



Hermann Rimpi

# Painesuhteiden hallinta asuinker- rostalon ilmanvaihtojärjestelmän parannushankkeessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.4.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Hermann Rimpi
Otsikko:	Painesuhteiden hallinta asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän parannushankkeessa
Sivumäärä:	39 sivua
Aika:	25.4.2022
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	lehtori Markku Leino suunnittelujohtaja Juha Peteri

---

Opinnäytetyön päätavoite oli käydä läpi onnistunut prosessi ilmanvaihdon parannushankkeessa koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa asuinkerrostalossa. Opinnäytetyön tukena toimi esimerkkikohte Vantaalla. Parannushanke tässä työssä käsittää ilmanvaihdon kanaviston puhdistuksen, puhaltimen vaihdon, poistoilmapäätelaitteiden vaihdon, korvausilmaventtiileiden lisäyksen ja ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamisen uusilla ilmamäärillä.

Opinnäytetyössä esitellään lyhyesti yritys, johon opinnäytetyö tehtiin. Pääasiassa työssä pureudutaan enemmän itse työhön ja työn pohjustamiseen. Opinnäytetyössä käydään yleisesti läpi erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät, niiden historia ja toiminta, ja pääaiheena ilmanvaihtojärjestelmistä toimii koneellinen poistoilmanvaihto, joka on tämän opinnäytetyön tueksi valitun esimerkkikohteen vallitseva ilmanvaihtotapa. Esimerkkikohteesta kartoitettiin koko ilmanvaihtojärjestelmä ja sen osat, tärkeimpänä korvausilmaventtiileiden määrä, tyyppi ja korvausilman riittävyys.

Kartoitettujen tietojen pohjalta laadittiin uudet suunnitelmat, joihin mitoitusoppaita käyttäen luotiin uudet ilmamäärät. Uusien ilmamäärien tavoitteena oli saavuttaa alle 15 pascalin alipaine asuntokohtaisesti rakennuksen vaipan yli mitattuna sen jälkeen, kun kohde on uusilla ilmamäärillä tasapainotettu.

Suoritin tutkimuksena esimerkkikohteeseen paine-eromittauksia, ennen parannushanketta ja sen jälkeen. Tutkimusten perusteella pystyttiin päättämään, että ilmamäärien suunnittelussa ja tasapainotustyössä päästiin onnistuneeseen lopputulokseen, jonka tarkoituksena oli vähentää kylmän ilman aiheuttamaa vedon tunnetta asunnoissa. Asennusteknisiin asioihin ei työssä paneuduttu, mutta ilmanvaihdon puhdistus sekä tasapainotus, eli säätö ja niiden toimintatavat, otettiin työssä tarkastelun alle. Aikeena oli luoda hyvä työselostus pohja vastaavanlaisiin hankkeisiin.

Avainsanat: ilmanvaihto, koneellinen poistoilma, paine-eromittaus, ilmamäärä, korvausilma, poistoilma

## Abstract

Author: Hermanni Rimpi  
Title: Management of Pressure Ratios in Project Improving Ventilation System of Apartment Building  
Number of Pages: 39 pages  
Date: 25 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Markku Leino, Senior Lecturer  
Juha Peteri, Planning Director

---

The purpose and of this final year project was to go study a successful process in a ventilation improvement project, in an residential apartment building with mechanized exhaust ventilation system. The thesis also briefly introduced other ventilation systems and their operation.

The methods used in this project were pressure differential measurements and ventilation system mapping before a ventilation improvement project. The ventilation improvement project was done to an existing residential building that served as an example for this thesis. Based on the results of the measurements and mapping, a HVAC design was made. The design aimed to achieve a negative pressure of 15 Pascal over the mantle of the building on per apartment basis.

After ventilation improvements and ventilation balancing, based on the new HVAC plans, it was possible to measure the pressure difference. The results showed that the project was successful, and the pressure was lower than the maximum 15 Pascal over the mantle of the building on per apartment basis. Thanks to the successful outcome, the sense of cold air in the apartments decreased.

Keywords: ventilation, mechanized exhaust ventilation system, pressure differential, measurements, HVAC

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihto asuinkerrostalossa	2
2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	3
2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	5
2.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	6
3	Kohde-esittely	8
3.1	Yleisesti	8
3.2	Ilmanvaihtojärjestelmä	9
4	Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus	12
4.1	Puhdistustyö	12
4.1.1	Kanavistoon kertyvä lika	13
4.1.2	Alipaineistus	13
4.1.3	Puhdistustyön välineet	15
4.1.4	Puhdistustyön tarkastus	16
4.2	Ilmanvaihdon mittaus ja säätötyö	17
4.2.1	Suhteellisen säädön menetelmä	18
4.2.2	Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja	20
5	Ilmanvaihdon lähtötasomittaukset kohteessa	21
5.1	Mittaukset	21
5.1.1	Vaipan yli	21
5.1.2	Keittiöiden venttiilien mittaus	23
5.2	Mittaustulokset	24
6	Kohteen IV-suunnittelu	25
6.1	Ilmanvaihdon ilmamäärät	25
6.1.1	Korvausilma	26
6.1.2	Poistoilma	30
7	Loppumittaukset	32
8	Yhteenveto	36



## 1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Insinööritoimisto Aavat Oy. Opinnäytetyössä pyrittiin kehittämään asuinkerrostalon paine-erojen hallintaa ilmanvaihdon parannuskorjaushankkeessa.

Insinööritoimisto Aavat Oy on perustettu vuonna 2014, ja se sijaitsee Espoossa. Yrityksen tarjoamat suunnittelupalvelut kohdistuvat yleensä olemassa olevien kiinteistöjen korjaushankkeisiin, kuten lämmitys-, ilmanvaihto- ja linjasaneerauksiin. Tyypillinen yrityksen tarjoama kokonaisuus sisältää LVI-suunnittelun lisäksi myös hankkeen kilpailutuksen ja valvonnan. Toiminta on laajentunut vuosien aikana kohtuullisen nopeasti myös perinteistä asuinkerrostaloa isompiin kohteisiin, kuten liikekiinteistöihin ja toimitiloihin. Kuitenkin pääosa suunnittelu-, valvonta ja projektinjohtotyöstä kohdistuu kerros- ja rivitalojen korjaushankkeisiin. [1.]

Työ tehtiin lähtökohtaisesti LVI-suunnittelijan näkökulmasta ja siinä käydään läpi työhjeistuksena, mitä kannattaa ottaa huomioon ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksessa ja säädössä. Työssä käydään myös läpi, millaisella suunnittelu-työllä voitaisiin päästä hyvään lopputulokseen koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustetun asuinkerrostalon ilmanvaihdon ilmamäärissä ja sitä kautta rakennuksen asuntojen painesuhteissa.

Käytän opinnäytetyöni tukena 50 vuotta sitten rakennettua esimerkkikohtetta. Esimerkkikohteen suunnittelutyö tilattiin Insinööritoimisto Aavat Oy:ltä tutun tilaajan toimesta. Sopivan työkohteen sattuessa kohdalleni opinnäytetyö käynnistyi omasta toivomuksestani, sillä mielestäni olemassa olevien asuinrakennusten paine-eroja, ilmamääriä ja siten korvausilman riittävyyttä ei oteta kunnolla huomioon siinä vaiheessa, kun niihin tehdään ilmanvaihdon korjaus- ja huoltotoimenpiteitä. Olen työurani aikana huomannut, että usein vastaavanlaiset asuinkerrostalokohteet säädetään nuohouksen jälkeen vanhoilla ilmamäärillä, jotka

voivat olla jopa alkuperäiset. Esimerkiksi tässä kohteessa suunnitellut ilmamäärät voisivat olla 50 vuotta vanhat. Ilman ilmamäärien tarkastelua käy usein niin, että koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettu asuinrakennus saadaan kyllä mitattua ja säädettyä näihin vanhoihin suunniteltuihin ilmamääriin, mutta vedosta johtuen asukkaat ennen pitkään sulkevat korvausilmaventtiilit ja säätävät itse poistoilmaventtiileitä.

Opinnäytetyössä keskityttiin juuri koneelliseen poistoilmanvaihtoon ja sen hallintaan, mutta käydään käsittelyosassa myös muut ilmanvaihtotavat läpi. Pysin työssäni jakamaan kirjallisuudesta ja ajankohtaisista alan julkaisuista etsittyä tietoa, jonka itse oman työkokemukseni mukaan koen tarpeelliseksi ottaa huomioon vastaavanlaisissa projekteissa.

Esimerkkikohteessa työn tilaajan ohjeistuksen mukaan asuntokohtaisen paineeron asunnon ja ulkoilman välillä vaipan yli mitattuna tulee olla maksimissaan 15 pascalia urakan jälkeen. Jos kohteessa olisi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, pyrittäisiin pienempään paine-eroon asunnon ja ulkoilman välillä. Tein tutkimustyönä paine-eromittauksia kohteessa sen suunnitteluvaiheessa ennen ilmanvaihdon parannuskorjausurakkaa sekä lopullisen urakan jälkeen. Siten työssä on nähtävissä urakan ansiosta tapahtunut muutos.

## **2 Ilmanvaihto asuinkerrostalossa**

Ilmanvaihdon tarkoitus on pitää sisäilma puhtaana ja happipitoisena, lisäksi sillä on suuri merkitys ihmisten viihtyvyydelle sisätiloissa. Ilmanvaihdon toimintaperiaate on poistaa sisätiloista kosteutta ja epäpuhtauksia sekä tuoda tilaan puhdasta suodatettua ulkoilmaa. Sisätiloista poistettua ilmaa kutsutaan loogisesti poistoilmaksi ja tilaan tuotua puhdasta suodatettua ilmaa kutsutaan yleensä tuloilmaksi, mutta usein koneellisessa poistoilmajärjestelmässä sekä painovoimaisessa ilmanvaihdossa kuullaan kutsuttavan korvausilmaksi. Epäpuhtauksia voi ilmaantua ulkoilmasta, ihmisten aineen vaihdunnasta, erilaisista toiminnoista, joita sisätiloissa tapahtuu, rakennusmateriaaleista tai maaperästä syntyvänä radonina. [2, s. 21.]

Alimitoitettuna ilmanvaihto aiheuttaa huonoa sisäilmaa ja ylimitoitettuna ilmanvaihto voi aiheuttaa vedon tunnetta. Huono sisäilma voi vaarantaa ihmisen terveyden, joten hyvällä sisäilmalla voidaan vähentää ihmisten sairauksia. Huolehdittaessa riittävästä sisäilmasta voidaan saada suuria taloudellisia säästöjä, koska silloin vältetään ikäviltä sairauksilta ja sairauspoissaoloilta. Ilman sen suurempia sairauksiakin, riittämätön ilmanvaihto aiheuttaa sisätiloissa korkeaa hiilidioksidipitoisuutta, joka taas aiheuttaa ihmisessä tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä, päänsärkyä ja keskittymiskyvyn alenemista. [3, s. 11–12.] Ilmanvaihdolla voidaan myös vaikuttaa tilan lämpötilaan poistamalla liiallista lämpöä, sillä vähimmäisilmanvaihtoa suurempi ilmanvaihto laskee huoneen lämpötiloja [3, s. 12].

Voidaan siis todeta, että ilmanvaihdon suunnittelijalla sekä toteuttajalla on iso vastuu ja vaikutus ihmisten jokapäiväiseen elämään, vaikka sitä ei varmasti tule työssään aina ajatelleeksi.

