



# **Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä uudisasuinrakentamisessa**

Einari Ukkonen

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2020

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

UKKONEN, EINARI:

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä uudisasuinrakentamisessa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Huhtikuu 2020

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuuksia uudisasuinrakentamisessa sekä tutkia onko järjestelmällä mahdollista täyttää rakentamisen määräykset ja vaatimukset Suomessa. Kerätyn tiedon avulla on tarkoitus analysoida painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän valinnan kannattavuutta, sekä järjestelmän etuja ja heikkouksia verrattuna koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään. Työ tehtiin pääosin kirjallisuusselvityksenä. Lämmöntalteenoton puuttumisen vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen tutkittiin rakennussimulointiohjelmistoa hyödyntäen.

Työn tuloksena selvisi uudisasuinrakentamisen sisäilmaston vaatimusten täyttämisen olevan erittäin haastavaa perinteisen painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän avulla ilman lisäjärjestelmiä. Suomen rakentamismääräykset mahdollistavat painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttämisen asuinrakentamisessa, jos rakentamisympäristö, rakennusvalvontaviranomainen sekä esimerkiksi oma energiantuotanto sen mahdollistavat. Rakentamisen määräykset ja asetukset täyttävän ympärivuotisesti toimivan painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu on erityisen haastavaa. Suunnittelu vaatii ammattialojen yhteistyötä ja erikoisosaamista. Rakennussimuloinnilla osoitettiin lämmöntalteenoton puuttumisesta aiheutuva merkittävä energiankulutuksen nousu esimerkkirakennuksessa.

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen uudisasuinrakennuksiin, joilta edellytetään käyttötarkoitukseluokan mukaisen E-luvun raja-arvon ylittämistä, vaikuttaa näiden tutkimustulosten perusteella epäkannattavalta energiankulutuksen, kustannustehokkuuden, käytettävyyden sekä ekologisuuden näkökulmasta. Tässä työssä laskemia tehtiin vain energiankulutuksen puolesta esimerkkirakennukselle, muiden osa-alueiden tarkastelu perustuu kirjallisuusselvityksen avulla tehtyihin johtopäätöksiin.

---

Asiasanat: painovoimainen, ilmanvaihto, energiatehokkuus, sisäilmasto, uudisasuinrakentaminen

## **ABSTRACT**

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

UKKONEN, EINARI:  
Natural Ventilation in New Residential Construction  
Bachelor's thesis 50 pages, appendices 0 pages  
April 2019

---

The object of this study was to gather information about using natural ventilation in new residential building as a ventilation system. The object also included finding out if natural ventilation could meet building laws and regulations in Finland.

Most of the theoretical section information was gathered as a literature review. Comparison of energy consumption was made between natural ventilation and mechanical ventilation system with IDA ICE building simulation software.

These studies found out that maintaining modern indoor climate with natural ventilation is difficult. Lot of attention must be given when planning natural ventilation to meet the requirements of Finnish building code and regulations. Finnish weather conditions vary a lot, which makes calculated planning of natural ventilation hard, if not impossible.

Natural ventilation may be better solution compared to mechanical ventilation in the far future. In the present moment with the technological knowledge we have, natural ventilation does not seem competitive against mechanical ventilation in any way.

---

Key words: natural, ventilation, energy efficiency, indoor climate, new construction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	ILMANVAIHTOON LIITTYVÄÄ TEORIAA.....	6
	2.1 Paine.....	6
	2.1.1 Staattinen paine.....	7
	2.1.2 Dynaaminen paine.....	8
	2.1.3 Painehäviöt.....	9
	2.2 Ideaalikaasujen tilayhtälö .....	12
	2.3 Vapaa konvektio.....	12
	2.4 Rakennusvaipan ilmanvuoto sekä aukot.....	13
3	ILMANVAIHDON PERUSTEITA .....	15
	3.1 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä .....	16
	3.2 Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä .....	17
	3.2.1 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä .....	18
	3.2.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä .....	18
4	ILMANVAIHDON HISTORIAA SUOMESSA .....	20
5	PVIV-JÄRJESTELMÄ UUDISASUINRAKENTAMISESSA .....	23
	5.1 Ilmavirtojen hallinta .....	23
	5.1.1 Tuloilman lämpötila.....	23
	5.1.2 Käyttövoimana tuuli ja lämpötilaero .....	26
	5.1.3 Säättö ja mittaus.....	30
	5.1.4 Ilmanvaihdon tehostus.....	31
	5.2 Energiatehokkuus .....	31
	5.3 Ääni.....	34
6	Energiankulutusten vertailu rakennussimuloinnilla .....	37
	6.1 Simuloinnin tavoitteet.....	37
	6.2 Simulointimallin rakenne .....	37
	6.2.1 Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä (Koneellinen LTO) .....	39
	6.2.2 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä (PVIV) .....	39
	6.3 Tulokset ja pohdinta .....	39
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43
	7.1 Suunnittelu ja toteutus.....	43
	7.2 Ilmanvaihtojärjestelmän valintaperusteet .....	45
	7.3 Tulevaisuus .....	47
	LÄHTEET.....	48

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli jäsenellä tietoa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuuksista nykyinen rakennustapa, asetukset sekä määräykset ja sisäilmaston tavoitteet huomioiden. Painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä on paljon talotekniikka-alan ulkopuolista faktoilla perustelematonta keskustelua, vaikka järjestelmän käyttö uudisrakennuksissa on vähentynyt lähes olemattomaksi. Keskusteluun vaikuttaa usein liittyvän tunteet, sekä huonosti tai virheellisesti tutkitut kokemukset erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta. Työn tavoitteena oli myös vähentää mahdollisia harhakuvia, jotka ovat syntyneet epävirallisessa keskustelussa aiheen ympärillä.

Työn alussa esitellään fysikaalista teoriaa painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan ymmärtämisen tueksi. Tämän jälkeen on koostettu ilmanvaihtoon sekä ilmanvaihtojärjestelmiin liittyviä perusteita. Kappaleessa 4 on kooste ilmanvaihdon historiasta sekä nimityksien kehittymisestä Suomessa viime vuosisatoina. Kappaleessa 5 on kirjallisuusselvityksen avulla tutkittu painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuuksia ja haasteita, sekä niihin vaikuttavia asetuksia ja lakeja. Työn lopussa on esitetty simulointiohjelmistolla tehty tutkimus lämmöntalteenoton puuttumisen vaikutuksesta ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuteen, sekä työn kirjallisuusselvityksen tuloksena tehdyt johtopäätökset painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä.

Työn tarkoituksena ei ole ollut luoda painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu- tai mitoitusopasta. Tämä työ on rajattu uudisasuinrakentamiseen niihin rakennuksiin, joita nykyiset sisäilmaston sekä energiatehokkuuden vaatimukset asetusten ja määräysten kautta koskee.

## 2 ILMANVAIHTOON LIITTYVÄÄ TEORIAA

Painovoimaista sekä rakennuksen painesuhteista aiheutuvaa ilman liikettä tapahtuu kaikissa tiloissa. Tässä kappaleessa keskitytään ilman fysikaalisiin ominaisuuksiin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan ymmärtämisen tueksi. Millä tavoin lämpötila tai painemuutokset vaikuttavat ilmassaan? Millä tavoin sen liikkeitä voidaan hallita pienillä virtausnopeuksilla ja ilman puhaltimia?

### 2.1 Paine

Paineella on suuri merkitys, kun halutaan hallita ilman käyttäytymistä ja liikettä rakennuksessa. Paine  $P$  kuvaa voimaa  $F$ , joka kohdistuu määritetylle pinta-alalle  $A$ . Paineen yksikkö on Pascal, joka kuvaa kuinka monen Newtonin voima kohdistuu neliometrille. Paineesta käytetään myös yksiköitä 1 Bar (=100 kPa), 1 mmHg (=133,322 Pa) sekä 1 atm (=101,3 kPa). Paineen perusyhtälö on esitetty seuraavassa kaavassa. (Young & Freedman 2004, 414-420)

$$P = F/A \tag{1}$$

Painetta voidaan kuvailla myös varastoituna energiana. Se aiheutuu pienten rakenneosasten liikkeestä ja törmäilystä toisiinsa. Rakennusten ilmassaa sekä sen liikettä analysoidessa on syytä ymmärtää ilmassan kokonaispaineen muodostuminen ”puristavasta” staattisesta paineesta  $P_{st}$ , sekä liike-energian kaltaisesta dynaamisesta paineesta  $P_{dyn}$ . Ilmassan kokonaispaine  $P_{kok}$  voidaan esittää seuraavan yhtälön avulla. (Sanberg 2016b, 98)

$$P_{kok} = P_{st} + P_{dyn} \tag{2}$$

### 2.1.1 Staattinen paine

Staattinen paine  $P_{st}$  kuvaa voimaa, joka kohdistuu paikallaan olevaa ilmaa rajaavaan pintaan. Kanavassa staattinen paine kuvaa kanavan yli- tai alipaineisuutta esimerkiksi siinä olevan reiän kautta. Jos suoran kanavan kyljessä on reikä, pyrkii ilma kanavaan tai sieltä ulos staattisen paine-eron luomalla voimalla. Paine pyrkii aina tasautumaan, joten paine-ero aukon tai vuotavan rakenteen yli aiheuttaa ilman liikettä matalampaa painetta kohti. (Sanberg 2016b, 98)

Maan vetovoima aiheuttaa maan pinnalle noin 101kPa:n staattisen paineen. Paine muodostuu ilmapatsaasta, jota maan vetovoima vetää puoleensa. Tämänkaltaista staattista painetta kuvastaa hydrostaattinen paine  $P_{hyd}$ , joka voidaan laskea seuraavalla kaavalla (Young & Freedman 2004, 420)

$$P_{hyd} = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho gh \quad (3)$$

Kaavassa  $\rho$  kuvaa ilman tiheyttä,  $g$  maan putoamiskiihtyvyyttä, sekä  $h$  ilmapatsaan korkeutta maapallon pintaa kohti.

Staattista painetta käsitellään yleensä paine-eroina ilmakehän paineessa. On tärkeää tietää käytetäänkö laskuissa absoluuttista painetta vai niin sanottua mittaripainetta. Absoluuttisen paineen nollapiste on absoluuttinen tyhjiö. Absoluuttinen paine ei teoriassa voi mennä negatiiviseksi. Rakennusten ilmanvaihdon käytännöllisissä laskuissa yleensä lasketaan paine-eroja ilmakehän paineessa. Tällöin nolla paine on 1 atm  $\approx$ 101 kPa ja puhutaan puhekielessä mittaripaineesta ja sitä usein kuvataan kansainvälisesti lisäämällä yksikön perään tunnus g (=”gauge”). Tässä opinnäytetyössä puhutaan pääosin paine-eroista tai mittaripaineesta, jos toisin ei ole mainittu.

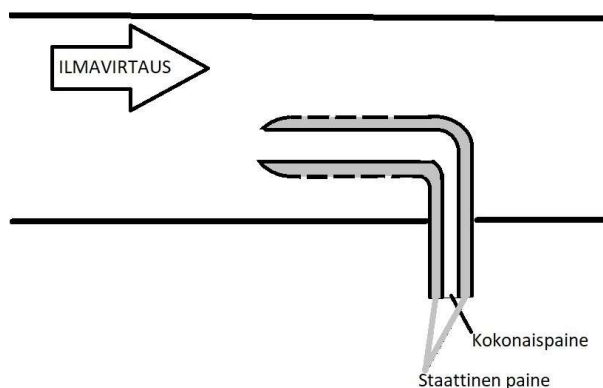
## 2.1.2 Dynaaminen paine

Dynaaminen paine  $P_{dyn}$  kuvaa ilman liikkeestä aiheutuvaa painetta, ja sen yhtälö on hyvin läheinen liike-energian yhtälön kanssa. Dynaamisen paineen yhtälö on esitetty seuraavassa kaavassa (Sandberg 2016b, 98-100)

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (4)$$

Dynaaminen paine on siis suoraan verrannollinen ilman tiheyteen  $\rho$ , sekä ilman nopeuden  $v$  neliöön. Dynaaminen paine kuvaa paikallaan olevaan kappaleeseen kohdistuvaa painetta ilman virratessa sitä päin. Dynaamisen paineen merkitys ilmanavassa on paljon suurempi kuin vesivirtauksessa, koska dynaaminen paine voi suhteessa staattiseen paineeseen olla hyvin suuri. Dynaaminen paine vaikuttaa kanavavirtauksissa aina positiiviseen suuntaan, staattinen paine on poistokanavassa ilmankehänpaineeseen verrattuna negatiivista ja tulokanavassa positiivista. (Sandberg 2016b, 98-100)

Ilmavirtauksen painemittauksiin voidaan käyttää esimerkiksi Pitot-putkea. Pitot-putki asetetaan ilmavirtausta vasten, jolloin sen sisäosaan vaikuttaa virtauksen kokonaispaine  $P_{kok}$  ja putken ulkovaipan mittareikiin vaikuttaa vain staattinen paine  $P_{st}$ . (Sandberg 2016b, 98-100)



