



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

NIKO JÄRVENPÄÄ

Opas ilmanvaihtolaitoksen mittaus- ja säätötyöhön

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2021

Tekijä(t) Järvenpää, Niko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2021
	Sivumäärä 53 + 3 liitettä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Opas ilmanvaihtolaitoksen mittaus- ja säätötyöhön		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja Yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka		
<p>Työn tilaajana on K.T.Tähtinen. Yritys on porilainen, jonka toimialaan kuuluu ilmastointi-, metalli- ja rakennuspeltityöt. Opinnäytetyössä keskityttiin ainoastaan ilmastointiin.</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tehdä opas ilmanvaihtolaitoksen mittaus- ja säätötyöhön. Opiaan tarkoituksena on auttaa kouluttamaan tilaajan työntekijöitä mittaus- ja säätötyöhön. Opas sopii myös muille aiheesta kiinnostuneille.</p> <p>Opinnäytetyössä on sekä teoria-, että käytännön osuus. Teoria osuudessa käsiteltiin rakennuksen sisäilmastoja, rakennuksen ilmavirtoja, ilmanvaihtojärjestelmän laitteita sekä ilmavirtojen mittausta ja säätöä. Käytännön osuudessa tehtiin ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyö uuteen valmistuvaan palvelutaloon. Kappaleessa kuusi on kerrottu käytännön osuus eli mittaustapahtuma kronologisessa järjestyksessä sekä siitä on vielä tehty erikseen tiivistelmä kyseisen kappaleen loppuun.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> Ilmanvaihdon mittaus ja säätö, sisäilmasto, rakennuksen ilmavirrat</p>		

Author(s) Niko Järvenpää	Type of Publication Bachelor's thesis	Date april 2021
	Number of pages 53 + 3 appendices	Language of publication: Finnish
Title of publication Guide to ventilation installation measuring and adjusting		
Degree program Construction and civil engineering, HVAC engineering		
<p>The orderer is K.T.Tähtinen. Company is from Pori, which branch of business is ventilation, metal work and sheet-metal work. In the thesis is focused on ventilation only.</p> <p>Thesis subject was to do a guide to ventilation installation measuring and adjusting. The guides function is to help to educate orders employee to measure and adjust ventilation. The guide is suitable for everyone who is interested of this subject.</p> <p>The Thesis included the theory and practice part. In theory part is processed building's indoor climate, air flow, ventilation devices and air flow measuring and adjusting. In the practice part is done ventilation measuring and adjusting for new to be completed residential care home. In the sixth chapter there is practice part of measuring which is told in chronological order and there is also done an overview about that.</p>		
<u>Key words</u> Ventilation measuring and adjusting, indoor climate, building's air flow		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO	8
2.1 Sisäilmaluokitus	8
2.1.1 S1 Yksilöllinen sisäilmasto.....	10
2.1.2 S2 Hyvä sisäilmasto.....	10
2.1.3 S3 tyydyttävä sisäilmasto	10
2.2 Lämpöolot	11
2.3 Sisäilmaston mittaus ja tutkiminen	13
2.3.1 Ilmanvaihdon mittaus	13
2.3.2 Lämpötilan mittaus	14
2.3.3 Huoneilman virtausnopeuden mittaus	14
3 RAKENNUKSEN ILMAVIRRAT.....	16
3.1 Painesuhteet.....	17
3.2 Ilmavirtojen määrittäminen	18
3.2.1 Epäpuhtauskuormat	18
3.2.2 Lämpökuormat.....	20
3.2.3 Kosteuskuormat	21
3.2.4 Ohjearvot	22
3.3 Ilmanjakomenetelmät	23
4 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN LAITTEET	26
4.1 Ilmanvaihtokoneet.....	26
4.2 Kanavat	27
4.3 Kanavavarusteet	27
4.4 Päätelaitteet	29
5 ILMAVIRTOJEN MITTAUS JA SÄÄTÖ.....	30
5.1 Staattinen-, dynaaminen- ja kokonaispaine.....	31
5.2 Säätö ja tasapainotus	32
5.2.1 Vakioilma- ja muuttuvailmavirtajärjestelmä	33
5.3 Ilmavirran mittaus päätelaitteesta	34
5.3.1 Ilmavirran mittaus venttiileistä.....	35
5.4 Ilmavirran mittaus kanavasta	38
5.5 Mittauslaitteet.....	40
6 MITTAUSTAPAHTUMA.....	43
7 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	

LIIITTEET

1 JOHDANTO

Hyvällä ja huonolla sisäilmalla on todella suuri ero, mikä näkyy ihmisten hyvinvoinnissa. Ihmiset hengittävät sisäilmaa vuorokaudessa 15-20m³ ja monet viettävät noin 90 % ajastaan sisätiloissa. Hengittäessä ihmiset altistuvat ilmassa liikkuvista epäpuhtauksista, jotka aiheuttavat ihmisille terveydellisiä haittoja. Huonon sisäilman vaikutuksesta ihmiset voivat sairastua ja ne jopa voivat olla kuolemaan johtavia sairauksia. Vakavia sairauksia ovat keuhkosityöpä ja sydän- ja verenkiertoelinten sairaudet. Näiden jälkeen merkittävimmät ovat astmat, allergiat ja keuhkohtaumatauti.

Kaksi kolmasosaa terveyshaitoista tapahtuu, kun ihminen altistuu pienhiukkasille. Yli puolet sisäilman terveyshaitoista johtuu ulkoilmanlähteistä. Tämän takia on tärkeää estää ulkoilman pienhiukkasten pääsy sisäilmaan. Tuloilman suodatuksella saadaan vähennettyä ulkoilmasta tulevia epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon oikeilla painesuhteilla ja rakennuksen perustusten ilmanpitävyydellä on tärkeä rooli, jotta pystytään pitämään epäpuhtaudet pois sisäilmasta. (Säteri & Koskela, 2018, s. 56)

Ilmanvaihdon tulee olla aina vähintään minimiteholla, jotta rakennuksessa pysyy perusilmanvaihto. Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda suodatettua ilmaa rakennuksen sisälle tuloilmaventtiilien kautta, ja sekä poistoilmaventtiilien avulla poistaa sisäilmasta hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia. Suodatettua tuloilmaa tuodaan oleskelutiloihin, joita ovat makuu-, olo – ja työhuoneet. Poistoilmaventtiilit sijaitsevat likaisissa tiloissa, eli WC:ssä, pesutiloissa, keittiössä ja vaatehuoneissa. Asuinrakennusten sisäovia tulisi pitää auki, jotta ilma pääsisi siirtymään huoneesta toiseen. (Hengitysliitto, 2016, s. 3–4)

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä opas ilmanvaihtolaitoksen mittaus – ja säätötyöhön. Oppaassa kerrotaan vaiheittaen, mitä ilmanvaihdon mittaus – ja säätötyöhön sisältyy. Mittaus – ja säätötyö tehdään suunniteltujen ilmamäärien mukaan.

Opinnäytetyön toisessa luvussa käsitellään rakennuksen sisäilmastoa, joka sisältää sisäilmaston laadun tekijöitä, lämpöoloja ja sisäilmaston mittauksen ja tutkimisen. Seuraavassa luvussa esitellään rakennuksen ilmavirrat. Mitä ilmavirtoja on, miten ilmavirrat määritetään suunnittelussa ja ilmanjakomenetelmät. Neljännessä luvussa tuodaan esille ilmanvaihtojärjestelmänlaitteet, joita ovat ilmanvaihtokoneet, päätelaitteet, kanavat, äänenvaimentimet, palo- ja säätöpellit. Viidennessä luvussa käsitellään ilmavirtojen mittaus – ja säätöä sekä mittauslaitteita. Luku kuusi sisältää ilmanvaihtolaitoksen mittaustapahtuman, jossa kerrotaan kronologisessa järjestyksessä mitä mittauksessa tapahtuu. Viimeisessä luvussa kerrotaan vielä kokonaisuudessaan opinnäytetyön yhteenveto.

2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO

Rakennuksen sisäilmastossa on ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä, joita ovat fysikaaliset, kemialliset tai mikrobiologisia tekijät. Tekijät voidaan jakaa lämpöoloihin ja sisäilman laatuun. Sisäilmastosta voidaan käyttää myös termiä sisäympäristö, joka sisältää edellä mainitut tekijät sekä akustiset olosuhteet, valaistusolosuhteet ja tilasuunnittelun ja sisustuksen esteettiset tekijät. Kokonaisuudessaan laadukkaaseen sisäilmastoon vaikuttaa myös lämmitys, - ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennuksen käyttö, käytetyt materiaalit ja kunnossapito. (Säteri & Koskela, 2018, s. 37)

2.1 Sisäilmaluokitus

Rakennuksen talotekniikan suunnittelussa käytetään apuna sisäilmaluokitusta, jonka avulla rakennuttaja valitsee kohteeseen sopivan tavoitetason. Tavoitetason avulla suunnittelijat toteuttavat suunnitelmat niin, että tavoitetaso saadaan toteutettua. Asetettuja tavoitetasoja käytetään yleisesti työ- ja asuintiloissa ja sekä julkisissa rakennuksissa, kuten kouluissa ja päiväkodeissa. Taulukossa 1. on ilmaistu sisäilman laadun tavoitearvoja ja taulukossa 2. on lämpöolosuhteiden tavoitearvoja, joita käytetään apuna sisäilmaston suunnittelussa. Tavoitteena sisäilmaluokituksessa on rakentaa terveellisiä, turvallisia ja viihtyisiä rakennuksia. (RT 07-11299, 2018, s. 5)

Sisäilmaluokitus on kolmiportainen, johon kuuluu luokat S1, S2 ja S3. Uudisrakentamiskohteisiin pääsääntöisesti käytetään S1- ja S2 luokkien sisäilmastoluokitusta, kun tavoitteena on saada parempi sisäilmasto. Kuitenkin sitä voidaan myös hyödyntää perusparannushankkeissa, joissa halutaan asettaa sisäilmastolle tavoitteita. (RT 07-11299, 2018, s. 5) Tarkemmin kolmiportaisesta sisäilmaluokista kerrotaan kohdassa 2.2.1–2.2.3.

Taulukko 1. Sisäilman laadun tavoitearvot

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} Sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	-
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	-	-	-
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	-
asunnot	90 %	80 %	-

*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus
(RT 07-11299, 2018, s. 7)

”PM_{2,5} hiukkaspitoisuudella tarkoitetaan huoneilmassa leijuvaa pölyä, jonka hiukkas-
ten aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 µm.” (RT. 07-11299, 2018, s. 7)

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden arvona käytetään 400 ppm, jos ulkoilman tarkkaa
arvoa ei tunneta. (Ympäristöministeriö, 2018, s, 10) Taulukossa hiilidioksidipitoisuus-
dentavoite tarkoittaa ihmisperäistä hiilidioksidia. Hiilidioksidipitoisuuden mittausta
tarkkaillaan yhden tunnin liukuvan keskiarvon avulla.

Ilman suhteellisella kosteudella ei ole määritetty mitään tavoitearvoa, koska talvella
kovilla pakkasilla se voi laskea hyvin alas. Kuitenkin ilman kosteus tulee olla alle 60
% silloin kun käytetään paikallista kostutusta ja silloin se ei saa aiheuttaa kosteus- ja
mikrobivaurioiden riskiä. (RT 07-11299, 2018, s. 7)

2.1.1 S1 Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja hyviä valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus. (RT. 07-11299, 2018, s. 5)

2.1.2 S2 Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritsevää hajua. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (RT. 07-11299, 2018, s. 5)

2.1.3 S3 tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveydensuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täytyminen ei välttämättä edellytä S3-luokan tavoitearvojen käyttämistä. S3-luokan arvot esitetään tässä ensisijaisesti vertailun tueksi. (RT. 07-11299, 2018, s. 5)

2.2 Lämpöolot

Rakennuksen lämpöolot vaikuttavat ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen sekä tuottavuuteen. Ihmiset kokevat ilman lämpötilan eri tavoin ja siksi optimaalisen lämpötilan saaminen on vaikeaa. Viihtyvyyden kannalta ihmisen kehon lämpötasapainon säilyttäminen on hyvin oleellinen. Henkilöiden optimaaliseen lämpötilaan vaikuttavia tekijöitä on mukautuminen, ikä ja sukupuoli. Optimaalisena ilman lämpötilana pidetään 21 celsiusastetta, jota käytetään lämmityskauden suunnitteluarvona. Lämmityskaudella huonelämpötila voi vaihdella 20–25 celsiusasteen välillä ja lämmityskauden ulkopuolella 20–27 celsiusasteen välillä. (Säteri & Koskela, 2018, s. 47)

Lämpöolosuhteiden pysyvyys tasaisena on harvinaista, koska ajan ja paikan suhteet vaihtelevat jatkuvasti. Ulkolämpötila, sisäiset kuormat, lämmitys ja jäähdytys ovat olennaisimmat aiheuttajat, jotka vaikuttavat ajalliseen lämpötila muutoksiin. Lämpöoloihin voi myös vaikuttaa kylmät tai kuumat ikkuna- tai seinäpinnat. Jos rakennuksessa käytetään syrjäyttävää ilmanjakoa tai ilmalämmitystä saattaa pystysuunnassa ilman lämpötilassa olla suuria lämpötila eroja. Ilman liikkeen yksilöidyllä säädöllä on mahdollisuus laskea korkea lämpötilaa ja optimoida henkilöille heille sopiva lämpöaistimus. Yksilöidyllä säädöllä voidaan myös muuttaa ilman liikettä. Toimenpiteenä siihen tarvitsee tehdä esimerkiksi muuttamalla tuloilman määrää tai suuntausta, ilmaa kierrättävillä laitteilla, henkilökohtaisilla tuulettimilla tai ikkunoiden avaamisella. (Säteri & Koskela, 2018, s. 51 ja 53)

Vedon tunne ihmisille on yksi yleisimmistä koetuista oireista, kun puhutaan lämpöolojen vaihteluista. Veto syntyy, kun ilman keskinopeus kasvaa ja sen myötä lämmön siirtyminen tehostuu. Ilman lämpötila, lämpösäteily ja ilman liike ovat vedon tunteen aiheuttavia tekijöitä. Ilman nopeuden vaihtelusta käytetään termiä turbulenssiaste. Turbulenssiaste määritellään nopeuden vaihtelun keskihajonnan suhteena keskinopeuteen. Mitä suurempi nopeuden vaihtelu on, niin silloin ilman liike tuottaa helpommin vedon tunteen. (Säteri & Koskela, 2018, s. 47) Turbulenssiasteen laskentaa käydyään läpi kohdassa 2.3.3 huoneilman virtausnopeuden mittaus.