Kaikilla ilmanvaihtojärjestelmillä on sama tarkoitus, eli aikaisemmin mainittu sisäilman puhtaana pitäminen. Ilmanvaihtojärjestelmiä voidaan nykyaikana jaotella eritavoilla, mutta yleisesti asuinrakennuksissa ne on voitu jakaa kolmeen eri ilmanvaihtotapaan: painovoimaiseen ilmanvaihtoon, koneelliseen poistoilmanvaihtoon sekä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. [4, s. 113.]

## 2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto toimii luonnon sääolojen ja korkeuserojen mukaan, eikä siinä käytetä puhaltimia. Sen toiminta perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötilerojen sekä tuulesta aiheutuvaan ilmanliikkeeseen, ja sitä kutsutaan myös luonnolliseksi ilmanvaihdoksi ja sen voimaa termiseksi paine-eroksi. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa käytettävissä oleva paine-ero voidaan laskea kaavalla (1) käyttämällä hyväksi tiedossa olevia lähtötietoja. [4, s. 114.]

$$\Delta p = \left( \frac{T_{\text{sisäilma}} - T_{\text{ulkoilma}}}{T_{\text{ulkoilma}}} \right) \rho_{\text{sisäilma}} g h \quad (1)$$

$\Delta p$  on tiheyseroista syntyvä paine-ero pascaleina

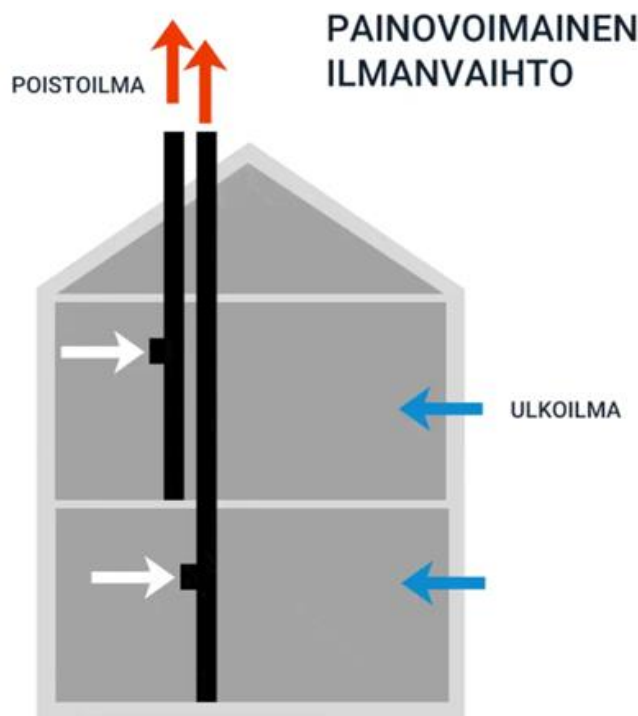
$\rho$  on ilman tiheys  $\text{kg/m}^3$

$g$  on maan vetovoiman kiihtyvyys  $9,81 \text{ m/s}^2$

$h$  on tarkasteltava korkeusero

$T$  on ilman absoluuttinen lämpötila kelvineissä

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ulkoilma, eli korvausilma saadaan rakennuksen ulkoseinän läpi korvausilmaventtiilin kautta. Ilma liikkuu asunnon läpi esimerkiksi vessan poistoilmaventtiilille ja sitä kautta hormia pitkin rakennuksen vesikatolta ulos. Asuinkerrostalojen korkeuden vuoksi painovoimaisella ilmanvaihdolla on paremmat edellytykset toimia kuin esimerkiksi matalissa pientaloissa. [4, s. 114, 120.] Kuvassa 1 on havainnollistettu painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate.



Kuva 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate [5]

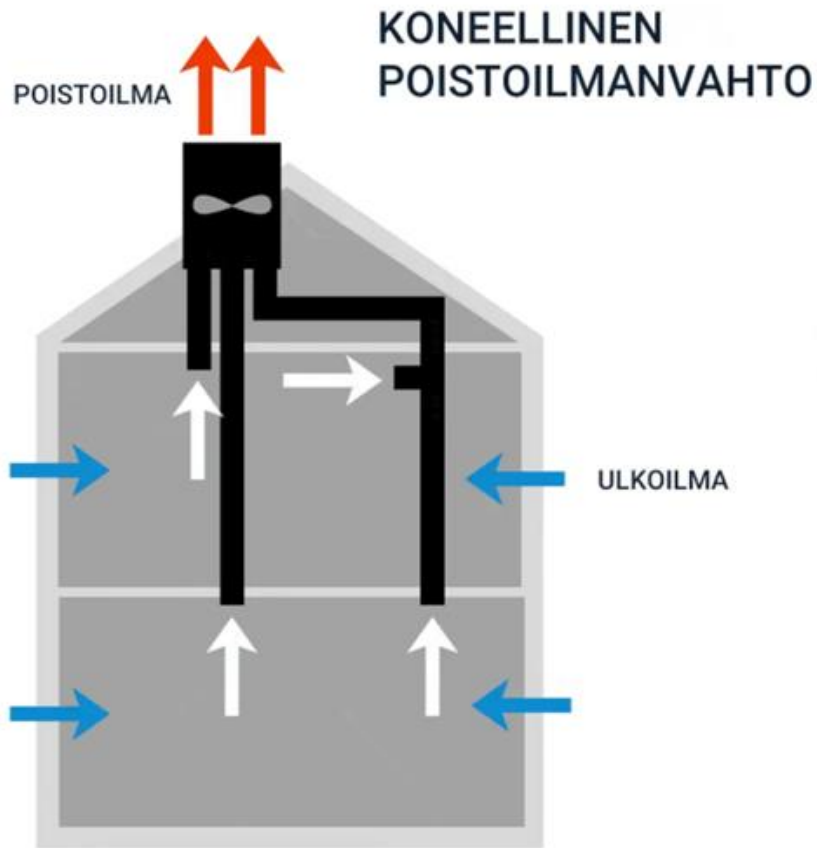
Aina 1900-luvun puoliväliin asti painovoimainen ilmanvaihto oli suomalaisessa kerrostalorakentamisessa tavallisin ilmanvaihtojärjestelmä. 1900-luvun puolivälin jälkeen se väistyi koneellisen ilmanvaihdon tieltä.

Tosin nyt 2020-luvulla on taas suunniteltu kerrostaloja painovoimaisella ilmanvaihdolla. Tätä sisä- ja ulkolämpötilan eroon perustuvaa ilmanvaihtotapaa on modernisoitu siten, että poistoilman hormi lämmitetään sähköistetysti aurinkokennoenergialla ja näin syntyy tarvittava lämpötilaero. Näin ilma liikkuu myös kesällä. [5.] Painovoimaisen ilmanvaihdon suositeltu paine-ero asunnon ja ulkoilman välillä on 0...–5 pascalia. [6, s. 64.]

## 2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

1960-luvun puolivälissä yleistyi koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä (kuva 2), ja se oli vallitseva ilmanvaihtotapa vielä 1970-luvullakin asuinkerrostaloissa. Sitä suunniteltiin aina 1990-luvulle saakka, kunnes se sai väistyä tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän tieltä. Sen toiminta perustuu rakennuksen katolla sijaitsevan puhaltimen, yleensä huippumurin aikaansaamaan alipaineeseen rakennuksen kanavistossa ja venttiileissä. Tuloilma (korvausilma) saadaan painovoimaisen ilmanvaihdon tavoin ulkoseinän läpi ulkoilmasta korvausilma venttiilin läpi. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa säätelijöiden vaikutus on pienempi, ja toisin kuin painovoimaista ilmanvaihtoa voi koneellista poistoilmanvaihtoa tehostaa itse. Kerrostaloissa asuntokohtainen tehostusohjaus tapahtuu useimmiten keittiön liesikuvulta. [4, s. 115, 123.]

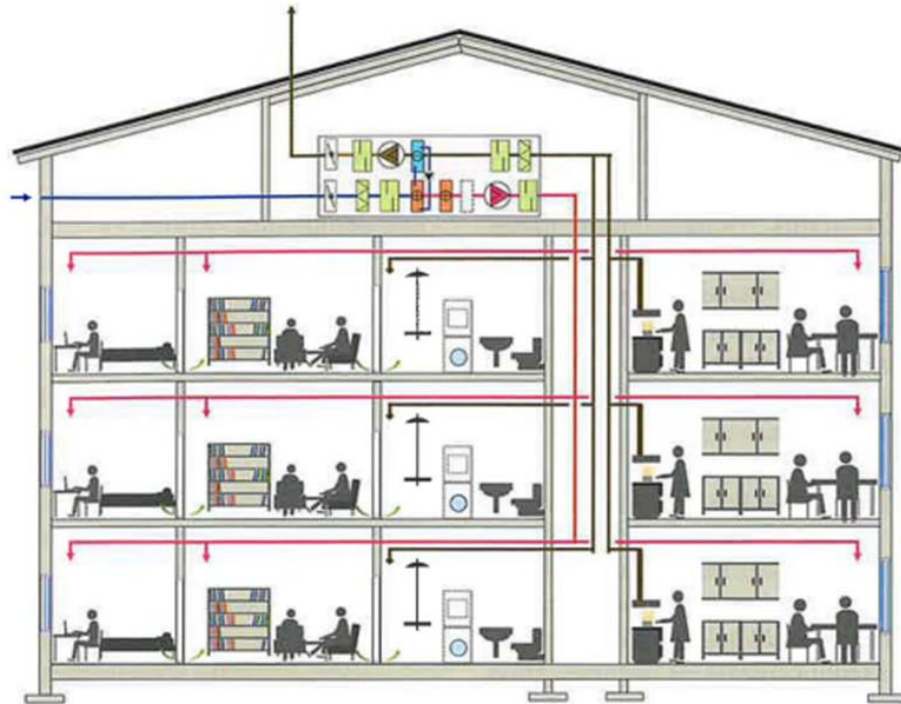
Koneellisen poistoilmanvaihdon ongelmaksi syntyy usein liian suuri alipaine asunnoissa. Suuri alipaine johtuu useimmiten riittämättömästä korvausilmasta. Suuri alipaine vaikuttaa negatiivisesti asumismukavuuteen varsinkin talvella, kun kylmä ilma tulee lämmittämättömänä korvausilmaventtiilistä. Silloin vedon tunne kasvaa. Myös terminen paine-ero aiheuttaa ongelmia. [4, s. 116.] Koneellisen poistoilmanvaihdon suositeltu paine-ero asunnon ja ulkoilman välillä on –5...–20 pascalia. [6, s. 64.]