KUVIO 1. Pitot-putki

### 2.1.3 Painehäviöt

Ilmavirtaukselle aiheutuu virtausreitistä aina painehäviöitä. Painehäviöt aiheutuvat pääosin ilmavirtauksen sisäisestä ja ulkoisesta kitkasta. Virtauspoikkipinta-alan ollessa pieni suhteessa ilmavirtaan, kanaviston tai virtausreitit aiheuttamat painehäviöt kasvavat. Kanavistojen sekä ilmanvaihtolaitosten kokonaispainehäviöitä  $\Delta P_{häviöt}$  voidaan kuvata seuraavalla yhtälöllä (Sandberg 2016b, 88-97)

$$\Delta P_{häviöt} = \sum \Delta P_{kitka} + \sum \Delta P_{kerta} \quad (5)$$

Painehäviöt  $\Delta P_{häviöt}$  muodostuvat siis kanaviston tai virtausreitit kitkapainehäviöistä  $\sum \Delta P_{kitka}$ , sekä yksittäisistä virtausvastuksista eli kertavastuksista  $\sum \Delta P_{kerta}$ . Kitka- sekä kertavastuksiin vaikuttavat muuttujat on esitetty seuraavassa taulukossa

TAULUKKO 1. Painehäviöiden yhtälöiden termit

$\lambda$	Kitkavastuskerroin
L	Kanavaosuuden pituus [m]
d	Kanavaosuuden sisähalkaisija [m]
C	Kertavastuskerroin
$\frac{1}{2}\rho v^2$	Dynaaminen paine

Kertavastukset ovat erilaisia kanaviston rakenneosia, joissa tapahtuu poikkipinnan, suunnan ja virtausnopeuden muutoksia. Esimerkiksi erilaiset komponentit, lämmönsiirtimet, venttiilit, mutkat, haarat tai suodattimet. Kertavastuksien laskentakaava on seuraavanlainen (Sandberg 2016b, 88-97)

$$\sum \Delta P_{kerta} = \sum \left( C \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad (6)$$

Kertavastuksen painehäviö muodostuu kertavastuskertoimesta C, sekä dynaamisesta paineesta. Kertavastuskerroin on usein kokeellisesti määritetty ja osan valmistaja laskee usein tuotteilleen tarvittavat arvot erilaisille virtausskenaarioille. On syytä huomata, että kertavastusten painehäviöön ei suoraan vaikuta putkihal-

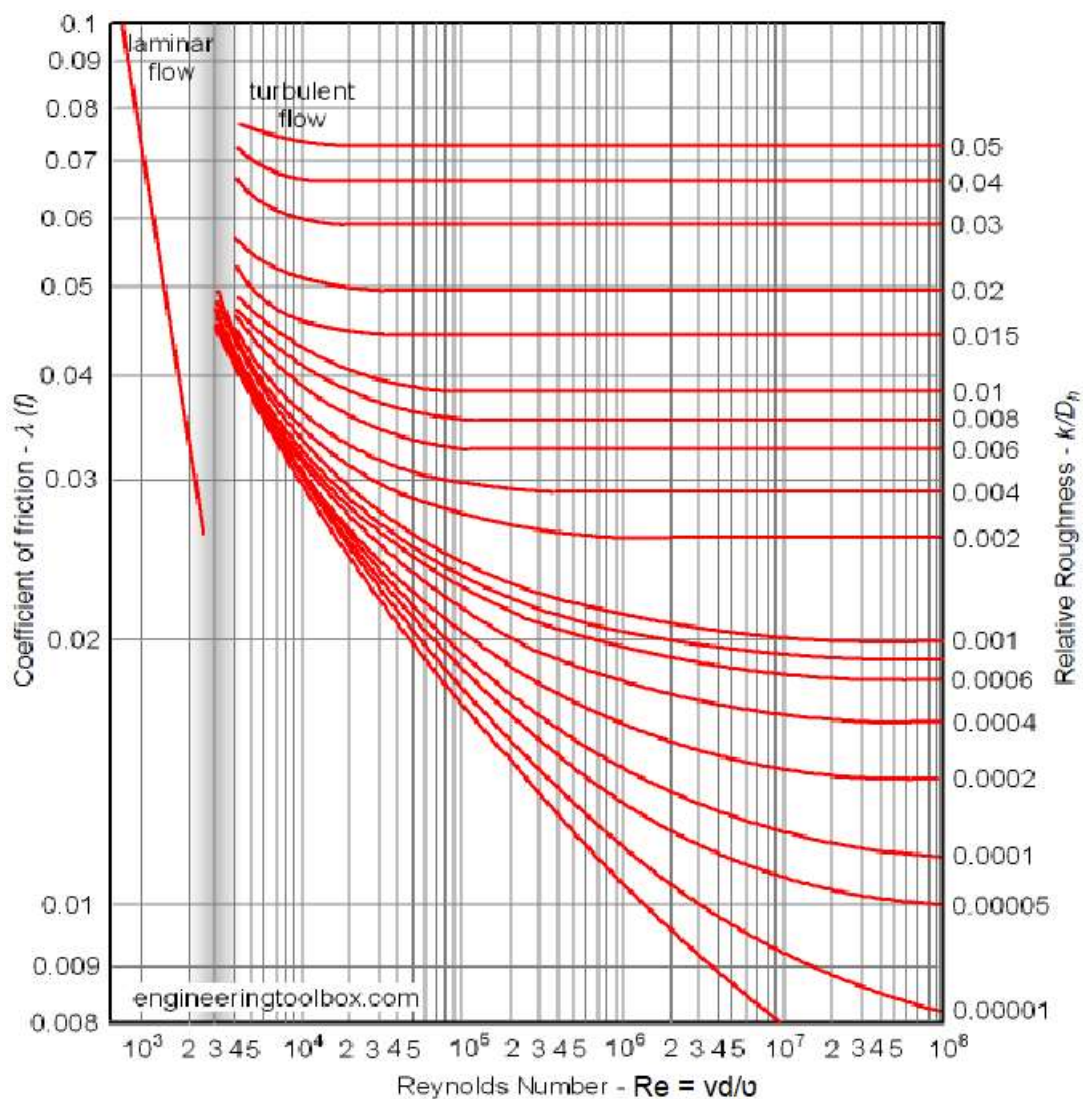
kaisija. Virtauksen turbulenttisella pyörteellä, kuten esimerkiksi peräkkäisillä kurveilla saattaa olla merkittävä negatiivinen tai positiivinen vaikutus kertavastuksen painehäviöön. (Sandberg 2016b, 88-97)

Suorien kanavien aiheuttama painehäviö saadaan laskettua seuraavalla kaavalla

$$\sum \Delta P_{\text{kitka}} = \sum \left( \frac{\lambda L}{d} \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad (7)$$

Kanavan kitkavastukseen vaikuttaa kitkavastuskerroin  $\lambda$ , kanavan pituus  $L$ , kanavan sisähalkaisija  $d$ , sekä dynaaminen paine.

Kitkavastuskerroin voidaan määrittää esimerkiksi Moodyn diagrammin avulla. Diagrammissa kitkavastuskerroin määritetään virtauksen nopeuden  $v$ , kanavan hydraulisen halkaisijan  $d$ , virtaavan aineen kinemaattisen viskositeetin  $\nu$ , sekä virtauspinnan suhteellisen karheuden  $k/d$  avulla. Seuraavassa kuvassa on esitetty Moodyn-diagrammi. (Sandberg 2016b, 88-97)



KUVIO 2. Moodyn-diagrammi (Kuva muokattu lähteestä. The Engineering Toolbox. n.d.)

Moodyn-diagrammista voidaan nähdä, että hyvin karhealla virtauspinnalla kitkavastuskerroin pysyy lähes vakiona. Suurissa kanavissa voidaan yksinkertaistettuna ajatella painehäviöiden pääosin muodostuvan kertavastuksista. Pienemmissä kanavissa täytyy kanavan aiheuttaman kitkapainehäviön kasvamista kompensoida virtausnopeutta pienentämällä. (Sandberg 2016b, 88-97)

## 2.2 Ideaalikaasujen tilayhtälö

Ideaalikaasujen tilayhtälön avulla voidaan ymmärtää lämpötilan, paineen, sekä tilavuuden riippuvuuksia toisistaan. Lämpötilan noustessa kaasun tilavuus ja/tai paine kasvaa.

Ideaalikaasujen tilayhtälö kuvaa teoreettista ideaalikaasua. Yhtälö on likiarvo monen kaasun käyttäytymisestä erilaisissa olosuhteissa. Reaalikaasut noudattavat tilayhtälöitä paremmin ollessaan kauempana nesteytymisolosuhteistaan, eli mitä alhaisempi paine, pienempi tiheys ja korkeampi lämpötila niillä on. (Young & Freedman 2004, 685-688)

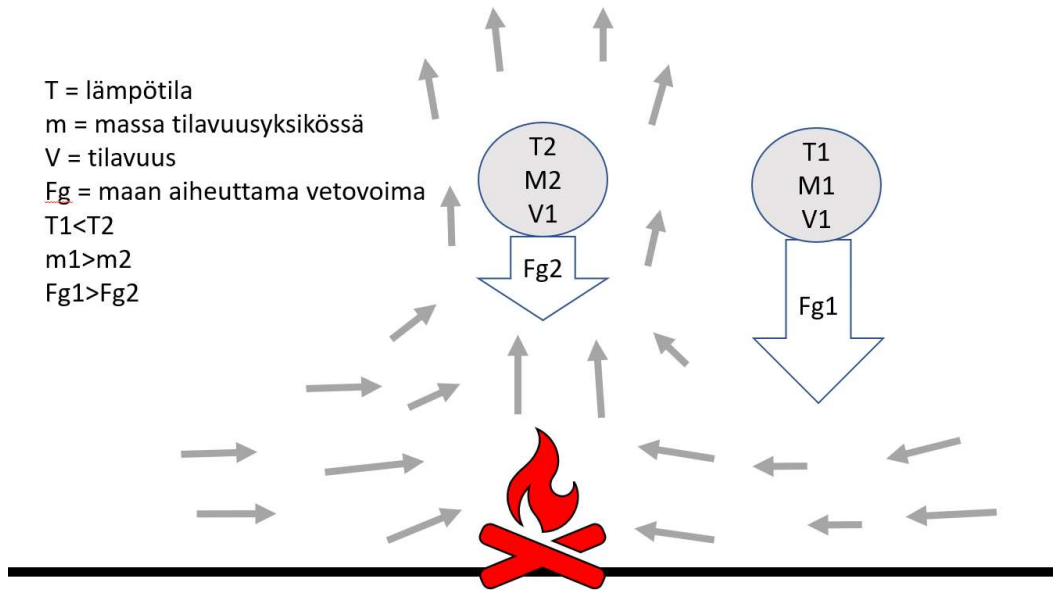
Ideaalikaasulaki voidaan pelkkää ilmaa käsitellessä kirjoittaa muotoon,

$$PV = mR_i T \tag{8}$$

jossa  $P$  on ilman paine,  $V$  on tilavuus,  $m$  on kaasun massa,  $R_i$  ilman ominaiskaasuvakio,  $T$  on ilman lämpötila. (Leimu 2018)

## 2.3 Vapaa konvektio

Lämpötilaerojen luoman tiheyseron aiheuttamaa virtausta kutsutaan konvektioksi. Jos esimerkiksi ilmamassaa lämmitetään pistemäisesti, lämmenneen ilman tilavuus laajenee rakenneosasten kiihtyneen törmäilyn seurauksena. Tilavuuden laajeneminen johtaa tiheyden alentumiseen. Tiheyden alentumisen seurauksena maan aiheuttaman vetovoima pienenee tilavuusyksikköä kohden. Maan vetovoiman pienentyminen johtaa lämmenneen kaasun nousemiseen kohtisuorasti maan pinnasta. Seuraavassa kuvassa konvektiota on havainnollistettu nuotion avulla. (Young & Freedman 2004, 668)



KUVA 1. Nuotion aiheuttama konvektiovirtaus havainnollistettuna

## 2.4 Rakennusvaipan ilmanvuoto sekä aukot

Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan rakennuksen sisätilat ulkoilmasta erottavia rakennekerroksia. Rakenteiden tiiveyttä kuvaava ilmanvuotoluku  $q_{50}$ , jonka yksikkö on  $m^3/(hm^2)$ . Ilmanvuotoluku kuvaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtausta tunnissa 50 Pascalin paine-erolla. (Paloniitty 2013)

Jos rakenteen ilmanvuotoluku on tiedossa, voidaan sen läpi virtaava ilmavirta  $q_v$  laskea seuraavalla kaavalla

$$q_v = A \cdot q_{50} \left( \frac{\Delta P}{50} \right)^\eta \quad (9)$$

jossa  $A$  on laskettavan rakenteen pinta-ala,  $q_{50}$  laskettavan rakenteen ilmanvuotoluku,  $\Delta P$  rakenteen yli vallitseva paine-ero,  $\eta$  virtauksesta johtuva eksponentti, joka yleensä vaihtelee 0,5 ja 1,0 välillä. (Leimu 2018)

Rakennuksen aukoissa ilmavirran laskeminen on helpompaa. Aukon yli vallitseva paine-ero muuttuu dynaamiseksi paineeksi. Ilmavirran nopeus saadaan johdettua dynaamisen paineen kaavasta seuraavasti. (Leimu 2018)

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \frac{P_{dyn}}{\rho}}$$

Tällöin vuotoaukon pinta-alan  $A$  läpi menevä ilmavirta  $q_{va}$  saadaan seuraavalla kaavalla

$$q_{va} = \sqrt{2 \cdot \frac{P_{dyn}}{\rho}} \cdot A \quad (10)$$

### 3 ILMANVAIHDON PERUSTEITA

Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa tavanomaisten asuinrakennusten ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon tehtävänä tämänkaltaisissa rakennuksissa on varmistaa asukkaiden turvallinen, terveellinen, sekä viihtyisä sisäilmasto (Sisäilmastoluokitus 2018). Oikein toteutettu ilmanvaihto tukee myös rakenteiden pitkäikäisyyttä, sekä terveellisyyttä.

