kanaviston painehäviöstä sekä päätelaitteista. Asuntoilmanvaihtokoneissa ilmavirrat voidaan säätää päätelaitteita käyttäen.

Paineentuoton mitoituksessa käytetään apuna painehäviölaskelmia. Painehäviölaskelmissa laskeaan kanavareittien painehäviöt, jotka syntyvät kanavistosta, sen osista sekä päätelaitteista. Halu-

tun paineentuoton määrää kanavareitti, jossa painehäviö ilman säätöä on suurin. Tällöin kanavareittien, joiden painehäviö on pienempi, ilmavirrat voivat olla liian suuria. Näiden kanavareittien painehäviötä voidaan kasvattaa esimerkiksi asentamalla kanavaan säätöpelti. (2, s. 101.)

### **2.3 Ilmanvaihtokoneen tuottama ääni**

Ilmanvaihdon puhaltimet, ilman virtaus ja kanaviston osat aiheuttavat aina jonkin verran ääntä. Jotta ääni ei aiheuta häiriötä, se ei voi nousta enimmäistasoa korkeammaksi. (4, s. 2.)

Puhaltimen aiheuttama ääni syntyy monesta tekijästä. Puhaltimen moottori aiheuttaa käymisellään ääntä, joka siirtyy kanavistoa pitkin. Puhaltimen tärinä, joka johtuu puhallinpyörän ja moottorin epätasapainosta, hihnavälityksen huonosta linjauksesta ja laakerivioista, aiheuttaa ääntä kanavistoon. Lisäksi ääntä aiheuttaa puhaltimen ilmavirta, joka ei ole tasaista vaan sykkivää. (4, s. 3.)

Runkoon siirtynyt ääni vaimenee hiljalleen mitä kauemmas äänilähteestä siirytään. Ilmanvaihtokoneen runkoääntä voidaan vaimentaa esimerkiksi tärinänvaimentimella. Ilmaan siirtynyttä ääntä voidaan vaimentaa äänenvaimentimilla, joita käytetään yleensä heti ilmanvaihtokoneen läheisyydessä. Ääni vaimenee myös äänitehon jakautuessa kanavistossa. Mikäli ilmavirran nopeus on riittävän alhainen myös mutkat vaimentavat ääniä. Lopulta huoneeseen tulevan ilmavirran ääni absorboituu huoneen absorboiviin pintoihin, kuten seiniin, kattoihin, lattiaan ja kalusteisiin. (4, s. 3.)

### **2.4 Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde ja vuosihyötysuhde**

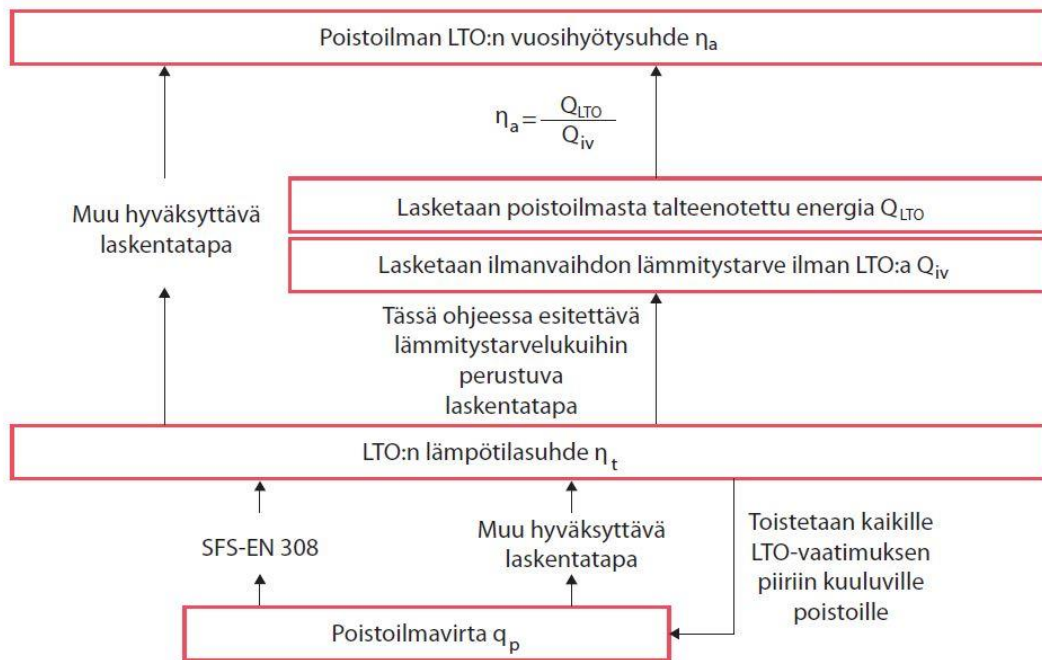
Suomen rakentamismääräyskokoelmassa määritellään, että rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Mikäli lämpöä ei oteta talteen poistoilmasta, voidaan lämpöenergiatarpeen pienentäminen toteuttaa parantamalla rakennuksen lämmöneristystä ja ilmapitävyyttä tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvetta muulla tavalla kuin lämmöntalteenotolla poistoilmasta. (5, s. 15.)

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on oleellisin lämmöntalteenoton tehokkuutta kuvaava suure energiatehokkuudesta puhuttaessa. Se kuvaa parhaiten säästettävää energiamäärää, mikä saadaan ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta. Vuosihyötysuhde on eri asia kuin lämpötilasuhde, joka



kuvaa vain lämmöntalteenottolaitteen ominaisuutta. Lämpötilasuhde on standardisoidussa testaus-tilanteessa mitattu lukuarvo (6, s. 1). Lämpötilasuhteen ja vuosihyötysuhteen eroa on esitetty kuvassa 1.

Vuosihyötysuhdetta määritettäessä otetaan huomioon tulo- ja poistoilmavirtojen suhde, jäätymsuojauksen toiminta ja mahdollinen tuloilman lämpötilan rajoittaminen. Vuosihyötysuhde voidaan laskea tuloilman lämpötilasuhteen ja ulkolämpötilan pysyvyystietojen avulla. (7, s. 2.)



KUVA 1. Yksinkertaistettu kaavio poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämiseksi

### 3 FYSIIKAN LABORATORION ILMANVAIHTOKONE

Fysiikan laboratorion ilmastointikone asennettiin pieneen varastotilaan, jonka pinta-ala on noin 10 m<sup>2</sup>. Ilmanvaihtokoneen tarkoitus ei ole palvella varastotilaa, vaan olla osana opiskelijoiden fysiikan laboratoriotöitä. Laboratorion ilmanvaihtojärjestelmässä on 1 tuloilmapäätelaite ja 2 poistoilmapäätelaitetta. Kanavistosta yksi haara on tehty muovikanavanosista ja loppukanavisto perinteisemmästä kierresaumakanavasta. Lisäksi kanaviston yhteen haaraan on lisätty äänenvaimennin.

#### 3.1 Laittevalinta

Ilmanvaihtokoneeksi valittiin Vallox Oy:n valmistama Vallox 75, joka on esitetty kuvassa 2. Se on tarkoitettu asuntokohtaiseen ilmanvaihtoon pientaloihin, rivitaloihin ja kerrostaloihin, joiden pinta-ala on alle 100 m<sup>2</sup>. Sen lämmöntalteenotto on toteutettu ristivirtakennolla ja jälkilämmityspatteri on toteutettu sähkövastuksilla. Laitteen tuotesertifikaatti esitetään liitteessä 2.



KUVA 2. Laboratorioon valittu Vallox 75 -ilmanvaihtokone

Päätelaitteiksi valittiin tuloilmalle Fläktwoodsin KTI-tuloilmaventtiili, joka asennetaan suoraan kanavaan ilman kiinnityskehystä. Poistoilmalle valittiin saman valmistajan KSO ja KSOS -venttiilit. KSOS-venttiili on tarkoitettu löylyhuoneeseen ja se on varustettu puunupilla, jolla sen saa tarvittaessa kiinni ja auki. Äänen vaimennin on myös Fläktwoodsin tuoteperheestä ja se on mallia BDER. Äänenvaimennin on esitetty kuvassa 3.



*KUVA 3. Fläktwoodsin BDER-äänenvaimennin pyöreään kanavaan.*

Ulkoilman sisäänotto ja jäteilman ulospuhallus toteutettiin Climeconin valmistamalla UPSI-yhdistelmätuotteella, joka on esitetty kuvassa 4. Se on kompakti paketti, jossa yhdistyvät raitisilman sisäänotto ja jäteilman ulospuhallus. Pienestä koosta huolimatta se estää jäte- ja raitisilman sekoittumisen keskenään käyttämällä suurta ulospuhallusnopeutta.