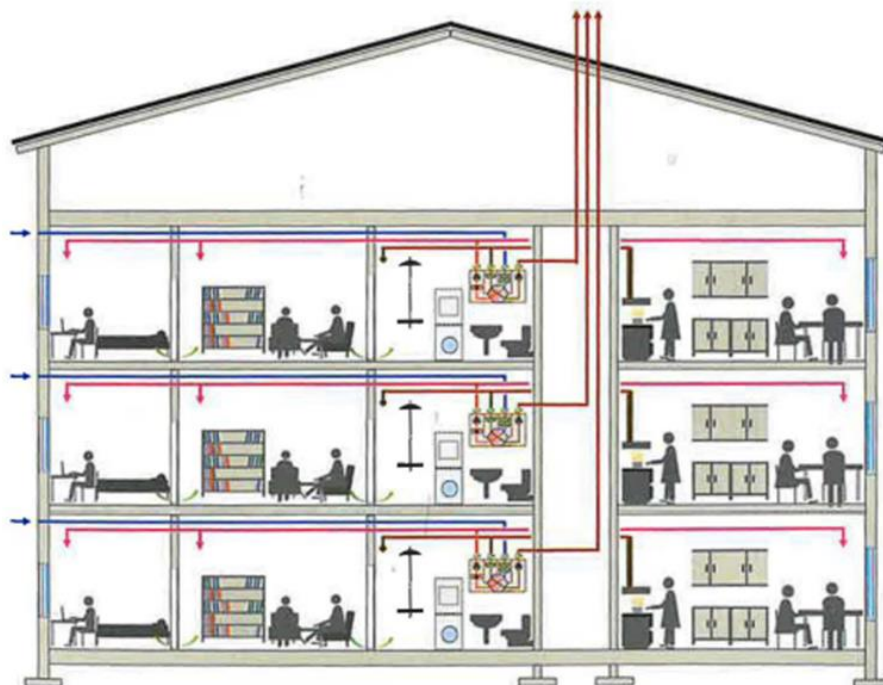
Kuva 2. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate [5]

### 2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää toteutettiin jo 1970-luvun asuinkerrostaloihin keskitettynä. Tämä tarkoittaa, että koko kerrostaloa palvelee keskitetysti vain yksi ilmanvaihtokone, joka sijaitsee kerrostalon ylimmässä kerroksessa, tyypillisesti ullakkotilassa (kuva 3). Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä yleistyi kerrostalotuotannossa kuitenkin vasta 1990-luvulla, jolloin sitä alettiin toteuttaa myös hajautettuna (kuva 4), eli asuntokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla. [4, s. 123.]



Kuva 3. Keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa kone sijaitsee rakennuksen ullakolla [4, s. 124]



Kuva 4. Hajautettu tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa jokaisessa asunnossa on oma ilmanvaihtokone [4, s. 125]

Verrattuna koneelliseen poisto- ja painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän suurimpana erona on, että kaikki ilma tuodaan asuntoihin koneen sisällä suodatettuna ja koneelta puhallettuna. Näin kerrostalojen ulkovaipasta on voitu tehdä tiivis, ilman ylimääräisiä aukkoja vai-passa, joista järjestelmä saisi korvausilmaa. Lisäksi ilmamäärien säätäminen on paljon paremmin hallittavissa, koska sääolot eivät vaikuta niihin. [7, s. 216–218.]

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tuloilman lämmitys hoidetaan ilmanvaihtokoneen sisällä. Sitä varten järjestelmään on rakennettu lämmöntalteenotolaite (LTO-laite), jonka kautta kulkeva tuloilma kerää poistoilmasta saadun lämpöenergian itseensä. Kylmimpinä aikoina LTO-laite ei riitä kokonaisuudessa tuloilman lämmittämiseen, vaan sitä lämmitetään vielä erillisellä jälkilämmityspatterilla. [7, s. 216–218.] Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä suositeltu paine-ero asunnon ja ulkoilman välillä on 0...–2 pascalia [6, s. 64].

### **3 Kohde-esittely**

#### **3.1 Yleisesti**

Opinnäytetyön tukena toimii Vantaalla sijaitseva esimerkkikohde. Kohde on kahteen rappukäytävään jakautuva vuonna 1971 valmistunut koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettu asuinkerrostalo. Kokonaisuus pitää sisällään 20 asuntoa, joista puolet on 3H+K ja puolet 5H+K.

Tilaaajan toiveena oli, että kohteeseen tehtäisiin poistoilmapuhaltimen uusinta, ilmanvaihtokanavien nuohous sekä ilmamäärien mittaus ja säätö. Kohteessa asuttaisiin töiden ajan, joten työt pyritään sovittamaan siten, että asuntokohtainen haitta olisi mahdollisimman pieni.

Kohteeseen tehtiin ilmanvaihdon parannushankkeen suunnitteluun liittyen kartoituskäynti, jossa kartoitettiin huoneistojen ja yleisten tilojen ilmanvaihdon ja

sen laitteiston nykytilanne. Kohteesta ei löytynyt vanhoja ilmanvaihdon piirustuksia, mutta kohteen pohjakuvat löytyivät. Pohjakuvat olivat muuten tyhjä, mutta niihin oli merkitty asuntojen korvausilmareitit. Pohjakuvien mukaisten korvausilmareittien todenperäisyys tarkastettiin kartoituskerroksella. Tulostettuihin tyhjiin pohjakuviin mallinnettiin kiinteistön ilmanvaihto perinteisesti lyijykynällä piirtäen. Kartoituskäynnistä tiedotettiin asukkaita kaksi viikkoa aikaisemmin.

### 3.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto, joka on toteutettu keskitetyllä yhteiskanavapoistolla. Puhallinkammio on sijoitettu keskelle rakennusta välikattotiilaan. Kanavisto kulkee puhaltimelta rakennuksen vesikatolla vaakakanavina koojalaatikoille, joista kanavat kulkevat pystysuorina asuinkerroksien läpi kellariin. Ilmanvaihtokoneen vaikutusalueena ovat asunnot ja kellarin yleiset tilat. Rappukäytävien ilmanvaihto tapahtuu painovoimaisesti. Kuvassa 5 on nähtävissä puhaltimelta lähtevät vaakakanavat. Niiden lisäksi kuvassa näkyy alkupeäinen vuodelta 1971 oleva hihnavetoinen poistoilmapuhallin. Hihnavetoinen poistoilmakone toimii 2-nopeusohjauksella, jonka käyntiä ohjattiin aikaohjelmalla.



Kuva 5. Hihnavetoinen poistoilmapuhallin [8]

50 vuotta vanhan puhaltimen kunto oli havaittu jo kaksi vuotta sitten tehdyissä kuntoarvioissa välttäväksi, mikä perustui muun muassa puhaltimesta aiheutuvaan laakeriperäisen meluun, siipipyörän likaisuuteen, sekä kammioluukkujen tiivisteiden ja lukitussalpojen puutteellisuuteen.

Koska kyseessä on 50 vuotta vanha puhallin, voidaan todeta, että se on palvelut jo vähintään teknisen käyttöikänsä verran, joka ilmanvaihtokoneilla on usein lähteestä riippuen 20–30 vuotta. Tästä johtuen vanha kammiopuhallin suunniteltiin vaihdettavaksi uusimmat ekosuunnitteludirektiivit täyttäväksi EC-huippumuriksi, jota voitaisiin säätövaiheessa säätää portaattomasti ja sillä tavoin voidaan säätää rakennus energiatehokkaammaksi ja vedottomammaksi kuin vanhalla kaksinopeushihnapuhaltimella. EC on lyhenne sanoista *electronically commutated*, eli elektronisesti kommutoitu. EC-puhaltimen suoravetomoottori kuluttaa vain noin 35 % perinteisen puhaltimen sähkökulutuksesta. [9.]

Huippumuri sovitettaisiin nykyisen kammiopuhaltimen läpivientiin tarvittavine pellityksineen ja vedeneristystöineen.

Asunnoissa ja yleisissä tiloissa ilmanvaihdon päätelaitteina toimivat kartiomalliset venttiilit (kuva 6). Kuntoarvion perusteella suuri osa poistoilmaventtiileistä on saneerauskunnossa (mm. kaulustiivisteitä puuttuu). Vuosien saatossa huoneistoremonttien yhteydessä ja muistakin syistä venttiileitä on vaihdettu, joten rakennuksessa oli erimallisia ja -merkkisiä venttiileitä lähes joka asunnossa. Enimmäkseen venttiilit olivat kuvan 6 mallisia, mutta osaan asunnoista oli vaihdettu myös uudempia KSO-poistoilmaventtiileitä.



Kuva 6. Vanha kartiomallinen poistoilmaventtiili [8]

Tästä syystä kiinteistön poistoilmaventtiilit määriteltiin vaihdettavaksi. Uusiksi venttiileiksi valikoitui Fläkt Woodsin KSO-poistoilmaventtiili (kuva 7), koska siinä on alhainen äänitaso, hyvät äänenvaimennusominaisuudet ja se on nopea asentaa. [10.]



Kuva 7. Uusi Fläkt Woodsin KSO-venttiili [10]

Korvausilman tuonti asuntokohtaisesti tapahtuu ikkunakarmiventtiilein (kuva 8). Nykyiset korvausilmaventtiilit määritettiin puhdistettaviksi ja niiden suodattimet vaihdettaviksi.



Kuva 8. Ikkunakarmin asennettu korvausilmaventtiili [8]

## **4 Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus**

### **4.1 Puhdistustyö**

Ilmanvaihdon puhdistusväli voidaan määritellä tapauskohtaisesti kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmän todellisen puhdistustarpeen mukaan. Asuinrakennuksissa on suositeltavaa tehdä puhdistustyö noin kymmenen vuoden välein. [11.]

Esimerkkikohteen ilmanvaihto oli edellisen kerran nuohottu 13 vuotta sitten ja kartoituskäynnin yhteydessä havaittiin kanaviston likaisuus (kuva 9). Näistä syistä koko ilmanvaihtojärjestelmä nuohottiin ja kammiot puhdistettiin.



Kuva 9. Yksi kohteen poistoilmakanavista kuvattuna ennen puhdistusta [8]

#### 4.1.1 Kanavistoon kertyvä lika

Poistoilmajärjestelmässä venttiilit ja kanavisto likaantuvat kaikkein nopeimmin kaikista ilmanvaihtojärjestelmistä. Sinne kertyvä pöly on yleensä peräisin sisäilmasta. Poistoilmajärjestelmän puhdistuksen pääasiallinen syy on paloturvallisuus. Ilmanvaihtokanavistojen pinnoille muodostuu paljon erilaisia likoja, ja niiden puhdistamiseen on erilaisia puhdistusmenetelmiä. Asuinkerrostalon poistoilmanvaihdon kanavistojen pinnoilla esiintyviä likoja ovat yleensä pöly, öljy, rasva ja erilaiset roskat. [3, s. 59, 35–36, 48–49.]

#### 4.1.2 Alipaineistus

Puhdistustyötä tehdessä täytyy varmistua riittävästä kanaviston alipaineistuksesta, eli ilman pitää liikkua tarpeeksi nopeasti ulospäin kanavistossa, jotta kanavistosta tulee varmasti tarpeeksi puhdas sitä harjattaessa ja jotta kanavistosta irrotettu epäpuhtaus ei päädy sisäilmaan tai kanaviston muuhun osaan. Kanaviston alipaineistus esimerkkikohteessa pystyttiin tuottamaan järjestelmän vanhalla kuvassa 5 esitetyllä poistoilmapuhaltimella. Alipaineistusta ei tehdä

uutta EC-puhallinta vasten. Huippuimuria alipaineistajana käytettäessä jäteilma täytyisi suodattaa. [3, s. 63–64.]

Koneellista poistoilmanvaihtoa puhdistettaessa, kanaviston alipaineistuksen kuljetusnopeus olisi hyvä olla vähintään 13 m/s. Taulukossa 1 on esitetty alipaineistuksen tilavuusvirtoja, joihin olisi hyvä päästä ilmanvaihdon puhdistustyötä tehtäessä. [3, s. 63–64.]