Taulukko 2. Lämpöolosuhteiden tavoitearvot

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	<22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$<22,5 + 0,166 \times t_u$	$<23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$>20,5 + 0,075 \times t_u$	$>20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$<23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			<25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			<27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	>20	>20	< 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjistä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
Asunnot	90 %	80 %	

”¹⁾ S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.”

”²⁾ Suluisissa asumisterveysasetuksen mukaiset toimenpiderajat.”

(RT 07-11299, 2018, s. 6)

2.3 Sisäilmaston mittaus ja tutkiminen

Sisäilmaston mittauksessa ja tutkimisessa selvitetään se, että toteutuuko sisäilmastolle asetetut tavoitetasot. Jos rakennuksen käyttäjä on todennut jotakin ongelmia sisäilmastossa, voidaan tutkimalla ja mittaamalla selvittää mistä ongelmat voivat johtua. Taulukosta 3 näemme tyypillisimpiä sisäilmaston tutkimisessa käytettyjä mittausmenetelmiä.

Taulukko 3. Sisäilmaston mittauksia

Mittaus	Mittausmenetelmä
Ilmanvaihdon ja painesuhteiden mittaus	Tulo- ja poistoilmavirta, Ilmanvaihdon tehokkuus (merkkiaine mittaukset) Paine suhteiden mittaus
Lämpötilamittaukset	Huoneilman lämpötila Pintalämpötila
Huoneilman virtausnopeuden mittaus	
Kosteusmittaus	Huoneilman kosteus Rakenteiden kosteus
Melumittaukset	Laitteiden aiheuttama äänitaso Huonevaimennus ja puheensiirto
Ilman laadun mittaukset	Hiukkasmittaukset Kaasujen mittaukset mikrobien mittaukset

(Säteri & Koskela, 2016, s. 69)

2.3.1 Ilmanvaihdon mittaus

Ilmanvaihdon ilmavirtojen mittaus voidaan mitata kanavistosta tai päätelaitteista. Kanaviston mittaus tapahtuu joko ilmavirran mittauslaitteella tai kanavan keskinopeuden mittauksella. Ilmavirran mittaus kanavistosta tehdään pitot-putkella tai painemittarilla. Tulo- ja poistoilmaventtiilistä voidaan myös mitata ilmavirrat venttiiliin syntyvät paine-eron avulla. Ilmavirtojen mittauksia ja mittalaitteita käydään vielä tarkemmin luvussa 5.

2.3.2 Lämpötilan mittaus

Lämpöolojen mittauksia ovat huoneilman lämpötilan- ja pintalämpötilojen mittaus. Huonelämpötilojen mittauksissa käytetään sähköisiä mittareita tai nestepatsaslämpötilamittari ja pintalämpötilojen mittauksissa voidaan tehdä koskettavilla mittareilla tai infrapunalämpömittarilla. Tarkimmissa mittalaitteissa lämpötilan tarkkuus on $\pm 0,2$ °C. $\pm 0,5$ °C käytetään standardissa SFS 5511 ja alimmassa laatuluokassa $\pm 1,0$ °C. Säännöllisellä sähköisten mittalaitteiden kalibroinnilla taataan tarkempia mittaustuloksia.

Tutkittaessa huonetilan lämpötilan kerrostumista tai lämpöviihtyvyyttä, käytetään eri mittauskorkeuksia, jotka ovat seisovalle ihmiselle 0,1 m, 1,1 m ja 1,7 m ja istuvilla ihmisillä korkeudet ovat 0,1 m, 0,6 m ja 1,1 m. Edellä mainitut korkeudet vastaavat nilkan, keskivartalon ja pään korkeuksia. Kuormituksien muuttuessa ja eri vuoden aikoina tulisi tehdä mittauksia, jotta saataisiin riittävästi tietoa huonetilan lämpötilasta. (Säteri & Koskela, 2016, s. 71–72)

2.3.3 Huoneilman virtausnopeuden mittaus

Huoneilman virtausnopeuksien mittauksissa käytetään kuumapalloanemometriä. Kuumapalloanemometrin toiminta perustuu siihen, että sähkövirran avulla anturipallon pintaa pidetään 30°C korkeammassa lämpötilassa kuin huoneilman lämpötilaa. 0,05 m/s on pienin mitattava nopeus. Virtausnopeuden mittaus tulee tehdä noin 3 minuutin keskiarvona, koska nopeusvaihtelu on niin suuri. (Säteri & Koskela, 2016, s. 74) Ku-
vassa 1 on esitetty 3 minuuttia pitkä nopeusvaihtelun mittaus. Kaavalla (1) pystytään laskemaan ilmavirtauksen turbulenssiaste.

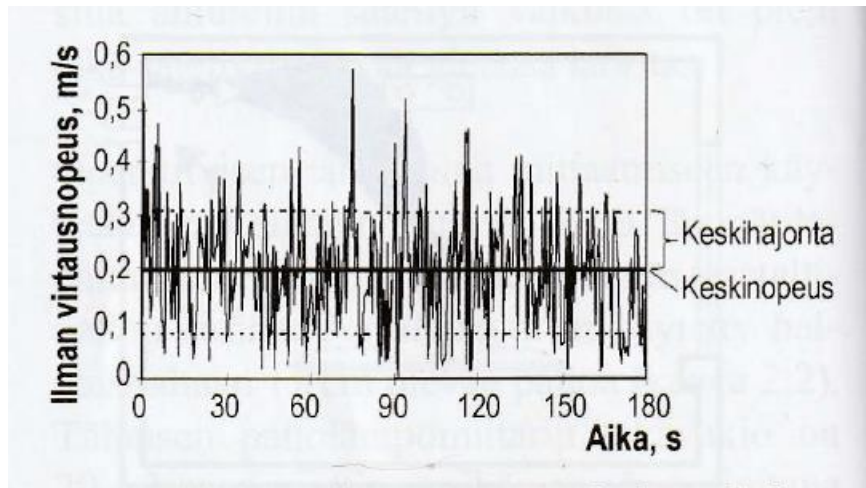
$$Tu = \frac{S}{v} \tag{1}$$

Tu = ilmavirtauksen turbulenssiaste %

v = ilman keskinopeus, $\frac{m}{s}$

S = nopeusvaihtelun keskihajonta 0,5 s

(Säteri & Koskela, 2016, s. 74)

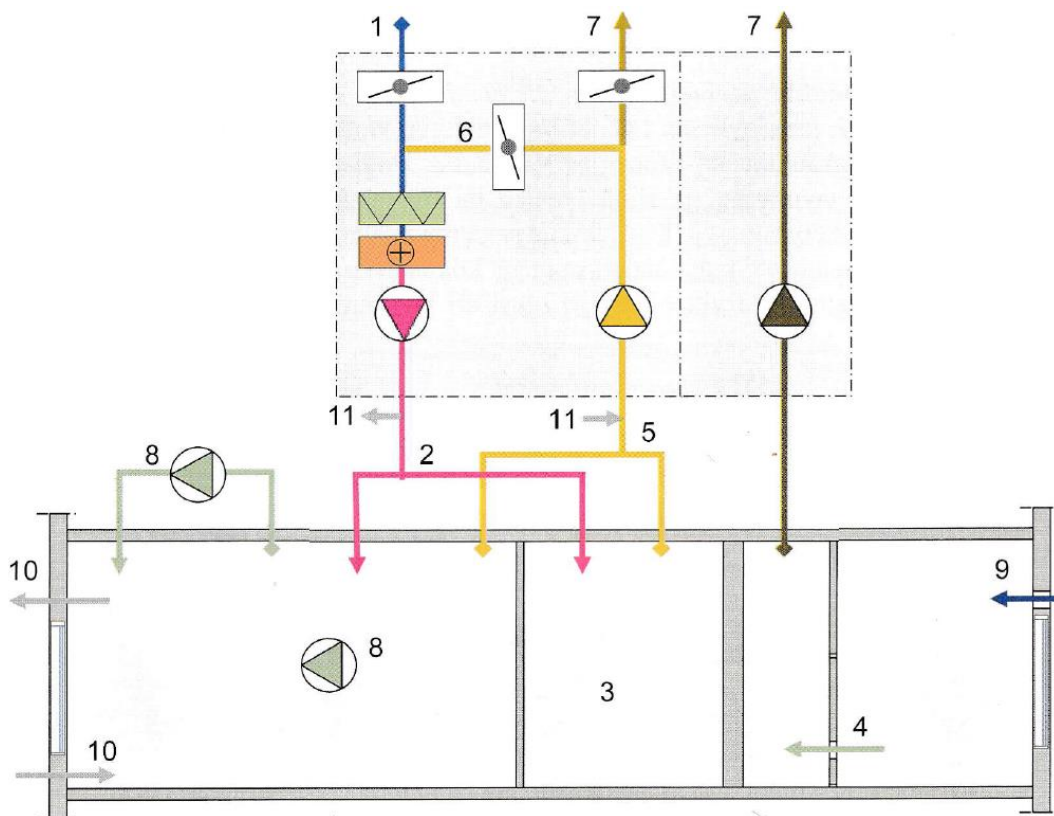


Kuva 1. Nopeusvaihtelu turbulentsissa huonevirtauksessa.
(Säteri & Koskela, 2016, s. 74)

3 RAKENNUKSEN ILMAVIRRAT

Kun puhutaan rakennuksen ilmavirroista, on hyvin tärkeää käyttää oikeaa terminologiaa, jotta tiedetään mistä ilmavirrasta on kyse. Kuvassa 2 on numeroitu rakennuksen ilmavirrat ja niiden nimitykset löytyvät taulukosta 4.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmavirrat tulee olla keskenään yhtä suuret, jotta järjestelmä ei aiheuta rakennuksen vaipan yli liian suurta paine-eroa. (Talotekniikkainfo, 2018, s. 14) Jos rakennuksen tuloilmanmäärä on suurempi kuin poistoilman niin silloin rakennus on ylipaineinen ja se voi aiheuttaa rakenteisiin kosteusrasitusta. Rakennus on alipaineinen, kun poistoilmanmäärä on suurempi kuin tuloilmanmäärä. Liian suuren alipaineisuuden takia rakenteista ja alapohjasta voi kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan. (Sisäilmayhdistys, 2008) Näiden takia ilmanvaihtojärjestelmän tulisi olla tasapainossa.



Kuva 2. Ilmavirrat
(Sandberg, 2016, s.400)

Taulukko 4. Rakennuksen ilmavirtojen nimet

Ilmavirta	Määritelmä
1 Ulkoilma	on ilmaa, joka otetaan ilmanvaihtoa varten ulkoa ennen ilman käsittelyä
2 Tuloilma	on ilmaa, joka johdetaan huonetilaan
3 Sisäilma	on tarkasteltavan huonetilan ilmaa
4 Siirtoilma	on ilmaa, joka johdatetaan tilasta toiseen
5 Poistoilma	on ilmaa, joka johdatetaan huonetilasta pois
6 Palautusilma	on ilmaa, joka palautetaan tuloilmana siten että palautettavassa ilmassa on kahden tai useamman eri huonetilan poistoilmaa
7 Ulospuhallusilma	on poistoilmaa, joka johdatetaan rakennuksesta ulos
8 Kierrätysilma	on ilmaa, joka palautuu ainoastaan samaan huonetilaan
9 Ulkoilma	joka otetaan sisään korvausilmaksi
10 Vuotoilma	on rakennukseen ja/tai rakennuksesta sen ulkovai-panrakojen kautta virtaava ulko- ja/tai huoneilma
11 Vuotoilma	Järjestelmästä ja/tai järjestelmään esim. kanavien ja koneiden seinämien kautta virtaava ilma.

