



Matias Karhu

# Rakennusten paine-eron mittaus IoT-antureilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

6.5.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Matias Karhu  
Otsikko: Rakennuksen paine-eron mittaus IoT-antureilla  
Sivumäärä: 55 sivua + 2 liitettä  
Aika: 6.5.2022

Tutkinto: insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka  
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu  
Ohjaajat: yliopettaja Rauno Holopainen  
tekninen palvelupäällikkö Joel Hollfast

---

Insinööriyössä oli tarkoitus tutkia IoT-anturien soveltuvuutta paine-erojen jatkuvaseurantaiseksi järjestelmäksi sisä- ja ulkoilman välillä. Tutkimuksessa anturit asennettiin kahteen kohteeseen Nokialla, koulurakennukseen ja päiväkotiin. Koulurakennuksessa keskityttiin tuulen ja termisen paineen muutoksiin kerrosten välillä ja päiväkodissa keskityttiin tuulen vaikutukseen. Kohteisiin asennettiin anturit aina pareittain, joista toiseen asennettiin tuulensuojakotelo.

Mittausten lisäksi tavoitteena oli haastatella alan asiantuntijoita ja selvittää, onko rakennusten vaipan yli mitattava paine-ero tärkeä ja olennainen osa rakennuksissa tehtäviä seurantamittauksia.

Tuulen nopeus ja suuntatiedot otettiin Ilmatieteen laitoksen avoimesta datasta ja paine-erojen seurantatiedot IISY Oy:n käyttöjärjestelmästä. Työssä käydään läpi paine-eroihin vaikuttavia tekijöitä, ohjearvoja, yli- ja alipaineen ongelmia sekä tyypillisiä syitä paine-erojen poikkeamiin. Mittausjakso oli 1 kuukauden pituinen, ja mittausväli antureilla oli 30 minuuttia.

Tutkimuksissa kävi ilmi, että tuulennopeudella on selvä vaikutus paine-eron muutokseen ja erityisesti tuulen suunnalla. Tuulen puhaltaessa anturien seinustoille paine-eroissa näkyi selvää hajontaa, ja tuulen kääntyessä vastakkaiselle seinustalle paine-eron vaihtelu pysyi hyvin tasaisena. Tämä oli odotettu tulos, mutta yllättävää oli se, miten pienen nopeuden omaava tuuli aiheutti selvää vaihtelua paine-eroissa.

Haastatteluissa nousi selvästi esille se, että paine-erojen seuranta on hyvin ajankohdainen aihe. Paine-eron haitoista on tiedetty jo kauan, mutta niiden seurantaa ei tähän asti ole tehty tarpeeksi. Haitallisten suurten paine-erojen epäillään olevan yksi suurimmista rakennusten sisäilmaongelmia aiheuttavista tekijöistä. Ulkovaipan yli tehtävät mittaukset ovat yleistymässä, ja niitä suunnitellaan lisättäväksi rakennusautomaatiojärjestelmiin osana muita mittauksia.

Avainsanat: paine-ero, mittaus, IoT, jatkuva seuranta, sisäilma

## Abstract

Author: Matias Karhu  
Title: Measuring Differential Pressure in Buildings with IoT Sensors  
Number of Pages: 55 pages + 2 appendices  
Date: 6 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Rauno Holopainen, Principal Lecturer  
Joel Hollfast, Technical Service Manager

---

The aim of this thesis was to explore the suitability of IoT sensors as a continuous monitoring system for the examination of differential pressure between indoor and outdoor air. The aim was to establish the effects of wind and the change of thermal pressure between first and second floors. The thesis also included an interview with professionals to find out how differential pressure monitoring is currently utilized in buildings.

The measurement was performed with IoT sensors. Temperature and wind data was acquired from the Finnish Meteorological Institute. The thesis reviewed the most common problems caused by over and under pressure and examined the base values.

The project found a clear effect of wind direction and speed on the differential pressure of buildings. The results were expected, but, surprisingly, the changes were clearly visible even with very small changes in wind conditions. Interviews revealed that the monitoring of differential pressure in buildings is growing and that it is expected to be used more and more in the future. The thesis discussed a topical issue and can be used when property owners consider a continuous monitoring system for differential pressure in their real estate.

Keywords: differential pressure, continuous measuring, indoor air, IoT

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paine-erot rakennuksessa	2
2.1	Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus	2
2.2	Sään vaikutus	3
2.2.1	Terminen paine-ero	3
2.2.2	Tuulen paine	5
2.3	Paine-erojen ohjearvot	7
2.4	Paine-erojen aiheuttamat haitat ja riskit	7
2.4.1	Ylipaineen aiheuttamat ongelmat	8
2.4.2	Alipaineen aiheuttamat ongelmat	9
2.5	Tyypilliset paine-erojen poikkeamien syyt	9
3	Mittaussuunnitelma ja kohteiden esittely	11
3.1	Mittaussuunnitelma	11
3.2	Asennus ja lähtötiedot	12
3.2.1	Siirtokoulu	14
3.2.2	Päiväkoti	15
4	Mittaustulokset	15
4.1	Tuulitiedot	15
4.2	Lämpötilatiedot	17
4.2.1	Siirtokoulu	18
4.2.2	Päiväkoti	22
5	Haastattelu	27
5.1	Haastattelukysymykset	27
5.2	Haastateltavat ja vastaukset	28
5.2.1	Asiantuntija 1	28
5.2.2	Asiantuntija 2	31
5.2.3	Asiantuntija 3	37
5.2.4	Asiantuntija 4	42

6	Pohdinta	50
	Lähteet	55
	Liitteet	
	Liite 1: Tutkimustyön kohteiden asennussuunnitelmat	
	Liite 2: Paine-eroanturin tuotekortti	

## Lyhenteet ja käsitteet

IoT	Internet of Things. Tekninen järjestelmä, joka toimii automaattisen tiedonsiirron kautta.
paine-ero	Termisen nosteen, tuulenpaineen ja ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkoilman välillä.
poistoilma	Ilma, joka johdetaan huonetilasta pois.
porrastettu käyntiaika	Automaatioon ohjelmoitu ajanjakso, jonka aikana automaatio pienentää tai suurentaa ilmanvaihtokoneen puhaltimien pyörimisnopeutta ja samalla lisää tai vähentää tulevan ja poistettavan ilman määrää.
terminen paine-ero	Sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron vaikutuksesta johtuva paine-ero. Erityisesti talvella kylmä ulkoilma pyrkii virtaamaan sisään rakennuksen alaosista ja virtaamaan ulos rakennuksen yläosista.
tuloilma	Ilma, joka johdetaan huonetilaan.
tuulenpaine	Painerasitus, joka johtuu seinäpintaan vaikuttavasta tuulesta. Paine vaihtelee tuulen suunnasta ja nopeudesta riippuen.
vuotoilma	Rakennukseen virtaava ilma ulkoilmasta erilaisten ulko-vaipan rakojen, ikkunoiden ja seinien kautta.

# 1 Johdanto

Työskenneltyäni IISY Oy:llä sisäilmaolosuhteiden parissa edellisvuosien ajan havaitsin, miten tärkeä rooli hyvällä sisäilmastolla käyttäjien viihtyvyyden ja terveellisyyden kannalta on. Paine-erot yhdistettynä lämpötilaan, hiilidioksidiin ja muihin mitattaviin sisäilmasuureihin luovat ympärillemme tilat, joissa vietämme suuren osan elämästämme. Ympäristön täytyy olla kunnossa, jotta pysymme terveisinä oman elinkaaremme loppuun asti. Tämän johdosta halusin tarkemmin selvittää, mikä osuus paine-erolla rakennuksen hyvinvointiin oikein on.

Työn tarkoituksena oli tarkastella kiinteistössä koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamia paine-eroja rakennuksen sisä- ja ulkoilman välillä. Työssä perehdyttiin olemassa oleviin käytännön tapoihin ja ohjeistuksiin mitata paine-eroja ja verrata niitä keskenään. Ohjeistukset kiinteistöjen ilmanvaihdon suunnitteluun on luotu asuinrakennuksille ja muille rakennuksille. Tässä työssä keskitytään jälkimmäisen ohjeistuksen antamiin arvoihin.

Keskeisessä osassa ovat koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon aiheuttamat paine-erot, niistä johtuvat haitat sekä niiden hallitseminen ilmanvaihdon avulla. Työssä haluttiin selventää, miksi paine-erojen seuraaminen on tärkeä osa rakennuksen hyvinvointia koko elinkaaren ajan. Huomioon otettiin myös muita paine-eroon vaikuttavia tekijöitä, kuten sääolosuhteiden vaikutus. Mittauksiin perustuva tutkimustyö tehtiin paine-eromittausten osalta koulurakennukseen ja päiväkotiin.

Erytyiseen tarkasteluun otettiin IoT-laitteiden soveltuvuus jatkuvaan paine-eron mittaamiseen rakennuksessa. Kokemukseni mukaan mittauksessa käytetyillä laitteilla on saatu hyviä tuloksia, mutta tavoite oli saada varmuus mittalaitteiden soveltuvuudesta erityisesti tuulisiin olosuhteisiin tarkastelemalla dataa tuulen-suojakoteloiduilla laitteilla.

Haastattelin moniammatillista työryhmää paine-eroihin liittyen ja selvitin näkemyksiä optimaalisesta painesuhteesta rakennuksessa, toteutustavasta ja seurannasta. Tavoitteena on saada erilaisia näkemyksiä siitä, miksi paine-erojen mittaaminen ja seuranta on tärkeä osa rakennuksissa tehtäviä seurantamittauksia.

## 2 Paine-erot rakennuksessa

### 2.1 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus

Ilmanvaihdon merkitys terveellisissä ja toimivissa rakennuksissa on suuri. Ilmanvaihdon avulla rakennukseen tuodaan suodatettua ja puhtaampaa tuloilmaa, joka luo olosuhteet terveellisille ja viihtyisälle sisäilmalle.

Rakennuksen paine-ero koostuu pääosin ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilman määrän erosta. Suurempi tuloilman määrä verrattuna poistoilman määrään aiheuttaa rakennuksessa ylipaineen, ja suurempi poistoilman määrä verrattuna tuloilman määrään aiheuttaa rakennuksessa alipaineen. Näiden lisäksi rakennuksessa voi olla erillispoistoja, alapohjan koneellista tuuletusta, keittiötilojen huuvia tai teknisen työn huuvia, jotka kaikki vaikuttavat osaltaan rakennuksen paine-eroihin.

Ilmanvaihtokoneiden ulko- ja poistoilmavirtojen ohjearvot on annettu tilojen käyttötarkoituksen mukaan koulurakennuksille [1, s. 10]. Ilmavirrat määräytyvät joko tilan lattiapinta-alan mukaan tai tilan käyttäjämäärän mukaan, riippuen siitä kumpi laskentatapa antaa suuremman ulkoilmavirran arvon. Lattiapinta-alan mukaan mitoitettavat ulkoilmavirrat ovat tilan käyttötarkoituksesta riippuen 1–4  $\text{dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ , ja henkilömitoituksella vähimmäismäärä on 6  $\text{dm}^3/\text{s}, \text{hlö}$ . [1]

Näiden mitoitussarvojen lisäksi liikuntasalille, keittiölle ja keittiön aputiloille käytetään lisätaulukkoa tilakohtaisesti [1, s. 10, 22].