*KUVA 4. Climecon UPSI*

### 3.2 Laitteiden asennus

Laitteisto asennettiin fysiikan laboratorion varastoon syksyn 2013 aikana. Laitteiden asennuksessa tuli ottaa huomioon, että laitteisto tulisi mittaamista varten. Lisäksi mittauksia suoritettaisiin tietokoneeseen liitettävillä antureilla, joiden johdot olivat lyhyet. Tästä syystä ilmanvaihtokone asennettiin vain hieman pöytätason yläpuolelle. Päätelaitteet asennettiin myös korkeudelle, josta on helppo työskennellä. Asennettu ilmavaihtokone ja osa kanavistosta on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Fysiikan laboratorioon asennettu IV-kone ja siitä lähtevä kanavisto

Asennukset suoritettiin itse, lukuun ottamatta jäteilman ulospuhalluksen ja raitisilman sisäänoton vaatimaa läpivientä ja ilmanvaihtokoneen asennukseen liittyvää sähkökytkentää. Muutoin rakentaminen suoritettiin noudattamalla hyviä rakentamistapoja.

### 3.3 Mittaukset

Varsinaisten mittausten sijaan työssä lähestyttiin mittauksia teoreettisesti. Työssä mietittiin mistä esimerkiksi lämpötiloja kannattaa mitata tai miten lämpötilasuhde voitaisiin todeta kompaktista ilmanvaihtokoneesta.

#### 3.3.1 Lämpötila ja kosteus

Ilmanvaihtojärjestelmän lämpötilojen mittauksilla halutaan seurata lämmöntalteenoton ja jälkilämmityspatterin toimintaa. Lämmöntalteenottoa seurattaessa täytyy tietää lämpötilat alussa eli ennen lämmöntalteenottoa ja lämpötilat lopussa eli lämmöntalteenoton jälkeen. Jälkilämmityspatterin toiminnan seuraamiseen tarvitsee mitata vielä patterin jälkeinen lämpötila. Erilaisia lämpötilan mittausten menetelmiä on esitetty taulukossa 1. (1, s. 3.)

TAULUKKO 1. Lämpötilan mittausmenetelmiä (1, s. 4)

Menetelmä	Alue °C	Tarkkuus (parhailla)	Aikavaste *)	+	-	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Vastusanturi	-230...+950	± 0,01 °C	Vaihtelee	Tarkka, standardoitu, stabiili, lähes lineaarinen	Loiva ominaiskäyrä	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Neste/lasiputki	-70...+350 (-750)	± 0,02 °C	Hidas	Tarkka, melko stabiili, halpa	Ei viestiä, helposti rikkoutuva	Löytyy mittari lähes joka lähtöön	Sopii kalibrointi-referenssiksi
Termoelementti	-260...+1900	± 0,1 °C	Nopeahko	Tarkka, standardoitu, stabiili, lähes lineaarinen	Loiva ominaiskäyrä	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Termistori	-100...+350	± 0,1 °C	Nopeahko	Jyrkkä ominaiskäyrä, halpa	Epälineaarinen, saattaa ajautua	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Puolijohdeanturi	-50...150	± 0,5 °C	Nopeahko	Halpa, halpa elektroniikka	Usein epätarkka	Säätö ja valvonta, yleismittarit	Antureita useim- tarkoituksiin
Bimetalli	-50...+800	± 1 °C	Hidas	Halpa, omavoimainen. Helpolla viesti/kytkentä	Saattaa ajautua suht. epätarkka	Säätö ja valvonta, omavoimaiset piirturit	Käytetty paljon termostaateissa
Kapillaarianturi	-260...+750	± 1 °C	Hidas	Halpa, omavoimainen. Helpolla viesti/kytkentä	Saattaa ajautua suht. epätarkka isohko anturi	Säätö ja valvonta, Anturi voi olla erillään.	Käytetty paljon termostaateissa
Infrapuna-anturi	-60...+950	± 1 °C	1 s	Nopea. Ei tarvitse kosketusta	Kallis. Pinnan ominaisuudet vaikuttavat	Missä kosketus on vaikeaa tai mahdotonta	Saatavissa myös lämpökamera

Kosteutta mitataan yleensä huoneilmasta. Huoneilman kosteuden pitäisi pysyä tavoitearvojen sisällä, koska liian kuiva tai liian kostea aiheuttavat molemmat ongelmia. Liian kuiva ilma lisää limakalvojen ja hengitysteiden kuivuutta, kun taas liian kostea aiheuttaa rakenteisiin kosteus- ja homevaurioita. (1, s. 5.)

Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto on toteutettu ristivirtakennolla. Lämmöntalteenotto ristivirtakennoissa on rekuperatiivista eli ilmavirtojen välillä ei siirry ainetta. Tästä syystä myöskään kosteus ei siirry ilmavirtojen välillä. Ilmankosteus vaikuttaa myös osaltaan lämmöntalteenoton toimintaan, sillä kosteasta poistoilmasta vesi tiivistyy helposti lämmönsiirtopinnalle. Pinnalle tiivistynyt vesi jäätyy, mikäli lämpötila pääsee laskemaan alle 0 °C:n. Tämä ongelma voidaan ratkaista automaation avulla katkomalla tuloilmapuhallinta. (2, s. 286–288.)

Laboratorion ilmanvaihtojärjestelmästä kosteutta voitaisiin mitata raitisilmasta, mitä voidaan verrata esimerkiksi ilmatieteen laitoksen antamaan ulkoilman kosteuteen kyseisellä hetkellä. Mittaamalla poistoilman kosteutta, ja vertaamalla tätä raitisilman kosteuteen voidaan määrittää, kuinka paljon ilma kostuu huoneessa. Mittaamalla kosteus myös lämmöntalteenoton molemmin puolin voidaan todeta, ettei kosteutta siirry rekuperatiivisessa lämmöntalteenotossa. Erilaisia kosteuden mittaamenetelmiä on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Kosteuden mittaamenetelmiä (1, s. 5)

Menetelmä	Alue	Tarkkuus	Aikavaste	+	–	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Kastepiste-hygrometri	Lähes 0–100% RH	Parhailla ± 0,5 % RH	Hidas, useita minuutteja	Hyvä ja tarkka perusstandardi	Hankala pakkasessa ja pienillä RH %-lla	Ulko- ja huoneilma, tutkimus, kalibrointi	Ammattilaisen väline
Psykrometri	10...90% RH (5...95 % RH)	± 1% RH tai huonompi	Hidas, useita minuutteja	Hyvä ja tarkka perusmittari	Hankala pakkasessa ja pienillä RH %-lla	Huoneilma, tutkimus, kalibrointi	Ammattilaisen väline
Sähköiset (Kapasitiivinen, LiCl)	0..100 % RH (15..90 % RH)	Parhaimmillaan ± 1% RH	Muutama sek. – 1...2 min	Sähköinen viesti, nopeus	Ajautuminen	Automaatiikka ja valovonta, yleismittarit	Käyttövarma, helppo
Mekaaninen (Hius, muovinauha)	0–100% RH	± 2% RH	Hidas, useita minuutteja	Halpa. Tarvittaessa omavoimainen, myös piirturi	Ajautuminen	Huoneilma	Hiusanturi regeneroitava 1x/a
Infrapuna	5...100%RH	Vaihtelee	Jopa alle 1 s	Nopea, toimintavarma	Ei kovi tarkka	Säätöla, erikoissovellutukset	Kestää ja mittaa myös sumua
Punnitusmenetelmä	0–100% RH	Vaihtelee	Tunteja, vuorokausia	Luotettava perusmenetelmä	Työläs, raskas laitteisto	Vertailumenet. Tarvittaessa suuria otoksia	Erityisen tottuneelle käyttäjälle

### 3.3.2 Paineet

Ilmanvaihtojärjestelmän paineita mitattaessa mitataan paine-eroa eikä absoluuttista painetta. Paine-eromittauksia tehdään kanaviston tasapainotuksissa sekä ilmanvaihdon ja ilmavirtojen määrittämisessä. Isommissa ilmanvaihtokoneissa jatkuvaa paine-eron mittausta voidaan käyttää esimerkiksi ilmanvaihtokoneen suodattimien likaisuusasteen määrittämiseen. (1, s. 7.)