Ilmanvaihdolla asuinrakennuksissa hallittavia epäpuhtauskuormia ovat pääasiassa hiilidioksidi, ilmankosteus, hajut sekä rakenteiden päästöt. Ilmanvaihtolaitosta suunniteltaessa täytyy kaikki nämä ottaa huomioon. Yleisesti asuintilojen suurimmat kuormat, joiden perusteella myös ilmavirrat mitoitetaan ovat hiilidioksidi ja kosteus. Ylilämmön hallintaan täytyy pyrkiä ensisijaisesti rakennuksen passiivisilla ratkaisuilla. Tuloilman jäähdytyksellä varustettuja tiloja kutsutaan usein viilennetyiksi, koska ilmanvaihdon jäähdytysteho ei välttämättä ole riittävä kokonaisvaltaiseen lämpökuormien hallintaan. Ilmanvaihtojärjestelmää, joka mitoitetaan ja suunnitellaan myös tilan lämpöolosuhteiden hallintaan, kutsutaan ilmastointijärjestelmäksi. Rakenteiden päästöt on minimoitava ensisijaisesti käyttämällä vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja, sekä huolehtimalla rakenteiden tiiveydestä ja rakennuksen painesuhteista. (RT 07-11299)

Ilmanvaihtojärjestelmän on nykypäivänä sopeuduttava myös rakennuksen ulkoihin kuormitustekijöihin. Esimerkiksi kaupunkiolosuhteissa ulkoilman hiukkaspäästöt saattavat olla merkittäviä, jonka seurauksena tuloilman suodatuksella on suuri merkitys sisäilman laadulle. Ilmanvaihtojärjestelmän täytyy sopeutua myös rakennuspaikan sää- ja äänioloihin, sekä muihin mahdollisiin ympäristötekijöihin. (Asetus 1009/2017)

Terveellisellä sisäilmastolla on tutkittu vaikutus ihmisten hyvinvointiin. Hyvä rakennusten ilmanvaihto on tärkeä keino terveyshaittojen minimoimisessa varsinkin ihmisten nykyään viettäessä suurimman osan ajastaan sisätiloissa. Ilmanvaihdon suuruuden ja terveyden välisiä yhteyksiä on selvitetty vuosikymmeniä, mutta lopullisia tuloksia ei ole vielä saatu. Mahdollisuuksien mukaisesti epäpuhtauslähteiden poistamisella tilasta on suuri rooli sisäilmaston terveellisyydessä.

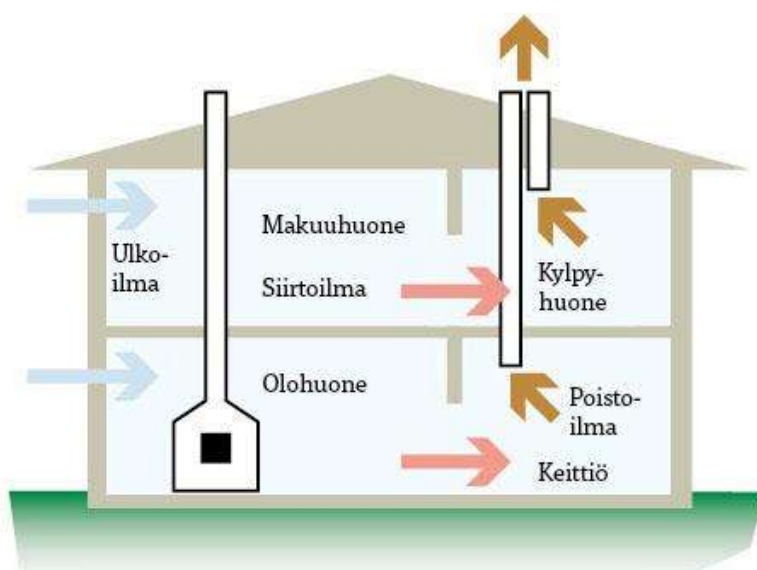
Ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamisessa ilmanvaihtoa silti tullaan aina tarvitsemaan. (Sandberg 2016a)

Seuraavissa kappaleissa on esitetty tämän opinnäytetyön kannalta oleellisimpien ilmanvaihtotapojen toimintaperiaatteet pääpiirteittäin. Erityisesti painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään perehdytään kappaleessa 5 syvällisemmin.

### 3.1 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

Perinteinen painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä saa käyttövoimansa ulko- ja sisätilan lämpötilaerosta, ilmareitin korkeuserosta, sekä tuulen aiheuttamasta paineesta. Järjestelmää kutsutaan sen englanninkielisen käännöksen takia usein harhaanjohtavasti myös luonnolliseksi ilmanvaihdoksi. (Sandberg 2016a)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa voidaan tehostaa koneellisesti, sekä erilaisilla ilmanvaihtojärjestelmän rakenteellisilla ratkaisuilla. Koneellisesti avustettua painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan kutsua esimerkiksi hybridi-ilmanvaihdoksi tai puhallinavusteiseksi painovoimaiseksi ilmanvaihdoksi. Seuraavassa kuvassa on esitetty periaatekuva perinteisen poistohormillisen koneettoman painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaperiaatteesta.



KUVA 2. Periaatekuva perinteisestä painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä (Hengitysliitto n.d.)

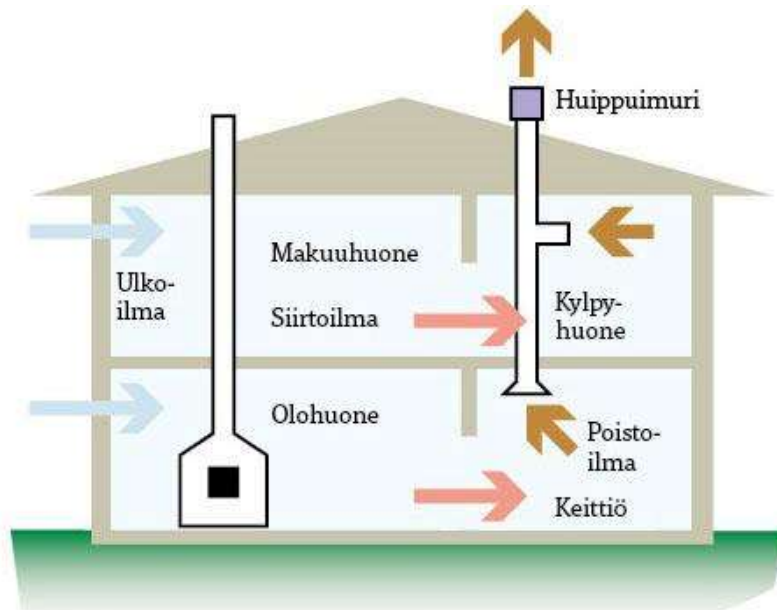
Perinteisissä painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa kylmä tuloilma tulee suoraan huonetilaan esimerkiksi seinässä olevien venttilien kautta. Tilassa lämmennyt ilma nousee huonekohtaisien hormien kautta ulos. Tuulen sekä ulkolämpötilan vaihteluiden seurauksena ilmavirta erityisesti kesäaikoina saattaa kääntyä myös väärään suuntaan likaisista tiloista puhtaampiin. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)

### **3.2 Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä**

Koneellisen ilmanvaihdon käyttövoimana on puhaltimet. Puhaltimien paineenkorotus mahdollistaa koneetonta järjestelmää helpommin toteutettavan ilmanvaihdon äänenvaimennuksen, suodatuksen ja lämmöntalteenoton. Koneellinen ilmanvaihto voidaan jaotella koneelliseen poistoilmanvaihtoon, sekä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon. (Sandberg 2016a)

### 3.2.1 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmanvaihdon käyttövoiman luo yleensä katolle asennettava poistoilman huippuimuri. Tämänkaltaisiin vanhoihin rakennuksiin voidaan myös lisätä lämmöntalteenottojärjestelmä energiatehokkuuden parantamiseksi. Tuloilma tuodaan raitisilmaventtiileistä suodatettuna oleskelutiloihin, ja poistoilmaventtiilit on sijoitettu likaisiin tiloihin, kuten keittiöön sekä saniteettitiloihin. Niin sanotuissa likaisissa tiloissa muodostuu suurimmat ilmanvaihdolla hallittavat kuormat. Puhaltimen ansiosta myös riittävä äänenvaimennus ja ilmanvaihdon tehostus ovat toteutettavissa. Vedon tunnetta esiintyy helposti kylmän tuloilman takia. Siirtoilmareitit täytyy olla huolellisesti tehtynä ilmanvaihdon suunnitellun toiminnan edellytyksenä. Siirtoilmareitit luovat myös riskin äänen kulkeutumiselle tilojen välillä. Seuraavassa kuvassa on esitetty koneellisen poistoilmanvaihdon periaatekuva. (Sandberg 2016a)

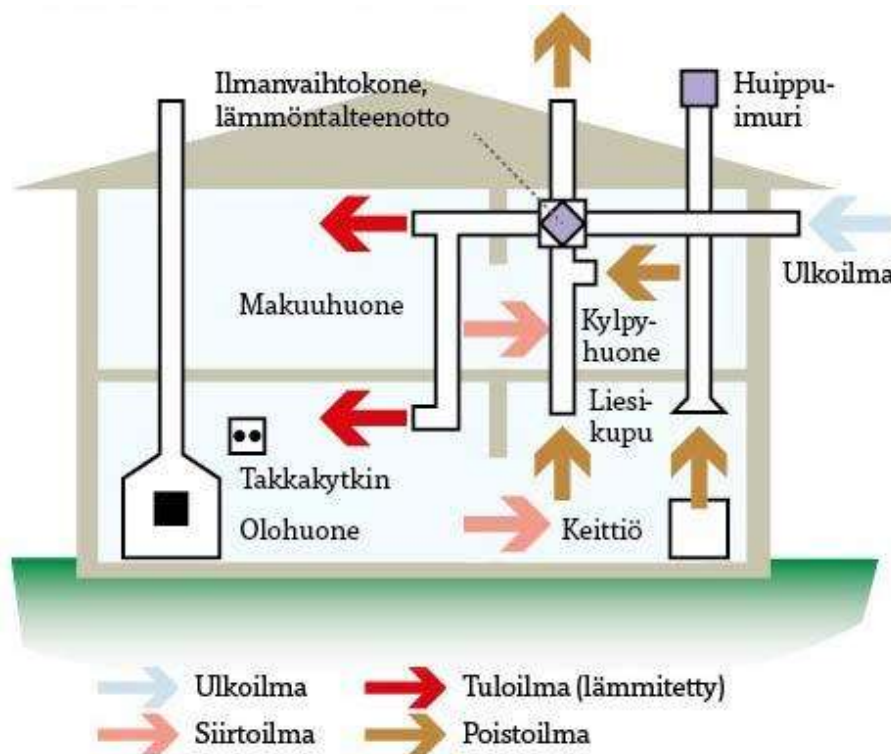


KUVA 3. Koneellisen poistoilmanvaihdon periaatekuva (Hengitysliitto n.d.)

### 3.2.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmässä tulo- sekä poistoilmalle on omat puhaltimet. Puhaltimet ovat yleensä keskitetysti lämmöntalteenoton ja ilmansuodatuksen kanssa ilmanvaihtokoneessa. Raitisilma kanavoidaan ulko-

säleiköstä, suodatetaan ja lämmitetään lämmöntalteenoton, sekä sähkö- tai vesipatterin avulla. Muutaman asteen huonelämpötilaa matalampi tuloilma sekoituu tehokkaasti huonetilaan aiheuttamatta vedon tunnetta. Likainen poistoilma kulkee lämmöntalteenoton kautta ulospuhallukseen. Keittiön liesikupu on usein varustettu omalla huippuimurilla lämmöntalteenottokennon likaantumisen, sekä paloriskin välttämiseksi. Järjestelmä mahdollistaa viihtyisät ja tasaiset olosuhteet tehostusmahdollisuuksilla vuoden ympäri. Hallitun tuloilman avulla pystytään myös toteuttamaan erilaisia viilennysratkaisuja. Seuraavassa periaatekuvassa on esitettyä koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta. (Sandberg 2016a)



KUVA 4. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon periaatekuva (Hengityslitto n.d.)

## 4 ILMANVAIHDON HISTORIAA SUOMESSA

Tässä kappaleessa on kerrottu ilmanvaihdosta Suomessa viime vuosisatoina. Historiaan tutustuminen saattaa helpottaa erilaisten nimitysten, harhaluulojen tai järjestelmän rakenteellisten ratkaisujen ymmärtämistä. Ilmanvaihdon historiassa muutos on tekniikan sekä ymmärryksen kehittyessä ensin ollut suurin sisäolosuhteiden parantumisessa, jonka jälkeen huomiota on alettu kiinnittää energiatehokkuuteen. Tämä historiakatsaus perustuu arkkitehti Juulia Mikkolan seminaariesitykseen (Mikkola 2019), sekä erikoisasiantuntija Börje Hagnerin kokoamaan LVI-historia koosteeseen (Hagner 2019). Ilmanvaihdon kehitys on edennyt eri maissa ja alueilla omaa tahtia ja tässäkin kappaleessa vuosikymmenet ovat vain viitteellisiä ajankohtia kehityksen jaksottamiseksi.