Muita vaikuttavia tekijöitä rakennuksen paine-eroihin ilmanvaihtojärjestelmän ohella ovat

- rakennuksen korkeus ja sijainti
- ulkoilman sekä sisäilman välinen lämpötilaero
- ilmavuotoreitit rakennuksen sisällä
- ulkovaipan tiiviys sekä vuotoilmavirran suuruus
- palopeltien sulkeutumiset ja muut laiteviat
- ilmanvaihtojärjestelmän automaatio

[4]

## 2.2 Sään vaikutus

### 2.2.1 Terminen paine-ero

Säällä on merkittävä vaikutus sisä- ja ulkoilman välisiin paine-eroihin. Ilman tiheys ja tämän mukana ilmanpaine muuttuu lämpötilan mukaan. Ilman tiheys voidaan laskea kaavalla 1.

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R_u T} \quad (1)$$

jossa  $\rho$  on ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$p$  on ilmanpaine, Pa

$M$  on ilman moolimassa, 29 kg/kmol

$R_u$  on yleinen kaasuvakio, 8314 J/(kmol·K)

T on absoluuttinen lämpötila, K

Talvella ulkoilman ollessa viileää sen tiheys on suurempi kuin sisätiloissa olevan lämpimän ilman tiheys.

Rakennuksissa lämmin sisäilma pyrkii ulos rakennuksen neutraalitason yläpuolelta, ja sisäilmaa kylmempi ulkoilma pyrkii sisään neutraalitason alapuolelta. Tätä ilmiötä kutsutaan termiseksi paine-eroksi ja tunnetaan myös nimillä hormivaikutus ja savupiippuvaikutus. Paine-erojen tasapainotus on tavallista haastavampaa korkeissa rakennuksissa, koska tiheyserosta johtuen alemmat kerrokset ovat lähtökohtaisesti alipaineisia ja ylempät kerrokset ylipaineisia ulkoilmaan nähden. Terminen paine-ero (Pa/m) lasketaan kaavalla 2.

$$\frac{\Delta p}{\Delta h} = (\rho_u - \rho_s)g \quad (2)$$

jossa  $\rho_u$  on ulkoilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$\rho_s$  on sisäilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

g on painovoiman kiihtyvyys, 9,81 m/s<sup>2</sup>

Kun rakennuksessa on useampia kerroksia, paine-eron mittaamista suositellaan vähintään ylimmästä ja alimmasta kerroksesta sekä kahdelta julkisivulta. Korkeissa rakennuksissa portaikko yhdistää kerrokset toisiinsa. Termisen paine-eron takia rakennuksen neutraalitaso (paine-ero = 0 Pa) asettuu korkeussuunnassa yleensä lähelle rakennuksen keskiosaa kuvan 1 mukaisesti, olettaen ettei rakennuksessa ole suuria vuotoreittejä. [4. liite 1.]

Neutraalitaso muuttuu rakennuksessa, mikäli rakennuksessa on vuotoreittejä. Esimerkiksi ikkunan avaaminen alemmassa kerroksessa, siirtää neutraalitasoa

alaspäin vuotoreittiä kohti. Tällöin vuotoilmavirrat ja siitä aiheutuvat paine-erot voivat muuttua merkittävästi rakennuksen ylä- ja alaosissa. Neutraalitason siirtymässä alaspäin ylipaine kasvaa rakennuksen yläosissa. [4, liite 1.]

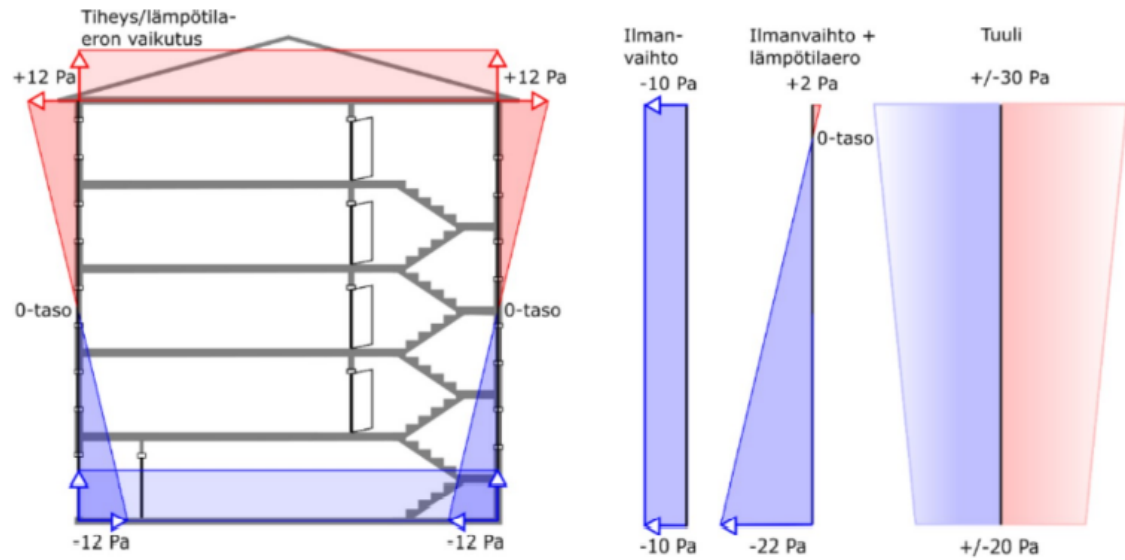
### 2.2.2 Tuulen paine

Tuuli on myös isossa merkityksessä paine-erojen mittauksessa. Tuulen paineen rasitus seinäpintaan vaihtelee tuulen nopeudesta sekä suunnasta riippuen. Mittattaessa paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä jopa hiljainen tuulennopeus vaikuttaa paine-eroon. Tästä syystä suositellaan mittausten tekemistä vähintään kahdelta julkisivulta, jotta saadaan varmempi tulos todellisen paine-eron saamiseksi.

Tuulen paineen kasvu ulkoseinässä aiheuttaa alipaineen kasvua sisätiloissa. Ulkoseinät, jotka ovat suojaisempia tai tuulensuuntaisia, vaikuttavat paine-eroihin päinvastaisesti. Tällöin normaalisti alipaineinen tila voi muuttua ylipaineiseksi ulkoilmaan nähden. [4, s. 26, 32.]

Paine-eron mittausdatassa on paljon vaihtuvuutta yli- ja alipaineen osalta johdun ulkoisista tekijöistä, kuten tuulen vaikutuksesta. Tästä syystä mittausdataa on vaikea analysoida siten, että siitä saadaan oikeallinen käsitys ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta ja sen vaikutuksesta rakennuksen painesuhteisiin. Keskiarvottamalla riittävän pitkän aikavälin mittausdataa saadaan suodatettua tuulen aiheuttamat hetkelliset poikkeamat pois ja muodostettua todenmukaisempi kuva rakennuksen painesuhteista. Näin kiinteistön ylläpito voi käyttää paine-eron dataa hyödykseen rakennuksen teknisessä ylläpidossa.

Kuvassa 1 on eritelty, miten lämpötilaero, ilmanvaihto ja tuuli vaikuttavat rakennuksen paine-eroihin. Kuvassa on nähtävissä, että ilmanvaihdon ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron yhteisvaikutuksella on erittäin suuri merkitys rakennuksen paine-erossa. [2; 4.]



Kuva 1. Ilmanvaihdon, tuulen, termisen paine-eron ja lämpötila/tiheyseron yhteisvaikutus [4].

### 2.3 Paine-erojen ohjeavot

Suomen rakentamismääräyksissä ei ole annettu rakennuksen sisä- ja ulkoilman väliselle paine-eroille ohjeavoja. Ilmanvaihdon mitoitusoppaassa [1] edellytetään, että suunnitellessa ilmavirtoja rakennukseen tulo- ja poistoilmavirrat on suunniteltava yhtä suuriksi.

Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osassa 1 [5] mainitaan ylijä alipaineen osalta seuraavaa:

- Mikäli rakennus on ilmanvaihtolaitteistosta johtuen ylipainen verratessa ulkoilmaan, tulee tällöin selvittää ylipaineen syy sekä tasapainottaa ilmanvaihtolaitteisto. Hetkelliset ylipaineiset ajanjaksot voivat aiheutua maantieteellisestä sijainnista tai tuuliolosuhteista eivätkä täten vaadi korjaustoimenpiteitä.
- Mikäli rakennuksen alipaineisuus ylittää  $-15$  Pa, tulisi tällöin alipaineisuuden syy selvittää ja ilmanvaihtolaitteisto tasapainottaa mahdollisuuksien mukaan. [5]

Paine-eron mittaamiseen tarkoitettu läpiviennin korkeusasema on 1 m lattiata-sosta. Mikäli mittauskorkeus poikkeaa yli 0,3 m, on syytä korjata mittaustulos vastaamaan 1 m:n korkeudella olevaa paine-eroa 0,1 m:n tarkkuudella. [4, s. 27.]

### 2.4 Paine-erojen aiheuttamat haitat ja riskit

Rakentaminen on kehittynyt huomattavasti 2000-luvulla. Rakennuksista tehdään ilmatiiviimpiä, jotta lämpöhäviöt olisivat pienemmät ja lämmitykseen käytettävä energia eivät menisi hukkaan. Tiiviin rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelussa on tärkeää saada rakennukseen tuleva ilmavirta sekä rakennuksesta poistettava ilmavirta tasapainoon. [2, s. 39–40.]

Aiemmin rakennusten ollessa epätiivimpiä ilmavirta on liikkunut rakenteiden vuotoilmareittien kautta vuotoilmana, jolloin paine-erot ulkovaipan yli ovat pysyneet lähellä arvoa 0 Pa. Rakennusten tullessa tiiviimmiksi vuotoilmavirran määrä on huomattavasti pienempi, jolloin paine-erot rasittavat rakennuksen vaippaa aikaisempaa enemmän. [2, s. 39–40.]

Liiallisen yli- ja alipaineen pystyy havaitsemaan esimerkiksi aukaisemalla oven. Oven auetessa tilasta ulospäin ylipaineen seurauksena ovi aukeaa ilman suurempaa voimankäyttöä. Ovea suljettaessa huoneen ylipaine vastustaa sitä enemmän, mitä lähempänä ovi on sulkemiskohtaa. Ilmavirtaus saattaa aiheuttaa viheltävää ääntä oven ollessa lähes kiinni.