Fysiikan laboratoriossa olevasta pienessä ilmanvaihtokoneessa voitaisiin mitata puhaltimien paineentuohtoa ja verrata sitä valmistajan antamiin arvoihin. Koska painetta on vaikea mitata pienkoneen sisältä, voisi mittaukset suorittaa heti poisto-, tulo-, raitis- ja jäteilmakanavan lähdeistä siten, että suojaetäisyydet kuitenkin täyttyvät. Lisäksi kanavistosta voi määrittää suoran kanavan painehäviön metriä kohti mittaamalla paineet kahdesta eri pisteestä. Erilaisia tapoja mitata paine-eroja on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Paine-eron mittausmenetelmiä (1, s. 7)

Menetelmä	Alue	Tarkkuus (parhailla)	Aikavaste	+	-	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Nestemanometri	Nesteestä ja mittarista riippuen	$\pm 0,05$ Pa parhailla mikrom.	1...5 s	Perustuu luonnon vakioihin, ei tarvitse kalibrointia*)	Särkyvä, ei sähköistä viestiä Lukema taulukosta.	Yleiskäyttö referenssi suodatinmittaus	Neste tarkastettava kerran vuodessa
Sähköinen manometri	Laajoissa rajoissa	$\pm 1$ Pa tai 1 %	1 s, parhaissa säädettävä	Kenttäkelpoinen, sähköinen viesti	Kalibroitava	Yleiskäyttö	Parhaat ohjelmoitu (keskinopeus)
Mekaaninen manometri	Laajoissa rajoissa	$\pm 5$ Pa	1 s	Halpa omavoimainen helppo lukea	Ei viestiä (joskus raja-arvokytkin)	Laitosten kiinteät valvontamittarit	

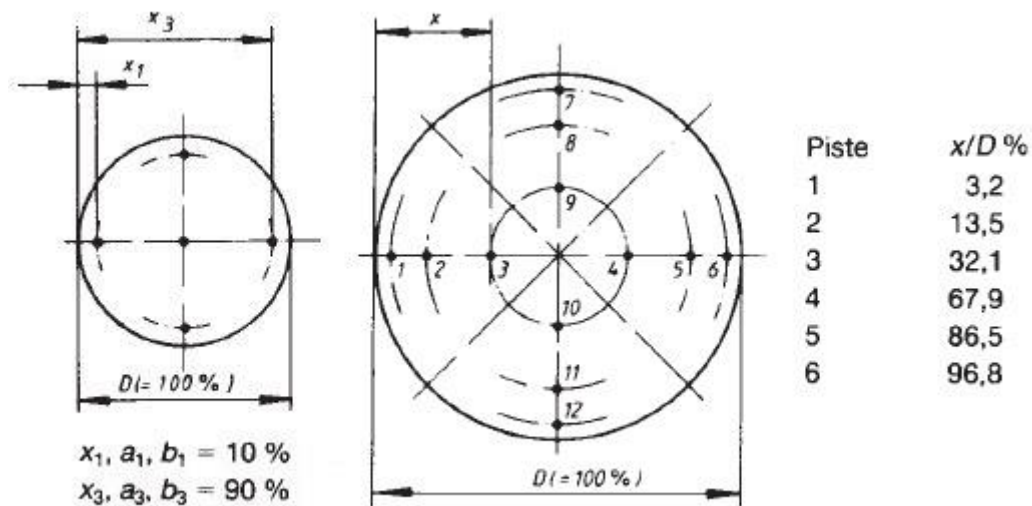
### 3.3.3 Virtaamat

Ilmavirtaamien mittausmenetelmiä on monia ja virtaamia voidaan mitata kanavasta tai tulo- ja poistoilmaelimistä. Kanavasta mitattaessa vaihtoehtoina on kanavaan kiinteästi asennetut mittauselimet tai monipistemittaus. Poisto- ja tuloilmaelimistä mitattaessa voidaan käyttää kiinteästi asennettuja mittauselimisiä, paine-eromittauksia anturilla tai kiinteistä yhteistä ja mittausta anemometritorivella. Lisäksi poistoilmavirtaa voidaan mitata keskinopeusmenetelmällä suorakaiteen muotoisista elimistä ja tuloilmaa pussimenetelmällä. (8, s. 2–3.)

## Monipistemittaus

Monipistemittaus suoritetaan kanavasta ja mittalaitteena voidaan käyttää joko pitot-putkea tai kuumaelementtianturia. Pitot-putkea käytettäessä on ilman vähimmäisnopeus oltava 3 m/s. Monipistemittauksen yleisimmät mittaustavat ovat viiden pisteen menetelmä ja log-linear-menetelmä, joiden mittauspisteet kanavassa on esitetty kuvassa 7, sekä suorakaidemenetelmä ja log-Tschebyschew-menetelmä. Mittausmenetelmien erona on mittauspisteiden määrä, joka vaikuttaa mittaustarkkuuteen. (8, s.4.)

Mittaukset perustuvat kanavan halkaisijalta valittavien pisteiden dynaamisten paineiden mittauksiin, jotka muutetaan virtausnopeuksiksi kaavalla 1. Virtausnopeuksista lasketaan keskiarvo, jonka avulla saadaan laskettua virtausmäärä kaavan 2 avulla. (2, s.99,105.)



KUVA 6. Vasemmalla mittauspisteet viiden pisteen menetelmässä ja oikealla esimerkki log-linear-menetelmän mittauspisteistä, joita voi olla myös enemmän (8, s.5)

$$p_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2$$

KAAVA 1

$$q_v = \bar{v}A$$

KAAVA 2

jossa  $p_{dyn}$  = dynaaminen paine

$\rho$  = ilman tiheys

$v$  = ilman nopeus

$q_v$  = ilmantilavuusvirta



$\bar{v}$  = ilman nopeuksien keskiarvo

A = kanavan halkaisijan pinta – ala

Mitattaessa ilmavirtoja kanavasta on hyvä ottaa huomioon, että kanavan mutkat ja haarat aiheuttavat ilmavirtaukseen häiriötä. Tämän vuoksi mittauskohta tulisi olla riittävän etäällä virtauksen häiriökohdasta. Suojaetäisyyksien laskukaavat pyöreille- ja suorakaidekanaville on esitetty kaavoissa 3 ja 4. (8, s. 3.)

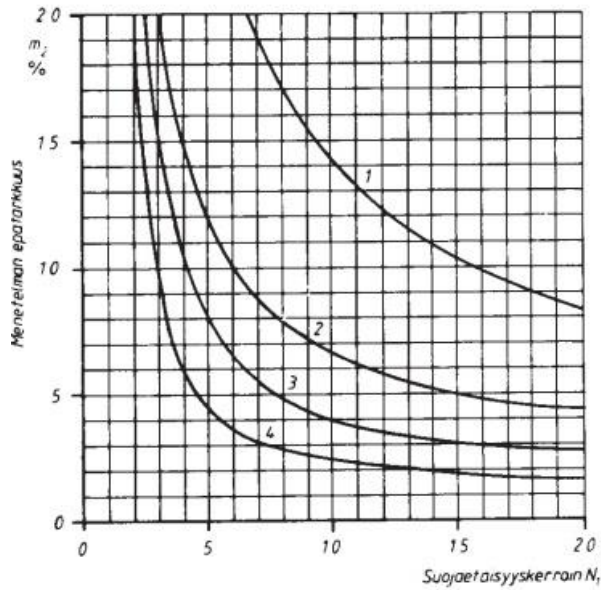
Pyöreät kanavat:  $L = N_i D$  KAAVA 3

Suorakaidekanava:  $L = N_i \frac{a+b}{2}$  KAAVA 4

,jossa

L	on häiriökohdan ja mittauskohdan välinen etäisyys
D	on kanavan halkaisija
a ja b	ovat suorakaidekanavan sivujen mitat
$N_1$	on suojaetäisyyskerroin virtaussuunnassa ennen mittauskohtaa
$N_2$	on suojaetäisyyskerroin virtaussuunnassa mittauskohdan jälkeen

Kuvassa 6 on esitetty eri mittausmenetelmien epätarkkuus suhteessa suojaetäisyyskerroimeen. Pienimmät suojaetäisyyskerroimet ovat erilaiset poisto- ja tuloilmaelimeen sekä muihin häiriönaiheuttajiin nähden. Poistoilmaelimen ja mittauspisteen suojaetäisyyskerroin on minimissään 4, tuloilmaelimen ja mittauspisteen suojaetäisyyskerroin on yli 1,5 ja muiden häiriölähteiden suojaetäisyyskerroin ennen mittauspistettä minimissään 5 ja mittauspisteen jälkeen minimissään 2. (8, s.4.)