(RT RakMK-21752, 2018, s.1)

3.1 Painesuhteet

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa kolme eri tekijää, jotka ovat ilmanvaihto, ilman lämpötilaerot (savupiippuvaikutus) ja tuuli. Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin riippuu siitä, minkälainen ilmanvaihtojärjestelmä on kyseessä ja myös säädöt sekä järjestelmän kunto ovat vaikuttavia tekijöitä. Ilman liike tapahtuu korkeammasta paineesta matalampaan paineeseen eli ylipaineesta alipaineeseen.

Ilman lämpötilaeroista voidaan käyttää termiä savupiippuvaikutus, mikä tarkoittaa ulko- ja sisäilman lämpötilaeron aiheuttamaa paine-eroa. Mitä kylmempi ulkoilma on verrattuna sisäilmaan, niin sitä voimakkaammin se vaikuttaa rakennuksen

painesuhteisiin. Tämän seurauksena rakennuksen alaosaan syntyy alipaine ja yläosaan yläpaine. Tuulen merkitys rakennuksen painesuhteisiin riippuu tuulen nopeudesta, suunnasta ja rakennuksen muodoista. ylipaine syntyy, kun tuuli osuu suoraan seinää ja sivuseinillä ja vastakkaiselle puolelle muodostuu alipaine. (Sisäilmayhdistys, 2008)

3.2 Ilmavirtojen määrittäminen

Huonetilojen ilmavirtojen määrittely voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan minkä avulla ne voidaan toteuttaa. Ilmavirrat voidaan siis määrittää joko käyttämällä ohje- arvoja tai laskemalla lämpö-, epäpuhtaus- ja kosteuskuormien perusteella. Yleisimmät määrittelevät tekijät ovat ihmisten lukumäärä, rakennuksen käyttötapa ja huonetilan käyttötarkoitus. Ohje arvoja käytetään yleensä tavanomaisissa rakennuksissa, kun ilmavirtoja määritetään. Teollisuudessa taas käytetään useimmiten määrittämään ilma- virrat laskemalla lämpö-, epäpuhtaus- ja kosteuskuormien perusteella.

3.2.1 Epäpuhtauskuormat

Rakennuksen huonetilaan syntyy epäpuhtauksia ihmisistä, ruoanlaitosta ja laitteista. Epäpuhtauksia tulee myös esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Ihmiset synnyttävät paljon erilaisia epäpuhtauksia ja sen takia niiden mittaaminen on hankalaa.

Hiilidioksidin mittaus onnistuu helposti ja sitä seuraamalla pystytään arvioimaan sisäilman laatua. Kuitenkin hiilidioksidi mittauksessa tulee huomioida se, että arvioidaan erikseen rakenteista ja sisustuksesta tulevat epäpuhtaudet. Hiilidioksidivirta on noin $24 \text{ l/h} = 6,7 \text{ cm}^3/\text{s}$, kun kyseessä on kevyttä työtä tekevä aikuinen ihminen (kehon pinta-ala $1,8 \text{ m}^2$) ja levossa virta on $20 \text{ l/h} = 5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$. (Sandberg & Koskela, 2016, s. 99–101)

Kun kyseessä on, sekoittava ilmanjako silloin poistoilman pitoisuus on sama kuin ulkoilman. Tämä sama pätee tuloilman ja ulkoilman pitoisuuteen sekoittavassa ilmajaoissa. Kaavalla (2) pystymään määrittämään ilmavirran tarve tasapainotilanteessa, kun tiedetään ihmisen tuottama hiilidioksidivirta sekä sisäilma pitoisuuden tavoitearvo.

$$q_{\text{tulo}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{C_{\text{olesk}} - C_{\text{tulo}}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{C_{\text{olesk}} - C_{\text{ulko}}} \quad (2)$$

q_{tulo} = ilmavirran tarve

G_{CO_2} = ihmisen tuottama hiilidioksidivirta

C_{olesk} = Sisäilma pitoisuuden tavoitearvo

C_{ulko} = Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (400 ppm)

(Sandberg & Koskela, 2016, s.101)

Tasapainotilanteessa ilmavirran tarve on riippumaton huonetilavuudesta, mutta kun tarkastellaan aikaa riippuvaa tilannetta niin huoneen koolla on iso merkitys pitoisuuden kehittymiseen. Mitä suurempi tila on kyseessä, niin sitä hitaammin hiilidioksidipitoisuus kohoaa. Aikaa riippuvassa tilanteessa on määritettävä huonetilan ilmanvaihtokerroin. Kaavalla (3) pystytään määrittelemään ilmanvaihtokerroin huonetilassa, kun tiedetään tilan ilmavirta (q_v) ja tilan tilavuus (V). Kaavalla (4) määritetään ilmanvaihdon aikavakio. Aikavakiolla tarkoitetaan sitä, että missä ajassa tilan ilma vaihtuu yhden kerran.

$$n = \frac{q_v}{V} \quad (3)$$

n = Ilmanvaihtokerroin (1/h)

q_v = ilmavirta (l/s)

V = tilavuus (m^3)

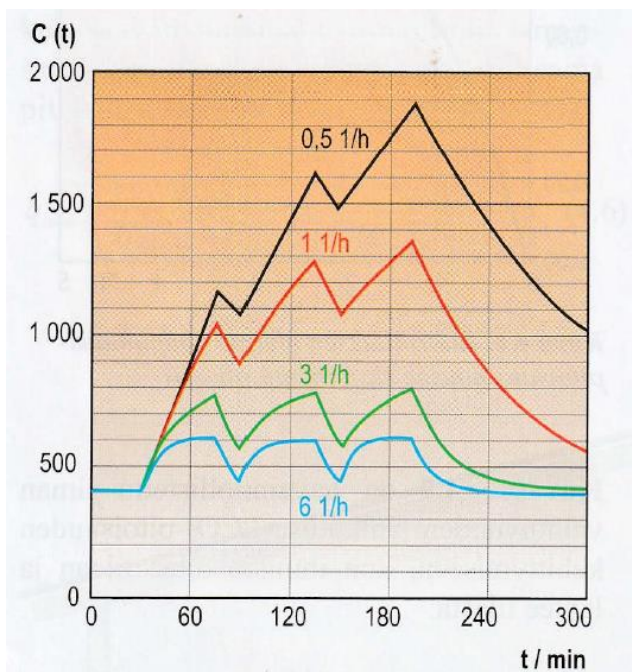
$$t = \frac{1}{n} \quad (4)$$

t = ilmanvaihdon aikavakio (s, min, h)

(Sandberg & Koskela, 2016, s.103)

Kuvassa 4 näkyy, miten eri ilmanvaihtuvuuksilla hiilidioksidin määrä nousee ja laskee kun ihmisiä tulee tilaan sekä poistuu tilasta. Huonetilavuus on 200m^3 , jossa korkeus on 2,5 m ja pinta-ala on 80m^2 . 10 ihmistä tulee tilaan 30 minuutin kuluttua ja he poistuvat 45 minuutin jälkeen. 10 ihmistä tulee takaisin 15 minuutin kuluttua ja he poistuvat tilasta 45 minuutin jälkeen. Kuvasta 4 voidaan havaita miten pienillä

ilmanvaihtuvuuksilla 15 minuutin aikana ilman hiilidioksidipitoisuus laskee vain hieman ja nousee välittömästi korkeisiin pitoisuuksiin, kun ihmiset tulevat takaisin tilaan.



Kuva 3. Hiilidioksidin kehittyminen eri ilman vaihtuvuuksilla. (Sandberg & Koskela, 2016, s.104)

3.2.2 Lämpökuormat

Suurin osa epäpuhtausvirtauksista johtuu lämpökuormista. Lämpökuormia syntyy huonetilassa muun muassa konvektiosta, lämmön säteilystä, jotka syntyvät sisäisistä lämmönlähteistä, ja sekä lämmönsiirtoa tapahtuu johtamalla seinämien läpi. Aikaa riippuvaa laskentaa käytetään useimmiten, kun mitoitetaan ilmavirtaa lämpövirtojen perusteella. Apuna silloin myös käytetään simuloinnin ohjelmia. Kun mitoitetaan tasapainossa tilanteessa olevaa huonetilaa, saadaan ilmavirran tarve (q_v) käyttämällä kaavaa (5). Kaavalla (6) voidaan määrittää huonetilan lämmön poistotehokkuus eli kuinka hyvin se poistaa huonetilasta epäpuhtauksia.

$$q_v = \frac{\phi}{\rho_i C_{pi} (t_{poisto} - t_{tulo})} \quad (5)$$

ϕ = Jähdytystarve eli lämmön poiston tarve

P_i = ilman tiheys ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

C_{pi} = Ilman ominaislämpökapasiteetti ($1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$)

t_{poisto} = Poistoilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

t_{tulo} = Tuloilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

$$\varepsilon_T = \frac{t_{\text{poisto}} - t_{\text{tulo}}}{t_{\text{olesk}} - t_{\text{tulo}}} \quad (6)$$

ε_T = Lämmön poistotehokkuus

t_{olesk} = oleskelutilan lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

(Sandberg & Koskela, 2016, s.105)

3.2.3 Kosteuskuormat

Kosteuskuormien laskentaa käytetään uimahalleissa ja teollisuuskohteissa. Asuintalojen pesuhuoneissa ei yleisesti käytetä kosteuskuormien laskentaa, koska niissä kuormitusta ei ole koko ajan ja kosteus poistuu tarpeeksi hyvissä ajoissa. Kaavalla (7) pystytään laskemaan tasapainotilanteessa mitoitusilmavirta, kun määritetään kosteuskuormien perusteella ilmavirtaa.

$$q_v = \frac{q_h}{P_i(x_{\text{poisto}} - x_{\text{tulo}})} \quad (7)$$

q_h = Kosteuden poiston tarve ($\frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{s}}$)

P_i = ilman tiheys ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

x = ilman absoluuttinen kosteus ($\frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgki}}$)

(Sandberg & Koskela, 2016, s.106)

3.2.4 Ohjeavot

Ympäristöministeriön oppaassa asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen on annettu ilmavirtojen minimi vaatimuksia eri huonetiloille. Oppaassa kerrotaan, että ulkoilmavirta tulee olla vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$, m^2 koko asuinpinta-alaa kohden, kun huonekorkeus on $2,5\text{m}$ ja ilmanvaihtokerroin on $0,5 \text{ 1/h}$. Ohjeavot ulkoilmavirroille on useimmiten määritelty henkilöiden määrän mukaan. Tässä käytetään yksikkönä $\text{l}/(\text{s hlö})$. Ihmisten määrää ei välttämättä aina tiedetä niin, silloin voidaan myös käyttää mitoitukseen lattiapinta-alaa kohden. Eli siinä on oletettu mahtuvan tietty määrä henkilöitä tilaan ja tämän yksikkönä on $\text{l}/(\text{s m}^2)$. (Ympäristöministeriö, 2019, s.5)

Taulukko 5. Ulkoilmavirtojen suunnittelu perusteet sisäilmastoluokissa

Sisäilmastoluokka	Ulkoilmavirta (lattiaa kohden)	Ulkoilmavirta (henkilöä kohden)
S1	$0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia-m^2	$10 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö
S2	$0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia-m^2	$7 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö
S3	$0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia-m^2	$6 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö

(RT. 07-11299, 2018, s.15)

Taulukko 6. Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot asuintiloissa

Käyttötilanne	yksikkö	S1	S2	S3
Normaali käyttö	dm ³ /s,hlö	10	8	6
Tehostustilanne, asuntokohtainen suurennusmahdollisuus ²⁾	%	30	30	30
Käyttöajan ulkopuolinen perusilmanvaihto ^{1,3)}	dm ³ /s,m ²	0,2	0,2	0,15

¹⁾ Ilmavirrat mitataan esimerkiksi kiinteitä mittauselimiä, mittausanturia, anemometritorvea tai pussimenetelmää käyttäen standardin SFS EN 12599 mukaisesti.

²⁾ Ilmavirtojen on voitava suurentaa tilapäisesti syntyvien epäpuhtauksien poistamiseksi. Asunnon ilmanvaihtoa on suositeltavaa tehostaa kokonaisuudessaan ja suunnata tehostus pesuhuoneisiin ja WC-tiloihin ja/tai liesikupuun.