### Nimityksiä

Ilmanvaihdon erilaiset nimitykset ovat vakiintuneet vasta lähiaikoina, kun olosuhteisiin ja ilmanvaihdon merkitykseen on alettu kiinnittää huomiota. 1850-luvulta 1950-luvulle asti luonnollisella ilmanvaihdolla on voitu tarkoittaa tahatonta ilmanvaihtoa, tai jopa poistohormein tai tuloilma-aukoin järjestettyä ilmanvaihtoa. Luonnollinen ilmanvaihto nykytermistössä kuvaa koneetonta ja edes jollain tasolla suunniteltua ilmanvaihtojärjestelmää. 1900-luvun alussa hormien ja tuloilma-aukkojen avulla järjestettyä ilmanvaihtoa saatettiin kutsua myös keinotekoiseksi ilmanvaihdoksi, koska ilmanvaihdolle oli tehty oma järjestelmä. 1960-luvulle asti tuuletus termiä käytettiin ilmanvaihdosta yleensä. Nykyään tuuletuksella tarkoitetaan väliaikaista ikkunoiden, ovien ja tuuletusluukkujen käyttämistä väliaikaiseen ilmanvaihdon tehostamiseen. (Hagner 2019; Mikkola 2019)

### 1800-luku

Koneettoman ilmanvaihdon riittävien sisäolosuhteiden edellytyksenä on aina ollut ikkuna- ja ovituuletus. Ilmanvaihtoa lämmityskausina on tehostanut jossain määrin myös tulisijat, sekä niiden aiheuttama korvausilman virtaus. Tulisijojen käyttö on tosin ollut lyhytaikaista ja liittynyt yleensä myös kosteuskuormiin, kuten esimerkiksi pyykkien kuivatukseen. 1800-luvun rakennusten ilmanvaihto tapahtui pääosin tulisijan sekä tahattoman ilmanvaihdon avulla. Rakenteissa oli paljon

epätiiveyskohtia, joiden kautta ilma vaihtui tahattomasti. Tilojen ilmanvaihtoa alettiin parantamaan lisäämällä tiloihin korvausilma-aukkoja, sekä myös poistoilmahormeja. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa pyrittiin jossain rakennuksissa parantamaan lämmittämällä poistohormeja. Ilma liikkui rakennuksissa hyvin hallitsemattomasti hormilämmityksistä huolimatta, sekä kylmä raitisilma aiheutti voimakasta vedontunnetta sisätiloissa. Seuraavassa kuvassa on esiteltynä koristeellinen poistoilmahormin piippu 1800-luvun loppu puolelta. (Hagner 2019; Mikkola 2019)



KUVA 5. Poistoilmapiippu 1800-luvulta. (Hagner 2019)

### **1900-luku**

Huonekohtaisen painovoimaisen ilmanvaihdon aikaa Suomessa kesti suunnilleen 1920-luvulle asti, jonka jälkeen alettiin hakemaan säästöjä pienentämällä huoneistokohtaisten poistohormien tilatarvetta huoneistokohtaisella siirtoilmajärjestelmällä. (Hagner 2019; Mikkola 2019)

Huoneistokohtaisessa siirtoilmajärjestelmässä poistohormit sijoitettiin vain likaisiin tiloihin ja oleskelutilojen siirtoilmaa käytettiin korvausilmana. Kyseisellä järjestelyllä saatiin kylmän ilman lämmitystarvetta vähennettyä, sekä poistohormien tilantarvetta pienennettyä. Ikkunoihin yhdistetyt rakovehtiilit myös yleistyivät ja korvasivat erillisiä seinäventtiilejä. 1960-luvulta eteenpäin saatettiin tehdä myös pelkällä likaisten tilojen poistohormilla varustettuja rakennuksia ilman tuloilmareittejä. Ilma vaihtui rakenteellisten epätiiveyskohtien sekä ikkunatuuletuksen kautta. (Hagner 2019; Mikkola 2019)

Koneellinen poistoilmanvaihto yleistyi vuosisadan loppupuolella puhallintekniikan yleistyessä. Vanhojen painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksien ilmanvaihtoa yritettiin parantaa lisäämällä huippuimureita poistohormeihin, mutta korvausilman tuonti saattoi jäädä vähäiselle huomiolle. Pientaloja on jossain määrin rakennettu painovoimaisella ilmanvaihdolla 2000-luvulle asti. Seuraavassa kuvassa on esitetty 1900-luvun alulta oleva huippuimurimalli. (Hagner 2019)



KUVA 6. Strömbergin huippuimuri 1930-luvulta. (Hagner 2019.)

1900-luvun loppupuolella myös ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän yhdistävät ratkaisut olivat suosiossa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto alkoi yleistymään öljykriisien aiheuttamien energiansäästö tavoitteiden myötä. Järjestelmän rakennuskustannukset olivat korkeammat, mutta elinkaaren aikana talteen otettu energia poistoilmasta teki investoinnista kannattavan. Koneellisen ilmanvaihdon myötä ilmavirroista saatiin perinteistä painovoimaista ilmanvaihtoa hallitummat, sekä säädettävämmät. Sisäolosuhteisiin alettiin saamaan hyvillä ratkaisulla merkittävää parannusta.

## 5 PVIV-JÄRJESTELMÄ UUDISASUINRAKENTAMISESSA

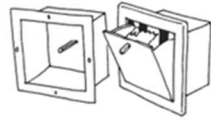
Tässä kappaleessa perehdytään tarkemmin painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuuksiin ja toteutuksen vaihtoehtoihin. Tarkastelua tehdään pääosin uudisasuinrakentamiselle, siten että nykyiset määräykset ja vaatimukset sisäolosuhteille, sekä rakentamiselle tulisivat mahdollisimman hyvin huomioitua. Kappaleen eri kohdat käsittelevät lähtökohtaisesti perinteistä avustamatonta painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää. Puhallinvusteisten sekä hybridi-ilmavaihtojärjestelmien on silti kohdattava pääosin samat haasteet.

### 5.1 Ilmavirtojen hallinta

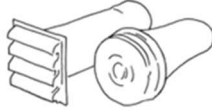
Tässä kappaleessa tutkitaan painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuuksia, jotka vaikuttavat hallittujen tuloilmavirtojen aikaansaamiseksi suunnitellusti.

#### 5.1.1 Tuloilman lämpötila

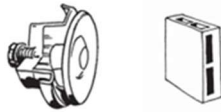
Ulkoilman tuomiseksi tilaan on useita vaihtoehtoja. Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa tuloilma on aikaisemmin tuotu tilaan yleensä seinään asennettavilla venttiileillä. Perinteisesti on käytetty kippiventtiileitä, jotka ovat yksinkertaisia ja helppoja säätää, mutta nykyisten vaatimusten mukaisia sisäolosuhteita on vedon, suodatuksen tai äänenvaimennuksen kannalta haastava saavuttaa. Kippiventtiin tilalle on nykyaikaisempia ratkaisuja erilaisista suodattimilla, äänenvaimennuksilla tai termostaateilla varustetuista raitisilmaventtiileistä. Markkinoille on lisäksi tällä vuosituhanella tullut kylmää ilmaa huonetilan ilmaan puhaltimella sekoittavia raitisilmaventtiileitä. Myös lämmityssähkövastuksella varustettuja korvausilmaventtiileitä on tehty vedon vähentämiseksi. Seuraavassa kuvassa on esitettyinä raitisilmaventtiileitä, joilla raitisilmaa ei esilämmitetä.



*Kippiventtiili.*



*Suodattimella varustettu lautasventtiili ja läpivientikappaleella varustettu ulkoilmasäleikkö.*

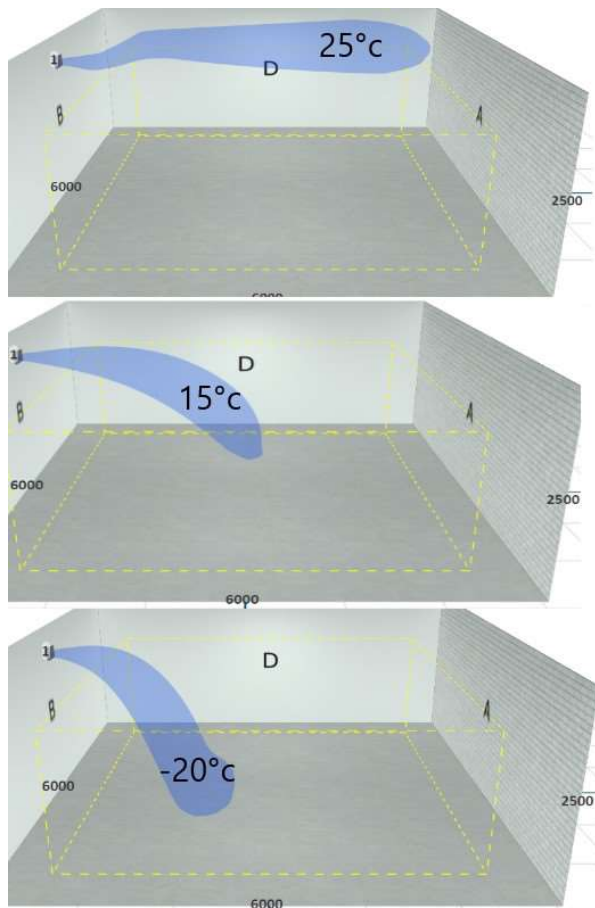


*Ulkolämpötilan mukaan säätävä lautasventtiili (vas.). Ulkoilmaventtiili, joka ohjaa ilmavirran sivuille vedon välttämiseksi (oik.).*

## KUVA 7. Seinäasennettavia raitisilmalaitteita (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)

Vedottoman sisäilman saavuttaminen ilman esilämmitystä raitisilmaventtiileillä on hyvin haastavaa. Tuloilman lämpötilan vaihtelu muuttaa ilmasuihkun heittokuviota tuloilmalaitteelta, sekä aiheuttaa muutoksia ilmanvaihdon tehokkuudelle tilassa. Huonetilaan nähden lämpimämpi ilmavirta nousee katon rajaan, josta se ajautuu helposti suoraan poistoilma kanavaan/hormiin. Tällöin ilmanvaihdon huuhtelevuus tilassa jää rajalliseksi. Reilusti alilämpöinen tuloilma taas painuu suoraan alas törmäten lattiapintaan. Tällöin syntyy voimakasta vedontunnetta, joka häiritsee tilan käyttäjien viihtyvyyttä. Tuloilman lämpötila täytyy huomioida päätelaitteen mallissa ja mitoituksessa, sekä sijoittelussa. Tilan lämmityslaitteiden sijoittelulla on myös suuri merkitys kylmän tuloilman hallitsemisessa.

Seuraavassa kuvassa on havainnollistettu tuloilman lämpötilan vaikutus heittokuvioon tavanomaisessa huonelämpötilassa (21°C). Heittokuvion mallinnus on tehty Climeconin VentX -ohjelmalla, joka mallintaa tuloilmapuhaltimella varustetun järjestelmän, sekä siihen soveltuvan päätelaitteen toimintaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon sovelluksissa käytetyillä päätelaitteilla tuloilman nopeus saattaa usein olla pienempi, jolloin myös tuloilmalaitteen heittopituus jää lyhyemmäksi.

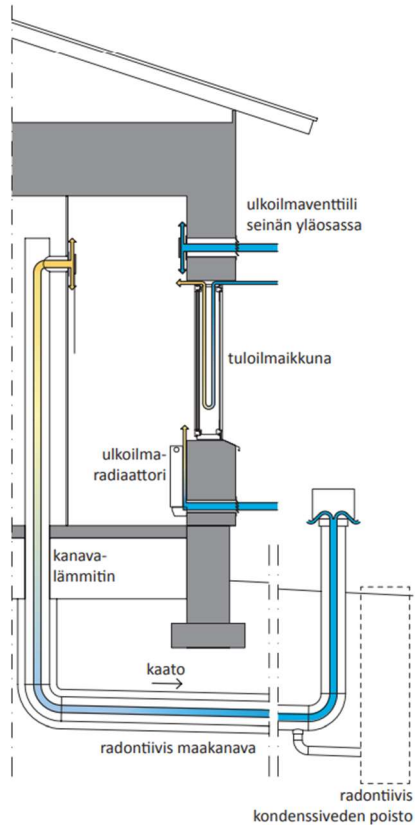


KUVA 8. Tuloilman lämpötilan vaikutus heittokuvioon (muokattu lähteestä. Climatecon n.d. Päätelaitteiden mitoitus)

Viime vuosituhaten lopussa vanhojen rakennusten raitisilman tuontia tilaan parannettiin esimerkiksi rakoventtiileillä. Rakoventtiilillä ilmavirta ohjataan esilämpenemään ikkunan lasien välissä. Rakoventtiilin haasteena on kylmällä ilmalla ikkunapinnan alhainen lämpötila, jonka tilassa oleskeleva herkästi aistii kylmäsäteilynä tai vedontunteena.