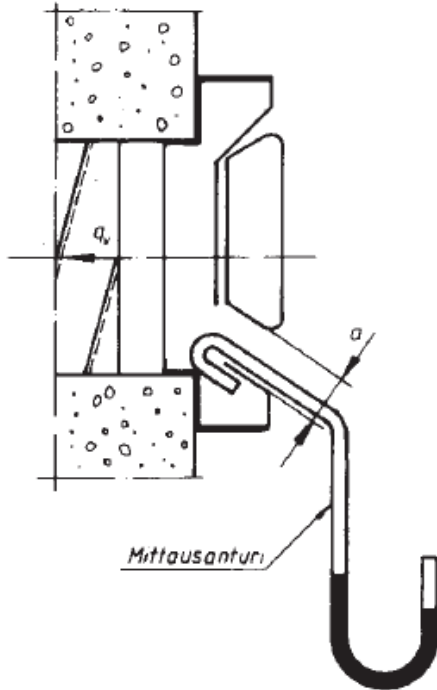


- 1 = keskipistemenetelmä
  - 2 = viiden pisteen menetelmä suorakaidemenetelmä, kun  $n = 4$
  - 3 = log-linear-menetelmä, 12 pisteen suorakaidemenetelmä, kun  $n = 6 \dots 10$
  - 4 = log-linear-menetelmä, 24 pisteen suorakaidemenetelmä, kun  $n \geq 12$
- Kaikissa tapauksissa on vaatimuksena  $N_2 \geq 2,0$

KUVA 7. Eri mittausmenetelmien epätarkkuus esitettyä suojaetäisyyden funktiona (8, s.6)

### Ilmavirran mittaus tulo- ja poistoilmaelimistä mittausanturilla

Ilmavirran mittaukseen tulo- tai poistoilmaelimistä tarvitaan paine-eromittari ja mittausanturi. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki mittausanturin sijoittamisesta poistoilmaelimeen. Lisäksi päätte-elimien asento pitää määrittää. Asento voi olla osoitettu suoraan päätte-elimessä tai se pitää mitata erillisellä mittausvälineellä. (8, s.7.)



KUVA 8. Esimerkki poistoilmaelimen ilmavirran mittaamisesta mittausanturilla (8, s.7)

### Mittaus anemometritorvella

Anemometritorvea voidaan käyttää ilmavirran määrittämiseen sekä poisto- että tuloilmaelimestä. Kuvassa 9 on esitetty periaate, jolla mittaus suoritetaan poistoilmaelimestä. Tuloilmaelimestä mittaessa mittauksen tarkkuus ei useinkaan täyty, koska päätelaitteesta tuleva ilmavirta on hankala saada pyörteettömäksi lyhyellä matkalla. Pidentämällä torven pituutta taas kasvatetaan torven aiheuttamaa painehäviötä. Anemometritorven toiminta perustuu siihen, että se ohjaa kaiken pääte-elimenkin läpi kulkevan ilman itsensä kautta mahdollisimman laminaarisesti. Koska anemometritorvi itsessään aiheuttaa painehäviötä on se korjattava kaavalla 5. (8, s.7.)

$$q_v = q_n \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_n}}$$

KAAVA 5

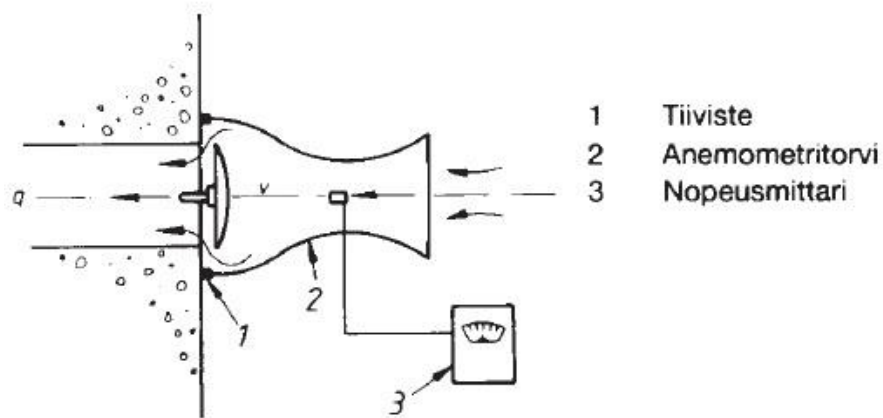
,jossa

$q_v$  on ilmavirta ilman anemometritorvea

$q_n$  on anemometritorvella mitattu ilmavirta

$\Delta p_n$  on mitattavan pääte-elimen ja anemometritorven yhteenlaskettu paine-ero

$\Delta p$  on mitattavan pääte-elimen paine-ero ilman anemometritorvea



KUVA 9. Periaatekuva anemometritorvella tehtävästä poistoilmavirran mittauksesta (8, s.7)

### 3.3.4 Ääni ja värinä

Ääni on väliaineessa esiintyvää painevaihtelua, joka saa myös korvan tärykalvon värähtelemään. Äänestä voidaan mitata esimerkiksi äänenpainetta ja äänitehoa. Ääniteho kuvaa koko äänienergiaa, jonka äänilähde luovuttaa riippumatta ympäristöstä. Äänenpaine taas kuvaa ääntä vain yhdessä pisteessä. Äänenpainetasoon vaikuttavat esimerkiksi etäisyys äänilähteestä, ympäristö ja äänentehotaso. Äänenpainetaso ja äänen tehotason määritelmät on esitetty kaavoissa 6 ja 7. (9, s.53.)

$$L_p = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad \text{KAAVA 6}$$

$$L_w = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right) \quad \text{KAAVA 7}$$

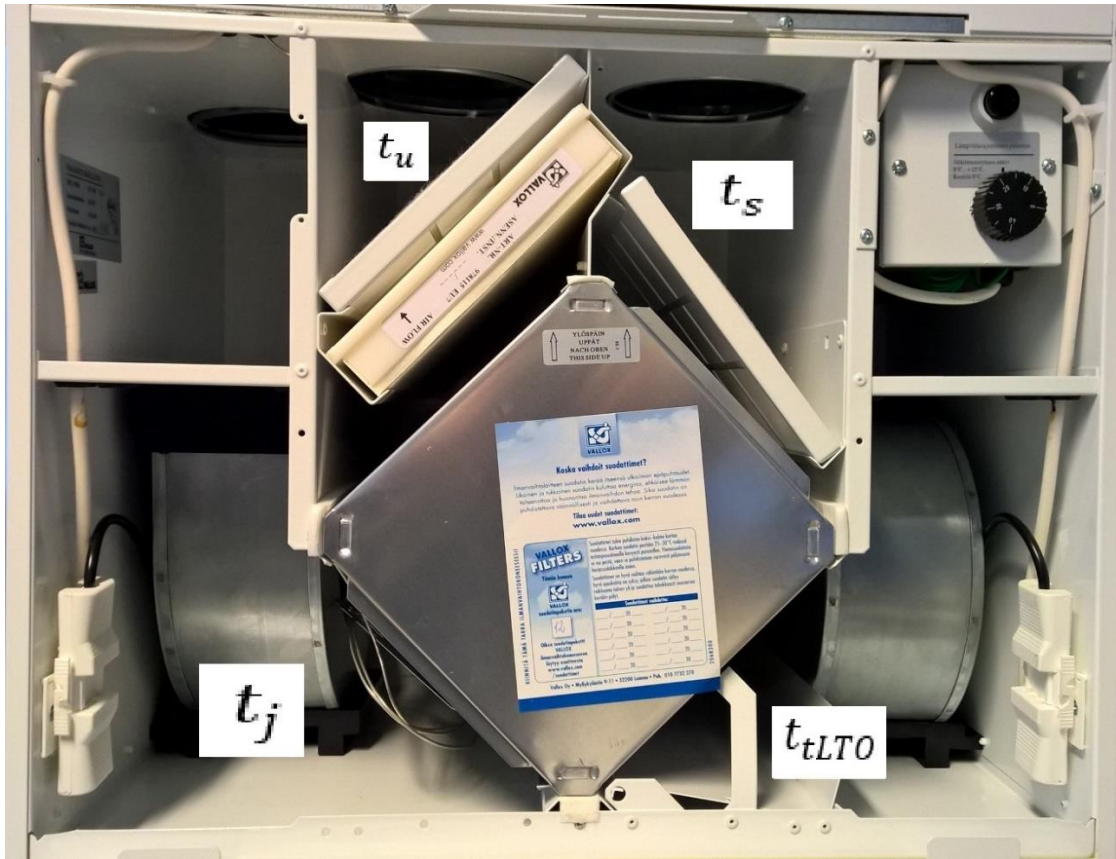
, jossa  $L_p$  on äänenpainetaso, dB  
 $p$  on äänenpaine, Pa  
 $p_0$  on vertailuarvo, Pa  
 $L_w$  on äänen tehotaso, dB  
 $W$  on ääniteho, W  
 $W_0$  on vertailuarvo

Kaavoissa 6 ja 7 oleva vertailuarvo perustuu alhaisimpaan kuultavaan äänitasoon. Tämä paine on arvoltaan  $2 \times 10^{-5} Pa$ . Äänitehon vertailuarvo on  $10^{-12} W$ . (9, s.53.)