Liiallisen alipaineen seurauksena samassa tilanteessa olevaa ovea avattaessa ovi pyrkii pysymään kiinni, ja oven avaukseen joudutaan käyttämään tavallista enemmän voimaa. Ilman virratessa oven raosta ulkoa sisään päin ilmavirtaus voi aiheuttaa myös viheltävää ääntä. [2]

#### 2.4.1 Ylipaineen aiheuttamat ongelmat

Poistoilmaa suuremman tuloilmavirtauksen seurauksena rakennus muuttuu ylipaineiseksi. Ylipaine pyrkii tasaantumaan rakennuksessa ja aiheuttaa vuotoilmavirtauksen rakennuksen vuotoilmarakojen kautta ulkoilmaan. Lämmin vuotoilma jäähtyy rakenteessa, ja tämän seurauksena kosteus voi tiivistyä ulkoseinän rakenteeseen. Rakenteeseen tiivistyvä kosteus muodostaa otollisen kasvualustan mikrobeille sekä mahdollisille kosteusvaurioille.

Talvikaudella rakenteisiin tiivistynyt kosteus voi myös jäätyä ja aiheuttaa halkeamia rakenteissa sekä mahdollistaa vuotoilmareittien syntymisen. Näitä vuotoilmareittejä pitkin kulkeva ilmavirtaus alentaa sisäilman lämpötilaa, jolloin lämmitykseen tarvittava lämmitysteho ja -kustannukset kasvavat.

## 2.4.2 Alipaineen aiheuttamat ongelmat

Tuloilmaa suuremman poistoilmavirtauksen seurauksena rakennus muuttuu alipaineiseksi.

Liiallinen alipaine ei aiheuta samalla tavalla rakenteellista haittaa kuin liiallinen ylipaine, mutta alipaineen seurauksena sisäilmaan voi siirtyä vuotoilmavirran mukana epäpuhtauksia rakenteista. Tilanteessa, jossa rakennuksen vaipassa ei ole korvausilma-aukkoja eikä poistoilmaa pystytä korvaamaan hallitulla tuloilmavirralla, kulkeutuu poistoilmavirran tilalle tuleva korvausilmavirta sisäilmaan rakenteissa olevia vuotoilmareittejä pitkin. Näitä vuotoilmareittejä kutsutaan hallitsemattomiksi korvausilmareiteiksi, joita ovat ulkorakenteiden, alapohjan ja ikkunankarmien liitokset, viemärit jne.

Vuotoilmareittien kautta tuleva ilma on suodattamatonta ilmaa ja tuo mukanaan epäpuhtauksia sekä erilaisia hajuja sisäilmaan. Voimakas alipaine voi mahdollisesti kuljettaa esimerkiksi radonia sisäilmaan. [3]

## 2.5 Tyypilliset paine-erojen poikkeamien syyt

Rakennuksessa paine-eron aiheuttaa termisen nosteen ja tuulen lisäksi ilmanvaihtojärjestelmä ja siihen liittyvät ongelmat. Suunnittelun, toteutuksen ja käyttöönoton vaiheissa on mahdollista tehdä päätöksiä tai riskiratkaisuja, joiden takia sisäilman laatu voi heiketä huomattavasti ilmanvaihtolaitteiston toimimattomuuden takia. Rakentamisaikaiseen puhtauteen kiinnitetään nykyään paljon huomiota. Ilmanvaihtojärjestelmien puhtaudessa tämä näkyy hyvin. Laitteisto tulee pitää puhtaana ja kuivana jokaisen rakennustyön vaiheessa, varastoinnista ylläpidon aikaiseen huoltoon.

Likaantunut ilmanvaihtojärjestelmä ei välttämättä toimi suunnitellusti ja aiheuttaa näin vääriä painesuhteita rakennukseen.

Rakennusautomaation ja ilmanvaihtojärjestelmien kehittyessä ne tulevat monimutkaisemmiksi, ja niiden käytön ohjeistuksessa voi olla puutteita. Käyttöönoton ja ylläpidon vaiheissa laitteiston huollot tulee suunnitella ja dokumentoida huolellisesti. Ylläpitovaiheessa järjestelmiä tulee huoltaa sellaisten henkilöiden, joilla on riittävä kokemus ja tietotaitoa kyseisen laitteiston huolloista.

Suurimmat paine-erot esiintyvät usein erillispoistojen ja ilmanvaihtokoneen porastetun käyntiajan yhteydessä. Käyttöajan ulkopuolella IV-koneiden tehoa pienennetään 1/1-tehon käynniltä esimerkiksi 1/2-tehon käynnille, mikä tarkoittaa likimain tulo- ja poistoilmavirtojen puolittumista. Erillispoistot saattavat kuitenkin pyöriä ainoastaan yksiteholla, jolloin käyttöajan ulkopuolella kiinteistö muuttuu voimakkaammin alipaineiseksi. Yksityiskohtaisella tasapainotuksella ja suunnittelulla on mahdollista saada riittävä ja tasapainoissa olevat ilmavirrat eri käyttötilanteissa, jottei hallitsemattomia paine-eroja synny rakennukseen.

Yksityiskohtaiseen suunnitteluun voisi esimerkiksi ottaa huomioon kesä- ja talvikauden muutokset. Talvella ulkoilman ollessa viileämpää rakennuksen sisällä oleva paine-ero muuttuu verrattuna ulkoilman paine-eroon. Yleensä alipaine kasvaa alemmissä kerroksissa, ja ylipaine kasvaa ylemmissä kerroksissa. Tällöin ilmanvaihtojärjestelmien kokonaisilmavirtoja ja ilman ohjausta IMS-peltien avulla täytyisi muuttaa, jotta koko rakennus saataisiin pidettyä tavoitellussa paine-erossa. [2]



### 3 Mittaussuunnitelma ja kohteiden esittely

#### 3.1 Mittaussuunnitelma

Mittaus toteutetaan 26:lla IoT-anturilla, jotka asennetaan rakennuksen sisäpuolelle. Antureissa on 2 napaa, joista toiseen napaan asennetaan läpinäkyvä halkaisijaltaan 7 mm:n letku, joka vie sisäilmasta ulkoilmaan ulkovaipassa olevan läpiviennin kautta. Letkun pää asennetaan ulkoilmassa 90 asteen kulmaan osoittamaan alaspäin. Läpivienti tiivistetään silikonimassalla sisä- sekä ulkopuolelta. Anturit ovat itsekalibroituja, ja suurin osa antureista on uusia, jolloin ne on kalibroitu tehtaalta tullessaan.

Anturit sijoitetaan pareittain rakennukseen vastakkaisiin ilmansuuntiin ja parin toisen anturin letkun päähän asennetaan tuulensuojakotelo. Mittausten tarkoituksena on vertailla tuulen vaikutusta antureihin, joiden ympäristöt ovat mahdollisimman lähelle samanlaisia.

Mittaus toteutetaan kiinteistössä, jossa on käytössä vaihtuvilmavirtajärjestelmä, jossa puhaltimien pyörimisnopeus muuttuu porrastetusti. Paine-eron seurannan ollessa jatkuvaa ja mittalaitteen ollessa itsekalibroituva, mittausdata on vertailukelpoista mittauksen jokaisena hetkenä. Datan analysoinnissa käytetään antureiden 30 minuutin mittausväliä, ja mittauksen kesto tulee olemaan kuukauden pituinen.

Datan analysoinnissa käytetään hyväksi IISY OY:n Freesi-sisäilmapalvelun käyttöjärjestelmää [8] sekä Ilmatieteen laitoksen avointa dataa tuulen sekä lämpötilan huomioimiseksi [6].

Tutkimuksessa käytetään Connected Finlandin PressGuard-antureita, jotka toimivat Sigfox-verkossa. Anturit ovat malliltaan 2-napaisia, ja tarkoitettu mittaamaan kahden erilaisen mittapisteen välistä paine-eroa. Mittalaitteen mittausalue on  $-500 \dots +500$  Pa ja tarkkuus on 0,1 Pa. [7]

Asennussuunnitelmat ovat liitteessä 1, ja anturin tuotekortti liitteessä 2.

### 3.2 Asennus ja lähtötiedot

Siirtokouluun asennettiin mittalaitteet 7.1.2022. Rakennus on yhteydessä päiväkotiin yhdyskäytävän kautta. Siirtokouluun asennettiin yhteensä 16 paine-eron anturia. Anturit asennettiin pareittain kuvien 2a ja 2c mukaisesti. Antureista lähtevät letkut toteutettiin läpivientinä ikkunankarmista ulkoilmaan sekä ulkoseinän läpi ulkoilmaan kuvien 2b ja 2d mukaisesti.

Tuulen huomioimiseksi käytetään Ilmatieteen laitoksen lähintä sääasemaa, joka sijaitsee 8 kilometriä kaakkoon tutkittavasta kohteesta. Puuskatuulia ei näin ollen pystytä käyttämään relevanttina tietona mittausdatalta

Mittausjakson ajankohta oli 10.1.2022–7.2.2022



Kuva 2. a) Paine-eron anturit asennettu ikkunakarmista. b) Paine-eron mittaus-  
letkun asennus rakennuksen ulkopuolella). c) Paine-eron anturit asennettuna ul-  
koseinän läpi. d) Paine-eron mittaus letkun asennus rakennuksen ulkopuolella.

Anturit asennettiin tutkittaviin rakennuksiin kuvan 2abcd mukaisesti. Kuvissa a)  
ja c) näkyvät asennukset rakennuksen sisäpuolella ja kuvissa b) ja d) asennuk-  
set rakennuksen ulkoseinustalla.

### 3.2.1 Siirtokoulu

Siirtokoulu on kaksikerroksinen rakennus. Anturit asennettiin vertikaalisesti samaan kohtaan ja samanlaisiin tiloihin molempien kerrosten osalta. Tavoitteena oli tarkastella paine-erojen muutosta eri kerrosten välillä. Tätä ei kuitenkaan voitu toteuttaa kaikkien tilojen kohdalla, koska neljä anturia oli asennushetkellä viallisia. Antureita asennettiin opettajanhuoneisiin, luokkatiloihin sekä käytäville. Vialliset anturit vaihdettiin 25.1.2022. Vertailukelpoista mittadataa saatiin kuu-desta eri tilasta ja kahdesta kerrosten välisestä tilasta.

Rakennuksessa on 4 luokkahuonetta/pääty ja ne on jaettu avattavalla verholla, jolloin tilat on mahdollista muuttaa kahdeksi luokkahuoneeksi. Yhden luokkahuoneen koko on n. 45 m<sup>2</sup>, ja verhon ollessa auki luokkahuoneen pinta-ala kaksinkertaistuu. Käytävä on yhteydessä molempiin kerroksiin, ja kerroskohtaista pinta-alaa on 89 m<sup>2</sup>. Opettajanhuoneisiin asennetut anturit ovat kooltaan 30 m<sup>2</sup>. Koko rakennuksen pinta-ala on 897 m<sup>2</sup>.

Koulurakennusta palvelee yhteensä 4 ilmanvaihtokonetta. Molemmissa kerroksissa on kaksi ilmanvaihtokonetta. Ensimmäisen kerroksen eteis-, käytävä, ja WC-tiloja palvelevat ilmanvaihtokoneen (TK02) suunnitellut tulo- ja poistoilmavirrat ovat +297/-297 dm<sup>3</sup>/s ja toisen kerroksen ilmanvaihtokoneen (TK04) tulo- ja poistoilmavirrat ovat +168/-173 dm<sup>3</sup>/s. Ensimmäisen kerroksen opetustiloja palvelevat ilmanvaihtokoneiden (TK01) suunnitellut tulo- ja poistoilmavirrat ovat +1245/-1245 dm<sup>3</sup>/s ja toisen kerroksen ilmanvaihtokoneen (TK03) +1410/-1405 dm<sup>3</sup>/s. Kohteen rakennusautomaatiosta ei saatu työhön tietoa siitä, miten IV-koneiden porrastetut aikaohjelmat on asetettu ja onko niitä asetettu kaikille IV-koneille.