Puhallinavusteisissa ilmanvaihtojärjestelmissä yksi tuloilman esilämmityksen vaihtoehto on maakanava. Maakanavassa tuloilman esilämmitykseen hyödynnetään maaperän lämpöä johtamalla ilmavirta maahan kaivettua kanavaa pitkin tilan päätelaitteelle. Pienellä ilman virtausnopeudella saadaan myös hiukkaspäästöjä poistettua ilmasta niiden laskeutuessa maakanavan pohjalle. Kanavan aiheuttaman painehäviön takia tämänkaltaiset ratkaisut eivät yleensä sovellu koneettomiin järjestelmiin. Markkinoilla on myös kylmän ulkoilman tuomiseksi tilaan

ulkoilmaradiaattoreita, joiden avulla ilmavirtaus ohjataan lämpenemään radiaattorin läpi. Seuraavassa kuvassa on esitetty näiden tuloilman esilämmitys tapojen periaatteet.



KUVA 9. Raitisilman esilämmitys ratkaisuja (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)

### Määräykset ja asetukset

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen sisäilmastosta 4 §:ssä (Asetus 1009/2017) on määritetty, että huonelämpötilan on oltava käyttöaikana viihtyisä, eikä ilman liike, lämpötilan vaihtelu, lämpösäteily tai pintalämpötilat saa heikentää viihtyisyyttä.

#### 5.1.2 Käyttövoimana tuuli ja lämpötilaero

Käyttövoimana pelkkä tuuli ja lämpötilaero rakennusvaipan yli ovat hyvin vaihtelevia ja riippuvaisia vuodenajasta, sekä rakennuksen sijainnista. Tuulen suunta ja voimakkuus vaihtelee lähes jatkuvasti. Talvella lämpötilaerosta aiheutuva

paine-ero antaa ilmanvaihdolle käyttövoiman huomattavasti kesäolosuhteita paremmin.

## **Tuuli**

Tuulesta on saatavissa nykyään paljon mittausdataa, sekä ennustetietoja myös rakennuspaikkakohtaisten tuuliprofilien muodostamiseksi. Tietoa on saatavilla esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen säädatasta (Ilmatieteen laitos, Tuuli- ja ilmanpaine-ennuste).

Nykyisillä simulointiohjelmistoilla pystytään osoittamaan erilaisten tuulen voimakkuuksien, sekä suuntien vaikutuksia rakennuksen ilmanvaihdon toimintaan. Silti tuulen vaikutusten täsmällinen osoittaminen virtaussimuloinnin tai laskentakaa-vojen avulla on vaikeaa. Laskentakaavoihin perustuva mitoitus olettaa rakennuksen ulkopinnan painekuvioiden olevan tasaisia. Virtaussimulaatiolla pystytään huomioimaan rakennuksen muodosta aiheutuvia erilaisia painesuhteita rakennuksen eri sivuilla. Silti rakennuksen ympäristö todellisuudessa ohjaa ilmavirtauksia, sekä nopeuksia merkittävästi. Tuulen vaikutus ilmanvaihtuvuuteen voi olla merkittävä varsinkin, kun venttiilit ovat kokonaan auki. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)

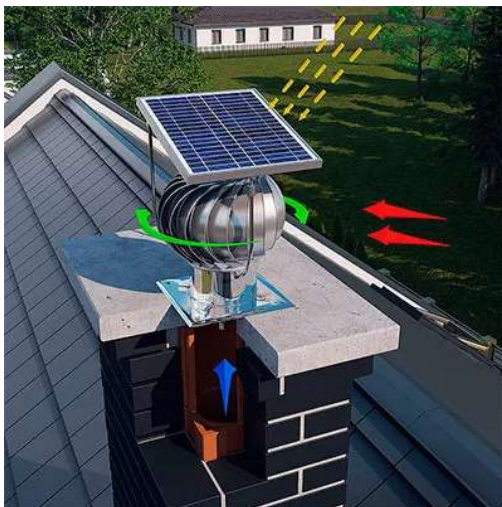
Kaupunkien ja ympäristön 3D-mallien luonti saattaa tulevaisuudessa tuoda lisävalmiuksia esimerkiksi rakennuksen ympäristön vaikutusten huomioimiseksi tuulen simuloinnissa. Kaupunkitietomalliin perustuvaa simulointia on pilotoitu esimerkiksi Helsingin Kalasataman rakennuksiin. (Vento 2019).

Ilmanvaihdon tehostamiseksi tuulen avulla on kehitetty esimerkiksi erilaisia poistohormiin asennettavia sadekatoksia tai tuulessa pyöriviä imureita, jotka tehostavat tuulen luomaa ilmanvaihdon käyttövoimaa. (Hagner 2019.). Näistä tuulitehostimista on silti toistaiseksi saatavissa hyvin vähän varmennettua mitoitusdataa tai laskennallista osoitusta niiden toiminnasta. Mitoitus ja laitevalinnat ovat ilmeisesti perustuneet aikaisempiin kokemuksiin kyseisistä laitteista. Seuraavassa kuvassa on esitettyä tuulessa pyöriviä tuulitehostimia poistohormiin.



KUVA 10. Poistohormin tuulitehostajia (yhdistetty lähteistä. Hagner 2019; Hormex.fi n.d.)

Nykyaikaisena vaihtoehtona on kehitetty aurinkokennolla varustettu vedonparantaja, joka tuulenopeuden pienentyessä käyttää aurinkopaneelin tuottamaa sähkötehoa turbiinin pyörittämiseen. (Hormex.fi n.d.).

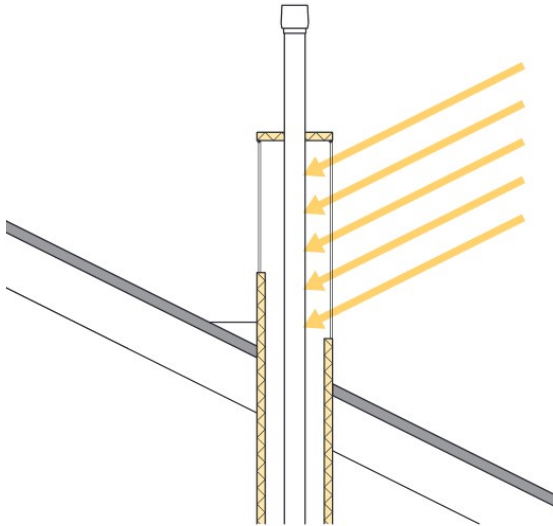


KUVA 13. Aurinkokennolla varustettu vedonparantaja. (Hormex.fi n.d.)

### Lämpötilaerot

Lämpötilaerojen mahdollistama ilmanvaihto perustuu sisäilman suurempaan lämpötilaan verrattuna ulkoilmaan. Ilmanvaihdon käyttövoima pienenee ulkolämpötilojen noustessa lähes sisälämpötilojen tasolle. Ilmanvaihto kääntyy virtaamaan myös herkästi väärään suuntaan kanavistoissa ja hormoneissa, jos sitä ei ole estetty.

Lämmenneen ilman aiheuttamaa nostetta on jo aikanaan pyritty tehostamaan lämmittämällä poistohormeja esimerkiksi avotulilla (Hagner 2019). Lähiaikoina poistohormin lämmitystä on koitettu toteuttaa myös aurinkoenergialla. Esimerkiksi aurinkohormiksi kutsutussa ratkaisussa poistohormin vesikatolle ulottuvaa osaa lämmitetään hormin ympärille rakennetun yksinkertaisen aurinkokeräimen avulla. Tämänkaltainen ratkaisu tukee painovoimaista ilman liikettä erityisesti aurinkoisella säällä lämmittäen hormissa kulkevaa ilmavirtausta. Tämänkaltaisia hormilämmityksiä on Suomessa toteutettu vain yksittäisiin rakennuksiin. Aurinkolämmityksen tehostusvaikutusta on haastavaa osoittaa laskennallisesti. Seuraavassa kuvassa on esitettyä periaatepiirros aurinkohormista. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)



KUVA 11. Aurinkohormin periaatepiirros

### **Määräykset ja asetukset**

Määräyksillä ja asetuksilla on lähinnä määritetty sisäolosuhteiden vaatimukset, jotka täytyy ilmanvaihdon käyttövoimista ja ulko-olosuhteista riippumatta täyttää. Suoraan tuulen mitoitukseen on silti TOPTEN-rakennusvalvonnat linjanneet yhtenäisten käytäntöjen julkaisussa 117c02 (TOPTEN -rakennusvalvonnat 2018), että painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän mitoituskalkelmissa käytettäväksi tuulen nopeudeksi voidaan olettaa Ilmatieteen laitoksen mittausdatan mukainen tuulen keskinopeus paikkakunnalla.

### 5.1.3 Säätö ja mittaus

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta vaatii käyttövoiman vaihteluiden takia jatkuvaa säätöä suunniteltujen sisäolosuhteiden ylläpitämiseksi (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018). Perinteisesti rakennuksen käyttäjä on tehnyt tarpeelliseksi kokemaansa säätöä säätämällä käsin venttiileiden tai hormien aukioasentoa ilman mittausdataa. Automaatiikalla toteutettava ilmavirtojen mittaus on haastavaa toteuttaa hitaiden ilman virtausnopeuksien, sekä järjestelmän pienen käytettävissä olevan painehäviön takia. Koneellisessa ilmanvaihdossa ilmavirtojen mittaukseen perinteisesti käytettävät mittayhteet perustuvat osan tai päätelaitteen painehäviön avulla laskettavaan ilmavirtaan.

Rakennuksen käyttöönottoaiheessa sekä käytön aikana kertaluontoisia mittauksia voidaan tehdä esimerkiksi päätelaittekohtaisesti siipipyöräänemometrillä. Ilmanvaihtuvuutta tilassa voidaan mitata myös hiilidioksidia merkkiaineena käyttäen. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018). Seuraavassa kuvassa on esitettynä kartiolla varustettu siipipyöräänometri.



KUVA 12. Siipipyörä anomometri. (Teknocalor.fi n.d.)

Edellä esitellyt mittausmenetelmät eivät sovellu automatiikan tai käyttäjän tarkkaan jatkuvaan käytönaikaiseen järjestelmän säätämiseen. Viime vuosikymmenen aikana markkinoille on tullut ultra-ääneen perustuvia mittauslaitteita, joiden avulla mittaus onnistuu tuote-esitteiden mukaan myös pienillä nopeuksilla, sekä ilman kanavaosan painehäviöitä. Seuraavassa kuvassa on esiteltynä erään valmistajan kanava-asenteinen ultra-äänimittalaite, joka on varustettu säätöpellillä.



KUVA 13. Ultraääni ilmvirtasäädin (Lindab 2017)

#### **5.1.4 Ilmanvaihdon tehostus**

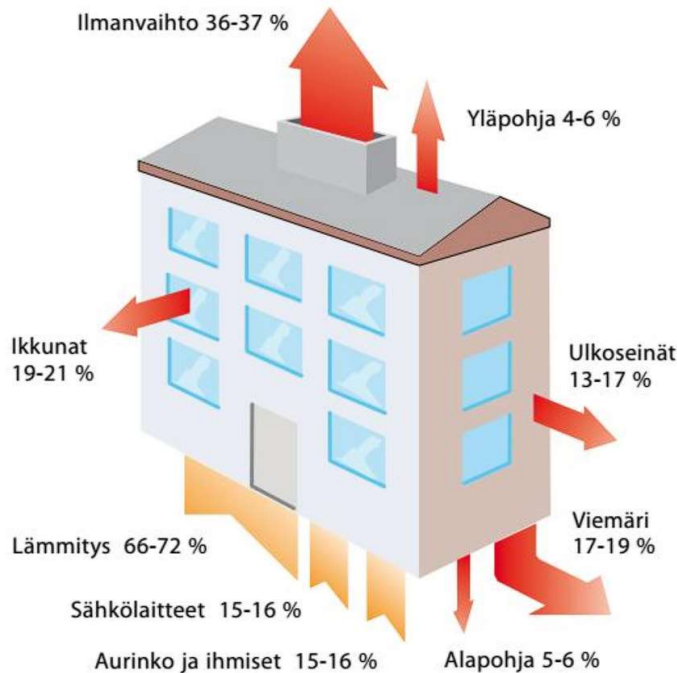
Ympäristöministeriön asetuksessa sisäilmastosta 10 §:ssä (Asetus 1009/2017) on vaadittu ilmanvaihdolle tehostusmahdollisuutta 30-prosenttia käyttöajan suunniteltuihin ilmavirtoihin verrattuna.

Painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava ilmavirtamitoituksessa tehostusvara käytönaikaisen ilmavirran lisäksi. Jos tehostusvara ei ole mahdollista järjestää painovoimaisesti on yksi vaihtoehto tehostaa ilmanvaihtoa puhaltimilla. Tällöin on tärkeää suunnitella lisäulkoilmavirran johtaminen hallitusti ulkoilmalaitteista, jotta poistoilmakanavissa tai savuhormeissa ei tapahdu takaisinvirtausta. (TOPTEN -rakennusvalvonnat 2018)

## **5.2 Energiatehokkuus**

Energiatehokkaalla ilmanvaihtojärjestelmällä saavutetaan tarpeenmukaiset sisäolosuhteet mahdollisimman pienellä energiankulutuksella. Lämmöntalteenotottomissa ilmanvaihtojärjestelmissä poistoilma puhalletaan ulos huoneenlämpöisenä, jolloin energiaa hukataan tarpeettomasti. Ilmavirtojen tarpeenmukaisella

säädöllä voidaan saavuttaa energiasäästöjä, kun vältetään turhaa ilmanvaihtoa tiloissa. Koneellisissa järjestelmissä myös järjestelmän painehäviöiden optimomisella, sekä energiatehokkailla puhallinvalinnoilla voidaan saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa. Seuraavassa kuvaassa on esitettyä lämpöenergiatase tyypilliselle 1900-luvun loppupuolen asuinkerrostalolle.