Fysiikan laboratorion ilmanvaihtojärjestelmän äänimittauksissa kohteena ovat lähinnä päätelaitteet ja itse ilmanvaihtokone. Päätelaitteen äänitehot ja painetasot määritettäisiin erilaisilla konetehoilla, päätelaitteenasennoilla ja etäisyyksillä päätelaitteesta. Pelkästään päätelaitteen tuottamaa ääntä ei voida mitata, koska äänessä on myös mukana ilmanvaihtokoneen tuottamaa ääntä. Kanavaan asennetun äänenvaimentimen vaikutus olisi myös yksi tarkasteltava kohde. Äänenvaimentimen vaikutusta on kuitenkin vaikea mitata, koska äänenvaimennin on asennettu kiinteästi kanavaan. Mittaus pitäisi suorittaa ennen äänenvaimenninta olevasta päätelaitteesta sekä sen jälkeen olevasta päätelaitteesta. Tämä mittaus ei kuitenkaan anna tarkkaa tietoa äänenvaimentimen toiminnasta johtuen eri kanavapituuksista.

### **3.3.5 Lämpötilasuhde**

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhdetta mitattaessa on tulo- ja poistoilmavirtojen oltava yhtä suuret. Tuloilman lämpötilasuhde on ilmoitettava koneen toiminta-alueen ala- ja ylärajalla sekä keskikohdassa. Kuvassa 10 on esitetty mittauspaikat, joista tarvittavat lämpötilat määritetään laboratorion ilmanvaihtokoneen sisältä. (10, s.5–6.)



KUVA 10. Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokone, johon merkitty lämpötilasuhteen määrittämiseksi tarvittavat lämpötilojen mittauspaikat

Lämpötilasuhdetta laskettaessa voidaan käyttää joko tulo- tai poistoilman lämpötilasuhdetta, joiden laskeminen on esitetty kaavoissa 8 ja 9. Poistoilman lämpötilasuhdetta käytetään yleensä, jos järjestelmässä ei ole selviä tulo- ja poistoilmavirtapareja, kuten nestekiertoisissa järjestelmissä. (7, s.5.)

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad \text{KAAVA 9}$$

- ,jossa
- $\eta_t$  on tuloilman lämpötilasuhte
  - $t_{tLTO}$  on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen
  - $t_u$  on ulkoilman lämpötila
  - $t_s$  on huonelämpötila
  - $\eta_p$  on poistoilman lämpötilasuhte
  - $t_j$  on jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen

Koska fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneessa ei ole mahdollista saada poisto- ja tuloilmavirtoja yhtä suuriksi, on epäsuhteisilla ilmavirroilla lasketusta lämpötilasuhteesta laskettava lämpötilasuhte, jossa ilmavirrat olisivat yhtä suuret. Mittaamalla tulo- ja poistoilmavirrat voidaan laskettua lämpötilasuhdetta pitää riittävän tarkkana. Laskettaessa ilman ominaislämpökapasiteetti ja tiheys voidaan olettaa samoiksi sekä tulo- että poistoilmavirralla. (7, s.6.)

Kaavojen 10 ja 11 avulla voidaan laskea tuloilman lämpötilasuhte, kun virtaamat ovat samat. Vastaavasti poistoilman lämpötilasuhte voidaan laskea korvaamalla tuloilman lämpötilasuhte poistoilman lämpötilasuhteella.

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1+R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})} \quad \text{KAAVA 11}$$

jossa  $R_{LTO}$  on tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

$q_{tLTO}$  on tuloilmavirta lämmöntalteenoton läpi

$q_{pLTO}$  on poistoilmavirta lämmöntalteenoton läpi

$\eta_{t(R_{LTO}=1)}$  on tuloilman lämpötilasuhte ilmavirtojen ollessa yhtä suuret

$\eta_{t(R_{LTO})}$  on tuloilman lämpötilasuhte mitatuilla ilmavirroilla

Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneesta voi olla vaikea saada mitattua tulo- ja poistoilmavirtoja koneen sisältä. Vaihtoehtoisesti ilmamäärät voi määrittää kanavasta tai päätelaitteista.

### 3.3.6 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottokennolla talteen otettavan lämpömäärän suhde poistoilman lämmittämiseen tarvittavaan lämpömäärään ilman lämmöntalteenottoa. Vuosihyötysuhde on lähes aina laskennallinen arvo, mutta voidaan tarvittaessa myös mitata. Vuosihyötysuhde riippuu monesta tekijästä. Vuosihyötysuhteeseen vaikuttavat lämmöntalteenoton jäätyksen esto, koneen ilmavirtojen suhde, poistoilmavirtojen suhde ja paikkakunta. (6, s. 2.)

Vaikka vuosihyötysuhde on lähes aina käytännön syistä laskennallinen arvo, voidaan se myös mitata. Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen määrittämiseksi tarvitaan jatkuvat mittaukset lämpötiloista ja ilmavirroista. Määrittäminen voidaan jakaa kahteen osaan, jotka ovat ilmanvaihdon tarvitseman lämmitysenergian määrittäminen ja poistoilmasta talteen otetun lämmitysenergian määrittäminen.

Ilmanvaihdon tarvitsemaa lämmitysenergiaa mitattaessa tarvitaan jatkuvaa mittausta poistoilmavirrasta, ulkoilman lämpötilasta ja poistoilman lämpötilasta. Näiden avulla voidaan määrittää ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysteho jatkuvana kuten kaavassa 12. Energiantarpeen laskemiseksi teho täytyy kertoa ajalla kuten kaavassa 13. Ajanjaksoksi voidaan valita esimerkiksi 1 sekunti, jolloin jokaisen sekunnin lämmitysenergiatarve vuodessa täytyy laskea yhteen, jotta saadaan vuotuinen lämmitysenergiatarve.

$$\Phi_{IV} = c_p \rho q_{p,i} (t_p - t_u) \quad \text{KAAVA 12}$$

$$Q_{IV} = c_p \rho q_{p,i} (t_p - t_u) * \tau \quad \text{KAAVA 13}$$

jossa

- $\Phi_{IV}$  on tarvittava lämmitysteho
- $Q_{IV}$  on tarvittava lämmitysenergia
- $c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK
- $\rho$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>
- $q_{p,i}$  on poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s
- $t_p$  on poistoilman lämpötila, °C
- $t_u$  on ulkoilman lämpötila, °C
- $\tau$  on aika, s

Vuosittain tarvittavaan ilmanvaihdon lämmitysenergiatarpeeseen otetaan huomioon vain lämmityskausi, joka päättyy, kun ulkoilman lämpötila on yli 12 °C (5, s. 6).