³⁾ Normaalin käyttöajan ulkopuolella on rakennuksessa oltava minimi-ilmanvaihto, jonka avulla poistetaan rakennuksesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Tätä käyttöajan ulkopuolista minimi-ilmanvaihtoa saa asuinnoissa käyttää vain pitkäkestoisten (yli 1 vrk) poissaolojen aikana edellyttäen, että esim. märkätilat eivät jää kosteiksi.

(RT. 07-11299, 2018, s. 17)

3.3 Ilmanjakomenetelmät

Ilmanjakomenetelmät luokitellaan kahteen eri luokkaan, jotka ovat suur- ja piennopeusilmajako sekä sekoitus- ja syrjäyttävääilmanjako. Taulukossa 7 on kerrottu luokittelun ilmanjaot ja sekä niiden toiminta.

Sekoitusilmajako voidaan käyttää tavanomaisissa tiloissa tai teollisuudessa. Tavoitteena tässä ilmanjakomenetelmässä on sekoittaa puhdas tuloilma mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan sekä lämpötilan tasoittuminen ja epäpuhtauksien laimeneminen. (Kosonen & Sandberg, 2016, s. 231) Kuvassa 5 on esitetty sekoittava ilmanjako.

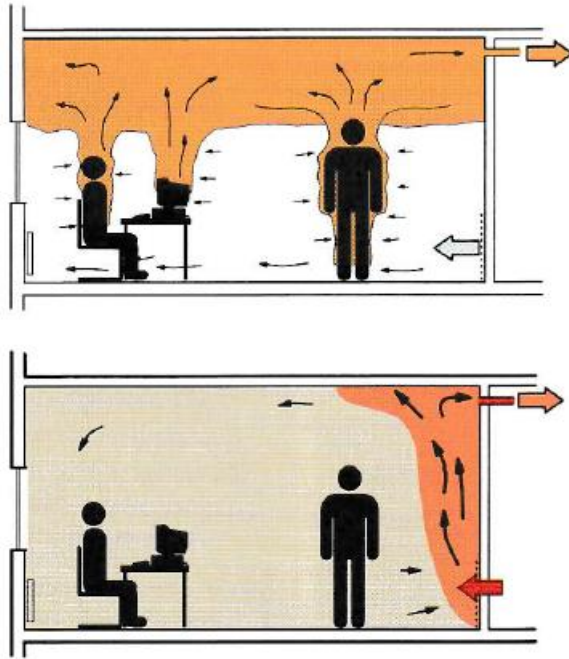
Kun tiloille on annettu erityisiä vaatimuksia ilman laadun osalta, niin käytetään mäntäilmanjakoa. Esimerkiksi näitä tiloja voi olla puhdastilat ja leikkaussalit. Tämän ilmajakomenetelmän tavoitteena on puhaltaa piennopeuslaitteilla ilmaa poikittaissuuntaisesti koko huonetilaan siten, että se on tarpeeksi suuri liikemäärä syrjäyttämään häiriövastukset. (Kosonen & Sandberg, 2016, s. 226)

Syrjäyttävässä ilmanjaossa huoneilma jaetaan kahteen eri vyöhykkeeseen, jotka ovat ylempi ja alempi. Ylemmässä vyöhykkeessä on likaista ilmaa ja alemmassa puhdasta ilmaa. Alemmasta vyöhykkeestä johdetaan viileämpää ilmaa pienellä nopeudella ja se poistetaan ylemmästä vyöhykkeestä. Syrjäyttävää ilmajako käytetään yleensä teollisuudessa, missä on suuret lämpökuormat. Tällä ilmanjaolla pystytään parantamaan lämpötila- ja ilmanvaihdontehokkuutta samanaikaisesti. (Kosonen & Sandberg, 2014, s.281) Kuvassa 4 on esitetty syrjäyttävä ilmajako.

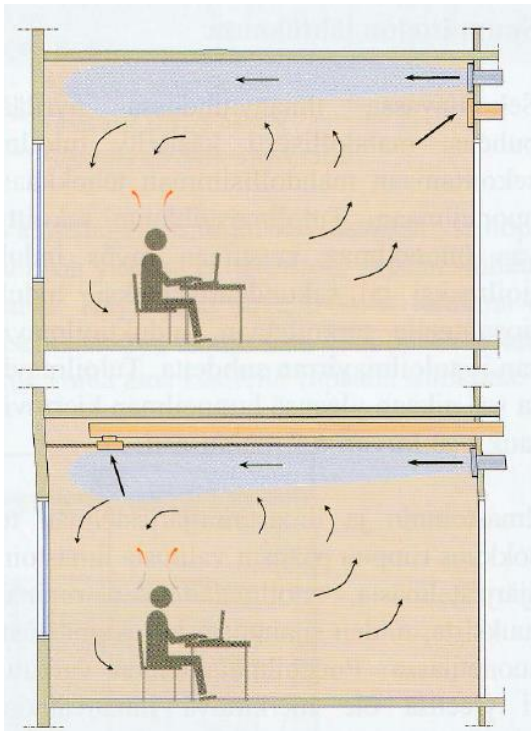
Taulukko 7. Ilmajakomenetelmät

Luokittelu 1	
Suurnopeusilmanjako	Tuloilma puhalletaan huonetilaan suurella nopeudella, huoneilma sekoittuu paljon ilmasuihkuun. Huonetilassa ilmasuihkut hallitsevat huonevirtauksia.
Piennopeusilmanjako	Tuloilma puhalletaan huonetilaan alhaisella nopeudella. Huonetilassa lämpökuormien synnyttämät konvektiovirtaukset hallitsevat huonevirtauksia.
Luokittelu 2	
Sekoitusilmanjako	Tuloilma puhalletaan huonetilaan siten, että epäpuhtaudet laimenevat ja lämpötila tasoittuu.
Syrjäytysilmanjako	Tuloilma puhalletaan huonetilaan siten, että epäpuhtaudet ja lämpötila kerrostuvat. Tuloilma korvaa konvektiovirtausten mukana nousevaa huoneilmaa.
Mäntäilmanjako	Suuri tuloilmavirta puhalletaan alhaisella nopeudella koko huonetilan poikkipinnalle.

(Kosonen & Sandberg, 2016, s.228)



Kuva 4. Syrjäyttävä ilmanjako
(Sandberg & Kosonen, 2014, s.257)



Kuva 5. Sekoittava ilmanjako
(Sandberg & Kosonen, 2014, s.258)

4 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN LAITTEET

4.1 Ilmanvaihtokoneet

Ilmanvaihtokoneet voidaan jaotella neljään kategoriaan, jotka ovat pienet ilmanvaihtokoneet, koteloidut ilmankäsittelykoneet, toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet ja erilliset puhaltimet. Pienet ilmanvaihtokoneet soveltuvat pientaloihin, rivitaloihin ja hajautettuihin järjestelmiin. Koteloituja koneita käytetään rakennuksissa missä ei ole erillistä konehuonetta. Ne soveltuvat kaikkiin muihin rakennuksiin paitsi pientaloihin, esimerkiksi teollisuushallit, myymälät ja varastot. Toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet sopivat sisä- tai ulkoasennukseen. Ulkoasennukseen asennetut koneet ovat erillisiä konehuoneita. Toimintavalmiiden koneiden hyötynä työmaalla on asennuksien nopeutuminen ja lähes kokonaan tarkastuksien ja koekäytön poistuminen. Erillisiä puhaltimia ovat muun muassa huippumurit, aksiaali- ja kanavapuhaltimet ja keskipakopuhaltimet. Niitä voidaan hyödyntää savunpoistoissa, siirto-, -suuntapaine-, -ulospuhallus- ja tuloilmapuhaltimina.

Ilmanvaihtokoneen komponentteihin kuuluu tulo- ja poistoilmapuhallin, lämmönsiirrin, äänenvaimennin (voidaan myös asentaa kanavaan), suodattimet tulo- ja poistopuolelle, lämmityspatteri/jäähdytyspatteri, ohituspelti (pienissä ilmanvaihtokoneissa) ja sulkupelti (isommissa ilmanvaihtokoneissa). Sähkö- ja automaatiojärjestelmä on myös yksi osa ilmanvaihtokoneissa. Esimerkiksi järjestelmällä voidaan säätää tuloilman lämpötilaa ja asettaa ilmavirta.

Toimintaperiaatteelta ilmanvaihtokoneita voi olla monta erilaista, joissa suurimmat erot liittyvät poistoilman lämmöntalteenottoon. Erilaisia lämmönsiirtimiä ovat ristivirta levylämmönsiirrin, kaksi ristivirtasiirrintä sarjassa, vastavirta levylämmönsiirrin ja pyörivä roottorilämmönsiirrin. Suunnittelussa ilmanvaihtokoneen valinnalla on suuri merkitys, koska lämmönsiirtimien hyötysuhteissa on eroja. Esimerkiksi ristivirtasiirtimeen lämpötilasuhde on noin 60 % ja vastavirtasiirtimeen on noin 80 %. (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström, 2016, luku 7)

4.2 Kanavat

Ilmanvaihtokanavat jaetaan pyöreisiin- ja suorakaidekanaviin. Pääsääntöisesti käytetään pyöreitä kanavia, mutta kun tilaa on pyöreille kanaville liian vähän, niin silloin useimmiten käytetään suorakaidekanavia. Materiaaleina kanavissa on yleensä sinkitty teräs, mutta on mahdollista myös, että kanavat on valmistettu ruostumattomasta- tai haponkestävästä teräksestä. Suomessa kanava pituudet ovat 3 m:n tai 6 m:n mittaisia. Standardin EN 1506 mukaan pyöreiden kanavien halkaisijat ovat 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, ja 1250 mm. Standardin EN 1505 mukaan suorakaidekanavien pienimmät koot ovat alkaen 200 mm x 100 mm ja suurimmat 2000 mm x 1200 mm.

Käyttökohteen, materiaalin, paloturvallisuuden ja lujuuden mukaan peltikanavien seinämäpaksuus määräytyy. Seinämän paksuudeksi kierresaumakanavassa riittää standardin mukaan 0,5 mm ($\leq \varnothing 315$ mm), 0,7 mm ($\leq \varnothing 800$ mm) ja 0,9 mm ($\leq \varnothing 1250$ mm)

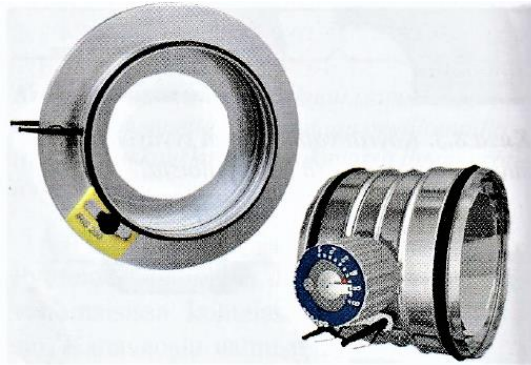
4.3 Kanavavarusteet

Ilmanvaihtokanavistoon kuuluu erilaisia kanavavarusteita, joita ovat sulku- ja säätöpellit, ilmavirran säätölaitteet, palopellit, äänenvaimentimet ja puhdistusluukut. Sulukupellin tarkoituksena on sulkea ilmavirta tai säätää ilmavirtaa. Säätöpellit (kuva 7) ja ilmavirran säätölaitteet (kuva 6) toimivat ilmavirran mittauslaitteina. Kuvassa kuusi on virtaussäätimiä, joita voidaan käyttää tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa.

Palopellien tarkoituksena on toimia palon- ja savunrajoittimina. Palopellit luokitellaan kahteen luokkaan, jotka ovat E ja EI. E tarkoittaa tiiviysvaatimuksen täyttävää luokkaa ja EI tarkoittaa tiiviys- ja eristävyysvaatimuksen luokkaa ja palokestävyysaika minuutteina ilmoitetaan vielä lukuarvona lopussa esimerkiksi EI60. (Talotekniikkainfo, 2019, s. 29)



Kuva 6. Takana eristetty ilmanvaihdon virtaussäädin ja edessä eristämätön.
(Sandberg & Ripatti, 2016, s.135)



Kuva 7. Vasemmalla IRIS säätöpelti ja oikealla PRA säätöpelti
(Railio, Ripatti & Sandberg 2016, s.216)

4.4 Päätelaitteet

Päätelaitteina ilmanvaihtojärjestelmässä on tulo- ja poistoilmalaitteet. Tuloilmalaitteen tehtävä on puhaltaa suodatettua ilmaa huonetilaan ja poistolaitteen tarkoitus on poistaa likaista ilmaa huonetilasta. Päätelaitteilla pystytään myös säätämään ilmavirran suuruutta ja osalla päätelaitteista voidaan vaimentaa melua, esimerkiksi kun päätelaitte on varustettu liitäntälaatikolla.