KUVA 14. Lämpöenergiatase 1960-1980-lukujen asuinkerrostaloissa. (Virta & Pylsy 2011)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus muodostuu haasteeksi, koska järjestelmän jäteilman lämmöntalteenoton järjestäminen ei ole perinteisillä patteri- tai kennoratkaisuilla mahdollista. Järjestelmän toiminta perustuu pääosin lämmitettävän ilman keventyessä sen nousemiseen poistohormiin. Poistoilman jäähtyminen lämmöntalteenotossa poistaisi tästä aiheutuvan nosteen. Kappaleessa 6 on tarkasteltu painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuutta rakennussimulointiohjelmistoa hyödyntäen.

### Määräykset ja asetukset

Suomessa rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus osoitetaan lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Tasauslaskennassa on määritelty vertailuarvot rakennuksen osille, jotka aiheuttavat lämpöhäviöitä. Lämmöntalteenoton ollessa

epätarkoituksenmukaista tai jos ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu pääasiassa korkeus- ja lämpötilaerojen, sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin voidaan rakennuksen poistoilmavirran lämmöntalteenottovaatimuksesta luopua ja käyttää sen vertailuarvona 0%. (Asetus 1010/2017).

Myöskään TOPTEN-rakennusvalvontojen julkaisussa yhtenäisistä käytännöistä painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän osalta ei edellytetä lämmöntalteenoton puuttumisen kompensointia paremmilla lämmönläpäisykertoimilla tai tiiviydellä. (TOPTEN -rakennusvalvonnat 2018).

Uudisrakennuksille asetettu E-lukuvaatimus ei suoraan estä painovoimaisen ilmanvaihdon rakentamista uudisrakennukseen, mutta lämmöntalteenoton puuttuminen täytyy kompensoida muilla tavoilla. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, toisin sanoen E-luku ei saa ylittää energiatehokkuus asetuksen raja-arvoa. Raja-arvot on asetettu käyttötarkoituksen mukaisesti. (Asetus 1010/2017).

Kiristynyt energiatehokkuus- sekä ympäristöpolitiikka tulee mahdollisesti vaikeuttamaan lämmöntalteenottomien järjestelmien rakentamista entisestään. Esimerkiksi Euroopan parlamentin ja neuvoston antamassa direktiivissä koskien rakennusten energiatehokkuutta (Direktiivi 2018/844/EU) edellytetään Unionin jäsenmailta sitoutumista eri tavoilla energian tuotannon ja käyttämisen tehokkuuteen ja hiilijalanjäljen neutraaliuteen.

Järjestelmän saamiseksi määräystenmukaiseksi edellytetään panostusta energiantuotantoon tai sen muodon valintaan, sekä rakennuksen energiatehokkuutta parantaviin ominaisuuksiin. Painovoimaisen ilmanvaihdon valinnan perustuessa ekologisuuteen ei pelkkä energiankulutuksen tarkastelu riitä. Ekologisuuden huomioimisessa on tutkittava myös järjestelmien energian, sekä rakenteellisten parannusten muodostama hiilijalanjälki. E-lukuvaatimuksessa edulliset energiamuodot eivät toistaiseksi perustu niiden muodostamiin kasvihuonepäästöihin. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018).

### 5.3 Ääni

Ihmiset kokevat äänen ja melun hyvin yksilöllisesti. Asuinrakennuksissa on pehdyttävä äänitekniikkaan erittäin hyvin sekä pyrittävä minimoimaan äänihaittoja. Hyvin toteutetulla äänien huomioimisella rakennuksen äänitaso ei aiheuta ongelmia nukkumiselle tai häiritse tuleviakaan asukkaita. Ilmanvaihtojärjestelmän äänilähteitä ovat esimerkiksi päätelaitteet, puhaltimet sekä kanavistovarusteet. Myös rakennuksen ympäristön äänet kantautuvat helposti rakennuksen sisälle ilmanvaihtojärjestelmän kautta, jos äänenvaimennusta ei ole toteutettu kunnolla. (Sandberg 2016b)

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän pieni käytettävissä oleva painehäviö estää pitkät kanavoinnit tai mutkat ja tekee äänenvaimennuksen ulkoseinään sijoitetuilta raitisilmaventtiileiltä haastavaksi. Meluisilla alueilla kuten liikenneväylien varsilla tai lentomelualueilla vaadittu äänenvaimennus on haastavaa toteuttaa. (Painovoimainen ilmanvaihto opas 2018)

Ratkaisuja ääniongelmiin on kehitetty esimerkiksi erilaisilla tuloilmaikkunaratkaisulla tai äänenvaimennuksella varustetuilla raitisilmaventtiileillä. Äänenvaimennusratkaisuiden riittävän äänenvaimennuksen saavuttamista täytyy tarkastella laite sekä tapauskohtaisesti.

Tulevaisuudessa myös tilakohtaiset vastamelulaitteet saattavat tuoda vaihtoehtoja tilojen äänien hallintaan. Ikkunoihin sekä tuuletusaukkoihin asennettavia vastamelukaiuttimia on kehitetty prototyypivaiheeseen ja esimerkiksi Nanyangin teknillinen yliopisto on kehittänyt vastamelulaitteen, jolla saa 75dB liikennemelulle 10dB vaimennuksen (Deborah 2018). Ikkunaan asennettavalla Sono-vastamelulaitteella pystyisi uutisoinnin mukaan suodattamaan halutut melut ja päästämään läpi esimerkiksi luonnonäänet (Prindle 2013). Seuraavassa kuvassa on esitetty ikkunaan asennettava Sono-vastamelukaiutinprototyyppi.



KUVA 15. Sono-vastamelukaiutinprototyyppi. (Fresh & Prindle 2013)

### **Määräykset ja asetukset**

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä on asetettu vaatimukset ulkovaipan ääneneristävyydelle seuraavasti:

Rakennuksen, jossa on asuntoja, majoitus- tai potilashuoneita, ulkovaipan ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääneneristys on vähintään 30 desibeliä ja impulssimaisen, kapeakaltaisen tai pienitaajuisen melun keskiäänitaso ei ylitä nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa 25 desibeliä. (Asetus 796/2017)

Maankäyttö ja rakennuslaissa on 175 §:ssä annettu kunnan rakennusvalvontaviranomaiselle mahdollisuus myöntää rakennuslupa, kun kysymys on vähäisestä poikkeamisesta rakentamista koskevasta säännöksestä, määräyksestä, kiellosta tai muusta rajoituksesta. Poikkeamisen edellytyksenä on, ettei se syrjäytä rakentamiselle asetettuja keskeisiä vaatimuksia. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 05.02.1999/132)

Rakentamisen keskeiseksi vaatimukseksi saatettaisiin tulkita Maankäyttö ja rakennuslain 117 f §:n vaatimus rakennushankkeeseen ryhtyvälle. Lain mukaan rakennuksen sekä rakennuspaikan piha- ja oleskelualueiden meluallistutus ja ääniolosuhteet eivät saa vaarantaa terveyttä, lepoa tai työntekoa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 05.02.1999/132)

TOPTEN-rakennusvalvontojen julkaisussa yhtenäisistä käytännöistä painovoimaisen ilmanvaihdon osalta on linjattu, että ulkovaipan äänen eristävyysvaatimusta voidaan nostaa asemakaavamääräyksessä. Suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon rakennuspaikan melu- ja värinäolosuhteet. (TOPTEN -rakennusvalvonnat 2018)

## **6 Energiankulutusten vertailu rakennussimuloinnilla**

Tässä kappaleessa on esitetty IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmistolla tehty vertailu ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vaikutuksista energiankulutukseen. IDA ICE-ohjelmisto on dynaaminen simulointiohjelmisto moniväyhykemallinnukseen ja soveltuu erittäin hyvin rakennuksen lämpötaseen sekä energiankulutuksen tutkimiseen.

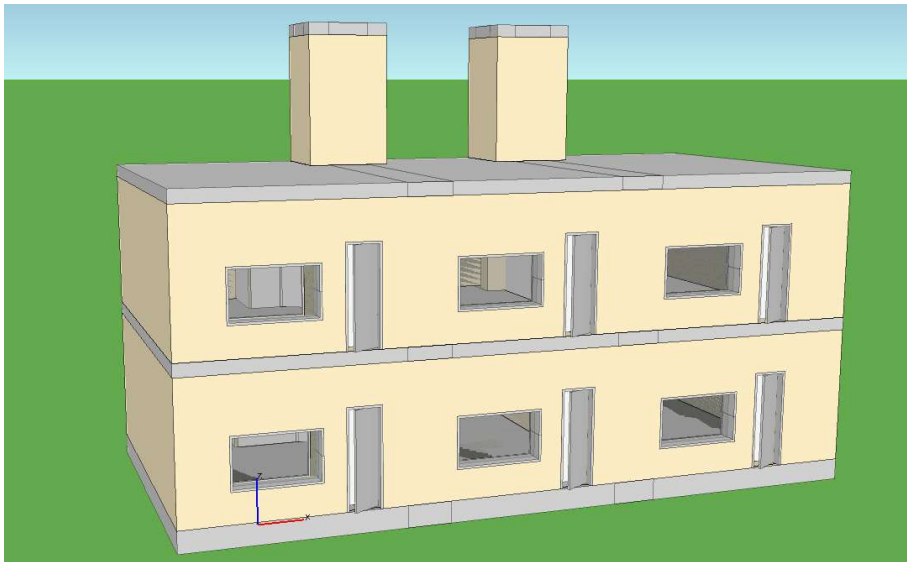
### **6.1 Simuloinnin tavoitteet**

Energiasimuloinnin tavoitteena oli tutkia painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän vuotuista energiankulutusta verrattuna koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään. Tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän rakenteeseen tai siihen miten kyseinen järjestelmä saadaan suunniteltua, sekä toteutettua siten että se mukautuu ulko-olosuhteisiin. Oletuksena on että painovoimaisen ilmanvaihdon ulkoilmavirta pysyy vuoden ympäri vakiona. Simuloinnissa ei myöskään ole huomioitu energiankulutusta, joka muodostuu mahdollisesta painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan tehostamisesta esimerkiksi puhallinteholla tai poistohormin lämmityksellä.

### **6.2 Simulointimallin rakenne**

Simuloitavaksi kohteeksi mallinnettiin kuvitteellinen kaksikerroksinen rivitalo, jossa on kahdeksan asuntoa. Tällaisessa rakennuksessa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän vaatima hormitila olisi mahdollisesti helpompi toteuttaa. Kerroskorkeudella hormikorkeutta saataisiin kasvatettua mahdollisesti yksikerroksista rakennusta paremmin. Asuntoihin sisäänkäynti tapahtuu luhtikäytävän kautta.

Energiasimulointi tehtiin IDA ICE -ohjelmistolla. Seuraavassa kuvassa on esitetty simuloitavan esimerkkirakennuksen 3D-malli.



KUVA 16. Tutkimuksessa simuloitava rakennus

Simulointi tehtiin rakennukselle kahdenlaisilla ilmanvaihtojärjestelyillä. Molemmissa versioissa yhden asunnon ilmavirraksi asetettiin 15 l/s. Rakennuksen yhteenlasketuksi ilmavirraksi muodostui tällöin 90 l/s. Tilojen lämmitykseen käytettiin IDA ICE-ohjelmiston ideaalisia lämmityslaitteita. Rakennuksen mitat sekä rakenteiden arvot on esitetty seuraavassa taulukossa

TAULUKKO 2. Rakennuksen rakenteelliset arvot

Netto lattia-ala (koko rakennus)	186 m <sup>2</sup>
Netto lattia-ala (per. asunto)	31 m <sup>2</sup>
Huonekorkeus	3,2 m
Ikkuna pinta-ala rakennusvaipasta	3,2 %
U-arvo, ulkoseinät	0,17 W/(m <sup>2</sup> *K)
U-arvo, yläpohja	0.09 W/(m <sup>2</sup> *K)
U-arvo, alapohja	0.17 W/(m <sup>2</sup> *K)
U-arvo, ikkunat	1,00 W/(m <sup>2</sup> *K)
U-arvo, ovet	1,00 W/(m <sup>2</sup> *K)
Ilmanläpäisevyys, q50	2 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )

Kappaleissa 6.2.1, sekä 6.2.2 on kuvattu simulointien ilmanvaihtojärjestelmään tehdyt eroavaisuudet.

### 6.2.1 Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä (Koneellinen LTO)

Ensimmäisessä simuloinnissa tarkoituksena oli luoda nykyisin tyypillinen ilmanvaihtojärjestelmä, joka täyttää energiatehokkuus vaatimukset. Rakennukseen asetettiin lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. Energiankulutuksessa otettiin huomioon myös puhaltimien energiankulutus. Simuloinnissa käytettyjä ilmanvaihtokoneen arvoja on esitetty seuraavassa taulukossa.