### 3.2.2 Päiväkoti

Anturit asennettiin päiväkotiin 5.1.2021. Päiväkotiin asennettiin yhteensä 9 paine-eron anturia, joista työssä hyödynnetään 8 anturia vertailudatan saamiseksi. Anturi asennettiin pareittain kuvien 2 ja 4 mukaisesti.

Päiväkodin tilat, joihin mittalaitteet asennettiin eivät ole identtiset, vaan eri käyttötarkoitukseen tarkoitettuja tiloja. Tämä on yksi paine-eroihin vaikuttava tekijä. Pohjois-, länsi- ja itäpuolelle asennetut mittalaitteet ovat lepo- ja leikkihuoneita ja eteläpuolelle asennetut anturit sijaitsevat ruokalassa. Lepo ja leikkihuoneet ovat kooltaan 40–60 m<sup>2</sup> ja ruokala 136 m<sup>2</sup>. Rakennuksen kokonaispinta-ala on 1553 m<sup>2</sup>.

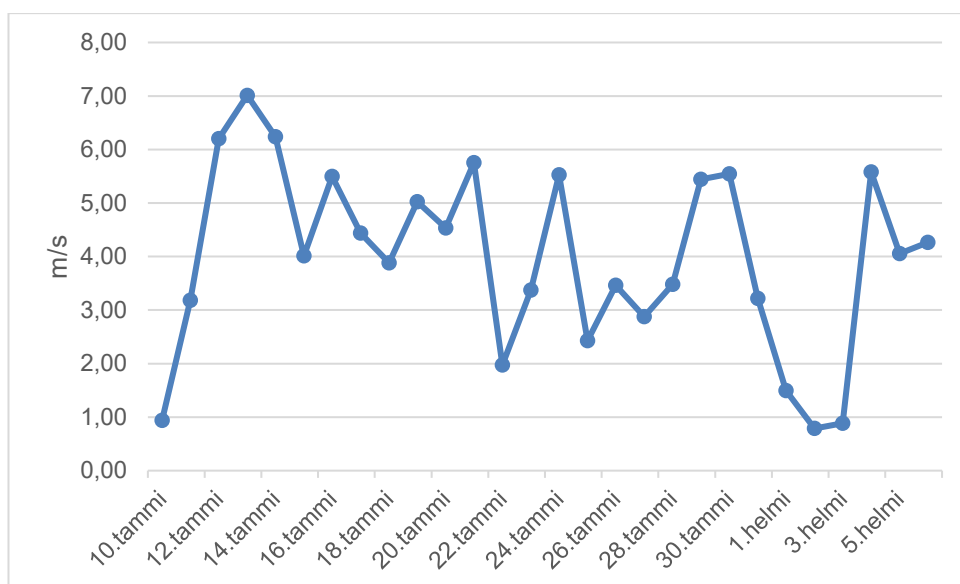
Kohteesta ei saatu IV-kuvia, eikä rakennusautomaation kautta tietoja mahdollisesta asetetusta aikaohjelmasta.

## 4 Mittaustulokset

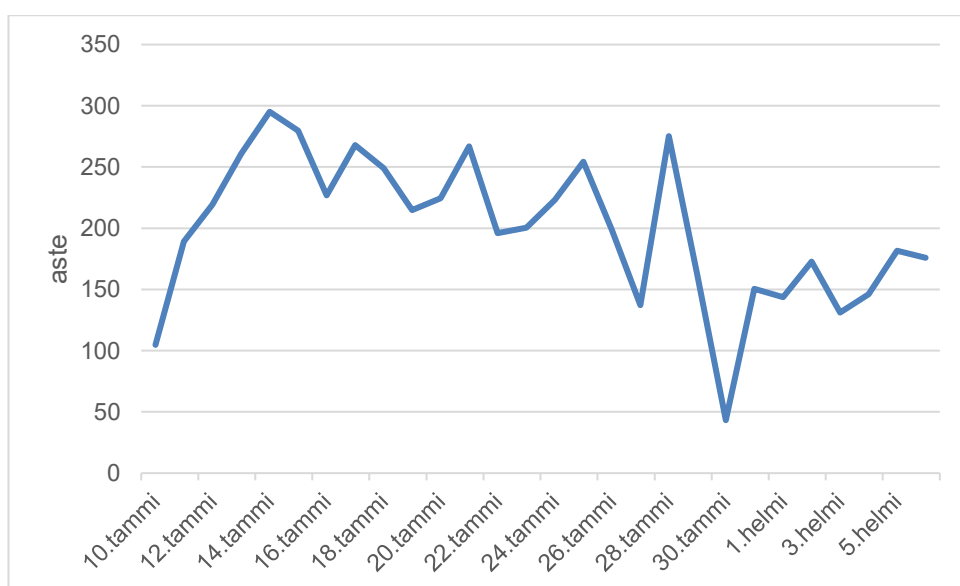
### 4.1 Tuulitiedot

Tuulitietoihin otettiin huomioon tuulen nopeus m/s sekä tuulen suunta. Mittausjakson ajalta kuvat tehtiin käyttämällä yhden tunnin mittausväliä sekä 10 minuutin mittausväliä. Päiväkohtainen tulos on saatu laskemalla keskiarvo kyseisen päivän kaikista mittaustuloksista.

Molemmilla mittaustavoilla saadut mittausdatat olivat lähes identtiset. Työhön valitsin yhden tunnin mittausvälin omaavan kaavion sen ollessa lähempänä anturien 30 minuutin mittausväliä. Tuulen nopeuden vaihteluväli oli kuvan 3 mukaan mittausjakson aikana n. 1–7 m/s. Tuuli vaihteli koko mittausjakson ajan, ja suurimmat tuulilukemat tulivat alussa 12.–14. tammikuuta tuulen oltua keskiarvoisesti yli 6 m/s. Ilmatieteen laitoksen mukaan 4–7 m/s asti puhaltava tuuli luokitellaan kohtalaiseksi ja sitä alhaisemmat lukemat heikoksi.



Kuva 3. Tuulen nopeus mittausjakson aikana (m/s). [6]



Kuva 4. Tuulen suunta mittausjakson aikana (aste). [6]

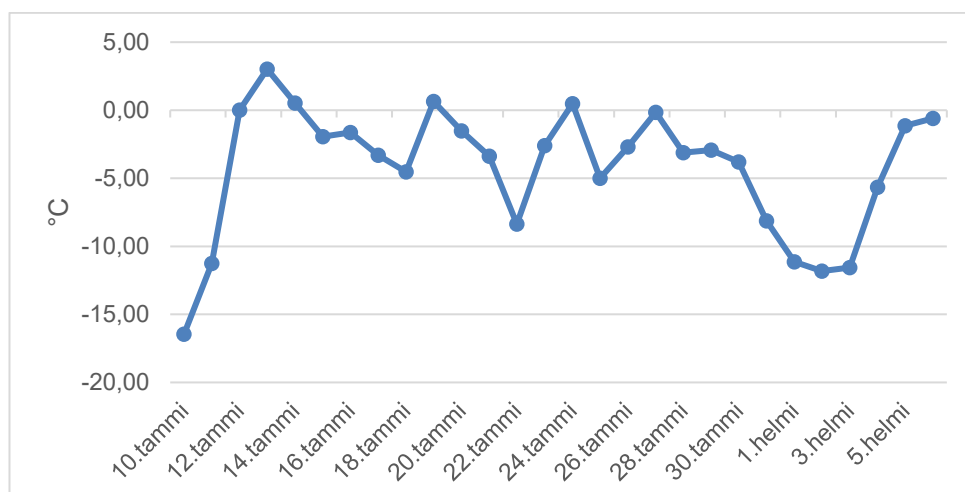
Kuvan 4 mukaista taulukkoa luetaan asteittain, suunnasta, josta tuuli puhaltaa. Esimerkiksi tuulen lukeman ollessa  $180^\circ$  tuuli puhaltaa tällöin etelästä päin.

Suurimman osan mittausjakson aikana tuulen suunta vaihteli välillä  $200^{\circ}$ – $300^{\circ}$ , mikä tarkoittaa sitä, että rakennusten ulkoseiniin kohdistuvan tuulenpaineen pitäisi vaikuttaa eniten lounas-luodesuunnissa oleviin ulkoseiniin.

Mittausjakson viimeisillä viikoilla tuulen suunta muuttui puhaltamaan kaakkois-eteläsuunnasta päin.

## 4.2 Lämpötilatiedot

Lämpötilatietoihin otettiin huomioon ulkoilman lämpötila. Mittausjakson ajalta kuva tehtiin käyttämällä yhden tunnin mittausväliä. Päiväkohtainen tulos on saatu laskemalla keskiarvo kyseisen päivän kaikista mittaustuloksista.



Kuva 5. Ulkoilman lämpötila mittausjakson aikana (°C). [6]

Ulkoilman lämpötilan vaihteluväli oli kuvan 5 mukaan mittausjakson aikana n.  $-16\dots+3^{\circ}\text{C}$ . Lämpötila pysyi pääosin pakkasella koko mittausjakson ajan. Suurin lämpötilan muutos on nähtävillä mittausjakson alussa 10.–13.1.2022, jolloin ulkoilman lämpötila nousi  $+16^{\circ}\text{C}$ . Suurimman osan mittausjaksosta ulkoilman lämpötila vaihteli välillä  $-5\dots\pm 0^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.1 Siirtokoulu

Kuvassa 6 on esitetty kaavio, jossa näkyvät mittausjakson aikaiset paine-erot sisäilman ja ulkoilman välillä IoT-mittareista, jotka asennettiin rakennuksen 1. ja 2. kerroksen itäpäätyyn. Vaaleansiniset palkit edustavat mittausjakson viikonloppuja.

Kuvissa 6 ja 7 vaaleanvihreät ja siniset mittapisteen ovat 1. kerrokseen asennettuja ja tummanvihreä ja violetti ovat 2. kerrokseen asennettuja. Kuvasta 6 on nähtävissä datan perusteella paine-eron olleen noin 5 Pa alhaisempi alemmassa kerroksessa kuin ylempään kerrokseen asennettujen anturien. Mittapisteiden P102 (vaaleanvihreä) ja P202 (violetti) rakennuksen ulkoilmaan menevän letkun päähän asennettiin Pel-Usk-tuulensuojakotelo.