EN 12238 Standardissa (2001) on jaettu tuloilmalaitteet neljään eri luokkaan. Luokkaan yksi kuuluvat suuttimet, säleiköt ja alaspäin puhaltavat hajottavat ja näissä laitteissa tuloilman suihku on vapaa eli niin sanottu 3-ulotteinen suihku. Luokkaan kaksi sisältyy vain kattohajottavat, jossa tuloilman suihku on vapaa tai pintaa pitkin toimiva. Luokassa kolme tuloilmalaitteina on rakohajottavat ja kahteen suuntaan puhaltavat ilmastointi palkit ja näissä laitteissa suihku on 2-ulotteinen. Neljännessä luokassa on piennopeuslaitteet, joita esimerkiksi ovat lattialle asennettavat laitteet.

Poistoilmalaitteina on yleensä perinteinen poistoilmaventtiili, säleikkö tai suorakaiteen muotoine päätelaite. Poistoilmaventtiilistä pystytään mittaamaan ja säätämään ilman tilavuusvirta. Säleiköissä tarvitsee asentaa erillinen säätöpelti, jotta säätömahdollisuus onnistuu. Suorakaiteen muotoisessa päätelaitteessa on valmiiksi asennettu ilmavirran mittaus -ja säätölaite. Poistoilmalaitteena voidaan käyttää myös liitäntälaatikolla varustettu hajottajaa, kuten tuloilmassa. (Kosonen & Sandberg, 2016, luku 9)

5 ILMAVIRTOJEN MITTAUS JA SÄÄTÖ

Ilmavirtojen mittaus voidaan suorittaa joko päätelaitteista, kanavista kanavan keskinopeuden mittauksella, ilmavirtasäätimillä tai kanavien säätöpellin asennon ja mittauspaine-eron mukaan. Myös ilmastointijärjestelmän säädön toteutus riippuu siitä, mikälainen järjestelmä on kyseessä. Ilmastointijärjestelmistä kerrotaan lisää kohdassa 5.2.1. Taulukossa kahdeksan on esitetty hyväksyttävät poikkeamat suunnitelluista mitoituservoista. Mittauksissa tapahtuu aina mahdollisia virheitä, joita voidaan tarkastella kaavalla (8).

Taulukko 8. Hyväksyttävät poikkeamat mitoituservoista

	Poikkeama
Ilmavirta järjestelmäkohtaisesti	± 10 %
Ilmavirta huoneistokohtaisesti	± 20 %
Ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä	+ 0,005 m/s

(RT RakMK-21752, 2018, s.5)

$$m = \sqrt{c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3 + \dots + c_n m_n} \quad (8)$$

m = mittauksen suhteellinen epätarkkuus [%]

m_1 = mittauslaitteen suhteellinen epätarkkuus [%]

(saadaan mittarin valmistajalta)

m_2 = mittausmenetelmän suhteellinen epätarkkuus [%]

(esim. Säätöpellistä mittaus, Pitot-putkimittaus, päätelaitteesta mittaus)

m_3 = mittarin lukemisen suhteellinen epätarkkuus [%]

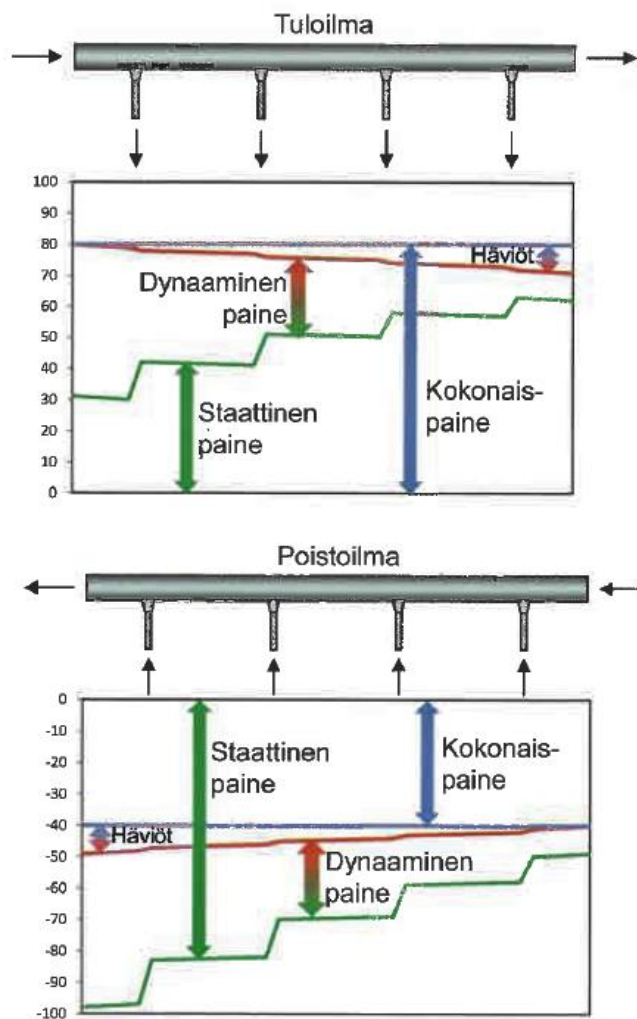
m_n = joku muu mahdollinen virhe [%]

$c_{1...n}$ ovat kertoimia, jotka ehkä jo sisältyvät mittauslaitteen virheeseen, esim. mitarenkaan paine-eron mittauksesta kerroin on $c_1 = 0,5$, jos valmistaja ei ole sitä ottanut huomioon. (Sandberg & Ripatti, 2014, s. 115)

5.1 Staattinen-, dynaaminen- ja kokonaispaine

Staattinen- ja dynaaminen paine ovat painemuotoja, jotka vaikuttavat ilmanvaihtokanavistossa. Dynaamisella paineella tarkoitetaan ilman virtauksesta johtuvaa painetta ja staattinen paine on puolestaan kanavan yli – tai alipainesuutta tarkoittava paine. Kokonaispaine on staattisen – ja dynaamisen paineen sekä painehäviöiden summa.

Kuvassa 8 on esitetty tulo- ja poistokanavien dynaamisen paineen vaikutuksen ero. Tulo – ja poistoilmakanavassa kokonaispaine pysyy vakiona, koska kokonaispaine on staattisen – ja dynaamisen paineen sekä painehäviöiden summa. Staattinen ja kokonaispaine ovat negatiivisia poistoilmakanavistossa, ja dynaaminen paine on aina positiivinen molemmissa kanavissa.

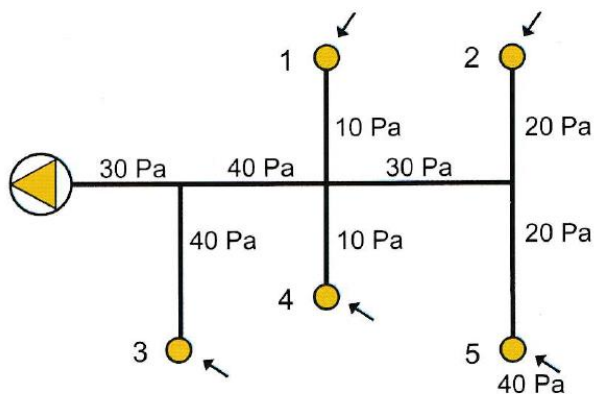


Kuva 8. Tulo- ja poistokavassa dynaamisen paineen vaikutuksen periaattellinen ero (Sandberg & Ripatti, 2014, s. 99)

5.2 Sääto ja tasapainotus

Ilmastointijärjestelmän toimivuuden ja energiakulutuksen kannalta ilmavaihdon sääto on hyvin tärkeää ja siksi säädöt tulee tehdä huolella ja käyttää niihin riittävästi aikaa. Ilmanvaihdon suunnittelun tasapainotuksella tarkoitetaan painehäviöiden laskentaan. Tuloilmapuolella laskenta tapahtuu siten, että laskenta aloitetaan puhaltimelta ja sen jälkeen lasketaan kanavaosien painehäviöt ja lopuksi vielä jokainen päätelaite niin, että kaikissa päätelaitteissa syntyy sama painehäviö. Poistoilmapuolella tasapainotus tapahtuu käänteisessä järjestyksessä eli aloitetaan päätelaitteessa ja lopetetaan laskenta puhaltimeen. Kuvassa 9 on esimerkki poistoilmakanaviston tasapainotuksesta. Päätelaitteet on numeroitu ykkösestä vitoseen ja viidennessä päätelaitteessa on annettu 40

pascalin painehäviö. Laskemalla viidennestä päätelaitteesta puhaltimelle olevat painehäviöt ($40 + 20 + 30 + 40 + 30 = 160$ pa) saadaan kokonaispaineksi 160 pascalia. Eli jokaiselta päätelaitteelta puhaltimelle olevassa välissä tulee olla 160 pascalia. Kanavisto on tasapainossa, kun päätelaitteen yksi painehäviö on 80 pascalia, toisessa 40 pascalia, kolmannessa 90 pascalia ja neljännessä 80 pascalia.



Kuva 9. Poistoilmakanaviston tasapainotus pelkillä päätelaitteilla.
(Sandberg & Ripatti, 2014, s. 101)

Päätelaitteina olisi hyvä käyttää tasauslaatikoita, jotka ovat varustettu äänenvaimentimilla ja säätö- ja mittauslaitteella, koska näissä päätelaitteissa voidaan käyttää suurempia painehäviöitä. Tämä helpottaa ilmavirran säätöä ja sen joustavuus mahdollisuus on huomattavasti parempi. Jos säätöalue ei riitä ja ei käytetä edellä mainittuja tasauslaatikoita, niin silloin kanavistossa pitää olla erillisellä mittauslaitteella varustettuja säätöpeltejä ja niihin pitää myös asentaa äänenvaimentimet.

5.2.1 Vakioilma- ja muuttuvilmavirtajärjestelmä

Ilmavirtojen säädön toteuttamismenetelmä riippuu, minkälainen ilmastointijärjestelmä on kyseessä. Järjestelmä voi olla vakioilmavirtajärjestelmä tai muuttuvilmavirtajärjestelmä. Vakioilmavirtajärjestelmässä ilmavirrat säädetään vaihtoehtoisesti. Vaihtoehtoisia menetelmiä säätöön ovat kanavien säätöpellit, päätelaitteiden säätöosa

asennon avulla tai erilliset säätöpellit päätelaitteissa. Muuttuvailmavirtajärjestelmässä ilmavirrat säädetään ilmavirtasäätimillä ja ilmanvaihtokanavistossa olevilla paine- tai ilmavirtasäätimillä.

5.3 Ilmavirran mittaus päätelaitteesta

Ilmavirran mittaus päätelaitteesta voidaan toteuttaa tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden syntyvän mittauspaine-eron perusteella. Päätelaitteihin on asennettu valmistajan toimesta mittauspaine-yhteen, joihin voidaan paine-ero mittarin avulla määrittää ilmavirta, kun tiedetään laitteen valmistajan antama kerroin k . Kaikilla eri valmistajilla on omat k kertoimet ja sitä pitää käyttää aina valmistajan ohjeiden mukaan. Valmistaja on laatinut yleensä k -kerrointaulukon, josta selviää laitteen nimen ja koon mukaan oikea k kerroin. Kaavalla (9) voidaan laskea tulo- tai poistoilman ilmavirta. Jos ilman tiheys poikkeaa $1,2 \text{ kg/m}^3$:sta, voidaan laskea ilmavirta käyttämällä kaavaa (10).

Huppumittarilla on myös mahdollista mitata poistoilmavirta, jos laite pystytään asentamaan mahdollisimman tiiviisti laitteen ympärille. Tuloilmavirta pystytään mittaamaan huppumittarilla, mutta kuitenkin tarkkuus ei ole yhtä hyvä, koska virtaus on niin epätasainen.

$$q_v = k\sqrt{\Delta p_m} \quad (9)$$

q_v = Mitattu ilmavirta [l/s]

Δp_m = Mittauspaine – ero [Pa]

k = Laitteen kalibroitu ilmavirran kerroin

(Sandberg & Ripatti, 2014, s. 116)

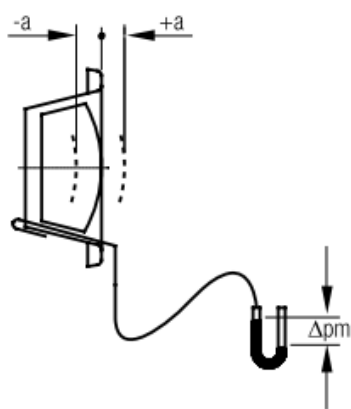
$$q_{vx} = q_v \sqrt{\frac{1,2}{p_x}} \quad (10)$$

q_{vx} = Tiheydellä korjattu ilmavirta tiheydellä p_x [l/s]

(Sandberg & Ripatti, 2014, s. 116)

5.3.1 Ilmavirran mittaus venttiileistä

Poistoilmaventtiilistä voidaan myös määrittää ilmavirta asettamalla mittauskoukku venttiilin kartion taakse ja tarkistaa venttiilin asento rakotulkilla. Mittari näyttää paineeron huone ilmaan nähden. Kuvassa 11 on esitetty KSO-125 poistoilmaventtiilin mittauspaine-eron käyrästä, josta voidaan määrittää myös ilmavirta, kun tiedetään mittauspaine (Δp_m) ja venttiilin k kerroin. Kuitenkin kaavaa (9) käyttämällä saadaan laskeutta tarkempi arvo ilmavirralle.