Taulukko 1. Vaadittava ilman tilavuusvirta ( $q$ ) kanavan koon ( $D$ ) mukaan, silloin kun ilman nopeus on kanavassa 13 m/s [3, s. 49]

D (mm)	D (m)	q (m <sup>3</sup> /s)
<b>100</b>	0,1	0,10
<b>125</b>	0,125	0,16
<b>160</b>	0,16	0,26
<b>200</b>	0,2	0,41
<b>250</b>	0,25	0,64
<b>315</b>	0,315	1,01
<b>400</b>	0,4	1,63
<b>500</b>	0,5	2,55
<b>630</b>	0,63	4,05

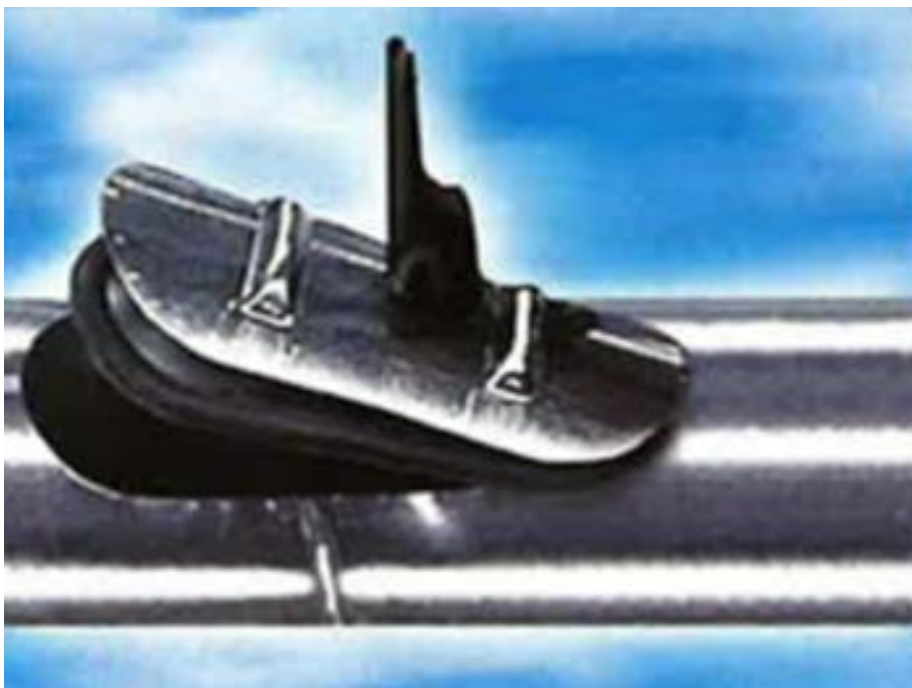
### 4.1.3 Puhdistustyön välineet

Pölyn irrottamiseen riittää yleensä kanaviston harjaus pehmeällä harjalla, mutta rasvan irrottamiseen tarvitaan kovempia harjaksia sekä puhdistusainetta. Asuin-kerrostalon ilmanvaihdosta puhuttaessa kanaviston pinnoilla esiintyy pääasiallisesti pölyä, joten metalliharjalle harvoin on käyttöä. Pyöreissä kanavissa harja kannattaa valita 5–200 millimetriä suuremmaksi kuin kanavan halkaisija. Näin harja harjaa varmasti kaikki kanavan pinnat. [3, s. 59, 35–36, 48–49.] Taulukossa 2 on esitetty, kuinka valita puhdistusharja kanaviston halkaisijan mukaan.

Taulukko 2. Puhdistusharjan koko kanavan halkaisijan mukaan [3, s. 49]

KANAVAN HALKAISIJA (MM)	HARJAN HALKAISIJA (MM)
<b>100</b>	105–120
<b>125</b>	130–150
<b>160</b>	170–190
<b>200</b>	220–240
<b>250</b>	270–290
<b>315</b>	335–400
<b>400</b>	420–500
<b>500</b>	520–600
<b>630</b>	650–800
<b>800</b>	830–1000

Jos kanaviston puhdistus ei onnistu nykyisillä puhdistusluukuilla, urakoitsijan on hyvä rakentaa itse uusia jälkiasenteisia puhdistusluukkuja (kuva 10). Kanavaan leikatun aukon täytyy olla hieman pienempi kuin itse puhdistusluukku, jotta luukku asentuu aukkoon tiiviisti. Näin ei tule turhia painehäviöitä. Lisättävät puhdistusluukut tulisi merkitä suunnitelmiin ja toimittaa suunnittelijalle, joka voi lisätä ne sitten virallisiin suunnitelmiin. [3, s. 53–54.]



Kuva 10. Kanavistoon jälkiasennettu puhdistusluukku [3, s. 54]

#### 4.1.4 Puhdistustyön tarkastus

Esimerkkikohteessa ilmanvaihdon puhdistus vaadittiin laatuluokkaan P2, koska kyseessä on poistoilmanvaihto, joka likaantuu käytännössä heti puhdistuksen jälkeen. Sisäilmastoluokitus 2018:n mukaan laatuluokalla P2 tarkoitetaan sitä, että kanaviston pölykertymä ei saa olla yli  $5 \text{ g/m}^2$ . Jos laatuluokka taas olisi määriteltävä puhtaampaan luokkaan P1, se tarkoittaisi, että pölykertymä saisi olla maksimissaan  $2 \text{ g/m}^2$ . P1-luokkaa käytetään tuloilmakanaviston puhtausvaatimuksena. [12, s. 17.]

Yleisesti puhdistustyö tarkastetaan yhdessä tilaajan edustajan kanssa. Puhdistus tarkistetaan silmämääräisesti ja pistotarkistusluonteisesti, joten tärkeämpi osa onnistuneen lopputuloksen todentamista on riittävä raportointi. Puhdistustyöstä vaaditaan pöytäkirja, jossa puhdistustyön tekijä on kuvannut laajasti kanaviston ennen puhdistusta ja jälkeen puhdistuksen. Puhdistuspöytäkirjan kuviin merkitään, mistä kuva on otettu ja milloin. Näin voidaan paremmin luottaa siihen, että työ on onnistunut. [3, s. 79–80.]

## 4.2 Ilmanvaihdon mittaus ja säätötyö

Kun likaa aiheuttavat rakennustyöt on saatettu päätökseen, tehdään ilmamäärien säätötyö. Esimerkkikohteessa ilmanvaihdon toimivuuden ja säädettävyyden kannalta oli tärkeää, että kaikki venttiilit on vaihdettu uusiin KSO-venttiileihin kanaviston puhdistuksen yhteydessä ja korvausilmaventtiilit on puhdistettu, niiden toiminta on tarkastettu ja venttiilit on jätetty auki. Ilmavirtojen perussäätö tehdään yleisimmän käyttötilanteen mukaisella mitoitusilmavirralla, jota kuullaan usein kutsuttavan myös ”kotona”-asennoksi. [13, s. 1.]

Venttiileiden ilmamäärät säädetään suunnitelmien mukaisiin arvoihin ja säätötyön jälkeen venttiilit lukitaan. Mittausta tehdessä on huolehdittava, että ulko- ja sisäovien ja ikkunoiden on oltava suljettuina mittauksen ajan. Mittaukset suoritetaan valmistajan hyväksymällä kalibroidulla mittarilla ja todistus kalibroinnista on liitettävä mittauspöytäkirjan liitteeksi. [13, s. 33–34.]

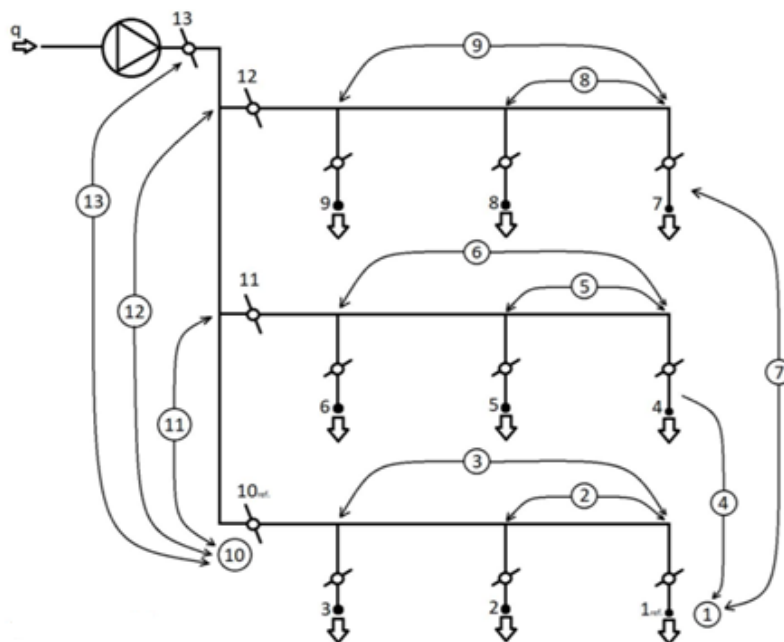
Ilmanvaihdon säätötyöhön on käytännössä olemassa kaksi tapaa, esisäätömenetelmä ja suhteellinen säätö. Esisäätömenetelmässä venttiilit ja säätöelimet säädetään painehäviö-laskelmassa saatuihin arvoihin. Sen ensisijaisena kriteerinä pidetään äänitason hallintaa, mutta menetelmää käytetään ensisijaisesti uudisrakennuksissa, joten esimerkkikohteessa suositetaan suhteellisen säädön menetelmää. [14, s. 183.]

#### 4.2.1 Suhteellisen säädön menetelmä

Suhteellisella säädöllä tarkoitetaan sitä, että jokaisessa venttiilissä liikkuisi prosentuaalisesti saman verran ilmaa suhteessa johonkin toiseen venttiiliin. Suhteellisen säädön tavoitteena on saada kaikki venttiilit mahdollisimman auki ja sitä kautta ilmanvaihtokone pyörimään mahdollisimman pienellä teholla ja energiatehokkaasti. [15, s. 2.]

Säätötyössä jokainen venttiili säädetään samaan suhdelukuun suunnitellun ilmamäärän ja mitatun ilmamäärän suhteen. Venttiiliä, joka määrittää suhdeluvun, kutsutaan referenssiventtiiliksi. Referenssiventtiiliin löytää mittaamalla muutamana poistoilmakanaviston kauimmaisen venttiiliin ja vertaamalla niiden mitattua ilmamäärää jaettuna suunnitelmissa vaaditulla ilmamäärällä. Heikoimman suhdeluvun saanut on heikoin venttiili, eli referenssiventtiili. Koska referenssiventtiilille on koko kanaviston vaikein saada siihen suunniteltu ilmamäärä, se jää eniten auki suhteessa muihin venttiileihin. [15, s. 5.] Esimerkiksi KSO-venttiilin suurin mahdollinen auki-asento olisi säätöoppaan mukaan 10 [10].

Säädön tarkoituksena olisi saada kanaviston kaikki loputkin venttiilit tuohon referenssiventtiiliin suhdelukuun venttiileitä säätämällä. Esimerkiksi asuinkerrosta-lokohdetta säädettäessä, jos kylpyhuoneen poistoilmaventtiilistä on suunniteltu lähteväksi  $12 \text{ dm}^3/\text{s}$  poistoilmaa ja sieltä mitataan  $9 \text{ dm}^3/\text{s}$  ilmanvaihtokoneen pyöriessä esimerkiksi 40 %:n nopeudella. Suhdeluku kylpyhuoneen poistoilmaventtiilille on tällöin  $9/12 = 0,75$ , joka kerrottuna 100:lla tarkoittaa 75 %:a. Näin seuraava venttiili olisi säädettävä myös suhdelukuun 0,75. Jokaisen venttiiliin välissä on käytävä referenssiventtiilillä mittaamassa uusi suhdeluku, jota käytetään aina seuraavan venttiiliin säätämiseen. [15, s. 5.] Kuvassa 11 on havainnollistettu suhteellinen säätö. Huomioitavaa kuvan ja esimerkkikohteen välillä on se, että esimerkkikohteessa ei ole kuvassa numeroilla 10, 11 ja 12 merkittynä olevia säätöpeltejä. Kuva kuitenkin hyvin havainnollistaa säätöpeltien säädön suhteellisen säädön menetelmässä.