Kahden vierekkäisen mittapisteen osalta tarkoituksena oli tarkastella tuulen vaikutusta paine-eroihin, kun lähtökohtana anturit ovat lähes identtisisessä paikassa. Mittadatan perusteella 30 minuutin aikavälillä mitaavissa antureissa ei havaittu suuria eroja mittapisteiden välillä, ja painevaihtelut olivat hyvin lähellä toisiaan. Mittausdatan perusteella kohde on käytön aikana (7–16) ylipaineinen noin +5...+10 Pa:n verran ja käytön ajan ulkopuolella (16–7) alipaineinen, noin -8...-3 Pa:n verran.

Kuvasta 6 on nähtävillä 29.–30.1. ja 4.–5.2. alipaineisia ajanjaksoja mittausjaksolla. Tuulen nopeus on kuvan 3 mukaan ollut molemmilla hetkillä noin 5 m/s, mutta kuvan 4 mukaan tuulen puhallussuunta on selvästi muuttunut 28.–30.1. puhaltamaan luoteesta itään ja anturit on asennettu juuri kyseiselle seinustalle.

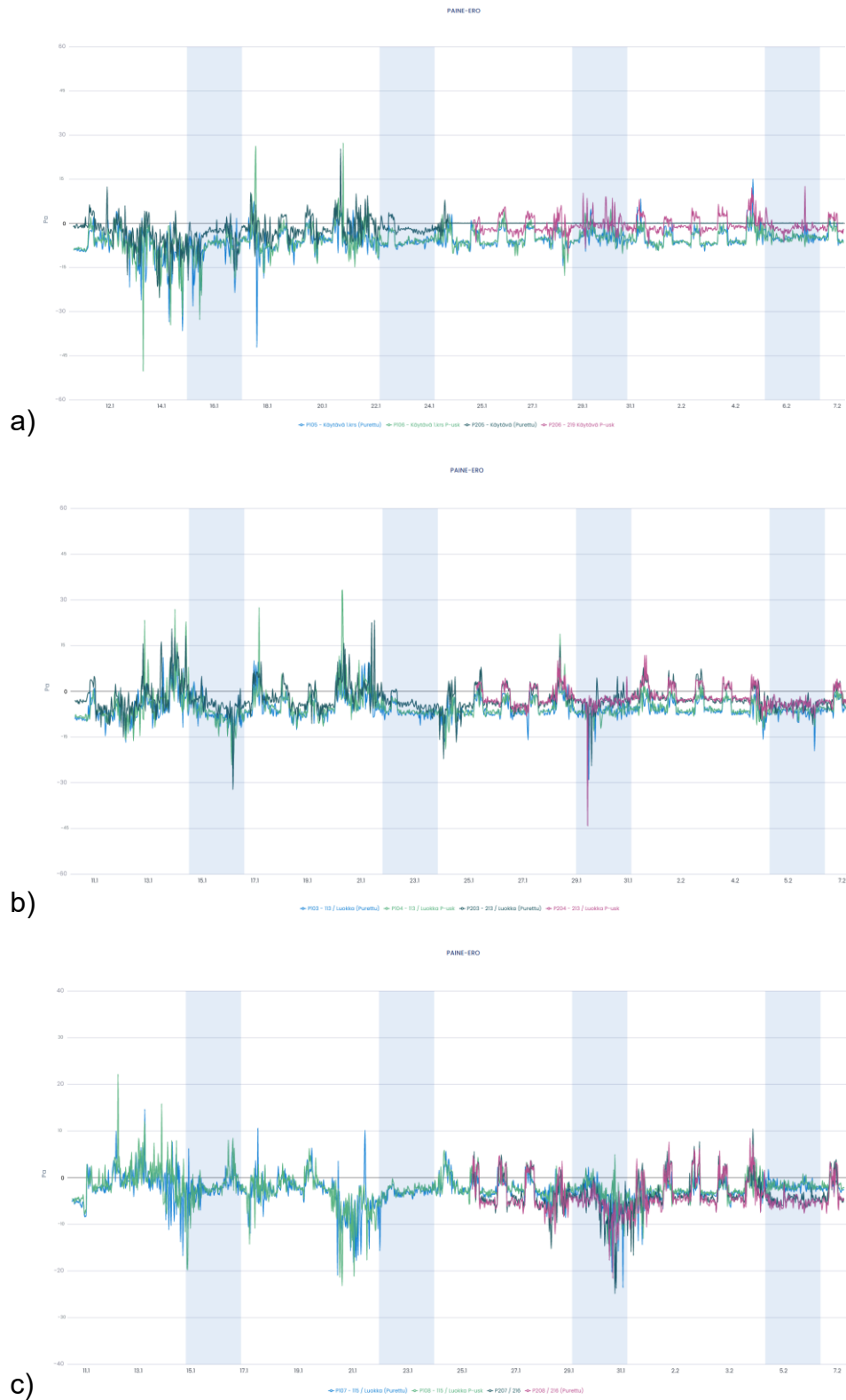




Kuva 6. Ensimmäisen ja toisen kerroksen rakennuksen itäpuolen mittaukset.

Kuvassa 7a) on nähtävissä samalla tavalla asennetut anturit, mutta vastakkaiselle puolelle rakennusta. P105 (sininen) ja P106 (vaaleanvihreä) asennettiin rakennuksen alempaan kerrokseen, P205 (tummanvihreä) ja P206 (violetti) ylempään kerrokseen. Asennushetkestä lähtien ylempään kerroksen toinen mitalaite ei toiminut, joten vertailua tuulensuojakotelon osalta ei voida pitää relevanttina.

Kerrosten välisessä tarkastelussa nähdään kuvien 7a) ja b) alempien kerrosten olevan alipaineisempi ylempään kerrokseen nähden. Kuvassa 7a) voidaan nähdä kerrosten välisen paine-eron olevan noin 5 Pa ja kuvan 7b) mukaan noin 3 Pa. Kuvasta 7a) on myös nähtävissä mittausjakson alussa oleva alipaineinen ajanjakso, joka tasoittuu mittausjakson edetessä. Verrattaessa kuvaan 6 muutokset ovat päinvastaisia kuten myös anturien sijainti rakennuksessa. Rakennuksen ilmanvaihdon käyntiaika on nähtävissä 25.1. lähtien, jolloin tuulen suunta on muuttunut puhaltamaan idän suunnalta.



Kuva 7. a) Anturien 1. ja 2. kerroksen mittadata länsipuolella, b) eteläpuolella, c) pohjoispuolella.

Mittausdata näyttää muuten samanlaiselta kerrosten välillä verrattuna aiempiin kuviin. Kuvassa 7c) on nähtävissä, että ylempään kerrokseen asennetut anturit ovat käyttöajan ulkopuolella 2–5 Pa alipaineisempia kuin alemman kerroksen anturit.

Kuvissa 8a) ja b) on esitetty kaikkien mittapisteiden paine-erojen keskiarvo tunneittain mittausjakson ajalta kerroskohtaisesti. Kuvista on hyvin nähtävillä automaation ohjelmoitu aikaohjelma. Koneiden normaalikäynnillä klo 7–16 on havaittavissa paine-erojen kasvua kaikkien mittapisteiden osalta. Kerroskohtaisessa tarkastelussa voidaan myös nähdä 1. kerroksen olevan lähtökohtaisesti alipaineisempi verrattessa 2. kerrokseen.



Kuva 8. a) Paine-erojen keskiarvo tunneittain arkisin ja viikonloppuisin, 1. kerros, b) Paine-erojen keskiarvo tunneittain arkisin ja viikonloppuisin, 2. kerros.

Keskiarvottaminen on pitkällä aikavälillä selkein mittausdatan esitysmuoto, koska tällöin yksittäiset tuulesta johtuvat muutokset, kuten kuvista 8 a ja b on nähtävillä, eivät erotu mittauksessa. Tämä on kiinteistön paine-eron pysyvyyden kannalta tärkeä asia.

#### 4.2.2 Päiväkoti

Päiväkoti on 1-kerroksinen rakennus, joten kerrosten välistä vertailua päiväkodin osalta ei tehty. IoT-mittalaitteet asennettiin pareittain ja tarkastelussa keskityttiin tuulen vaikutukseen antureihin, joista toiseen parista oli asennettu Pel-Usk-tuulensuojakotelo. Kohde on L-kirjaimen muotoinen, joten tuuli voi vaikuttaa puhallussuunnasta riippuen eri tavalla verrattuna suorakulmion muotoiseen siirtokouluun.

Mittalaitteiden mittausvälin ollessa 30 minuuttia tavoite on saada tietoa rakennuksen paine-erojen pysyvyydestä suunnitellun kokonaisilmavirran osalta ja selvittää, onko tuulensuojakotelo tarpeellinen 30 minuutin mittausvälillä. Kuvissa 15–18 sininen viiva on laitteesta, joka on suoraan yhteydessä ulkoilmaan ja viireään on asennettu tuulensuojakotelo.

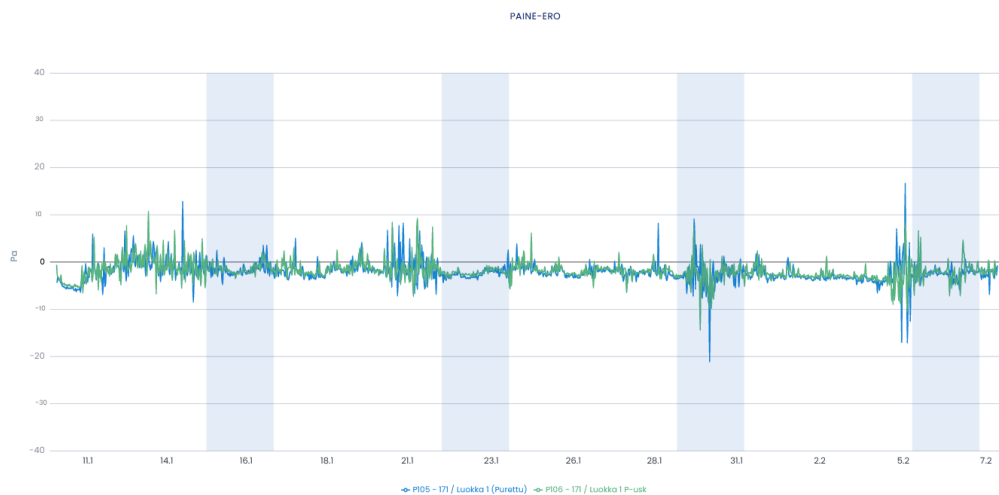
Kuvassa 9 on nähtävillä paine-eron mittapisteen P101 (sininen) ja P102 (vihreä), jotka asennettiin rakennuksen länsipäättyyn. Mittausdatan perusteella mittapistellä mitattava paine-ero pysyy hyvin lähellä 0 Pa:ia ja paine-ero vaihtelee lievän ali- ja ylipaineen puolella koko mittausjakson ajan.

Mittausjakson ensimmäisten viikkojen aikana on nähtävillä heiluntaa paine-eron osalta, ja 22.1.2022 nähdään paine-eron tasoittuvan. Muutos on samanlainen ja samaan aikaan kuvan 7a kanssa. Tuulen puhallussuunta muuttui kyseisessä ajanjaksossa puhaltamaan luoteesta itään. Tuulen nopeus ei ole kovin suuri, mutta tuulen puhallussuunnalla on pienelläkin nopeudella merkitystä.