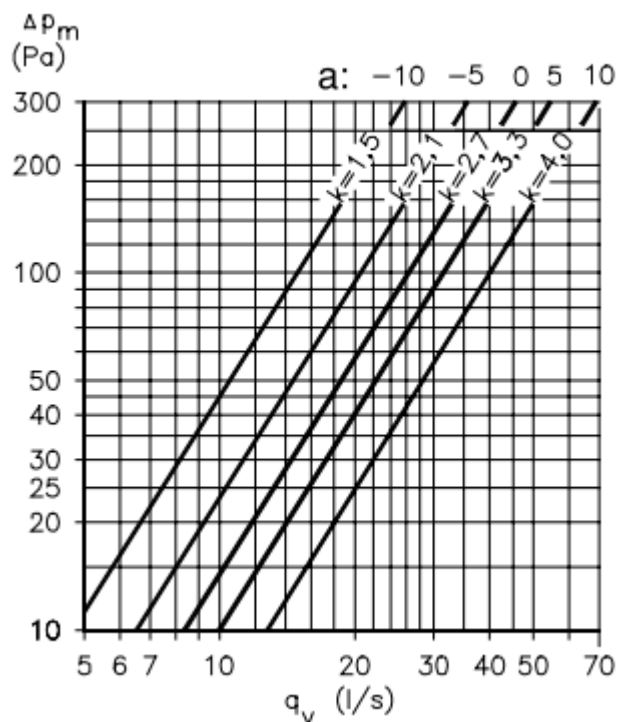
kuva 10. Mittauskoukku asetettu KSO poistoilmaventtiilin kartion taakse. (FläktGroup, 2021, s. 49)

Taulukko 9. KSO 125 poistoilmaventtiilin taulukko säätöasennosta a ja k kerroin.

KSO-125	
a	k
-10	1,5
-5	2,1
0	2,7
5	3,3
10	4,0

(FläktGroup, 2021, s. 49)

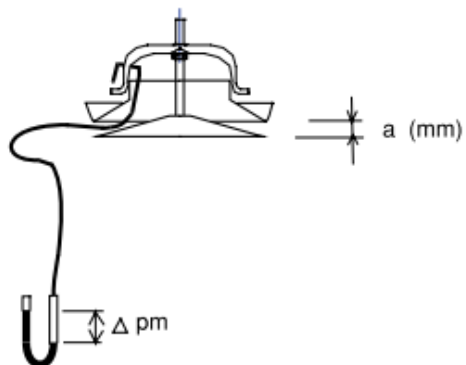
KSO-125



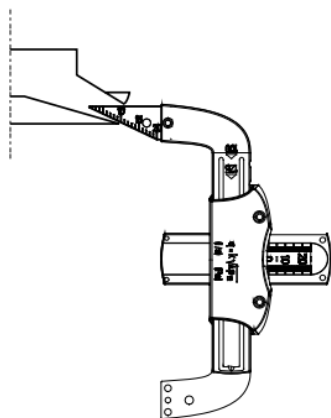
Kuva 11. KSO - 125 poistoilmaventtiin mittauspaine-eron käyrästä (FläktGroup, 2021, s. 50)

Tuloilmaventtiilistä voidaan myös määrittää ilmavirta, mutta hieman eri tavalla kuin poistoilmaventtiilistä. Kuvassa 12 on asetettu mittarin mittakoukku KTS venttiiliin, josta saadaan paine-eron ja raon (a) avulla laskettua ilmamäärä venttiilille. Rako (a) voidaan mitata käyttämällä rakotulkkia. Kun oikea ilmamäärä on saatu mitattu venttiiliin, tarvitsee muistaa kiristää mutteri venttiilin sisällä, jotta rako (a) pysyy oikeassa mitassaan.

KTS tuloilmaventtiili sisältää ilman suuntalevyn, jonka avulla voidaan vaikuttaa tuloilmasuihkun suuntaan. Molemmissa tapauksissa, jos suuntalevy on asennettu tai ei ole asennettu, nii tulee huomioida taulukosta oikea raon (a) vastaava kerroin sille. Esimerkiksi taulukossa 10 on esitetty KTS-125 tuloilmaventtiilin taulukko, josta selviää raon (a) vastaava kerroin, kun suuntalevy on asennettu tai ei ole asennettu.



KTS

Kuva 12. Mittauskoukku asetettu KTS tuloilmaventtiiliin.
(FläktGroup, 2021, s. 30)



Kuva 13. Rakotulkin käyttö raon (a) mittauksessa
(FläktGroup, 2018, s.2)

Taulukko 10. KTS-125 tuloilmaventtiilin taulukko raosta (a) ja sen kerroin suuntalevyllä ja ilman sitä.

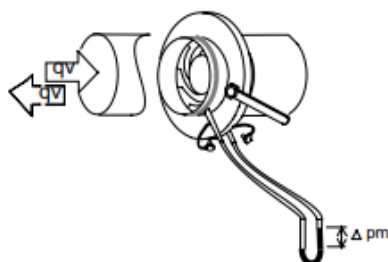
KTS-125			
a (mm)			
	06,2006	→	
4	2,0	1,9	2,2
6	2,6	2,6	3,1
9	3,3	3,4	4,2
12	3,8	4,1	5,5
15	4,4	4,4	7,0

(FläktGroup, 2021, s. 30)

5.4 Ilmavirran mittaus kanavasta

Ilmavirran mittaus kanavasta suoritetaan, joko säätöpellin tai pitot-putken avulla. Säätöpellin mittaus kanavasta tapahtuu mittauspaine-eromittauksella. Säätöpellissä on kuristusasetto, jonka mukaan k-kerroin määräytyy. Taulukossa 11 on kerrotta Iris säätöpellin koko, kuristusasetto (1–8) ja sitä vastaava k-kerroin. Kun oikea k-kerroin on löydetty taulukosta, niin silloin ilmavirta voidaan laskea kaavalla (9) kuten päätelaitteissa.

IRIS

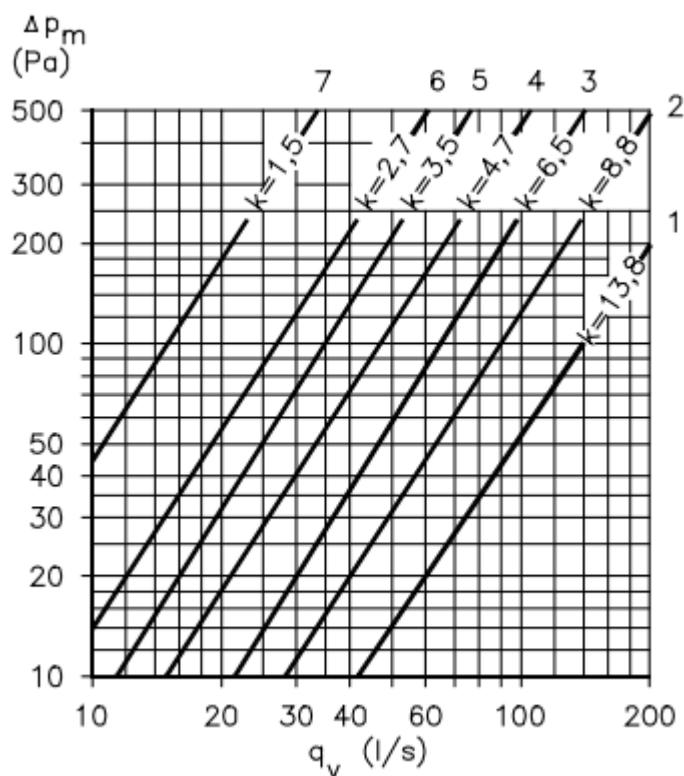


Kuva 14. Mittausletkut liitettynä Iris säätöpellin mittausyhteisiin.
(FläktGroup, 2021, s. 68)

Taulukko 11. Iris säätöpellin kuristusasettoa vastaavat k-kertoimet

Ø	a							
	1	2	3	4	5	6	7	8
80	6,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,9	0,6	-
100	10,4	7,5	6,0	4,5	3,4	2,5	1,7	0,9
125	13,8	8,8	6,5	4,7	3,5	2,7	1,5	-
150	24,1	16,5	13,4	11,0	8,9	6,9	5,2	3,7
160	22,1	14,8	12,5	10,7	8,5	6,8	4,9	3,5
200	44,2	30,9	23,2	18,2	14,0	11,0	8,4	5,0
250	64,4	45,6	38,7	30,7	24,1	18,4	12,8	8,9
315	118,0	70,0	58,7	45,1	37,0	30,0	21,8	15,8
400	131,0	102,0	88,3	67,3	52,7	38,5	28,4	15,5
500	230,0	177,0	146,0	112,0	88,5	66,6	48,0	30,0
630	451,0	297,0	238,0	169,0	127,0	91,6	62,8	35,1
800	489,0	402,0	344,0	267,0	217,0	170,0	122,0	73,7

(FläktGroup, 2021, s. 68)



Kuva 15. Iris 125 säätöpellin mittauspaine-eron käyrästä (FläktGroup, 2021, s. 70)

Pitot-putkella mitataan dynaamista painetta, jonka avulla voidaan laskea ilman nopeus käyttämällä kaavaa (10). Kun mitataan pitot-putkella, tulee huomioida, että kanavan poikkipinnalla virtausnopeus ei ole vakio. Tästä syystä tulee tehdä useita mittauksia, jotta saadaan tarkempi mittaustulos. Kuvassa 16 on esitetty 5-pistemittaus, jonka perusteella tehdään useampi mittaus ja mittauksista otetaan keskiarvo, josta saadaan oikea keskinopeuden arvo.

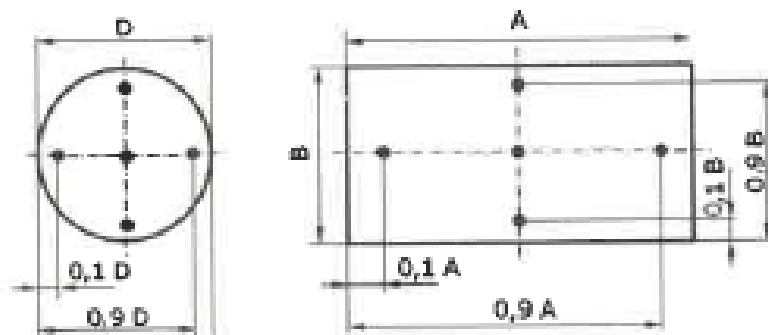
$$v = \sqrt{2p_d/p} \quad (10)$$

v = ilman nopeus [m/s]

p_d = dynaaminen paine [Pa]

p = ilman tiheys [kg/m³]

(Sandberg & Ripatti, 2014, s. 117)



Kuva 16. 5-pistemittauksen sijainnit pyöreässä- ja suorakaidekanavassa (Sandberg & Ripatti, 2014, s. 118)

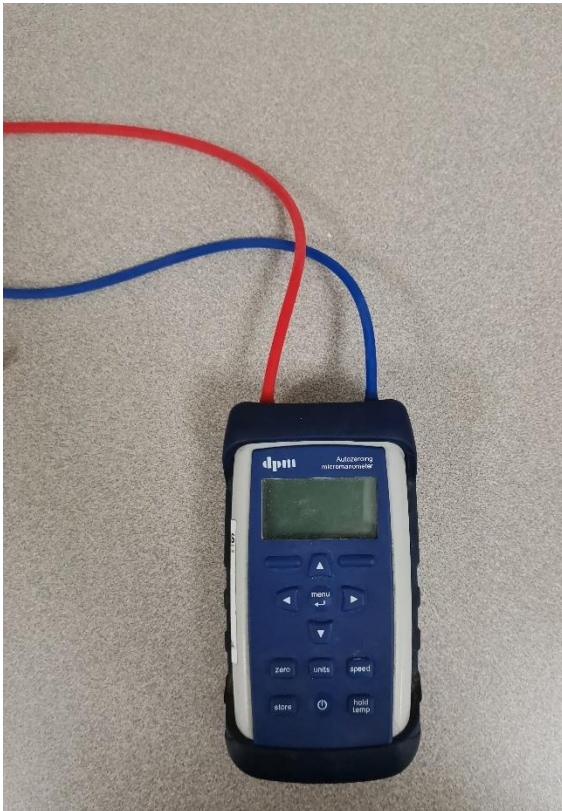
5.5 Mittauslaitteet

Ilmanvaihdon mittauksessa voidaan käyttää erilaisia mittauslaitteita, joiden avulla saadaan määritettyä ilmavirrat. Mittauslaitteita ovat muun muassa paine-eromittari, pitotputki, kuimalanka-anemometri, siipipyöranemometri ja huppumittari.