Kuva 11. Suhteellisen säädön periaate, jossa numerolla 1 on referenssiventtiili. Nuolet kuvastavat, kuinka referenssiventtiililtä mennään seuraavalle venttiilille. [3, s. 122.]

Kun venttiilit on säädetty samaan suhdelukuun, voidaan ilmanvaihtokoneen pyörimisnopeutta muuttaa siten, että referenssiventtiiliin saadaan suunnitellun ilmamäärän ja mitatun ilmamäärän suhdeluvuksi 1, eli 100 %. Näin oikein säädettyinä muutkin venttiilit seuraavat tuota referenssiventtiiliä ja niidenkin suhdeluvuksi tulee tuo 1. Tietenkin pieniä poikkeamia mittaustuloksista löytyy, mutta sitä varten on olemassa aikaisemmin mainittu mittausten sallittu poikkeama.

Koneen pyörimisnopeuden muuttamisen jälkeen voidaan ilmamäärät mitata jokaisesta venttiilistä, lukita venttiilit ja kirjata tulokset mittauspöytäkirjaan. Suuri etu suhteellisessa säädössä on se, että lopulta ilmanvaihdon säädön jälkeen asukkaita voivat häiritä esimerkiksi ilmanvaihtokoneesta lähtevät äänet, silloin koneen pyörimisnopeutta voidaan vähentää yhteistyössä suunnittelijan kanssa. Tämä on esimerkkikohteessa mahdollista uuden portaattoman pyörimisnopeuden säädön omaavan EC-huippuimurin ansiosta. Näin ilmanvaihto muuttuu samassa suhteessa jokaisessa asunnossa, ja jokaisessa venttiilissä, ja uudet ilmamäärät ovat laskettavissa.

Esimerkkikohteen uuden EC-huippuimurin on suunniteltu toimivan vakio- painesäätimellä, joten sen poistoilmapuhaltimen kierrosnopeutta säädetään vakio- paineohjauksella. Tämä käytännössä mahdollistaa sen, että säädön jälkeen il- mamäärät eivät muutu asunnoissa, vaikka toiset asukkaat säätäisivät esimer- kiksi vedon tunteesta johtuen omia poistoilmaventtiileitään. Toisin sanoen kone reagoi itse näihin muutoksiin säätäen automaattisesti huippuimurin tehoa ja pi- täen paineen kanavistossa samana. [16.]

#### 4.2.2 Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjaan kirjataan mittauksen suorittajan nimi ja käytetty mittari (ka- librintitodistus). Mittaustuloksista laaditaan pääte-elimistä huoneittain taulukko, josta käyvät ilmi

- ulkoilmaolosuhteet (lämpötila, tuuli)
- pääte-elimien tyyppi
- suunniteltu ilmamäärä (mitoitus) + esimerkkihuoneistosta pakkasra- joitus, mitoitus ja tehostus-ilmamäärät
- säädetty puhallinnopeus, sekä mahdollinen vakio- paine asetus
- säädetty ilmamäärä (mitoitus) + esimerkkihuoneistosta pakkasrajoit- tus, mitoitus ja tehostus-ilmamäärät
- poikkeama % suunniteltuun ilmamäärään
- mittauspaine-ero
- paine-eromittaus rakennuksen vaipan yli huoneistoittain
- kokonaisilmamäärät per poistopuhallin (pakkasrajoitus, mitoitus, te- hostus).

Mittausta ja säätöä suoritettaessa on pyrittävä siihen, että hyväksyttävät poi- keamat suunnitelluista arvoista saavat olla huone- tai venttiilikohtaisesti maksi- missaan  $\pm 20\%$ , kuitenkin siten, että poikkeama venttiilikohtaisesti voi aina olla vähintään  $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Poikkeama saisi olla asuntokohtaisesti venttiileiden mittaus- tulokset yhteenlaskettuna  $\pm 10\%$ . Tuota  $\pm 10\%$ :n poikkeamaa tavoitellaan myös koko kiinteistön kaikkien venttiilien yhteenlasketussa tuloksessa. [17, s. 6–7.]

Monesti mittauksissa voi olla vaikeuksia päästä suunnittelijan laatimiin ilmamääriin erinäisistä syistä johtuen. Tässä tapauksessa on tärkeää, että mittaaja ottaa yhteyttä suunnittelijaan, koska yleensä ilmamäärille on aina jotain tehtävissä.

## 5 Ilmanvaihdon lähtötasomittaukset kohteessa

Ennen kuin esimerkkikohteeseen tehtiin mitään parannuskorjauksia, mittasin tutkimustyönä kohdekartoituksen yhteydessä kiinteistön ilmanvaihdon lähtötilanteen paine-eroja. Kohteeseen tehdyt mittaukset tein pistokokein kolmeen eri asuntoon. Asunnot valikoituivat ensisijaisesti asukkaiden toiveista tutkia asuntojen alipaineisuutta vedon tunteen vuoksi. Mittaukset tein kuitenkin niin, että sain mittaustulokset rakennuksen alimmasta ja ylimmästä kerroksesta.

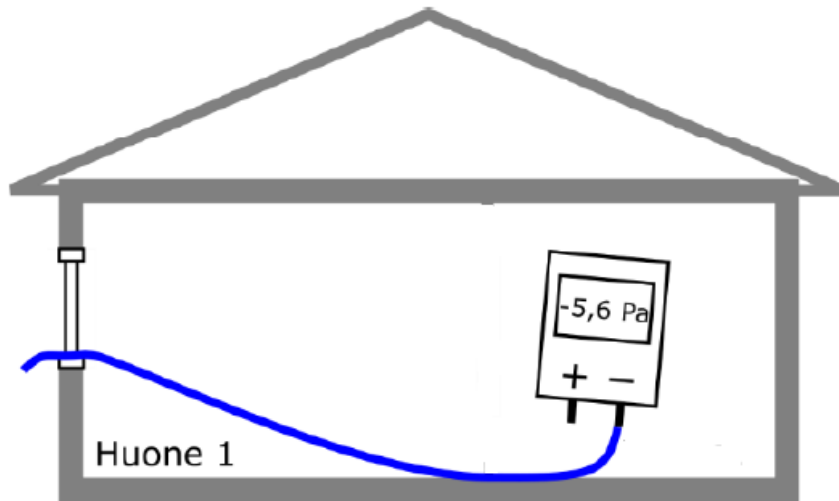
Mittauksissa tarkastelin asuntojen lähtötason paine-eroa vaipan yli ulkoilmaan, minkä avulla sain tietoa korvausilman riittävydestä. Lisäksi tarkastelin yksittäisten poistoilmaventtiilien ilmamääriä kahden eri asunnon keittiöissä saadakseni tietoa asuntojen ilman vaihtuvuuksien eroista.

Kohteeseen jaetussa tiedotteessa pyydettiin asukkaita pitämään ikkunat ja parvekkeen ovet kiinni mittauksien ajan, koska ulkoilman sisäänoton tasapaino asunnossa muuttuu, kun jossain toisessa tilassa avataan ikkuna. Tällöin alipaine häviää ja ulkoilman (korvausilman) virtaus heikkenee asunnoissa, joissa ikkuna ei ole auki. [18.]

### 5.1 Mittaukset

#### 5.1.1 Vaipan yli

Paine-erot mittasin hetkellisen mittauksen menetelmällä (kuva 12) kohde-esitteen yhteydessä kuvassa 5 esiintyvän vanhan hihnavetoisen poistokoneen pyöriessä täydellä nopeudellaan. Hetkellisellä paine-eromittauksella pystyin määrittämään mitattavan tilan ja ulkoilman paine-eroa mittaushetkellä ja toteamaan suuntaa antavasti, onko asunnoissa liiallista alipainetta. [19, s. 23.]



Kuva 12. Hetkellinen mittaus [19, s. 25]

Ensimmäiseksi mittauksia tehdessä tarkistin, että asunnon korvausilmaventtiilit olivat auki ja ikkunat kiinni. Huonetilan ja ulkoilman välisen paine-eron mittasin parvekkeen oven alanurkasta kalibroidulla Pressovac PHM-V1 -ilmavirtamittarilla (kuva 13), jonka miinusnapaan oli asennettuna kumiletku ja kumiletkuun kuparikapilaariputki, joka asetettiin oven ja ovenkarmin väliin.



Kuva 13. Pressovac PHM-V1 -ilmavirtamittari. Kuvassa on nähtävissä miinusmerkkinen paine-ero (Pa) vaipan yli. Muut näytössä olevat tiedot eivät liity tähän mittaukseen. [8.]

### 5.1.2 Keittiöiden venttiilien mittaus

Keittiöiden poistoilmaventtiileitä mitattaessa täytyi selvittää venttiilin malli. Kokeuksesta osasin erottaa, mikä venttiili oli kyseessä. Säätotulkilla (kuva 14) pystyin katsomaan venttiin senhetkisen asennon. Asento määrittää venttiin k-kertoimen. K-kertoimen voi löytää venttiin valmistajan säätöoppaasta [10] tai mahdollisesti ilmavirtamittarista, kuten tässä Pressovac PHM-V1:een on saatettu tallentaa se.



Kuva 14. Säätotulkki, jolla mitataan venttiin säätöasento, jolla pystyy selvittämään k-kertoimen [8]

K-kertoimella sekä paine-ero mittauksella saadaan venttiilillä kulkeva ilmamäärä tietoon. Kaava ilmamäärän laskemiselle on seuraavanlainen [13, s. 14]:

$$qv = k \times \sqrt{\Delta p_m} \quad (2)$$

$qv$	on ilmamäärä $\text{dm}^3/\text{s}$
$k$	on k-kerroin
$\sqrt{\Delta p_m}$	on mitattu paine-ero pascaleina

Pressovac-mittarin etuna on, että sinne on tallennettu lähes kaikki yleiset ilmanvaihtoventtiilit ja niiden asentojen k-arvot. Siten venttiilin paine-eroa mitattaessa se osaa suoraan kertoa ilmamäärän litroina sekunnissa ilman, että ilmamäärän mittaajan täytyy laskea erillisellä laskimella tuo ilmamäärän kaavan tulos. [20.]

## 5.2 Mittaustulokset

Kuten aikaisemmin mainitsin, mittaustulosteni tarkoituksena oli tarkastella suuntaa antavasti rakennuksen ilmanvaihdon lähtötilannetta ennen siihen tehtäviä parannustoita sekä ottaa kantaa asuntojen korvausilman riittävyyteen.

Kuvassa 15 esitetyt mittaustulokset osoittavat, että jokaisessa tarkasteltavassa asunnossa (D62, E73 ja E66) on alipainetta ulkoilmaan nähden 15 pascalia tai enemmän.

### MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittaja: Hermann Rimpi  
Mittalaite: Pressovac PHM-V1  
Kalibroitu: 28.9.2017

Asiakas: Kerrostalo Vantaa

Kohde: Kerrostalo Vantaa

Pvm: 20.9.2021

Sää olosuhteet mittaushetkellä:

Koneen käyntinopeus mittaushetkellä: 100%

Paine-ero mittaus:

Asunto	Paine-ero vaipan yli (Pa)
D62	-18
E73	-20
E66	-15

	SÄÄ	TUULI	SADE	ILMANPAIN
09	6°	3 m/s	0.0 mm	1024 hpa
10	7°	3 m/s	0.0 mm	1024 hpa
11	7°	3 m/s	0.0 mm	1024 hpa

Asunto	Huone	Venttiili	Koko	Asento	K-Arvo	Paine (Pa)	Mitattu (dm <sup>3</sup> /s)
D62	Keittiö	KSO	100	1	1,98	47	-13,6
E66	Keittiö	KSO	100	1	1,98	76	-17,3

Kuva 15. Mittauspöytäkirja tarkastusmittaustuloksista

Asunnot D62 ja E66, joista mittasin keittiöiden poistoilmamäärän, sijaitsevat eri rapuissa. Huomioitavaa on, että molempien asuntojen keittiöissä oli valmiiksi

KSO-mallinen venttiili lähtötasoa mitattaessa. Tuloksista kohdasta Mitattu ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) voi lukea, että näiden kahden asunnon tulokset poikkesivat tilavuusvirraltaan noin  $4 \text{ dm}^3/\text{s}$  toisistaan. Kohdasta Paine (Pa) voi lukea venttiileiden paine-eron, joka asunnon E66 keittiön poistoilmaventtiilissä (76 Pa) on paljon korkeampi kuin asunnon D62 (47 Pa) keittiössä, silti venttiilit ovat samassa asennossa. Tästä pystyttiin jo pääättelemään alkutilanteen ilmanvaihdon epätasapaino.

Pressovac-mittari, jolla mittauksia tehtiin, oli lainattu mittauksia varten Metropolia ammattikorkeakoululta. Vaikka mittauspöytäkirjaan merkitystä kalibrointipäivämäärästä on kulunut ammattikäyttöön kohtuuttoman paljon aikaa, kyseisen mittarin käyttötunnit ovat hyvin minimaaliset ja siten sitä voidaan pitää luotettavana näihin mittauksiin.

## 6 Kohteen IV-suunnittelu

Kartoituskierroksella tehtyjen lyjykynäpiirrosten pohjalta mallinnettiin MagiCad-ohjelmistolla vanhojen pohjakuvien päälle uudet ilmanvaihtokuvat kohteen ilmanvaihtourakoitsijalle. Koska ilmanvaihtokanavat kulkevat pystysuorasti kiinteistön katolla sijaitsevilta kokoojalaatikoilta asuntojen välistä kellariin ja asunnot ovat samankaltaisia, ilmanvaihtoreittien ja venttiilien sijainnin lopullinen mallinnus urakoitsijalle luovutettaviin suunnitelmiin kävi helposti.

### 6.1 Ilmanvaihdon ilmamäärät

Määrittävänä tekijänä ilmamäärien laskennallisessa suunnittelussa oli aikaisemmin mainittu ohjeistus siitä, että asuntokohtaisen paine-eron vaipan yli tulee olla maksimissaan 15 pascalia. Uusimmassa Talotekniikkainfon julkaisemassa Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-oppaassa ohjeistetaan mitoittamaan korvausilmareitit siten, että mitoitusilmavirralla niiden painehäviö on enintään 10 pascalia. [21, s. 16.] Esimerkkikohde on kuitenkin vanha rakennus vanhoilla korvausilmaventtiileillä, joten tilaajan suosima maksimissaan 15 pascalin alipaine asuntokohtaisesti on ihan perusteltu.

Esimerkkikohteeseen määriteltiin kolme eri ilmamäärää, jotka ovat *pakkasraja*, *kotona* ja *tehostus*. Mitoittavana tekijänä mittaustyössä sekä suunnitelmissa toimivat kotona-asetuksen ilmamäärät. Mittauspöytäkirjoihin pakkasrajan ja tehostuksen ilmamäärät mitataan vain yksittäisestä huoneistosta pistomittauksena.

### 6.1.1 Korvausilma

Lähtötasojen mittaustuloksieni perusteella asuntojen alipaine oli hieman liian suuri. Asuinkerrostaloissa koneellinen poistoilmanvaihto tuottaa rakennukseen usein liian suuren alipaineen, jos korvausilmaventtiileitä ei ole riittävästi tai ne ovat suljettuna. Karmiventtiilien (kuten kuvassa 8) tyypillinen mitoitusilmavirta on enintään 8 dm<sup>3</sup>/s, silloinkin yli 15 pascalin paine-erolla. Pienien asuntojen kohdalla se tarkoittaa usein sitä, että sinne on ikkunoiden vähäisen olemassaolon takia mahdollista saada vain tuo 8 dm<sup>3</sup>/s korvausilmaa, minkä takia niissä esiintyy liiallista alipaineisuutta tai korvausilma vuotaa vääristä paikoista kuten porraskäytävästä. Suurissa asunnoissa ilmanvaihdon mitoittaminen on helpompaa, koska ikkunoita, joihin on mahdollista asentaa karmiventtiili, on paljon. [19, s. 16–17.]

Kartoituskäynnillä huomasin korvausilman karmiventtiileitä olevan asuntojen asuinhuoneissa usein kaksi kappaletta ikkunaa kohden. Karmiventtiilit olivat lyhyitä 400 mm leveitä Air-in-malleja. Air-in-mitoitustaulukon (taulukko 3) mukaan 400 mm leveän karmiventtiilin mitoitusilmamäärä vedottomasti olisi 6 dm<sup>3</sup>/s. [22.]

Koska esimerkkikohteen karmiventtiilit ovat vanhoja ja halusin varmistua alhaisesta painetasosta ja sitä kautta vedottomuudesta asunnoissa, olin arvioinut omissa laskelmissani karmiventtiilille mitoitusilmavirtaa 5 dm<sup>3</sup>/s.

Taulukko 3. Valmistajan antamia mitoitusilmavirtoja karmiventtiileille leveyden mukaan [22]

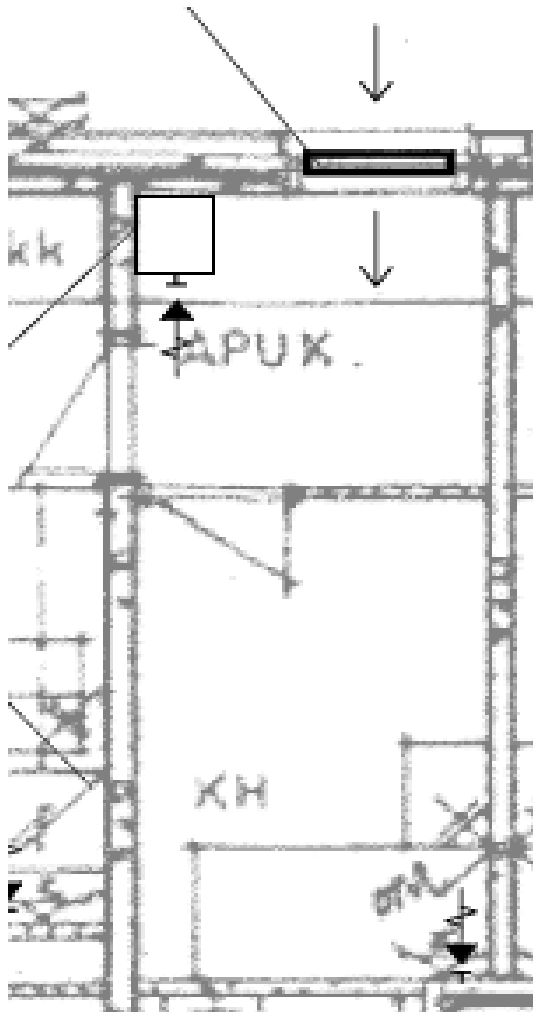
Tuote	Ilmamäärä dm <sup>3</sup> /s (paine 20 P pascalia)	Vedoton il- mamäärä	Äänenvaimen- nus dB	Reikäkoko (mm)
<b>Air-in 400 mm</b>	7	6	49	400x12
<b>Air-in 600 mm</b>	8	7	46	600x12

Kartoituskäynnillä selvisi, että asuntojen apukeittiöiden ikkunan karmiin (kuva 16) olisi mahdollista asentuttaa 600 mm leveä Air-in-karmiventtiili, jolle voidaan mitoittaa vedottomuuden varmistamiseksi 6 dm<sup>3</sup>/s mitoitusvirtaamaksi.



Kuva 16. Apukeittiön ikkuna ennen karmiventtiilin asentamista [8]

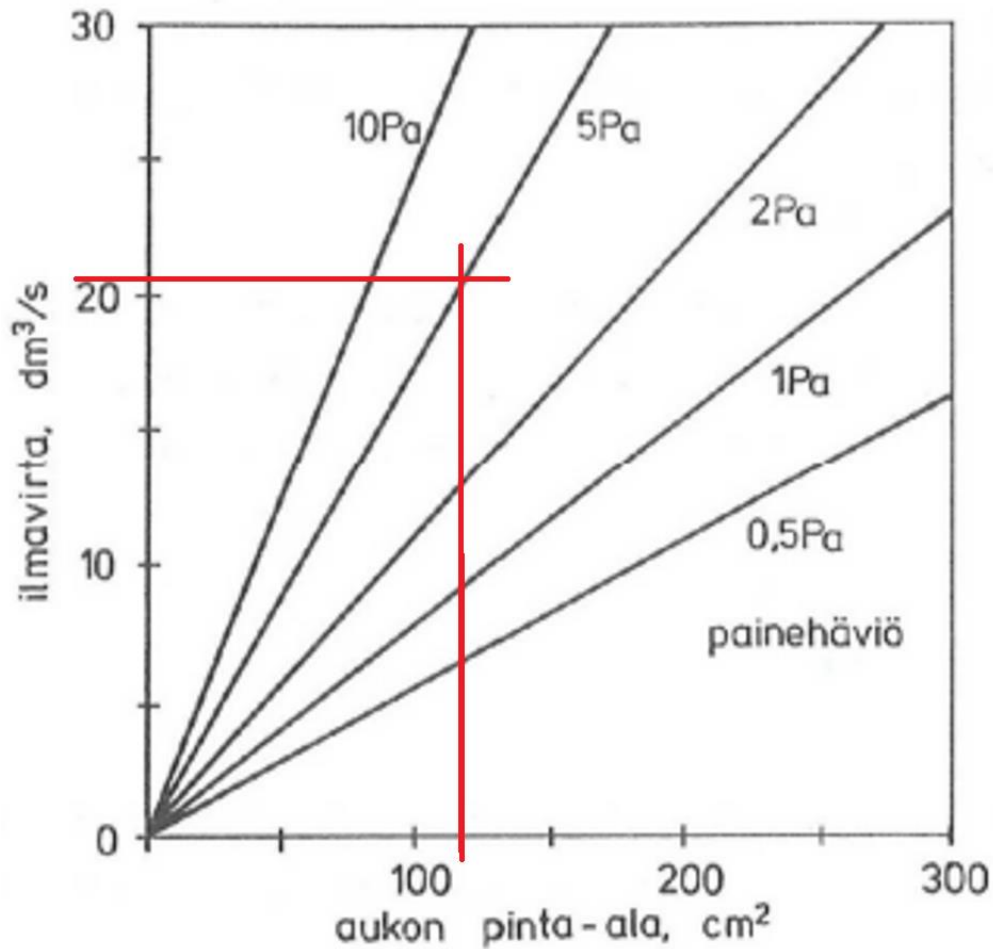
Yhden uuden korvausilmakarmiventtiilin asennuttaminen asuntoihin oli perusteltua, koska apukeittiön kautta on ainut kulkureitti kylpyhuoneeseen, jonka poistoilmaventtiili vaatisi lisää korvausilmaa. Tällä hetkellä kylpyhuoneen ja kylpyhuonetta lähimmän korvausilmaventtiilin välissä on kaksi ovea ja ovien välisessä apukeittiö tilassa vielä yksi poistoilmaventtiili vähentämässä kylpyhuoneen poistoilmaventtiilin korvausilman saantia. (Kuva 17.)