Kuva 9. Länsipuolelle asennetut mittalaitteet.

Rakennuksen itäpuolelle asennettiin kuvan 10 mukaiset anturit P105 (sininen) ja P106 (vihreä). Toisin kuin länsipuolelle asennetuissa mittalaitteissa, itäpuolen mittauksissa paine-ero on pysynyt lähes koko mittausjakson ajan lievässä alipaineessa. Mittausjakson alussa on nähtävillä samankaltaista vaihtelua kuin mittapisteissä P101 ja P102. Tämä voi selittyä sillä, että anturit asennettiin kaakkoiskulmaan, jolloin tuuli on voinut vaikuttaa myös tuloksiin.

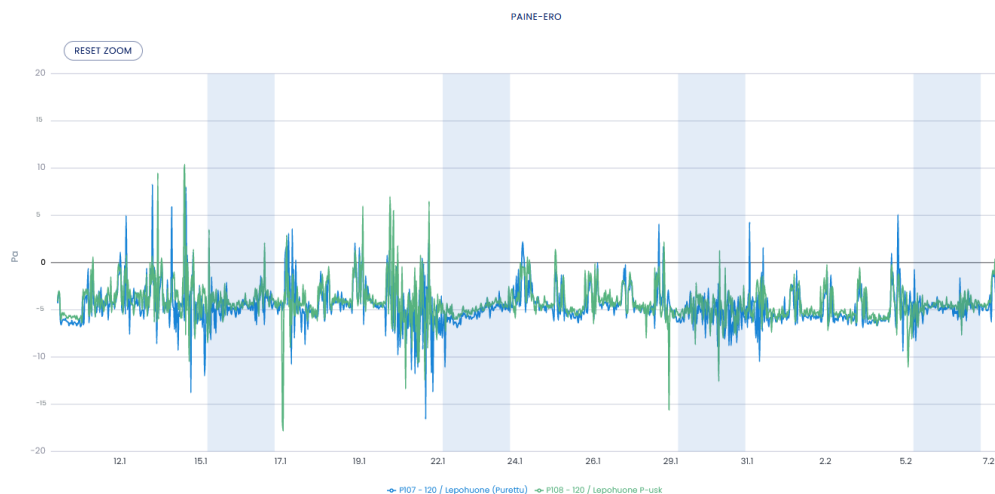


Kuva 10. Itäpuolelle asennetut mittalaitteet.

21.1. 30.1. ja 5.2. on nähtävillä tuulesta johtuvaa vaihtelua, ja verratessa antureita toisiinsa tuulensuojakotelon omaavassa anturissa vaihtelu on hieman vähäisempää, mutta ei merkittävästi. Koko kuukauden vertailussa paine-erojen muutokset ovat hyvin samankaltaisia.

Rakennuksen pohjoispuolelle asennettiin kuvan 11 mukaiset anturit P107 (sininen) ja P108 (vihreä). Paine-ero on myös tämän tilan osalta alipaineinen, keskiarvoltaan n.  $-5$  Pa. Arkisin on nähtävillä trendimäinen paine-eron muutos lähelle  $0$  Pa:n painetta, pysyen kuitenkin alipaineisena.

Kuvasta nähdään myös hetkellisiä korkeita vaihteluja molemmissa antureissa ja tuulensuojakotelon omaavassa anturissa jopa hieman suurempia lukemia. Muutoin anturien mittaukset ovat hyvin lähellä toisiaan.

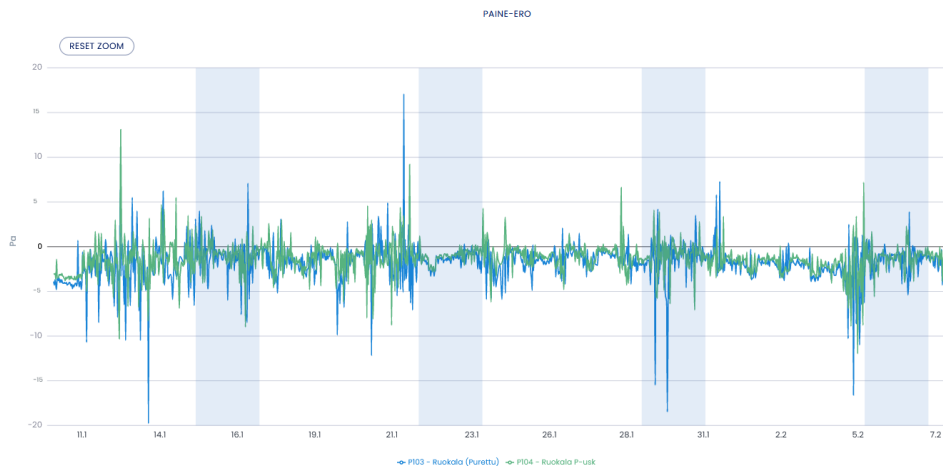


Kuva 11. Pohjoispuolelle asennetut mittalaitteet.

Rakennuksen eteläpuolelle asennettiin kuvan 12 mukaiset anturit P103 (sininen) ja P104 (vihreä). Perustaso paine-erossa on lievässä alipaineessa. Samoin kuin länsipuolelle asennetuissa mittalaitteissa on myös näiden mittalaitteiden mittausdatassa nähtävillä tuulen puhallussuunnan muutos. Mittausjakson

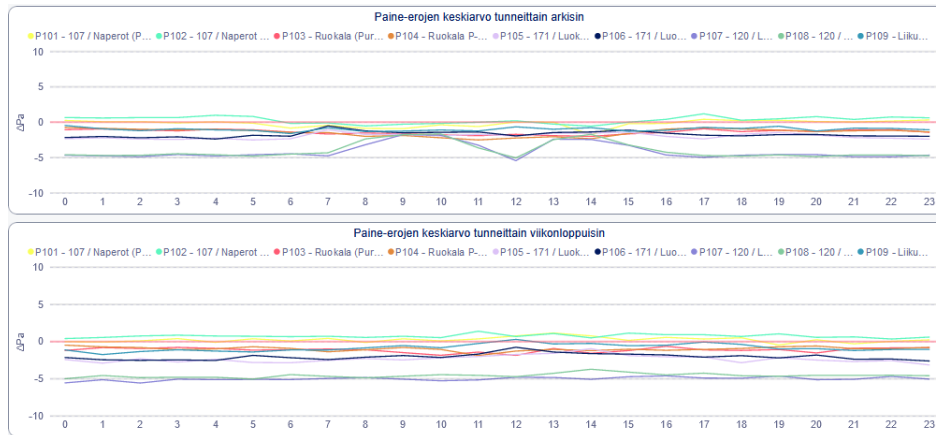
ensimmäisten viikkojen aikana vaihtelua paine-eroissa on huomattavasti enemmän verrattaessa viimeisten viikkojen mittaukseen.

Samoin kuin kuvassa 10, on tässä kuvassa nähtävissä samankaltaiset tuulesta johtuvat muutokset 29.1. ja 5.2. Erona muihin mittaustuloksiin tässä kuvassa nähdään tuulensuojakotelon omaavan anturin P104 vaihtelun olevan vähäisempää kuin anturin P103, joka on suorassa yhteydessä ulkoilmaan.



Kuva 12. Eteläpuolelle asennetut mittalaitteet.

Koko mittausjakson ajan kerätystä datasta luotiin myös kuvassa 13 nähtävillä oleva keskiarvo. Keskiarvomittauksesta voidaan nähdä paine-erojen pysyvän hyvin tasaisena sekä arkisin ja viikonloppuisin.



Kuva 13. Paine-erojen keskiarvo tunneittain arkisin ja viikonloppuisin.

Arkimittauksissa on nähtävissä poikkeama mittalaitteilla P107 ja P108 klo 8–11 ja klo 13–15, jotka asennettiin rakennuksen pohjoispuolelle. Mitattavan huoneen paine-ero on myös alipaineisempi verrattuna muihin kohteessa mitattaviin tiloihin.



## 5 Haastattelu

### 5.1 Haastattelukysymykset

Työssä käytettiin seuraavia haastattelukysymyksiä:

1. Kuinka tärkeänä pidätte rakennuksen paine-erojen seurantaan? Koe-taanko se mielestänne alalla tarpeeksi tärkeänä?
2. Millaisia hyötyjä näette rakennuksen vaipan yli mitattavasta paine-erosta ja onko se tarpeellista?
3. Paine-eroja mitataan lähtökohtaisesti ilmanvaihdon normaalin käyttötilan-teen ilmavirroilla, onko tämä riittävä rakentamisen kehittyessä ja kiinteis-töjen tiivistyessä?
4. Millaisia huomioita on tehtävä paine-eron seurannan osalta kiinteistöissä, jotka ovat eri vaiheissa kiinteistön elinkaarta. Esimerkiksi
  - a. Käyttönoton vaiheessa
  - b. Ylläpidon aikaisessa vaiheessa
  - c. Saneerattavassa kohteessa
  - d. Purkutuomion saaneessa kohteessa
5. Ilmavirtojen tilakohtaisessa suunnittelussa käytetään ohjeiden mukaan tilojen lattiapinta-alaa tai henkilömäärää. Onko nykyinen tapa hyvä, oli-siko sitä syytä muuttaa ja miten se toteutettaisiin?
6. Pystyykö ulkovaipan yli mittauksia hyödyntämään takuuajan ilmavirtojen säädöissä?

7. Tulisiko uudisrakentamisessa ottaa huomioon myös alapohjan paine-eron seuranta ja vaikuttaisiko se muun kiinteistön ilmavirtojen suunnitteluun?
8. Millaisia käytäntöjä teillä ja nykyään alalla on rakennusten painesuhteiden huomioimiseen suunnittelun- ja ylläpidon vaiheissa?
9. Onko ilmanvaihtokoneiden pysäyttämällä tai osateholle laittamisella kiinteistön käytönajan ulkopuolella negatiivisia vaikutuksia sisäilman laatuun?

## 5.2 Haastateltavat ja vastaukset

Työssä kysyttiin tietoja ja mielipiteitä neljältä asiantuntijalta. Seuraavissa alajaksoissa on esitetty vastaukset.

### 5.2.1 Asiantuntija 1

*1. Kuinka tärkeänä pidätte rakennuksen paine-erojen seuranta? Koetaanko se mielestänne alalla tarpeeksi tärkeänä?*

Tällä hetkellä vaipan yli mitattavia paine-eroja on pääsääntöisesti erikoiskoh-teissa, esim. sairaalaoissa ja teollisuudessa. Puhdastiloissa seuranta on myös hyvä. Olen kuullut, että Senaatin ja Helsingin kaupungin ohjeistuksella iso osa tiloista tullaan varustamaan paine-eromittauksella.

Ajatuksena kaikkien tilojen paine-erojen mittaaminen on hyvä, mutta tämä tulee näkymään kustannuksissa, huoltokohteiden lisäyksenä ja valtavana datan määränä. On myös selvitettävä, miten dataa aletaan seuraamaan ja mitä sillä tiedolla tullaan tekemään. Muutoin on mahdollisuus siihen, että mittareita on

erittäin paljon, mutta niitä vain mitataan. Ongelmien syntyessä sisäilmaan mittarointia kuitenkin voi käyttää hyödyksi analysoidessa vian mahdollista syytä.