Seuraavaksi kerrotaan hieman ohjeita mittauslaitteiden käytöstä. Enne mittauksien aloittamista tulee tutustua mittarin käyttöohjeisiin siten, että mittaria osataan käyttää oikein ja tunnetaan sen rajoitukset. Yksi mittalaitteen tärkeimpiä ominaisuuksia on mittaustuloksen tarkkuuden saaminen mahdollisimman tarkaksi ja siksi mittalaite tulee kalibroida valmistajan suositusten mukaan. Mittalaitteen kalibrointi tulee olla aina voimassa, kun sitä käytetään. Yleensä kalibrointi tehdään vuoden välein, mutta kun mittaus aloitetaan, mittarille tulee vielä tehdä niin sanottu pikakalibrointi.



Kuva. 17 Pitot-putki



Kuva 18. Paine-eromittari



Kuva. 19. Siipipyöranemometri



Kuva 20. Rakotulkki, jolla voidaan määrittää KSO Poistoilmaventtiilin avautuma.

6 MITTAUSTAPAHTUMA

Mittaus - ja säätötyöhön tehtiin uuteen valmistuvaan palvelutaloon, jossa ilmanvaihtokoneita on kaksi kappaletta, joista toista käytetään vain opinnäytetyössä. Ilmanvaihtokoneessa lämmöntalteenottona vastavirtalämmönsiirrin ja sen hyötysuhde on noin 85 %. Koneen tulo- ja poistoilmamäärä on 530 l/s.

Mittauskohteessa on asuinhuoneistoja ja sekä yhteisiä tiloja, kuten monitoimitila, pukuhuone, pesuhuone, sauna ja ynnä muuta. Asuinhuoneistojen tuloilmapuolen venttiileinä on Lindabin SHH-125 venttiili (kuva 24) ja poistoventtiileinä on KSU-125 venttiili (kuva 25). Muissa tiloissa on mm. tuloilmaventtiileinä Lindabin KIR-100/125 (kuva 26), tasauslaatikolla varustettuja NR19-S (kuva 27) ja NS19-V (kuva 28) venttiilejä ja poistopuolella KSU-100/125 ja tasauslaatikolla varustettuja G20 venttiilejä (kuva 29). Ilmanvaihtojärjestelmässä on Lindabin vakioilmavirtasäätimiä (kuva 22) ja FTCU ilmavirtasäätimiä (kuva 23), joilla voidaan säätää linjaa oikeat ilmamäärät.



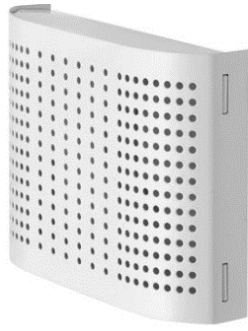
Kuva 21. Kohteen ilmanvaihtokone, jossa mittaus- ja säätötyö suoritettiin



Kuva 22. Vakioilmavirtasäädin



Kuva 23. FTCU-Ilmavirtasäädin



Kuva 24. SHH- tuloilmaventtiili

(Lindab, 2016, s.1)



Kuva 25. KSU- poistoventtiili

(Lindab, 2016, s.1)



Kuva 26. KIR- tuloilmaventtiili

(Lindab, 2020, s.1)



Kuva 27. NR19-S tuloilmaventtiili varustettu tasauslaatikolla.

(Lindab, 2020, s.2)



Kuva 28. NS19- V tuloilmaventtiili varustettu tasauslaatikolla

(Lindab, 2021, s.4)



Kuva 29. G20- tuloilmaventtiili varustettu VBA liitântälaatikolla

(Lindab, 2020, s.1)

Ennen ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyön aloitusta kohde tulee olla siivottu pölyltä ja rakennuksessa ei saa tehdä pölyttäviä töitä, kun mittauksia suoritetaan. Toimintakokeilla vielä varmistetaan ennen mittauksia, että laitteet ja koneet toimivat suunnitelmien mukaan. Kun edellä mainitut toimenpiteet ovat suoritettu voidaan aloittaa ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyö.

Ensimmäiseksi tulee poistaa ilmanvaihtoventtiileissä olevat suojaukset ja tämän jälkeen ilmanvaihtokone voidaan käynnistää. Ilmanvaihtokoneesta säädetään haluttu ilmamäärä ja sekä painetta tulee säätää samalla. Kun ilmanvaihtokone on saatu käynnistetty ja säädettyä suurin piirtein oikeisiin arvoihin mitä suunnitelmissa on pyydetty, voidaan aloittaa asettamaan ilmavirtoja vakio- ja ilmavirtasäätimiin.

FTCU- ilmavirtasäätimet on tarkoitettu tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ideana on vaihtaa ja käsitellä huonetilan ilmaa juuri sen verran mitä huonetila vaatii sillä hetkellä. Tästä syntyy merkittävää energiansäästöä. Tarpeen mukainen ilmanvaihto sopii huonetiloihin, joissa on pieni -/suuri ja paikalla/ poissaolo kuormitus, joka vaihtelee jatkuvasti. (Swegon, 2016, s. 2) Esimerkiksi tässä kohteessa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa on hyödynnetty yhteisissä tiloissa (kuva 30). FTCU- ilmavirtasäätimiin asetetaan minimi- sekä maksimi ilmavirta ilmavirtasäätimen ohjeiden mukaan. Huoneessa on hiilidioksidianturi (CO₂), jonka mukaan FTCU- ilmavirtasäätimet muuttavat ilmavirtaa minimin- ja maksimi ilmavirran välillä riippuen hiilidioksidin pitoisuudesta.

Vakioilmavirtasäätimen ilmavirran asettaminen tapahtuu siten, että lasketaan kyseisin linjan venttiilien ilmamäärät yhteen ja asetetaan saatu tulos vakioilmavirtasäätimeen. Esimerkkinä voidaan käyttää kuvassa 31 olevaa tuloilmalinjaa. Lasketaan jokaisen huoneen tuloilmaventtiilistä tuleva ilmavirta ($15 \text{ l/s} + 15 \text{ l/s} + 15 \text{ l/s} + 15 \text{ l/s} + 15 \text{ l/s} + 15 \text{ l/s} = 90 \text{ l/s}$.) Kuvasta 22 näemme, että vakioilmavirtasäätimen yksikkönä on m^3/h , joten 90 l/s tulee muuttaa m^3/h kertomalla $3,6$ luku 90 l/s saadaan $324 \text{ m}^3/\text{h}$. Vakioilmavirtaimen asteikko ei ole niin tarkka kuten kuvasta 22 voimme nähdä, joten säädintä voidaan vielä joutua säätämään tarkemmin, kun tasapainotus on suoritettu.

Seuraavana vaiheena alkaa linjojen tasapainotus. Jokainen linja tasapainotetaan erikseen. Tasapainotus alkaa siitä, että valitaan linjan niin sanottu heikoin venttiili, mikä on yleensä linjan loppupäässä ja avataan kyseinen venttiili niin auki kuin mahdollista. Esimerkkinä voidaan taas käyttää kuvan 31 tuloilmalinjaa. Valitaan asunnon 14:sta

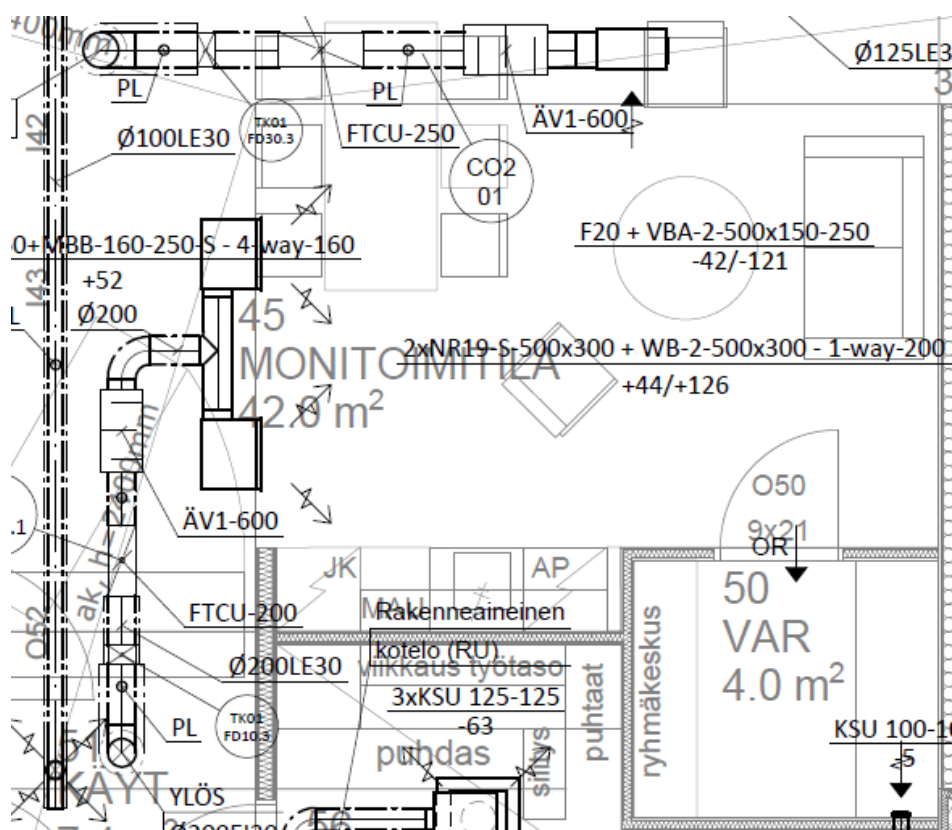
tuloilmaventtiili heikoimmaksi ja mitataan painemittarilla venttiilin paine ja lasketaan kaavalla (9) kyseisen venttiilin ilmamäärä. Venttiilin k-kerroin löytyy Lindabin kotisivulta. Kun ilmamäärä on laskettu, jaetaan saatu ilmamäärä saman venttiilin suunnitellulla ilmamäärällä. Tästä saadaan tulokseksi venttiilin prosentuaalinen osuus suunnitellusta arvosta. Esimerkiksi jos prosentuaaliseksi osuudeksi tulee 95 % suunnitellusta arvosta niin sitä arvoa lähdetään hakemaan muihin saman linjan venttiileihin. Kuitenkin tavoiteltu prosentuaalinen luku arvo voi vaihdella muissa venttiileissä ± 10 prosenttia verrattuna tavoiteltuun arvoon. Seuraavaksi lähdetään mittaamaan muita linja venttiileitä. Jos venttiiliin tulee liikaa ilmaa verrattuna tavoiteltuun arvoon, niin silloin venttiiliä tulee kuristaa eli sulkea venttiiliä tai jos siihen liian vähän ilmaa niin silloin venttiiliä tulee avata lisää. Kuitenkin ei ole väliä, vaikka prosentuaalinen osuus olisi tässä kohtaa vaikka 120 % tai 80 %, koska ilmamäärää voidaan vielä säätää ilmanvaihtokoneesta tai ilmavirtasäätimestä. Tärkeintä on, että linjan jokaiseen venttiiliin saadaan ilmamäärä ± 10 prosenttia verrattuna heikoimmaksi valittuun venttiiliin.

Kun ilmanvaihtokoneen linjat on tasapainotettu, niin seuraavaksi pyritään saamaan jokaiseen linjaa prosentuaaliseksi osuudeksi suunniteltua ilmamäärää eli 100 prosenttia. Mitataan linjan heikoin venttiili ja lasketaan prosentuaalinen osuus. Jos venttiilin prosentuaalinen osuus on vaikka 115 % nii kyseistä linjaa voidaan säätää pienemmäksi vakioilmavirtasäätimestä tai tarvittaessa voidaan myös pienentää ilmavirtaa ilmanvaihtokoneelta. Mitataan jokaisen linjan heikoimmaksi valittu venttiili ja säädetään ilmaa, joko pienemmäksi tai suuremmaksi mitä linja vaatii.