TAULUKKO 3. Ilmankäsittelykoneen mitoitusarvot

Ilmankäsittelykoneen SFP	1,6 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde	0,75
Jäteilman minimilämpötila	1°C

### 6.2.2 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä (PVIV)

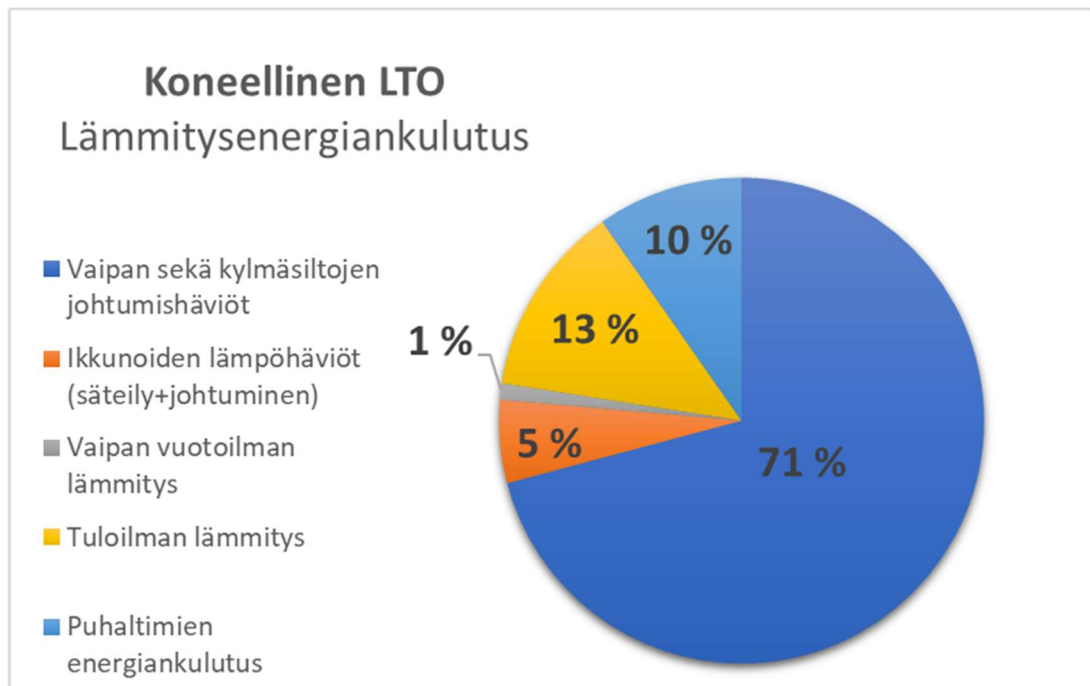
Toisen simuloinnin tarkoituksena oli havainnollistaa täydellisesti toimivan painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutusta. Ulko-olosuhteista riippumattomien vakioitujen ilmavirtojen saavuttamiseksi, rakennukseen tehtiin puhaltimella toimiva poistoilmanvaihto ja poistoilman päätelaitteet sijoitettiin wc-tiloihin. Tuloilma tuli asuntoon ikkunan päälle sijoitetusta vuotoaukosta.

Poistoilmapuhaltimen oman energiamittarin avulla simuloinnin tuloksista saatiin jätettyä puhallinenergia huomioimatta. On silti syytä huomata, että painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä on hyvin haastava saada toimimaan tällä tavoin ilman avustavia järjestelmiä. Avustavien järjestelmien energiankulutusta ei ole huomioitu tässä vertailussa.

## 6.3 Tulokset ja pohdinta

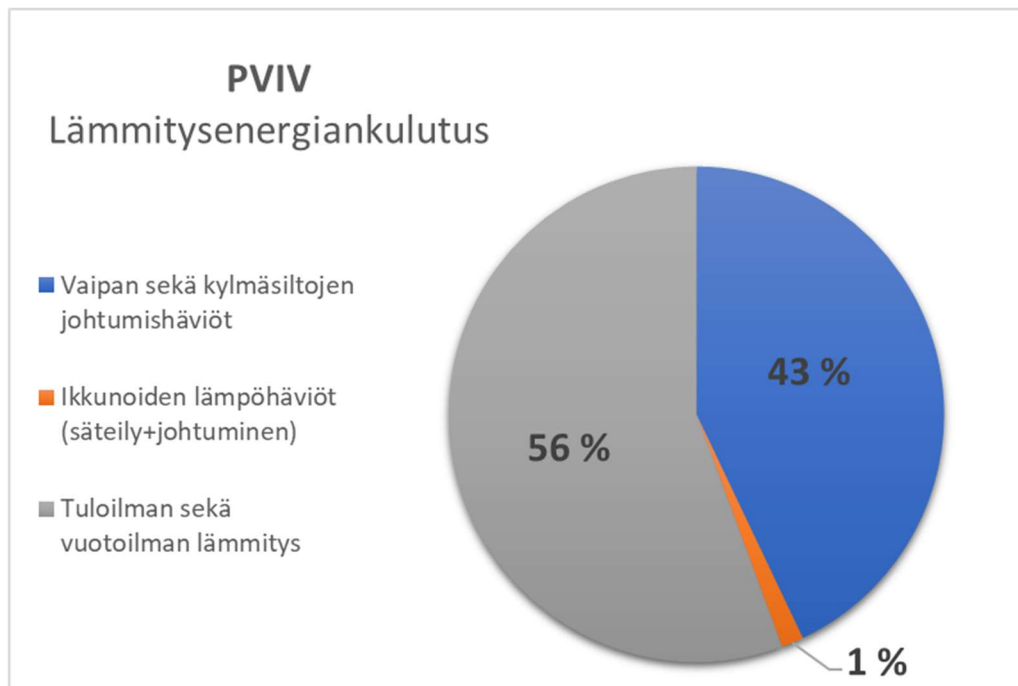
Simuloinnin tuloksena muodostettiin kaaviot rakennuksen lämmitysenergian kulutuskohteista, sekä rakennuksen vuotuisesta kokonaisenergiankulutuksesta.

Lämmitysenergian kaavioista on jätetty pois asumisesta syntyvä energiankulutus ja keskitytty rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarkasteluun. Kaaviossa on esitetty rakennuksen vaipan, sekä kylmäsiltojen johtumishäviöt, ikkunoiden lämpöhäviöt, tuloilman lämmitykseen kuluva energia, sekä vaipan vuotoilman lämmityksestä aiheutuva lämmitysenergian tarve. Ikkunoiden aiheuttamassa lämmitysenergian tarpeessa on huomioitu johtumishäviöiden lisäksi ikkunoista sisään tulevan lämpösäteilyn teho. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty koneellisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustetun rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen muodostuminen.



KUVIO 3. Lämmitysenergiankulutus, koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä

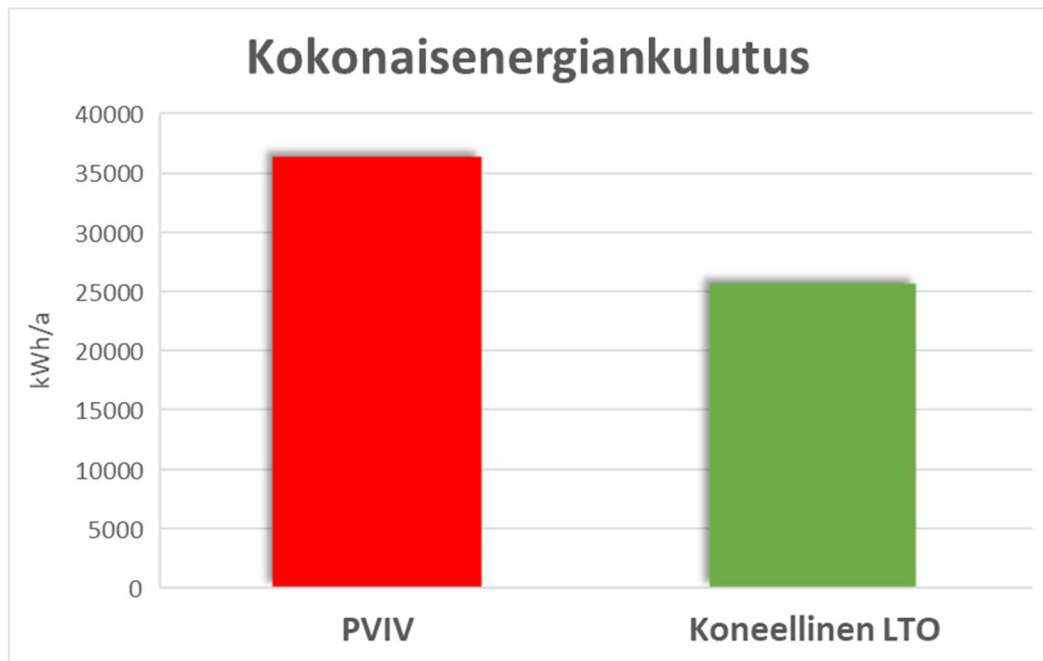
Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergiankulutuksesta voidaan todeta valtaosan lämpöhäviöistä muodostuvan rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä. Tuloilman lämmitykseen kuluva energia on vain 13%. Nykyaikaisilla huurtumisen eston ohjauksilla jäteilman lämpötilaa on mahdollista saada laskettua tässä simuloinnissa käytettyä 1 celsius-astetta alemmaksi. Puhallinenergian kulutus on otettu kuvaajaan mukaan vertailun helpottamiseksi painovoimaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustetun rakennuksen lämmitysenergian kulutuksen muodostuminen.



KUVIO 4. Lämmitysenergiankulutus, painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustetussa rakennuksessa tuloilman lämmityksen energiankulutus on 55% vertailussa huomioiduista lämpöhäviöistä. Rakennuksen ylläpidon kannalta ilmanvaihto tällaisissa rakennuksissa on suurin lämmitysenergian kulutuskohde. Tuloilman lämmitysenergian tarpeen nousu verrattuna koneelliseen ilmanvaihtoon, johtuu tässä simuloinnissa vain lämmöntalteenoton puuttumisesta. Simuloinnissa käytettyjen vakioilmavirtojen aikaansaamiseksi painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä tämän opinnäytetyön tutkimusosuuden perusteella tarvitsee lisäjärjestelmiä. Ilmanvaihdon tehostamisen lisäjärjestelmiä voivat olla esimerkiksi poistohormin lämmitys, puhallinavustus tai tuulitehostus sekä niiden ohjauksen edellyttämät laitteet. Realistisessa vertailussa myös lisäjärjestelmien energiankulutuksen huomioon ottaminen on tarpeen.

Kokonaisenergiankulutuksen kuvaaja sisältää myös muut asumisesta aiheutuvat energiankulutukset. Laskelmissa on huomioitu arviot käyttöveden valmistuksesta sekä valaistuksesta aiheutuvista energiankulutuksista. Molemmat laskelmat on tehty identtisillä parametreillä ilmanvaihtojärjestelmää lukuun ottamatta. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty painovoimaisella ilmavaihtojärjestelmällä (PVIV), sekä koneellisella ilmanvaihtojärjestelmällä (Koneellinen LTO) varustetun rakennuksen vuotuinen kokonaisenergiankulutus.



KUVIO 5. Kokonaisenergiankulutus

Simuloinnissa vuotuisiksi kokonaisenergiankulutuksiksi saatiin painovoimaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle n.36 400 kWh ja koneelliselle n.25 600 kWh. Lämmöntalteenoton puuttuminen nostaa siis koko rakennuksen vuotuista energiankulutusta n.42%.

Tässä simuloinnissa esitetyin lisähuomioin voidaan todeta lämmöntalteenoton puuttumisen muodostavan painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä energia- tehokkuudeltaan huomattavasti huonomman verrattuna koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään. Koneellisen ilmanvaihdon simuloinnissa käytetty ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, sekä jäteilman minimilämpötila ovat valittu mahdollisimman epäedullisesti eikä laskelmissa ole huomioitu painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän vaatimia lisäjärjestelmiä sen toiminnan takaamiseksi ympärivuotisesti.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa on esitelty opinnäytetyöni perusteella tekemäni johtopäätökset painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän soveltuvuudesta uudiasuinrakentamiseen kirjoittamisen hetkellä sekä tulevaisuudessa. Johtopäätökset perustuvat opinnäytetyössä esitettyyn tietoon. Laskelmia tehtiin vain energiatehokkuuden tarkasteluun, muiden osa-alueiden johtopäätökset perustuvat tämän työn tutkimuksesta saatuun henkilökohtaiseen näkemykseen.

### 7.1 Suunnittelu ja toteutus

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun sekä toteutuksen kannalta suurimmaksi haasteeksi osoittautui riittävän energiatehokkuuden saavuttaminen, sekä jatkuva käyttövoiman muutoksista aiheutuva sisäolosuhteiden vaihtelu. Näiden haasteiden ratkaisemiseksi tehtyjen valintojen vaikutukset täytyisi pystyä osoittamaan laskennallisesti ennen rakentamista.

#### **Rakentamismääräykset**

Suomen rakentamismääräykset ja asetukset tässä opinnäytetyössä tarkastelluin osin mahdollistavat teoriassa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttämisen asuinrakentamisessa seuraavin edellytyksin. Rakentamisympäristö saattaa luoda ilmanvaihtojärjestelmälle vaatimuksia, jotka muodostuvat ylitsepääsemättömäksi haasteeksi painovoimaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle. Riittävän suodatus- tai esimerkiksi äänenvaimennuksen tuoma painehäviö nykyisillä käytävissä olevilla ratkaisuilla saattaa tehdä painovoimaisesta ilmanvaihtojärjestelmästä mahdottoman toteuttaa.