Kuva 17. Vanhoihin tyhjiin pohjakuviin on mallinnettu uudet ilmanvaihtoventtiilit.

Kartoituskäynnillä oli huomattu, että ovissa on riittävän suuri ovirako, jonka kautta korvausilma kulkee siirtoilmana kylpyhuoneen poistoilmaventtiilille. Asuinrakennusten mitoitusoppaan mukaan ovirakoa voidaan käyttää siirtoilmareittinä ilmamäärien mitoituksessa ilmamäärään  $18 \text{ dm}^3/\text{s}$  asti, jotta suositeltu maksimissaan 5 pascalin alipaine huonetilojen välillä säilyy. [17, s. 10.]

Oviraon riittävyys voidaan myös tarkistaa. Kohteessa on 1,5 cm korkea ovirako kylpyhuoneissa, ja oven leveys on 80 cm. Kun nämä kerrotaan keskenään, saadaan tulokseksi  $80 \text{ cm} * 1,5 \text{ cm} = 120 \text{ cm}^2$ . Kuvasta 18 voidaan lukea, että kohdasta  $120 \text{ cm}^2$  lähtevä punainen viiva risteää 5 pascalin kohdalla noin 20–21  $\text{dm}^3/\text{s}$  ilmavirran kanssa. Mitoittavana tekijänä toimii siis oviraon pinta-ala ja sallittu paine-ero.



Kuva 18. Oviraon ilmavirran tarkistus [23, s. 73].

Kuvasta voidaan lukea, että kylpyhuoneen oviraon kautta voi mitoittaa noin  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Ovirakojen riittävydestä kannattaa varmistua vastaavanlaisissa suunnittelukohteissa.

### 6.1.2 Poistoilma

Poistoilmaa mitoittaessa on tiedossa mahdollinen korvausilman mitoitusvirtaama asuntokohtaisesti. Esimerkkiasunto on 5H+K, ja sen huonekorkeus on 2,5 metriä ja pinta-ala 111 m<sup>2</sup>. Korvausilman mitoitusvirtaama asunnossa on laskelmien mukaan  $9 \cdot 5 \text{ dm}^3/\text{s} + 6 \text{ dm}^3/\text{s} = 51 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Laskelmassa on huomioitu esimerkkiasunnon yhdeksän jo olemassa olevan karmiventtiilin ( $9 \cdot 5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ), lisäksi asunnon apukeittiön uusi karmiventtiili ( $+6 \text{ dm}^3/\text{s}$ ).

Monesti historiassa vastaavanlaisiin kohteisiin on noudatettu orjallisesti vanhoja tilakohtaisia ohjearvoja, esimerkiksi keittiö 20 dm<sup>3</sup>/s, kylpyhuone 15 dm<sup>3</sup>/s, jolloin kokonaispoistoilmavirta on vähintään 35 dm<sup>3</sup>/s jo pelkästään kahdesta huoneesta. [19, s. 17.]

Esimerkkikohteen ilmavirtojen mitoituksessa käytin apuna Finvac Ry:n vuoden 2019 valmistunutta opasta asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. Finvac on lyhenne sanoista The Finnish Association of Hvac Societies ry. Se on Suomen LVI-liiton, VVS Föreningen i Finlandin, Lämpöinsinööriyhdistyksen ja Sisäilmäyhdistyksen muodostama yleishyödyllinen yhdistys, jonka mitoitusopas on syntynyt ympäristöministeriön käynnistämästä hankkeesta. [17, s. 2.]

Oppaan ensimmäisen mitoitusohjeen mukaan koko asuinpinta-alaa kohden laskettu ulkoilmavirta pitää olla vähintään  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s} / \text{m}^2$ . Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 huonekorkeudella 2,5 metriä. Ilmanvaihtokerroin 0,5 on yleisesti vähimmäismitoitettava tekijä asuinrakennusten ilmanvaihdossa. Se tarkoittaa, että koko asunnon ilmatilavuudesta puolet vaihtuu ilmanvaihdon avulla tunnin aikana ja koko asunnon ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa. [17, s. 5.]

Kertomalla  $0,35 \text{ dm}^3/\text{s} / \text{m}^2$  asunnon pinta-alalla 111 m<sup>2</sup> tulee tulokseksi 38,9 dm<sup>3</sup>/s, joten voidaan todeta karmiventtiileistä laskettu korvausilma riittäväksi [17, s. 5].

Asuntojen poistoilmaventtiilit sijaitsivat esimerkkihuoneistossa kylpyhuoneessa, vaatehuoneessa, apukeittiössä, keittiössä ja erillisessä WC:ssä. Taulukosta 4 voidaan lukea Finvacin oppaan antamat vähimmäispoistoilmavirrat asuntojen normaalissa käyttötilanteessa.

Taulukko 4. Huonekohtaiset ilmavirrat [17, s. 7]

Huonetila	Poistoilmavirta (dm <sup>3</sup> /s)
Kylpyhuone	10
Erillinen WC	7
Keittiö	8
Vaatehuone	6

Koneellisen poistoilmanvaihdon suositeltu paine-ero asunnon ja ulkoilman välillä on  $-5 \dots -20$  pascalia [6, s. 64]. Taulukosta 5 voidaan lukea, että mitoitin poistoilman normaalissa käyttötilanteessa hieman ( $54 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) tuota karmiventtiileiltä laskemaani  $51 \text{ dm}^3/\text{s}$  mitoitusvirtaamaa korkeammaksi, jotta alipainetta rakennuksen vaipan yli kuitenkin syntyy.

Koneellisen poistoilmajärjestelmän ilmamäärien mitoittamisessa on otettava huomioon tehostus- ja pakkasrajamitoitukset. Finvac ohjeistaa, että ilmanvaihto on oltava tehostettavissa 30 % käyttöajan ilmanvaihtoa suuremmaksi. [17, s. 6.] Kuitenkin esimerkkitilanteen jo olemassa olevan kanaviston takia ilmanvaihtoventtiilit ovat halkaisijaltaan sen verran pieniä, että 30 %:n tehostus tilavuusilmavirrassa saattaisi luoda ääniongelmia ja vedon tunnetta asuntoihin poistoilmaventtiileihin kohdistuvasta kovasta paine-erosta johtuen, joten tehostusilmamäärät luotiin 20 % suuremmaksi kuin normaalikäyttötilanne.

Pakkasrajoituksen tarkoitus on estää kovilla pakkasilla hyytävän vedon tunne asunnoissa, joten sen ehkäisemiseksi ilmamäärä on 30 % vähemmän kuin normaalikäyttötilanteessa. Esimerkkiasunnon lopulliset ilmamäärät ovat luettavissa taulukosta 5.

Taulukko 5. 5H+K, poistoilmamäärät suunnitelmista.

5H+K POISTOILMAMÄÄRÄ L/S						
TILA	KYLPYHUONE	KEITTIÖ	APUKEITTIÖ	VAATEHUONE	ERILLIS-WC	POISTO YHTEENSÄ
PAKKASRAJA	8	10	6	6	8	38
KOTONA	12	14	8	8	12	54
TEHOSTUS	14	17	10	10	14	65

Pakkasraja menee päälle, kun ilma on alle –11 celsiusastetta. Tehostus toimii aikaohjelmalla muutaman tunnin vuorokaudessa. Urakoitsija luo aikaohjelma yhteistyössä tilaajan kanssa.

## 7 Loppumittaukset

Urakan valmistuttua suoritin loppumittaukset esimerkkikohteessa, jossa varmistettiin ilmanvaihdon tasapaino. Loppumittaukset tein samoihin asuntoihin kuin tarkastusmittaukset 11 viikkoa aikaisemmin (vrt. kuva 15). Tiivistettynä loppumittauksia tehdessä erot alkumittaus tilanteeseen olivat seuraavat:

- Vanha hihnavetoinen kammiopuhallin on vaihdettu uuteen vakiopainesäätöiseen EC huippumuriin (kuva 19).
- Asuntojen apukeittiöihin on lisätty yksi uusi korvausilman karmiventtiili (kuva 20).
- Kaikki poistoilmaventtiilit on vaihdettu KSO-venttiileiksi.
- Ilmanvaihtojärjestelmän kanavisto on puhdistettu ja sen päätelaitteet on säädetty suunnitelmissa määritettyihin ilmamääriin.

Käytin loppumittauksissa Metropolialta lainaamaani Pressovac-mittaria.



Kuva 19. Uusi EC-huippumuri vanhan hihnavetoisen puhaltimen läpiviennin päälle asennettuna [24]



Kuva 20. Uusi apukeittiön karmiventtiili [8]

Kuvan 21 mittaus tuloksista voidaan lukea, että tavoiteltu maksimissaan 15 pascalin alipaine ulkoilmaan nähden alittuu jokaisessa tarkasteltavassa asunnossa ilmanvaihtourakan jälkeen ja paine-ero asuntojen ja ulkoilman välillä on vähentynyt verrattuna tarkastusmittauksiin ennen urakkaa.

### MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittaja: Hermann Rimpi  
 Mittalaite: Pressovac PHM-V1  
 Kalibroitu: 28.9.2017

Asiakas: Kerrostalo Vantaa

Kohde: Kerrostalo Vantaa

Pvm: 13.12.2021

Sää olosuhteet mittaushetkellä:

Koneen käyntinopeus mittaushetkellä: 115 Pascalia (Vakiopaine)



Paine-ero mittaus:

Huoneisto	Paine-ero vaipan yli (Pa)
D62	-10
E73	-10
E66	-9

Kotona: Koneen käyntinopeus mittaushetkellä: 115 Pascalia (Vakiopaine)									
Asunto	Huone	Venttiili	Koko	Asento	K-Arvo	Paine (Pa)	Vaadittu (dm <sup>3</sup> /s)	Mitattu (dm <sup>3</sup> /s)	
D62	Keittiö	KSO	100	3	2,14	32,5	-12	-12,2	
E66	Keittiö	KSO	100	0	1,9	55,1	-14	-14	

Tehostus: Koneen käyntinopeus mittaushetkellä: 160 Pascalia (Vakiopaine)									
Asunto	Huone	Venttiili	Koko	Asento	K-Arvo	Paine (Pa)	Vaadittu (dm <sup>3</sup> /s)	Mitattu (dm <sup>3</sup> /s)	
D62	Keittiö	KSO	100	3	2,14	45,3	-14,4	-14,4	
Asunto	Paine-ero vaipan yli (Pa)								
D62	-18								

Pakkasraja: Koneen käyntinopeus mittaushetkellä: 60 Pascalia (Vakiopaine)									
Asunto	Huone	Venttiili	Koko	Asento	K-Arvo	Paine (Pa)	Vaadittu (dm <sup>3</sup> /s)	Mitattu (dm <sup>3</sup> /s)	
D62	Keittiö	KSO	100	3	2,14	15,4	-8,4	-8,4	
Asunto	Paine-ero vaipan yli (Pa)								
D62	-7								

Kuva 21. Mittauspöytäkirja loppumittauksista.