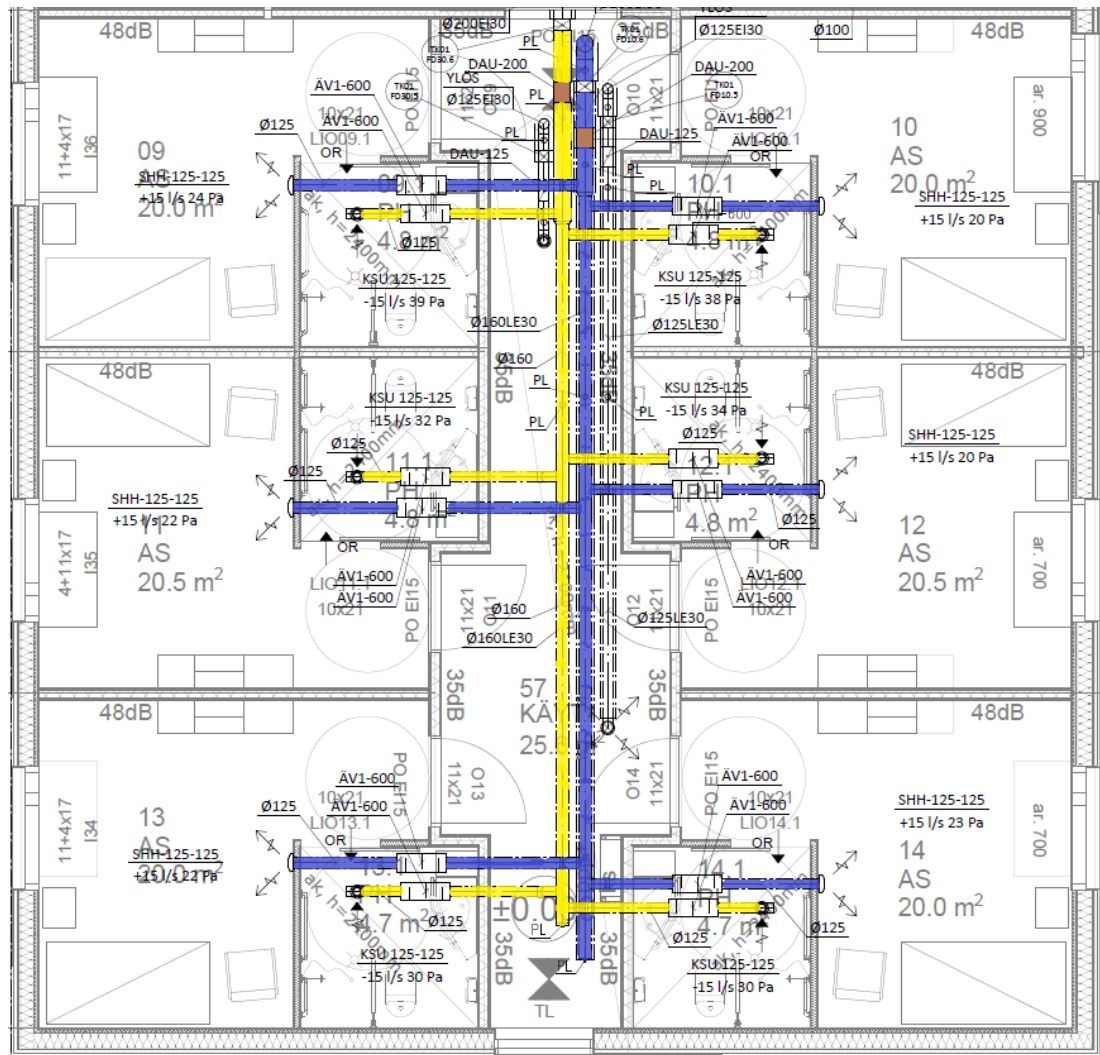
Kun jokainen linja on säädetty lähelle 100 prosenttia, niin seuraavaksi kirjataan huoneiden venttiilien koko ja nimi ja kirjataan myös niiden asento, kerroin ja paine. Kun nämä edellä mainitut on kirjattu, niin vielä kirjataan ilmanvaihtokoneen mittareista paineet ja ilmamäärät. Lopuksi vielä kirjatuista tuloksista laaditaan mittauspöytäkirja. Liitteenä 1 löytyy esimerkki pöytäkirjasta. Liitteenä 2 on kohteen täytetty mittauspöytäkirja tuloilmapuolelta ja liitteenä 3 on poistopuolen mittauspöytäkirja.

Seuraavassa vielä tiivistettynä ilmanvaihdon mittauksen- ja säätötyön eteneminen.

1. Pölyttömyys siivous ja toimintakokeet suoritettu ennen mittauksen aloitusta.
2. Ilmanvaihtoverteiliin suojausten poistaminen.
3. Ilmanvaihtokoneen käynnistäminen ja säätäminen.
4. Ilmamäärien asettaminen ilmavirtasäätimiin.
5. Ilmanvaihtokanavistojen tasapainottaminen.
6. Ilmanvaihtokanavistojen säätö suunniteltujen ilmamäärien mukaan. Säätö tapahtuu ilmavirtasäätimistä ja ilmanvaihtokoneesta.
7. Kirjataan huoneiden venttiilien nimi ja koko ja lisäksi niiden asento, kerroin ja paine. Ilmanvaihtokoneen mittareista kirjataan paineet ja ilmamäärät.
8. Kirjatuista tuloksista laaditaan mittauspöytäkirja.



Kuva 30. Monitoimitila, jossa on käytetty tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.



Kuva 31. Ilmanvaihdon osa pohjakuvasta, jossa sininen väri kuvaa tuloilmalinjaa ja keltainen väri poistupuolenlinjaa sekä ruskealla värillä on merkitty kuvaan vakioilmavirtasäätimiä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tehtiin opas ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyöhön, jossa on teoria- ja käytännön osuus. Teoriaosuudessa käytiin läpi rakennuksen sisäilmastoa ja ilmavirtoja sekä ilmanvaihtojärjestelmän laitteistoa ja ilmavirtojen mittausta ja säätöä. Käytännön osuudessa suoritettiin ilmanvaihdon säätö- ja mittaustyö uuteen valmistuvaan palvelutaloon.

Ennen käytännön osuutta kirjoitin ja perehdyin siihen mitä mittaus- ja säätötyö pitää sisällään. Teoria asioita opiskellessa sisäistin asioita hyvin ja pystyin hyödyntämään niitä käytännön osuudessa. Kuitenkin mittaustyössä tulee vastaan paljon uutta asiaa mihin pitää perehtyä esimerkiksi mittarien käyttö, ilmavirtasäätimet ja erilaisiin päätelaitteisiin tutustuminen. Ilmanvaihdon tasapainotuksessa huomasin, että poistopuolen tasapainotus onnistuu paljon helpommin kuin tulo puolen tasapainotus. Siksi juuri käytännön osuus on hyvin tärkeä, koska pelkällä teoriaosuuden opiskelulla jää paljon asiaa vielä oppimatta. Teoria- ja käytännön osuus tukevat hyvin toinen toisiaan ja siksi molemmat ovat hyvin tärkeässä osassa koko mittaus- ja säätötyön prosessia.

LÄHTEET

- FläktGroup. (2021). Ilmavirtojen Mittaus- ja säätöopas. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/fac678a8-515e-46ba-a200-8b300f313416>
- FläktGroup. (2018). KTS asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/086cf823-cdf5-4606-972a-569ac43bdc99>
- Hengitysliitto. (2016). Opas ilmanvaihdosta. <https://www.hengitysliitto.fi/wp-content/uploads/2020/12/ilmanvaihto-opas-saavutettava-2016.pdf>
- Lindab. (2016). Tuote-esite SHH. <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/shh.pdf>
- Lindab. (2020). Tuote-esite NR19. <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/NR19.pdf>
- Lindab. (2021). Tuote-esite NS19. <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/pdf/documentation/comfort/fin/technical/NS19.pdf>
- Lindab. (2020). Tuote-esite KIR. <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/kir.pdf>
- Lindab. (2016). Tuote-esite KSU. <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/ksu.pdf>
- Lindab. (2020). Tuotteet G20+VBA. http://www.lindab.com/fi/private/products/pages/g20_vba.aspx
- RT RakMK-21752, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. (2018). Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20RakMK-21752>
- RT 07-11299, Sisäilmastoluokitus 2018. (2018). Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>
- Sandberg, E., Säteri, J., Koskela, H., Ripatti, H., Kosonen, R., Mäkinen, P., Tammi-vaara, H., Lönnström, J., Paasio, I. & Railio, J. (Toinen painos 2016. alkuteos ilmestyi 2014). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät (Ilmastointiteknikka osa 1). Talotekniikka-julkaisut.
- Sandberg, E., Kosonen, R. & Ripatti, H (2014). Ilmastointilaitoksen mitoitus (Ilmastointiteknikka osa 2). Talotekniikka-julkaisut.
- Sisäilmayhdistys. (2008). Ilmavirrat rakennuksessa. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

Swegon (2016). Tarpeenmukainen ilmanvaihto. http://swegon.in/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/_fi/DCV-overview.pdf

Talotekniikkainfo. (2019). Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas. https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/talotekniikkainfo_ilmanvaihtolaitosten_paloturvallisuus_-_opas_vertailu_2018_06_vs_2019_12.pdf

Talotekniikkainfo. (2018). Sisäilmasto ja ilmanvaihto – opas. https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/talotekniikkainfo_sisisailmasto_ja_ilmanvaihto_-_opas_30.1.2018.pdf

Ympäristöministeriö. (2018). Laskentaopas tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella. <https://www.ym.fi/download/noname/%7BE961AA41-6DF6-4708-B8D2-0553271D8354%7D/144135>

Ympäristöministeriö. (2019). Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. [ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitointukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitointukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB...](https://www.ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitointukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitointukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB...)

	Huonetila	Tuloilma	TK01						
		Tuloilmalaite	LKM	KOKO mm	MITATTU l/s	SUUN. l/s	KERROIN	ASENTO	PAINE
1as	shh	1	125	15	15	3,9	14	14,5	
2as	shh	1	125	15	15	3,9	14	14,5	
3as	shh	1	125	14	15	3,9	14	13,4	
4as	shh	1	125	14	15	3,9	14	13,7	
5as	shh	1	125	15	15	3,9	14	15,0	
6as	shh	1	125	14	15	3,9	14	13,0	
7as	shh	1	125	14	15	3,3	12	18,5	
8as	shh	1	125	15	15	3,3	12	19,7	
9as	shh	1	125	15	15	3,3	12	20,7	
10as	shh	1	125	15	15	3,3	12	20,0	
11as	shh	1	125	15	15	3,3	12	20,0	
12as	shh	1	125	14	15	3,3	12	19,3	
13as	shh	1	125	15	15	3,3	12	20,7	
14as	shh	1	125	15	15	3,3	12	21,5	
57käytävä	kir	1	125	12	12	7,4	+15	2,5	
56vaatehuol	NS19	1	160	35	32	22,0	22	2,5	
56vaatehuol	NS19	1	160	29	32	12,0	12	5,8	
52pukuh.	NS19	1	160	50	52	19,0	19	7,0	
55sauna	ktss	1	125	11	12	3,2	8	12,0	
47johtaja	kir	1	100	9	9	3,3	10	6,7	
47johtaja	kir	1	100	8	9	3,3	10	6,5	
46käytävä	kir	1	125	18	19	7,4	+15	6,2	
57käytävä	kir	1	125	9	10	3,0	6	10,0	
monitoimit.45	NR19	1	500x300	57	63	22,9	9	6,2	
monitoimit.45	NR19	1	500x300	63	63	22,9	9	7,5	
	YHTEENSÄ			507	523				

Huonetila	Poistoilma	TK01						
	Poistoilmalaite	LKM	KOKO	MITATTU	SUUN.	KERROIN	ASENTO	PAINE
			mm	l/s	l/s			
1as	ksu	1	125	-16	-15	3,90	+10	17,0
2as	ksu	1	125	-15	-15	3,90	+10	15,5
3as	ksu	1	125	-18	-15	3,90	+5	22,0
4as	ksu	1	125	-15	-15	3,44	+6	19,2
5as	ksu	1	125	-15	-15	2,61	0	32,0
6as	ksu	1	125	-15	-15	2,89	+2	28,0
7as	ksu	1	125	-14	-15	2,32	-2	35,0
8as	ksu	1	125	-15	-15	2,32	-2	39,8
9as	ksu	1	125	-15	-15	2,61	0	31,7
10as	ksu	1	125	-15	-15	2,89	+2	27,0
11as	ksu	1	125	-15	-15	3,18	+4	21,5
12as	ksu	1	125	-14	-15	3,04	+3	20,5
13as	ksu	1	125	-15	-15	3,78	+9	16,3
14as	ksu	1	125	-15	-15	3,78	+9	16,0
57käytävä	ksu	1	125	-4	-5	1,24	-10	8,9
56vaatehuol,	ksu	1	125	-22	-21	3,90	+10	32,5
56vaatehuol,	ksu	1	125	-22	-21	3,90	+10	32,5
56vaatehuol,	ksu	1	125	-22	-21	3,90	+10	32,5
50varasto	ksu	1	100	-6	-5	1,08	-9	32,5
53vc	ksu	1	125	-23	-20	2,75	1	68,0
54pesuh.	ksu	1	125	-18	-16	2,18	-3	65,5
54pesuh.	ksu	1	125	-18	-16	2,18	-3	65,0
55sauna	ksos	1	125	-13	-12	1,76	-6	50,5
47johtaja	ksu	1	125	-20	-18	2,44	-1	65,2
48varasto	ksu	1	100	-6	-5	1,08	-9	33,0
ivkh	ksu	1	100	-6	-5	1,08	-9	29,8
46käytävä	ksu	1	125	-14	-14	2,18	-3	42,0
46käytävä	vba500-150	1	250	-125	-121	31,10		16,2
tek62	ksos	1	125	-22	-20	4,00	+10	31,5
	YHTEENSÄ			-552	-530			