Suomen rakennuslainsäädäntö jättää rakennusvalvonnan viranomaisille tulkin- nanvaraa, sekä päätösvaltaa esimerkiksi ympäristön vaikutusten osalta rakentamisen vaatimukseen. Täten myös painovoimaisen ilmanvaihdon toteuttamisen mahdollisuudet riippuvat osittain rakennusvalvonnan näkemyksestä järjestelmän soveltuvuudesta kyseiseen hankkeeseen. Tässä työssä rakennusvalvonnan kanta on otettu huomioon TOPTEN-rakennusvalvontojen julkaisuiden avulla.

Koneellisen ja painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän raja lainsäädännössä on häilyvä. Saattaa tulla tilanteita, jolloin avustetun painovoimaisen ilmanvaihdon luokittelu pääosin painovoimaiseksi, taikka koneelliseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi on haastavaa. Tämän opinnäytetyön perusteella nykyvaatimukset normaalin rakentamiskäytännön ja viranomaismenettelyn kautta edellyttävät painovoimaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle jonkinlaisia lisäjärjestelmiä ilmanvaihdon toiminnan takaamiseksi kaikissa olosuhteissa. Tämä luo asetusten ja määräysten tulkintaan haasteen vaatimusten ollessa esitetty esimerkiksi pääosin lämpötilaerojen tai tuulen vaikutuksesta toimiville järjestelmille.

### **Energiatehokkuus**

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton haastava toteuttaminen edellyttää painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä varustetun rakennuksen energiankulutuksen tarkastelua kokonaisuutena. Energiatehokkuus asetuksen vaatimusten täyttäminen ohjaa ostoenergian muodon valitsemista E-luku vaatimuksessa edullisesti huomioitavaan energian muotoon, sekä kannustaa rakennuksen omaan energiantuotantoon. Omalla energiantuotannolla E-luvun laskennassa käytettävää ostoenergian määrää saisi mahdollisesti pienennettyä vaatimukset täyttäväksi. E-luvun laskenta sekä raja-arvon täyttymisen tarkastelu täytyy tehdä rakennuskohtaisesti.

### **Ilmavirtojen hallinta**

Ympäri vuotisten hallittujen tuloilmavirtojen saavuttaminen ennalta suunnitelluilla, sekä laskennallisesti osoitetuilla mitoituksilla on haastavaa. Suunnittelu ja toteutus vaatii erityisosaamista sekä vahvaa ammattitaitoa. Monille painovoimaisen ilmanvaihdon tehostamisratkaisuille ei ole Suomessa varmennettuja mitoitusohjeita tai laitteiden mitoittamiseen tarvittavia lähtötietoja ei ole edes saatavilla. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon rakennuspaikan tuuliolosuhteet suunnan ja voimakkuuden puolesta. Syytä on myös huomioida ulko-olosuhteiden kausivaihtelut. Nykyisillä simulointiohjelmistoilla ja laskentakaavoilla tuulen vaikutusten osoittaminen ilmanvaihtoon tarkasti on haastavaa.

Ilmanjaossa ja poistossa tehtyjen ratkaisujen on luotava ympärivuotiset viihtyisät sisäolosuhteet. Ilmanvaihdon huuhtelevuuteen tilassa on syytä kiinnittää erityistä huomiota varsinkin, jos tuloilman lämpötilassa on kausivaihteluita.

Ilmanvaihdon tehostuksen, sekä liesituulettimen käytön vaikutuksien huomioiminen rakennuksen painesuhteisiin on erityisen tärkeää. Korvausilman saanti on pystyttävä järjestämään sisäolosuhteet ylläpitäen siten, että ilmavirrat eivät käänny kanavistoissa tai hormeissa väärään suuntaan.

## **7.2 Ilmanvaihtojärjestelmän valintaperusteet**

Työn yhtenä tavoitteena oli vähentää ilmanvaihtojärjestelmiin sekä niiden eroihin liittyviä harhakuvia. Seuraavissa kappaleissa olen esittänyt näkemykseni mahdollisista painovoimaisuuteen sekä luonnollisuuteen liitetystä valintaperusteista painovoimaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle.

### **Huollontarve sekä sähkölaitteet**

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän valintaperusteena ollessa huollontarpeen tai sähkölaitteiden vähäisyys, on sisäolosuhteiden ylläpitämiseksi jatkuva säätö silti tarpeen. Jos säätöä tai tehostusta ei tehdä automatiikan tai muiden sähköä käyttävien laitteiden avulla, se vaatii käyttäjää tai muuta järjestelmän hyvin hallitsevaa henkilöä tekemää jatkuvaa säätötyötä. Ilmanvaihtojärjestelmän säätö ei voi nykypäivänä perustua käyttäjän tuntumaan sisäolosuhteista. Säädön täytyy perustua esimerkiksi mitattavan suureen ennalta mitoitettuun säätöön. Tällöin sisäolosuhteet tulevat varmasti toteutuneeksi. Ihminen tottuu huonoon sisäilmaan herkästi eikä enää aisti sen laatua riittävällä tarkkuudella. Huonon sisäilmaston terveysvaikutukset eivät niihin tottumisen johdosta katoa. Rakentamisen lainsäädäntö myöskin estää rakentamasta mitä kukin itse haluaa. Lainsäädännöllä asetetaan minimitaso rakentamiselle terveellinen ja energiatehokas asuinympäristö tavoitteena.

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän määräystenmukaisuus todennäköisesti vaatii myös rakennukseen tehtäviä muita lisäjärjestelmiä energiatehokkuuden ja

riittävien raitisilmavirtojen saavuttamiseksi ympärivuotisesti. Kyseisten lisäjärjestelmien huollon- sekä sähköntarve on myös syytä ottaa huomioon.

### **Energiatehokkuus sekä ekologisuus**

Painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä energiatehokkuuden vaatimusten täyttäminen siinä muodossa, kun se on tähän asti tunnettu, sekä on tässä työssä esitelty, on erittäin haastavaa. Järjestelmä vaatii hyvin innovatiivisia ratkaisuja, ammattitaitoa ja monen alan osaajien yhteistyötä.

Tämän tutkimuksen perusteella painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän saamista ekologiseksi ratkaisuksi sen toiminnan edellyttämällä lisäjärjestelmillä on vaikea nähdä. Ekologisuuden kannalta tarkastelua täytyy tehdä, jos vaatimukset täyttävä painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä saadaan suunniteltua, sekä toteutettua nykyvaatimuksilla normaaleilla rakentamisen valvonnan käytännöillä.

### **Kustannukset**

Koska painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän mitoitukseen tai suunnitteluun ei ole ohjeistuksia tai ne ovat nykypäivänä puutteellisia, vaatii suunnittelu todennäköisesti huomattavasti suuremmat resurssit verrattuna koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun.

Energiatehokkuus asetuksen täyttämisen vaatimat innovatiiviset lisäjärjestelmät, sekä mahdollisesti oma energiantuotanto mukaan lukien korottaa rakentamiskustannuksia. Edellä mainitut kohdat korottavat myös mahdollisesti ylläpito- ja huoltokustannuksia. On myös huomioitava nykyaikaisten painovoimaisten ilmanvaihtojärjestelmien harvinaisuus, sekä suunnitteluohjeistuksen vähäisyys, sekä niiden tuoma kustannusten nousu. Tämän tutkimuksen perusteella on vaikea nähdä painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän olevan koneellista ilmanvaihtojärjestelmää kustannustehokkaampi.

### 7.3 Tulevaisuus

Tulevaisuudessa tuulisimulointien työkalujen kehittyessä, myös rakennusympäristön esteet, sekä vaikutukset pystytään mahdollisesti ottamaan huomioon paremmalla tarkkuudella. Simulointityökalujen kehittyessä voivat ne yhdistettynä rakennetun ympäristön 3D-mallien luontiin mahdollistaa paremman lähtöasetelman tuulen vaikutusten huomioon ottamiseen.

Äänitekniikassa vastamelulaitteiden kehittyessä, äänenvaimennuksen toteuttamisen mahdollisuudet saattavat monipuolistua monin tavoin. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttäminen myös meluisilla alueilla saattaa tällöin helpottua.

Tällä hetkellä lainsäädäntö ohjaa pääosin energiansäästöön, eikä tarkastele niinkään hiilijalanjälkeä. Hiilijalanjälki sekä ekologisuus on nykyään nousevassa trendissä. Suomessa Ympäristöministeriöltä on tulossa ohjeistusta hiilijalanjäljen laskentaan sekä huomioimiseen rakentamisessa. Jos lainsäädäntö muuttuu enemmän hiilijalanjälkiperusteiseksi ja energiantuotanto uudistuu siten että energiaa on saatavilla helpommin kuin materiaaleja. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän rakenteellinen keveys saattaa uusien ratkaisujen ja innovaatioiden kanssa tulevaisuudessa kumota suuren energiankulutuksen haitat.

## LÄHTEET

Asetus 796/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 24.11.2017

Asetus 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 27.12.2017

Asetus 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 27.12.2017

Climecon. n.d. Päätelaitteiden mitoitus. Verkkosivu pohjainen valinta-ohjelma. Käytetty 15.03.2020. [https://ventx.climecon.fi/search\\_terminals.xhtml](https://ventx.climecon.fi/search_terminals.xhtml)

Deborah, W.. 2018. Device that can cut noise pollution by half developed by NTU researchers. Verkoartikkeli. Päivitetty 30.04.2018. Luettu 15.02.2020. <https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/device-that-can-cut-noise-pollution-by-half-developed-by-ntu-10188538>

Direktiivi 2018/844/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi.

Hagner, B., 2019. LVI-alan historiakooste. Verkojulkaisu. Julkaistu 01.10.2019. Julkaisusta versioita usealta vuodelta. Luettu 15.03.2020.

Hengitysliitto. n.d. Ilmanvaihtojärjestelmät. WWW-dokumentti. Luettu 11.03.2020. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>

Hormex.fi. n.d. Hormex Aurinkokenno -Turbowent. Verkkosivu. Luettu 29.03.2020. <https://www.hormex.fi/tuotteet/savukaasuimurit-ja-turbowent-vedonparantajat/vedonparantajat/hormex-aurinkokenno-turbowent/>

Ilmatieteen laitos. Tuuli- ja ilmanpaine-ennuste. Verkkosivu. Luettu 05.04.2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuli-ja-ilmanpaine-ennuste>

Leimu, J. 2018. Painovoimaista ilmanvaihtoa halusit tai et. Verkkoluento. 20.4.2018

Lindab. 2017. Palkittua tekniikkaa hyödyntävä ilmavirtasäädin pienentää rakennusten energiankulutusta ja huoltokustannuksia. Verkkootikkeli. Julkaistu 12.10.2017. Luettu 28.04.2020. <http://www.lindab.com/fi/pro/about-lindab/news/pages/palkittua-tekniikkaa-hyodyntava-ilmavirtasaadin-pienentaa-rakennusten-energiankulutusta-ja-huoltokustannuksia.aspx>

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 05.02.1999/132

Mikkola, J. arkkitehti. 2019. Vaihtoehtona painovoimainen ilmanvaihto. Seminaari. Ympäristöministeriön sekä SAFAS:n seminaari 20.05.2019. Tallenne <http://videonet.fi/safa/20190520/>

Paloniitty, S., 2013. Rakennusten tiiviysmittaus. Rakennustietosäätiö, Rakennustieto Oy, Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry. Verkojulkaisu. Luettu. 15.02.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK130504.pdf>

Prindle, D.. 2013. Sono: noise cancellation for your windows. Verkkootikkeli. Julkaistu 25.12.2013. Luettu 15.02.2020. <https://www.digitaltrends.com/home/sono-noise-cancellation-windows/>

RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. 01.05.2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy.

Sandberg, E. 2016a. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E. 2016b. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Teknocalor. n.d. Siipipyöräänemotripaketti LCA301+Aircone. Verkkokauppa. Luettu 05.05.2020. <https://www.teknocalor.fi/airflow-ilmanvaihdon-mittalaitteet/siipipyor%C3%B6r%C3%A4anemotripaketti-lca301-aircone-m310af17290001?returnurl=%2Fairflow-ilmanvaihdon-mittalaitteet%2f>

The Engineering Toolbox. n.d. Verkkosivu. Luettu 15.02.2020. [https://www.engineeringtoolbox.com/moody-diagram-d\\_618.html](https://www.engineeringtoolbox.com/moody-diagram-d_618.html)

TOPTEN -rakennusvalvonnat. 2018. Yhtenäiset käytännöt 117 c 02. Verkkojulkaisu. Julkaistu 12.03.2018. <https://www.pksrava.fi/asp2/default.aspx>

Vento, M.. Kuntatekniikka. 2019. Helsinki testasi simulaattorilla, miten rakennuskanta vaikuttaa alueen tuulisuuteen. Verkoartikkeli. Julkaistu 21.03.2019. Luettu 28.03.2020. <https://kuntatekniikka.fi/2019/03/21/helsinki-testasi-simulaattorilla-miten-rakennuskanta-vaikuttaa-alueen-tuulisuuteen/>

Virta, J., Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. 1. painos. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Young, H. & Freedman, R. 2004. University Physics with Modern Physics with Modern Physics. 11. painos. Pearson Addison-Wesley.