Mittauspöytäkirjasta voidaan lukea tarkastusmittaukset asuntojen D62 ja E66 keittiöiden KSO-venttiileistä samoin kuin syyskuun mittauspöytäkirjassa. Erona 11 viikkoa aikaisemmin tehtyyn tarkasteluun on venttiileiden keskinäisen (mitattu dm<sup>3</sup>/s) tuloksen eron kaventuminen 2 dm<sup>3</sup>/s, kun se oli aikaisemmassa mittauksessa 4 dm<sup>3</sup>/s. Paine-ero on edelleen selkeästi suurempi (55,1 Pa) asun-

non E66 keittiön poistoilmaventtiilissä, mutta onnistuneen ilmanvaihdon tasapainotuksen ansiosta venttiilin asentoa on muutettu niin, että tilavuusvirta (mitattu  $\text{dm}^3/\text{s}$ ) on nyt loppumittauksessa samassa suhteessa asuntojen keittiöissä.

Tehostus- ja pakkasraja-asentojen ilmamäärät mittasin asunnon D62 keittiön poistoilmaventtiilistä. Kuten aikaisemmin mainitsin, esimerkkitilanteen tehostuksen ilmamäärä on 20 % kovempi kuin normaalitilanteessa, joten se voidaan laskea kertomalla keittiön suunniteltu ilmamäärä  $12 \text{ dm}^3/\text{s}$  kertoimella 1,2, jolloin tulokseksi saadaan  $14,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Tämän jälkeen pystyin mittaamaan venttiilistä tuon  $14,4 \text{ dm}^3/\text{s}$  hakemalla koneen pyörimisnopeuden sopivaksi. Tässä tapauksessa pyörimisnopeudeksi saatiin vakiopainesäätöiselle huippumurille 160 pascalia.

Rakennuksen ilmanvaihdon ollessa nyt tasapainoisessa säädössä voitiin luottaa siihen, että muissakin venttiileissä tuo 20 %:n korotus seuraa. Huomioitavaa mittauspöytäkirjasta myös tehostusasennon paine-ero vaipan yli, joka on 18 pascalia alipaineinen. Se on alle asumisterveysoppaan suositteleman maksimin 20 pascalin paine-eron vaipan yli koneellisessa poistoilmajärjestelmässä. [6, s. 64.] Tämä tulos myös puoltaa sitä, että oli järkevämpi mitoittaa tehostus 20 % yli normaalimitoituksen kuin yleisesti ilmanvaihto oppaissa suositeltu 30 %. Arvo 30 % olisi todennäköisesti nostanut paine-eron yli 20 pascalin.

Pakkasrajamittaus tehtiin samalla tavoin, paitsi tällä kertaa kerrottiin tuo  $14 \text{ dm}^3/\text{s}$  kertoimella 0,7, eli 30 % normaalitilannetta vähemmän. Tulokseksi keittiön venttiilistä saatiin  $8,4 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja koneen pyörimisnopeudeksi 60 pascalia.

## 8 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty ilmanvaihtoa, sen historiaa ja sen mahdollista parantamista jo olemassa olevassa asuinkerrostalossa. Työn tukena käsitelin Vantaalla sijaitsevan asuinkerrostalon ilmanvaihdon parannusurakkaa. Työllä pyrittiin luoda mahdollisimman kokonaisvaltainen katsaus siihen, miten suunnittelijan näkökulmasta voidaan parantaa mahdollista työn lopputulosta. Työssä esittelen tietoa ja työtapoja alan kirjallisuudesta ja julkaisuista, jotka itse halusin nostaa esiin. Nämä lopulta päätyivät tai päätyvät hieman kohdekohtaisesti muokattuna työselostuksiin vastaavanlaisissa hankkeissa.

Työn ei ollut tarkoitus olla pelkkä selostus esimerkkikohteesta, vaan olla myös yleiskatsaus vastaavanlaisiin projekteihin ja niiden työtapoihin. Tämän koin kirjoittaessa välillä myös hankalaksi. Toivottavasti lukijalle kuitenkin välittyy se tapa, jolla koitin työni kirjoittaa.

Työssä tein tutkimustyönä paine-eromittauksia sekä perinteistä LVI-suunnittelijan työtä kohteen kartoittamisen, ilmamäärien mitoittamisen ja suunnitelmien luomisen muodossa. Tutkimustyönä tehdyt kohteen paine-eromittaukset eivät olleet kovinkaan laajat, mutta mielestäni riittävät sekä tarpeelliset vastaavanlaisen hankkeeseen. Mielestäni onnistuin työssäni hyvin ja tarvittavat asiat saatiin selville.

Työtä voisi mahdollisesti jatkaa kartoittamalla erilaisia automaatio- ja puhallinratkaisuja vastaavanlaisissa hankkeissa sekä selostamalla niiden toimintaa. Opin työssäni kokonaisvaltaisesti lisää ilmanvaihdosta sekä sen mitoittamisesta ja ennen kaikkea yhteistyöstä tilaajan ja urakoitsijan kanssa.

## Lähteet

- 1 Peteri, Juha. 2021. Suunnittelujohtaja, olosuhde- ja energiahallinta, Insi-  
nööritoimisto Aavat Oy, Espoo. Keskustelu 14.12.2021
- 2 Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemi-  
alliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Hel-  
sinki. [https://www.fin-lex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje\\_pdf.pdf](https://www.fin-lex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf)  
Luettu 2.9.2021
- 3 Holopainen, Rauno; Pasanen, Pertti; Railio Jorma; Säteri, Jorma; Virranta  
Petteri. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Helsinki.  
Opetushallitus.
- 4 Sandberg, Esa. 2014. Ilmastointitekniikka. Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastoin-  
tijärjestelmät: perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennus-  
ten käytön asiantuntijoille. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut.
- 5 Hintsala, Juha. 2020. Voisiko vanha menetelmä olla ratkaisu ilmanvaihdon  
ongelmiin? Ainutlaatuisessa kokeilussa uuteen kerrostaloon tulee paino-  
voimainen ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Yle.fi [https://yle.fi/uutiset/3-  
11192878](https://yle.fi/uutiset/3-11192878). Päivitetty 5.2.2020. Luettu 3.9.2021.
- 6 Asumisterveysopas : Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen  
(STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. 2009. Pori. Ympäristö ja Terveys-  
lehti.
- 7 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointi-tekniikka ja sisäilmasto. Helsinki. Suo-  
men LVI-yhdistysten liitto.
- 8 Hermanni Rimpi, oma kuva-arkisto.
- 9 EC-puhallin säästää hermoja ja energiaa. Verkkoaineisto. HH-kiinteistö-  
palvelut oy. <[https://www.hhkp.fi/yritys/ajankohtaista/2016/01/13/ec-puhal-  
lin-saastaa-hermoja-ja-energiaa/](https://www.hhkp.fi/yritys/ajankohtaista/2016/01/13/ec-puhallin-saastaa-hermoja-ja-energiaa/)>. 13.01.2016. Luettu 13.12.2021.
- 10 Poistoilmaventtiilit KSO, KSOV JA KSOS Tekninen esite. Verkkoaineisto.  
Fläktgroup Oy. <[https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/13b00a3e-  
e236-4447-a043-0a5921698924?search=0](https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/13b00a3e-e236-4447-a043-0a5921698924?search=0)>. Luettu 26.10.2021.
- 11 Korkala, Tapio. 2020. Ilmanvaihto Hoito ja huolto. Helsinki. Kiinteistöalan  
Kustannus Oy.

- 12 Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. Rakennustieto Oy. Luettu 3.11.2021.
- 13 Mäkinen, Sami; Sissala Lari. 2018. Ilmanvaihtojärjestelmien mittaus ja tasapainotus. Koulutusmateriaali. SuLVI: IV-mittauksen pätevyys: Ilmastointijärjestelmien mittaus- ja säätökoulutus. Luettu 3.11.2021.
- 14 Harju, Pentti. 2014. Talotekniikan mittauksia, säätöjä ja automatiikkaa. Kouvola. Penan Tieto-Opus.
- 15 Mäkinen, Sami; Sissala Lari. 2018. Ilmanvaihtojärjestelmän suhteellinen säätö. Koulutusmateriaali. SuLVI: IV-mittauksen pätevyys: Ilmastointijärjestelmien mittaus- ja säätökoulutus. Luettu 3.11.2021.
- 16 Vakiopainesäätimet. Verkkoaineisto. Dir-Air oy. <https://www.dir-air.fi/vakio-painesaatimet/> Luettu 13.12.2021.
- 17 Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Verkkoaineisto. FINVAC ry, Suomen LVI-liitto SuLVI ry, VVS Föreningen i Finland ry, Sisäilmayhdistys ry, Lämpöinsinööriyhdistys ry. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen\\_2019-C28A5C3D\\_0A1B\\_4504\\_98BB\\_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen\\_2019-C28A5C3D\\_0A1B\\_4504\\_98BB\\_14D9C1820FE9-144725.pdf?t=1603260100069](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf?t=1603260100069). Luettu 09.11.2020.
- 18 Ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittaminen. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo Oy.< <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/ulkoilmalaitteiden-ja-ulospuhallusilmalaitteiden-sijoittaminen>>. Luettu 1.10.2021.
- 19 Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti 14.10.2019. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D\\_EFAA\\_41F7\\_BCAC\\_7F81A18AAA4C-151430.pdf/df1a430e-554b-10d9-5a0f-2e2366165531/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D\\_EFAA\\_41F7\\_BCAC\\_7F81A18AAA4C-151430.pdf?t=1603260085078](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf/df1a430e-554b-10d9-5a0f-2e2366165531/Rakennusten-paine-erojen-mittausohje-2019-10-11-7287C51D_EFAA_41F7_BCAC_7F81A18AAA4C-151430.pdf?t=1603260085078). Luettu 15.10.2021.
- 20 PHM-V1 Venttiilinsäätömittari. Verkkoaineisto. Kimrok Oy. [https://assets.website-files.com/5b3b7517ca66ad5cf006112e/615acaf6a0a727e44c365c1a\\_PHM-V1%20Venttiilins%C3%A4%C3%A4t%C3%B6mittari.pdf](https://assets.website-files.com/5b3b7517ca66ad5cf006112e/615acaf6a0a727e44c365c1a_PHM-V1%20Venttiilins%C3%A4%C3%A4t%C3%B6mittari.pdf). Luettu 13.12.2021.

- 21 Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 11.6.2021. Talotekniikkainfo Oy.<  
<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Luettu  
13.12.2021.
- 22 Air-in Tilkerakoventtiili. Tekninen esite. Verkkoaineisto. Dir Air Oy.  
<https://www.dir-air.fi/tilkerakoventtiilit.html>. Luettu 05.11.2021.
- 23 Laine, Juhani; Heikkinen, Jorma; Nyman, Mikko. 1989. Pientalon ilman-  
vaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet. Helsinki. Kauppa- ja teollisuusmi-  
nisteriö, Energiaosasto: Valtion painatuskeskus.
- 24 Lohjan sisäilmamestarit Oy, kuva-arkisto.