Lähtökohtaisesti en kuitenkaan näe, että perushankkeessa tämä olisi kovin tarpeellinen, datan määrä, kustannukset ja lisätekniiikan takia. Pääasia on että ilmanvaihto toimii suunnitellusti.

*2. Millaisia hyötyjä näette rakennuksen vaipan yli mitattavasta paine-erosta ja onko se tarpeellista?*

Esimerkiksi. kohteissa, joissa on ollut ilmavirtasäätimiltä sekä paine-eron mittausta ja olemme todenneet tilojen olevan yli- tai alipaineisia, on saatu selville ilmavirtojen olevan epätasapainossa. Lähtökohta tässä on ollut se, ettei ilmavirtasäätimiltä tullut tieto ole ollut oikeaa. Mikäli ilmavirtasäätimiltä tuleva tieto olisi ollut kunnossa, ei paine-eron mittauksella olisi ollut tarvetta.

Erikoistiloissa, kuten sairaaloissa kuitenkin paine-eron mittaaminen on erittäin tärkeää, koska näissä tiloissa on tiedettävä, ettei ilma liiku likaisista ja puhdastiloista väärään suuntaan.

*3. Paine-eroja mitataan lähtökohtaisesti ilmanvaihdon normaalin käyttötilanteen ilmavirroilla, onko tämä riittävä rakentamisen kehittyessä ja kiinteistöjen tiivistyessä?*

Kunhan ilmanvaihto on kunnossa, niin tämä on mielestäni normaalihankkeessa riittävä.

*4. Millaisia huomioita on tehtävä paine-eron seurannan osalta kiinteistöissä, jotka ovat eri vaiheissa kiinteistön elinkaarta?*

Mikäli kohde on anturoitu käyttöönoton vaiheessa, pystytään seuraamaan ilmanvaihdon toimivuutta. Näen ilmanvaihdon olevan suurin tekijä paine-erojen muodostumiseen, tuulen vaikutuksen ohella.

*5. Ilmamäärien tilakohtaisessa suunnittelussa käytetään ohjeiden mukaan tilojen lattiapinta-alaa tai henkilömäärää. Onko nykyinen tapa hyvä, olisiko sitä syytä muuttaa ja miten se toteutettaisiin?*

Neliöt ja henkilömäärät ovat hyviä lähtöarvoja. Joskus näillä tiedoilla on mahdollisuus ilmavirtojen olevan jopa hieman liian suuria. Mikäli suunnittelija näkee, että pienemmälläkin ilmavirroilla pystytään toteuttamaan hyvä sisäilman taso, niin ilmavirrat voidaan suunnitella tällöin pienemmiksi. Tällöin tarpeenmukainen ilmanvaihto on hyvä ratkaisu.

Lähtökohtaisesti, kun suunnitellaan siten, että arvot sekä neliöiden ja ihmismäärien osalta täyttyvät, ollaan turvallisella alueella. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa voidaan sitten toteuttaa, esimerkiksi isoissa ja korkeissa aulatiloissa, jolloin suunnittelija joutuu miettimään, miten tila on järkevä suunnitella, jottei tilaan suunnitella liian suuria ilmavirtoja.

*6. Pystyykö ulkovaipan yli mittauksia hyödyntämään takuuajan ilmavirtojen säädöissä?*

Seuraamista pystytään tekemään ja mikäli erot ovat suuria on tästä hyötyä. Mikäli säädöt on tehty oikein, en näe tarvetta mittauksille.

*7. Tulisiko uudisrakentamisessa ottaa huomioon myös alapohjan paine-eron seuranta ja vaikuttaisiko se muun kiinteistön ilmavirtojen suunnitteluun?*

Alapohja pitäisi lähtökohtaisesti olla alipaineinen. Mikäli alapohjaan on suunniteltu poisto, kertoo alapohjan mittaus mahdollisesti vain, että ilmanvaihdon puhaltimet eivät pyöri.

*8. Millaisia käytäntöjä teillä ja nykyään alalla on rakennusten painesuhteiden huomioimiseen suunnittelun- ja ylläpidon vaiheissa?*

Suunnittelussa otetaan huomioon tilaajan ohjeistus. Mikäli halutaan ja nähdään tarpeelliseksi jonkun tilan mittaus, silloin mittaus toteutetaan.

*9. Onko ilmanvaihtokoneiden pysäyttämällä tai osateholle laittamisella kiinteistön käytönajan ulkopuolella negatiivisia vaikutuksia sisäilman laatuun?*

Riippuen lähtötilanteesta. Mikäli tilassa on lähteitä, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun. Mikäli huonontavia lähteitä on tiloissa, joita ihmiset käyttävät. Mikäli tiloissa ei esimerkiksi säilytetä kemikaaleja tai muita lähteitä, joista on haittaa, en näe ongelmana, miksei yön ajaksi IV-koneita voisi sammuttaa.

Nykyään määräyksissä ja ohjeistuksissa lukee, että ilmanvaihto pitäisi olla jatkuvasti päällä. Toki mikäli on kohteita, joissa esimerkiksi alapohjaan pääsee kosteutta, on ilmanvaihdon hyvä olla jatkuvasti päällä, mutta yleiset tilat tai luokkatilat joissa ei ole käyttöä, voidaan esimerkiksi toteuttaa yöhuuhtelulla.

## 5.2.2 Asiantuntija 2

*1. Kuinka tärkeänä pidätte rakennuksen paine-erojen seurantaan? Koetaanko se mielestänne alalla tarpeeksi tärkeänä?*

Riippuen rakennuksista. Kaikista rakennuksista ei ole tarve seurata jatkuvasti. Olisi hyvä, jos pystytään jollain tavoin todentamaan paine-eron muuttuvat radikaalisti. Pientalojen osalta paine-erot voivat olla todella pieniä, jolloin tarvetta ei välttämättä ole. Kuitenkin mikäli pientalossa on useita järjestelmiä, jotka vaikuttavat paine-eroihin (esim. takkaimuri, liesipoisto, keskuspolynimuri), voidaan miettiä olisiko tarve mittauksia tehdä. Kyseiset järjestelmät voivat luoda hetkellisesti suuren alipaineen.

Iso haaste on se, miten saadaan lyhyen elinkaaren omaavat anturit (5-10 vuotta) toimimaan ongelmitta. Sama elinkaari esimerkiksi pientaloissa on huomattavasti lyhyempi ja voidaan ihmetellä, miksi anturit pitää jälleen vaihtaa. Lähtökohtana ei ole järkevää asentaa järjestelmiä, jotka eivät kestä muun kiinteistön elinkaaren mukaan.

Viime vuosina on herätty ongelmiin. Kun on tullut yhdenmukainen tapa mitata ja selvittää, mitä paine-erot ovat, on havahduttu siihen, että painesuhteet voivat aiheuttaa isoja ongelmia rakennuksissa. Ilmavirrat voivat olla vääriin suuntiin, joka ei ole hyvä rakennukselle. Tärkeys mittaukselle on jatkuvasti kasvamassa.

Hyvä esimerkki on rakennusvalvonnan herääminen siihen, että heillä pitäisi olla konkreettista tietoa paine-erojen seuraamiseen ja mitä niiden pitäisi olla. Seuraava tavoite on saada ilmanvaihdon ohjeistukseen, miten mittaukset tehdään ja haasteena tähän mennessä on ollut Suomen tapa kopioida muun maailman ohjeistuksia ja rakennusmenetelmiä. Muissa maissa ei ole samanlaista ilmasto-olosuhdetta ja tiiviitä rakennuksia kuin Suomessa on tai millaisia lämpöolosuhteita meillä asetetaan tavoitteiksi. Tällaisia ongelmia ei ole muissa maissa ollut, ja Suomi on ollut edelläkävijä tiiviiden rakennusten luojana. Muun maailman päästessä samaan rakentamisen kulttuuriin, on heille näin ollen valmiiksi tehtynä ohjeistukset.

*2. Millaisia hyötyjä näette rakennuksen vaipan yli mitattavasta paine-erosta ja onko se tarpeellista?*

Mitatessa painesuhteet tunnetaan ja niihin pystytään vaikuttamaan. Tämän seurauksena pystytään estämään hallitsemattomia ilmavirtauksia rakennuksen vaipan vuotoreittien läpi. Tärkein asia, miksi paine-eroja mitataan, on siis rakennuksen ilmavirtojen hallinta.

*3. Paine-eroja mitataan lähtökohtaisesti ilmanvaihdon normaalin käyttötilanteen ilmavirroilla, onko tämä riittävä rakentamisen kehittyessä ja kiinteistöjen tiivistyessä?*

Jos halutaan hallita rakennuksen painesuhteita, tämä ei ole riittävä. Toki se riippuu aina rakennuksesta ja ilmanvaihtojärjestelmästä. Tiiveyden taso on jo niin hyvä, että suurin osa uudisrakennuksien ilmanvuotoluku  $q_{50}$  on jo reilusti alle  $0,5\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ .

Mikäli pitää toteuttaa tarpeenmukainen ilmavaihto, valitettavasti paine-eroja pitää mitata ja erityisesti niiden tilojen, joissa säätöjä tehdään. Tulevaisuudessa on mahdollista, että toimilaitteeseen voi tulla niin tarkat mittaukset, että tämän kautta pystytään tekemään säädöt, jolloin paine-erojen mittaamiselle ei ole tarvetta. Jos rakennus on tiivis ja se pystytään pitämään tiiviinä siinä tapauksessa paine-eron mittaaminen ei välttämättä tuo lisäarvoa, mutta niin pitkään, kun rakennuksissa ilmenee hallitsematonta ilmavirtausta, on paine-eron mittaaminen tarpeellista.

*4. Millaisia huomioita on tehtävä paine-eron seurannan osalta kiinteistöissä, jotka ovat eri vaiheissa kiinteistön elinkaarta?*

Käyttöönoton vaiheessa on tärkeää saada mitattua järjestelmän toimivuus oikein. Toivottavaa olisi pitää tavoitetaso, johon paine-ero pyritään saamaan. Pyritään siis toteuttamaan järjestelmän antama taso.

Ylläpidon vaiheessa riittää seuranta. Käyttöönoton vaiheessa vastaanotto on tehty niin hyvin, että ongelmat on saatu korjattua, jolloin ongelmia ei ole.

Ylläpidon aikaisessa seurannassa pyritään pitämään painesuhteet halutulla välillä, ettei painesuhteissa tapahdu radikaaleja muutoksia. Tämä myös mahdollistaa hieman erilaisen mittaustavan.

Saneerattavassa kohteessa suosittelen painesuhteiden selvitystä ennen korjaustoimenpiteiden aloittamista. Tämän avulla osataan kohdistaa korjaustoimet vaipan tiiveyteen tai ilmanvaihdonjärjestelmään. Saneerauksen jälkeen olisi hyvä tehdä normaalia paine-eron mittausta, kuin käyttöönoton vaiheessa, ja tästä jatkumona ylläpidon vaiheen mittauksiin.