Poistoilmasta vuosittain talteen otettu lämpöenergia voidaan mitata ja laskea pitkälti samoilla kaavoilla kuin tarvittu lämmitysenergia. Lämmitysteho saadaan nyt mittaamalla tuloilmavirta, ulkoilman lämpötila ja tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen kaavan 14 avulla. Kertomalla lämmitysteho ajalla saadaan talteen otettu lämmitysenergia kaavan 15 mukaisesti.

$$\Phi_{LTO} = c_p \rho q_{t,i} (t_{LTO} - t_u) \quad \text{KAAVA 14}$$



$$Q_{LTO} = c_p \rho q_{t,i} (t_{LTO} - t_u) * \tau$$

KAAVA 15

,jossa  $\Phi_{LTO}$  on talteen otettu lämmitysteho  
 $Q_{LTO}$  on talteen otettu lämmitysenergia  
 $c_p$  on ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK  
 $\rho$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>  
 $q_{t,i}$  on tuloilmavirta, m<sup>3</sup>/s  
 $t_{LTO}$  on LTO:n jälkeinen lämpötila, °C  
 $t_u$  on ulkoilman lämpötila, °C  
 $\tau$  on aika, s

Laskennallista arvoa laskettaessa pitää ottaa huomioon myös lämmöntalteenoton jäätyminen esto. Fysiikan laboratorion ilmanvaihtokoneessa jäätyminen esto on toteutettu tuloilmapuhallinta katkomaalla, jolloin ilmantilavuusvirran ollessa 0 myös talteen otettu lämmitysenergia on 0. Jäätyminen esto lähtee päälle, kun jäteilman lämpötila laskee alle ennalta määrätyn raja-arvon. Tämä raja-arvo on laboratorion ilmanvaihtokoneessa tehdasasetuksena +4 °C, mutta sitä voidaan muuttaa tarvittaessa. Lämmöntalteenoton jälkeisen lämpötilan seuraaminen koneen sisältä voi olla myös hankalaa. Tällöin voidaan mitata tuloilman lämpötilaa, jolloin pitää ottaa huomioon jälkilämmityspatteri. Laboratorion ilmanvaihtokoneessa tämä on toteutettu sähkövastuksella, jonka tarvitsema energiamäärä täytyy vähentää talteenoton lämpöenergiasta.

Kun molemmat, sekä ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia, että talteen otettu lämmitysenergia on mitattu ja laskettu, voidaan näistä laskea lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde kaavalla 16.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}}$$

KAAVA 16

,jossa  $\eta_a$  on lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde  
 $Q_{LTO}$  on talteen otettu lämmitysenergia  
 $Q_{IV}$  on tarvittava lämmitysenergia

## 4 LABORATORIOTYÖOHJEET

Tässä osiossa on tarkoitus antaa muutama esimerkki laboratoriotyöohjeista, joita voidaan käyttää fysiikan laboratorion ilmanvaihtojärjestelmän mittauksissa.

### 4.1 Ilmavirtojen mittaus

#### Tehtävä

Mitataan ilmavirrat kanavan eri osista koneen eri tehoilla ja verrataan saatuja mittaustuloksia sekä keskenään että koneen teknisissä tiedoissa esitettyihin tuloksiin.

#### Mittaussuunnitelma

Valitaan 4 eri mittauspaiikkaa kanavistosta siten, että poisto-, tulo-, raitis- ja jäteilmakanavassa on kussakin yksi mittauspiste. Valitaan mittauspisteet siten, että suojaetäisyydet täyttyvät häiriötä aiheuttaviin kanavaosiin.

Pyöreät kanavat:  $L = N_1 D$  KAAVA 17

jossa

L	on häiriökohdan ja mittauskohdan välinen etäisyys
D	on kanavan halkaisija
$N_1$	on suojaetäisyyskerroin virtaussuunnassa ennen mittauskohtaa
$N_2$	on suojaetäisyyskerroin virtaussuunnassa mittauskohdan jälkeen

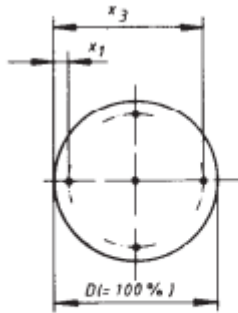
Näissä mittauksissa suojaetäisyyskerroina voidaan käyttää  $N_1$ :lle arvoa 5 ja  $N_2$ :lle arvoa 2.

Mittauksissa käytetään kuumaelementtianturia ilmannonpeuden mittaamiseen ja 5 – pistemenetelmä antaa paikat kanavan halkaisijalla, joista mittaukset otetaan. 5 – pistemenetelmä on esitetty kuvassa 11. Nopeuksien keskiarvosta saadaan kanavan pinta-alan avulla ilman tilavuusvirta kaavalla 18.

$$q_v = \bar{v}A$$

KAAVA 18

jossa  $q_v =$  ilmantilavuusvirta  
 $\bar{v} =$  ilman nopeuksien keskiarvo  
 $A =$  kanavan halkaisijan pinta – ala



$x_1, a_1, b_1 = 10 \%$   
 $x_3, a_3, b_3 = 90 \%$

KUVA 11. 5 – pistemenetelmän mittauspisteet.

### Mittaukset

Ennen ilmanvaihtokoneen käynnistämistä varmistaa, että raitis- ja jäteilmapellit ovat auki. Tämän jälkeen aseta ilmanvaihtokone asentoon 1 ja aloita mittaukset. Mittauksissa anna virtausnopeuden tasoittua mittarilla, ennen kuin kirjaat niitä ylös taulukkoon. Taulukossa 4 on esitetty mitattavat arvot.

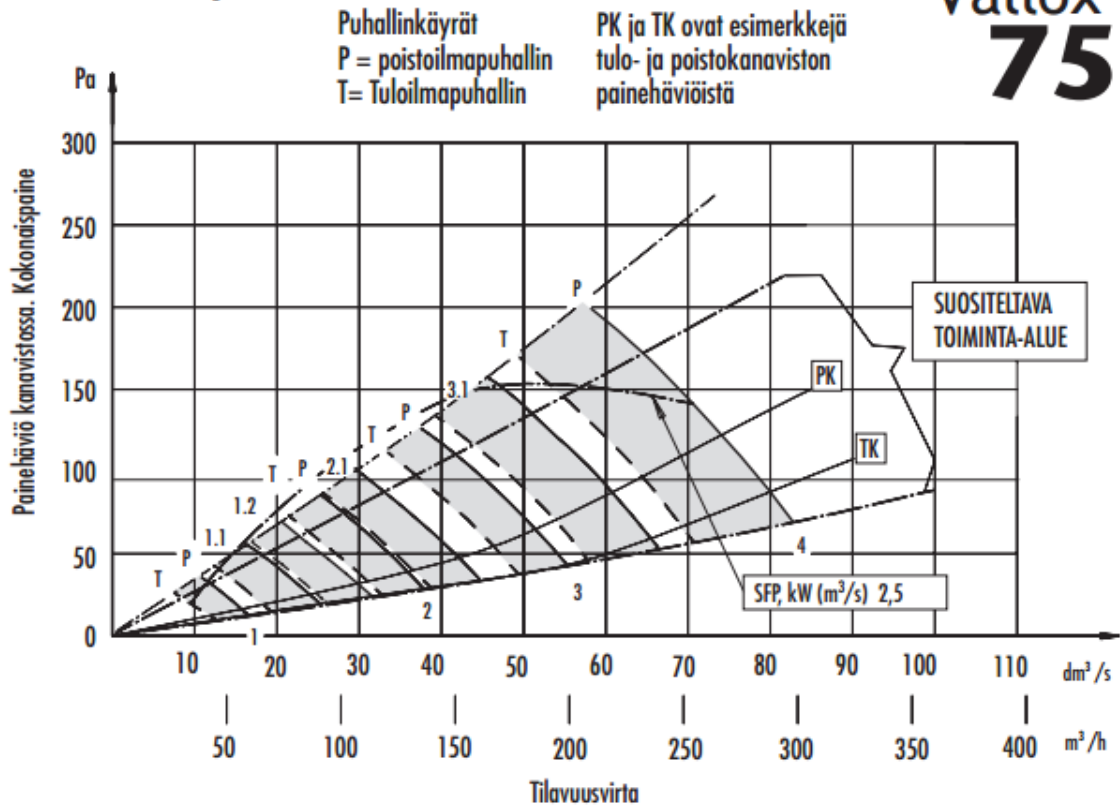
	$v_{x1}$	$v_{x2}$	$v_{x3}$	$v_{y1}$	$v_{y3}$	$\bar{v}$	$A$	$q_v$
Jäteilma								
Poistoilma								
Raitisilma								
Tuloilma								

TAULUKKO 4. Esimerkki taulukko ilmavirtojen mittausta varten

Seuraavaksi suoritetaan samat mittaukset ilmanvaihtokoneen asennoilla 2, 3 ja 4. Sijoita mittauksista eri koneen tehoilla lasketut tulo- ja poistoilmavirrat valmistajan puhallinkäyrille, jotka on esitetty kuvassa 12, ja vertaa poisto- ja tuloilman suhdetta keskenään eri tehoilla.

## VALLOX 75/puhallin 105 W

Vallox  
**75**



KUVA 12. Vallox 75 -ilmanvaihtokoneen puhallinkäyrät

### 4.2 Lämmöntalteenoton lämpötilasuhteen määrittäminen

#### Tehtävä

Määritetään lämmöntalteenoton tulo- ja poistoilman lämpötilasuhte fysiikan laboratorion Vallox 75 -ilmanvaihtokoneelle ja verrataan arvoja laitevalmistajan sertifikaatissa ilmoitettuihin arvoihin.

#### Mittaussuunnitelma

Valitaan ilmanvaihtokoneen sisältä paikat, josta saadaan mitattua ulkolämpötila, tuloilman lämpötila, jäteilman lämpötila ja poistoilman lämpötila. Valitaan paikat, joista saadaan määritettyä poisto- ja tuloilmavirrat. Ilmavirrat voidaan mitata kanavasta käyttäen esimerkiksi 5 – pistemenetelmää tai



Käynnistä kone teholla 1 ja aloita lämpötilamittaukset. Mittauksista saaduilla lämpötiloilla voidaan laskea tulo- ja poistoilman lämpötilasuhde kaavoilla 19 ja 20. Lämpötilojen mittausten jälkeen mitata poisto- ja tuloilmavirta. Mikäli ilmavirrat eivät ole yhtä suuret, joudutaan lämpötilasuhteita korjaamaan kaavoilla 21 ja 22.

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad \text{KAAVA 19}$$

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad \text{KAAVA 20}$$

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad \text{KAAVA 21}$$

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1+R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})} \quad \text{KAAVA 22}$$

,jossa

- $\eta_t$  on tuloilman lämpötilasuhde
- $t_{tLTO}$  on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen
- $t_u$  on ulkoilman lämpötila
- $t_s$  on huonelämpötila
- $\eta_p$  on poistoilman lämpötilasuhde
- $t_j$  on jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen
- $R_{LTO}$  on tulo- ja poistoilmavirtojen suhde
- $q_{tLTO}$  on tuloilmavirta lämmöntalteenoton läpi
- $q_{pLTO}$  on poistoilmavirta lämmöntalteenoton läpi
- $\eta_{t(R_{LTO}=1)}$  on tuloilman lämpötilasuhde ilmavirtojen ollessa yhtä suuret
- $\eta_{t(R_{LTO})}$  on tuloilman lämpötilasuhde mitatuilla ilmavirroilla

Kun tarvittavat mittaukset on saatu suoritettua koneen ollessa teholla 1, mitataan ja lasketaan samat arvot koneen ollessa tehoilla 2, 3 ja 4. Vertaa saatuja tuloilman lämpötilasuhteita kuvassa 14 esitettyihin arvoihin, jotka on poimittu Vallox 75 -ilmanvaihtokoneen tuotesertifikaatista. Kuvan 14 taulukossa säätöasento 1 vastaa konetehoa 1, säätöasento 3 vastaa konetehoa 2, säätöasento 5 vastaa konetehoa 3 ja säätöasento 7 vastaa konetehoa 4. Nämä vastaavuudet ovat asetettu teholla. Pohdi saatuja tuloksia ja asioita, jotka vaikuttavat tuloksiin.

Saätiedot	Sodankylä testivuosi TRY 2012
Ulkoilman mitoitustilämpötila	-38 °C
Ulkoilman keskilämpötila lämmityskaudella	-2,6 °C
Poistoilman lämpötila	21 °C
Tuloilman lämmityspatterin asetustilämpötila	15 °C
Tuloilman maksimilämpötilan rajoitus	ei rajoiteta
Jäteilman minimilämpötila, LTO:n jäätymissuojaus	6,0 °C
Lämmitysraja (ulkoilman maksimilämpötila)	12 °C
Keskimääräinen poistoilmavirta	50 dm <sup>3</sup> /s

**Ilmanvaihtokoneen mitattuihin suoritusarvoihin perustuvat lähtötiedot**

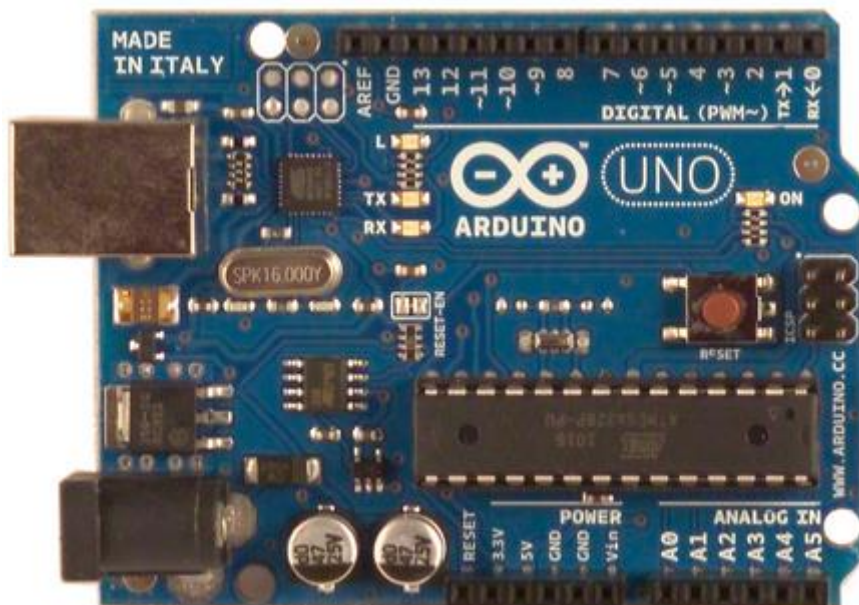
Laskennan perusteena oleva käyttöaika	Säätö-asento	Paine ulko- ja tuloilmakanavistoissa	Tuloilmavirta	Paine poisto- ja jäteilmakanavistoissa	Poistoilmavirta	Ilmavirtasuhte (tulo/poisto)	Sähköteho	Tuloilman lämpötila-hyötysuhde LTO:ssa
		Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s	%	W	%
2,0 h/vrk	7	62	70	112	75	93	182	54
0,0 h/vrk	6	43	58	79	63	92	132	56
13,5 h/vrk	5	30	49	57	53	91	103	58
0,5 h/vrk	4	20	39	38	44	89	77	60
8,0 h/vrk	3	14	33	29	38	88	63	62
0,0 h/vrk	2	6	22	14	26	82	37	69
0,0 h/vrk	1	3	14	7	18	78	24	73

KUVA 14. Kuvassa on oranssilla maalattu koneen tehoja 1, 2, 3 ja 4 vastaavat alueet

## 5 ARDUINO -MITTAUSALUSTA

Työssä oli alun perin tarkoitus tehdä mittauksia käyttäen Arduino -mittausalustaa. Varsinaisia mittauksia ei ehditty alustalla tekemään, mutta ehdittiin kuitenkin kokeilemaan mittaamista kyseisellä alustalla. Mikrokontrollerina oli Arduinon Uno -malli, joka on kuvassa 15.

Arduino -mittausalusta on tietokoneelle tehty työkalu, jonka avulla voidaan esimerkiksi mitata talotekniikkaan liittyviä fysikaalisia ominaisuuksia kuten lämpötilaa, ilmanvirtausta, ja ääntä. Se on avoimen lähdekoodin ohjelmoitavissa oleva fyysinen alusta, joka perustuu yksinkertaiseen mikrokontrolleriin sekä ohjelmien kirjoittamista varten olevaan kehitystyökaluun. Arduinoa voidaan käyttää moneen tarkoitukseen kuten valojen ja moottoreiden ohjaamiseen tai vastaanottamaan erilaisien antureiden tietoa. (11, s.1.)

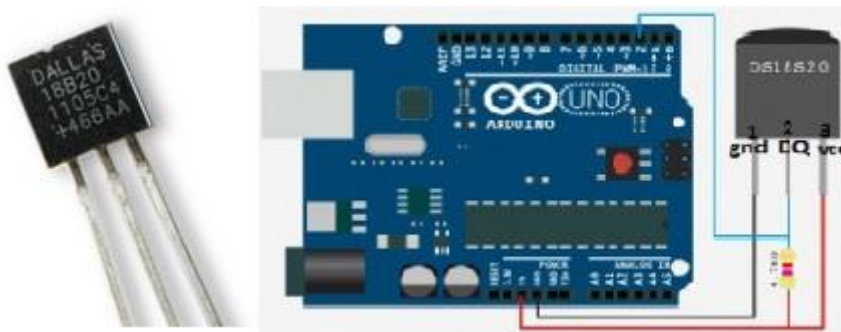


KUVA 15. Arduino Uno -mikrokontrolleri

Käytännössä mittaaminen Arduinolla tapahtuu seuraavasti. Ensin täytyy valita tietoenkin mitattava fyysinen ominaisuus esimerkiksi lämpötila. Tämän jälkeen valitaan mittaamiseen sopiva lämpötila-anturi, jonka mittaalue ja mittaustarkkuus ovat sopivia. Valittu anturi yhdistetään mikrokontrolleriin. Anturin tiedoista löytyy ohjeet miten anturi yhdistetään mikrokontrolleriin, ja esimerkki ohjeista on esitetty kuvassa 16. Mikrokontrolleri yhdistetään tietokoneeseen käyttäen USB:tä. Seuraavaksi tietokoneella avataan Arduino -ohjelmisto, jolla täytyy kirjoittaa koodi mittauksista varten, sillä anturi



ei anna suoraan lämpötilaa. Koodin avulla muutetaan anturin antama signaali lämpötilaksi. Yleensä koodiin pitää kirjoittaa myös aikaväli, jolloin mittaus tapahtuu. Valmiita koodin pätkiä löytyy paljon internetistä, mitä voidaan tarpeen mukaan muokata ja parantaa. Itse kaava, jolla anturin signaali muunnetaan lämpötilaksi, riippuu aina anturista. Anturin tiedoista löytyy aina kaava, jolla signaali muunnetaan esimerkiksi lämpötila-anturin tapauksessa lämpötilaksi.



*KUVA 16. Kuvassa vasemmalla Dallas Semiconductor DS18B20 -lämpötila-anturi ja oikealla kyseisen anturin kytkentä Arduino Uno -mikrokontrolleriin*

Talotekniikan ammattilaiselle mittausalusta ei sovellu, mutta harrastelijoille Arduino -alusta sopii hyvin pienimuotoisiin mittauksiin esimerkiksi omakotitalossa. Alusta on halpa ratkaisu, ja sillä on mahdollista tehdä paljon muutakin kuin mittauksia.

## 6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja tehtiin pieni ilmanvaihtojärjestelmä. Työssä oli tarkoitus suunnitella myös mittausjärjestelyt äänen, värinän, virtaamien, paineiden, lämpötilojen ja kosteuden mittaamista varten, mutta päädyttiin lopulta käymään mittaamista läpi teoriassa ja antamaan muutama esimerkki laboratoriotyöohjeista. Mittausjärjestelyt oli suunniteltu toteutettaviksi käyttäen Arduino -mittausalustaa, joka otettiin huomioon laitteiston suunnittelussa. Arduino -alustassa käytettävien anturijohojen pituuden vuoksi itse ilmanvaihtokone ja kanavisto asennettiin mahdollisimman alas.

Laboratorion pieni koko aiheutti omat haasteensa kanaviston suunnitteluun ja asennukseen. Koska mittaukset on tarkoitettu fysiikan laboriokursseille, ei kanaviston ja päätelaitteiden vähyydestä ollut haittaa. Ilmanvaihtojärjestelmää ei ole tarkoitettu säätämistä varten, vaan lähinnä fysikaalisten ominaisuuksien mittaamiseen järjestelmästä, johon se sopii hyvin. Siinä on lähes kaikki komponentit mitä pienissä ilmanvaihtojärjestelmissä yleensä on, vain pienemmässä koossa. Mittausten helpottamiseksi kanavistoon olisi ollut järkevää asentaa myös valmiit mittauselimet ilmavirtojen mittaamisen helpottamiseksi.

Mittaamisen teoria osuudessa käytiin läpi yleisesti talotekniikka-alalla käytössä olevia mittausmenetelmiä. Lisäksi esitettiin lämpötilasuhteen ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen ja näihin vaikuttavat tekijät.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyössä päästiin haluttuun lopputulokseen, vaikka laitteistoa ei päästy vielä varsinaisesti testaamaan. Järjestelmän asennus fysiikan laboratorioon onnistui hyvin, ja kaikki halutut mittaukset ovat tehtävissä siitä. Lisäksi saatiin tehtyä muutama mallipohja fysiikan laboriotöitä varten, joita voidaan osittain käyttää tulevilla laboriotöissä.

## LÄHTEET

1. LVI 014-10290. 1999. LVI-laitosten mittaukset. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/LVI8411.html.stx> Hakupäivä: 18.2.2015
2. Seppänen, Olli 2006. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Anjalankoski 2008: SOLVER palvelut Oy.
3. D2 (2012) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf) Hakupäivä: 18.1.2015.
4. LVI 30–10333. 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksessa. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/LVI8508.html.stx> Hakupäivä: 4.2.2015
5. D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf) Hakupäivä: 5.2.2015
6. LVI 38–10454. 2010. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/104535.html.stx> Hakupäivä: 4.2.2015
7. LVI 38-10515. 2012. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/109626.html.stx> Hakupäivä: 5.2.2015
8. LVI 014-10190. 1992. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/LVI8360.html.stx> Hakupäivä: 18.2.2015

9. Tekninen käsikirja: Ilmankäsittelykoneet. 2010. Turku 2010: Fläkt Woods Group.
  
10. Ilmankäsittelykoneet tyyppihyväksyntäohjeet. 2008. Ympäristöministeriön asetus ilmankäsittelykoneiden tyyppihyväksynnästä. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Saatavissa: [http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Tyyppihyaksyntaasetukset](http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Tyyppihyaksyntaasetukset).
  
11. What is Arduino?. 2015. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction> Hakupäivä: 14.4.2015



# TUOTESERTIFIKAATTI

Liite VTT:n tuotesertifikaattiin Nro VTT-C-843-21-06  
4 (5)

## Ilmanvaihtokone Vallox 75

## Pohjois-Suomen sääoloissa

### Asunnon ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden laskennan lähtötiedot

Säätiedot	Sodankylä testivuosi 1979
Ulkoilman mitoitustilalämpötila	-38 °C
Ulkoilman keskilämpötila lämmityskaudella	-3,5 °C
Poistoilman lämpötila	21 °C
Tuloilman lämmityspatterin asetuslämpötila	15 °C
Tuloilman maksimilämpötilan rajoitus	ei rajoiteta
Jäteilman minimi lämpötila, LTO:n jäätymissuojaus	6 °C
Lämmitysraja (maksimi ulkolämpötila)	12 °C
Keskimääräinen poistoilmavirta	50 dm <sup>3</sup> /s

### Ilmanvaihtokoneen mitattuihin suoritusarvoihin perustuvat lähtötiedot

Laskennan perusteena oleva käyttöaika	Säätö-asento	Paine ulko- ja tuloilmakanavistoissa		Paine poisto- ja jäteilmakanavistoissa		Poistoilmavirta dm <sup>3</sup> /s	Ilmavirta-suhde (tulo/poisto)	Sähköteho W	Tuloilman lämpötila-hyötysuhde LTO:ssa %
		Pa	dm <sup>3</sup> /s	Pa	dm <sup>3</sup> /s				
2,0 h/vrk	7	62	70	112	75	93	182	54	
0,0 h/vrk	6	43	58	79	63	92	132	56	
13,5 h/vrk	5	30	49	57	53	91	103	58	
0,5 h/vrk	4	20	39	38	44	89	77	60	
8,0 h/vrk	3	14	33	29	38	88	63	62	
0,0 h/vrk	2	6	22	14	26	82	37	69	
0,0 h/vrk	1	3	14	7	18	78	24	73	

### Laskentamenetelmä

Ympäristöoppaan 106 ja Ympäristöministeriön monisteen 122 mukainen ulkolämpötilan pysyvyysettietoihin perustuva laskentamenetelmä.  
Lämmöntalteenoton (LTO) VTT:n laskentamalli LTOCALC.

### Asunnon ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden laskennan tulokset

#### Ilmanvaihdon laskennallinen energiantarve, kWh vuodessa

Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve ilman lämmöntalteenottoa	11 064 kWh/a	100 %
Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve lämmöntalteenoton kanssa	6 116 kWh/a	55 %
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia	4 948 kWh/a	45 %

Tuloilman lämmityspatterin energiankulutus	894 kWh/a
Muu ilmanvaihtokoneen lämmitysenergiankulutus 1)	0 kWh/a
Ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus (ei sisällä lämmitystä)	800 kWh/a

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, $\eta_a$	45 %
Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho	1,8 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämpökerroin	1 kWh sähköä tuottaa 6,2 kWh lämpöä

Todellinen energiankulutus ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde riippuvat tuotteen käyttötavoista ja ilmastosta.