Purkutuomion saaneessa kohteessa, eli rakennusta ei enää kannata korjata. Oletettavasti tuomio liittyy rakenteen vaurioon tai ilmanvaihtojärjestelmän toimimattomuuteen rakennuksessa. Monissa tapauksissa rakennusta pystytään käyttämään elinkaaren loppuun asti, kun rakennus säädetään esimerkiksi ylipaineiseksi. Toki pitää muistaa, mikäli rakenteet ovat pahasti vaurioituneet ja rakennuksen vaippa vuotaa, tällöin tuuli vaikuttaa paine-eroihin ja rakennuksessa saatetaan kärsiä ilman epäpuhtauksista.

*5. Ilmamäärien tilakohtaisessa suunnittelussa käytetään ohjeiden mukaan tilojen lattiapinta-alaa tai henkilömäärää. Onko nykyinen tapa hyvä, olisiko sitä syytä muuttaa ja miten se toteutettaisiin?*

Tätä on pohdittu alalla pidemmän aikaa ja mietitty mitä muita keinoja mitoitukselle voisi olla. Haasteena tulee se, että yleensä neliöt tiedetään, mutta ei tiedetä tilan käyttötarkoitusta tai henkilömääriä. Toki voidaan suunnitella, jos on kyseessä neuvotteluhuoneita tai isompia tiloja, jolloin suunnitellaan tietylle henkilömäärälle. Silloinkin haasteena tulee, että tila on hyvin lyhyen aikaa maksimi kuormituksessa ja silloin herää kysymys, että ilmanvaihdon pitäisi olla tarpeenmukainen, miten tarpeenmukaisuus haetaan ja miten se pitäisi toisella tavalla määritellä.

On mietitty, voisiko hiilidioksidipitoisuus olla yksi määrittävä tekijä, mutta tämä pohjautuu henkilömäärän mitoitukseen. On myös mietitty mittausta materiaalien tuomista epäpuhtauksista sisäilmaan, mutta lähtökohtana ei haluta materiaalien takia vaihtamaan ilmaa. Tästä syystä henkilömäärä on hyvä peruste, miksi



ilmaa pitää tilassa vaihtaa ja tämä on helppo toteuttaa, erityisesti kun neliötkin tiedetään.

Neliöihin pohjautuvassa ilmanvaihdossa on tietenkin erikoistiloja, kuten vaikka kauppakeskus, joissa on todella hiljaisia hetkiä sekä erittäin suuria ihmismääriä. Nämä ovat tiloja, joissa ilmavirtojen määrittäminen on erittäin vaikeaa ja järjestelmän koon optimointi kustannusten kanssa tuo oma haasteensa. Nykyinen ohjeistus ilmavirtojen määrästä on hyvällä tasolla, ja näitä noudattamalla ilmavirrat suositellut ilmavirrat toteutuvat. Paine-suhteiden osalta tämä ei kuitenkaan muuta tilannetta, ilmavirrat ovat vain huomattavasti suuremmat.

Erikoistiloja suunnitellessa voidaan käyttää nykypäivänä hyväksi esimerkiksi simulaatiota ilmavirtojen riittävydestä ja se on jopa suositeltavaa haastavien kohteiden kanssa.

#### *6. Pystyykö ulkovaipan yli mittauksia hyödyntämään takuuajan ilmavirtojen säädöissä?*

Jos mittaus on hyvin toteutettu, niin ehdottomasti pystyy ja pitää käyttää hyödyksi. Yleensä rakennuksessa ensimmäisen vuoden aikana kiinteistö hakee ajoarvoja. Tästä syystä paine-eroja on mitattava ja säädettävä takuuajana. Otettava huomioon tilaajan tarpeet ja huomiot, esimerkiksi jos tilaaja on määrännyt tavoitearvot, joissa kiinteistön on pysyttävä. Varsinaista ohjeistusta ei ole vielä annettu, millainen tapa täytyy olla paine-eroja mitatessa ja mitkä painesuhteet pitää olla pidemmän ajanjakson edetessä.

Haasteena tähän asti on ollut se, ettei ole ollut yhtenäistä mittaustapaa. Urakoitsija on voinut esimerkiksi käydä tekemässä yhden mittauksen viikon aikana ja todennut paineiden olevan tilaajan määräämien tavoitearvojen sisällä. Se ei kuitenkaan ole riittävä, koska tällä ei voida todeta jatkuvaa pysyvyyttä halutuissa raja-arvoissa. Haasteena on se, ettei ilmanvaihdon suunnittelulle ole ohjeita, miten mittaus tulisi toteuttaa ja tästä syystä ei voida myöskään tilaajan puolelta

vaatia tekemään mittausta, jolle ei ole annettu askelmerkkejä, miten tavoitearvoihin pääsee.

*7. Tulisiko uudisrakentamisessa ottaa huomioon myös alapohjan paine-eron seuranta ja vaikuttaisiko se muun kiinteistön ilmapurtojen suunnitteluun?*

Mikäli tila on eri kuin ulkoilma, olisi hyvä ottaa huomioon. Jos alapohjaan on tehty järjestelmä, jolla paine-eroa voidaan säätää, on mahdollista, että se vaikuttaa kiinteistön ilmanvaihdon suunnitteluun, jos pyritään siihen, että kiinteistö ei ole järjettömän alipaineinen alapohjaan verrattuna. Alapohjan ollessa ylipaineinen kiinteistöön nähden on todennäköistä, että alapohjasta tulee tällöin epäpuhtauksia kiinteistöön. Tähän kuitenkin vaikuttaa kiinteistön tiiveys, onko vuotoitteja ja mitä alapohjassa on. Voidaan todeta, että huomiota täytyy kiinnittää ja suosittelen sen huomioon ottamista suunnittelussa.

*8. Millaisia käytäntöjä teillä ja nykyään alalla on rakennusten painesuhteiden huomioimiseen suunnittelun- ja ylläpidon vaiheissa?*

On huomioitava, etten omaa suunnittelutaustaa. Käytännöt ovat vaihtelevia ja riippuu hyvin paljon rakennuksesta, tilaajasta ja suunnittelijasta, miten on otettu huomioon. Entistä tärkeämmäksi on tulossa suunnitteluun panostus painesuhteiden kannalta. Jotkut yritykset tekevät jo ratkaisuja, miten painesuhteet saadaan mitattua ja säädettyä. Jos näitä ei huomioida, eikä automaatio ole ajantasalla sen hetkisestä rakennuksen tilanteesta ja yrittää pitää sille annettujen arvojen mukaan rakennusta tavoitteessa, voi paine-erot muuttua huomattavasti ajan kuluessa. Näkemykseni mukaan käytännöt ovat vaihtelevia eikä patenttiratkaisuja tällä hetkellä ole käytössä.

*9. Onko ilmanvaihtokoneiden pysäyttämällä tai osateholle laittamisella kiinteistön käytönajan ulkopuolella negatiivisia vaikutuksia sisäilman laatuun?*

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan ei pitäisi olla. Voidaan kuitenkin todeta tämän olevat tapauskohtaista. Siinä vaiheessa, kun kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmä sammutetaan, fysiikan laita ottavat ilmanvaihdon haltuun ja tällöin rakennukseen yleensä muodostuu yläpohjaan kohdistuvaa ylipainetta ja alapohjaan imua rakennuksen alaosissa. Tällöin lämpötila alkaa vaikuttamaan tiloihin ja sillä saattaa olla negatiivisia vaikutuksia.

Jos rakennus on todella hyvin tasapainossa päivällä ilmanvaihdon ollessa päällä, sammuttamisen jälkeen esimerkiksi korkeissa tornimaisissa rakennuksissa hormivaikutus voi tulla niin kovaksi, että rakennus imee alapohjasta epäpuhtauksia ja levittää ne muuhun rakennukseen.

Vastaus kysymykseen sammuttamisesta on kyllä ja ei, tapauskohtaisesti. Rakennuksen ilmanvaihdon sammuttamisella ei pitäisi olla vaikutuksia rakennuksen sisäilmaan rakennuksen vaipan ollessa tiivis ja terve. Toki jos rakennuksessa on isoja emissiokuormia tai toimintaa, joka tuottaa epäpuhtauksia sammuttamisen jälkeen voivat ne vaikuttaa sisäilman laatuun.

Mikäli osateho on toteutettu oikein, painesuhteet säilyvät hyvänä. Osatehon ei pitäisi vaikuttaa normaaliin ilmanvaihtoon verratessa, ilmamäärät ovat vain pienempiä ja tätä käytetään ainoastaan silloin kun ihmiskuorma on pois. Ongelmana osatehon säätöjen kanssa on se, että tiloista voi tulla yli- tai alipaineisia osatehon mennessä päälle.

### 5.2.3 Asiantuntija 3

*1. Kuinka tärkeänä pidätte rakennuksen paine-erojen seurantaa? Koetaanko se mielestänne alalla tarpeeksi tärkeänä?*

Seuranta on tärkeää ja aivan välttämätöntä varsinkin tilanteissa, joissa on havaittu vähänkään sisäilmaongelmia. Pahin vaihtoehto tällaisissa tilanteissa on

aloittaa tiivistystyöt, ilman että tehdään ilmanvaihdolle mitään. Paine-erot saattavat vain kasvaa, eikä tiivistyksestä ole tällöin mitään apua.

Tärkeystä puhuttaessa tilanne on alkanut avautumaan, kuinka oleellista paine-erojen seuranta on. 2000-luvulta alkaen ei osattu ennakoida mitä tulee tapahtumaan rakennuksissa niiden tullessa yhä tiiviimmiksi ja hiljalleen olemme havahtuneet tilanteeseen, mitä tiiviit rakennukset tuovat tullessaan. Ilmanvaihdon kuntotutkimuksen ohjeiden mukaan, ilmanvaihtokoneiston kokonaisilmavirrat täytyy mitata ja mikäli ne ovat normaalit, ongelmia ei voi olla. Viime kesänä Talotekniikkainfoon on tullut ohjeisiin tieto, että jatkuva seuranta täytyy saada kaikkiin rakennuksiin.

*2. Millaisia hyötyjä näette rakennuksen vaipan yli mitattavasta paine-erosta ja onko se tarpeellista?*

Ehdottomasti tarpeellista. Jos on isot ilmavirrat ja tiivis ulkovaippa, niin pienikin epätasapaino ilmavirroissa tekee isoja paine-eroja. Painesuhteet voivat olla esimerkiksi väärinpäin, koska ilmavirroista tehdyt mittaukset ovat huonoja, eikä sillä pystytä varmistumaan paine-erojen olevan hyvät.

*3. Paine-eroja mitataan lähtökohtaisesti ilmanvaihdon normaalin käyttötilanteen ilmavirroilla, onko tämä riittävä rakentamisen kehittyessä ja kiinteistöjen tiivistyessä?*

Molemmat ovat tarpeellisia mittauksia. Jos paine-erot ovat kunnossa, voidaan myös tästä tehdä virheellisiä johtopäätöksiä. Jos paine-ero eroaa esimerkiksi vain muutaman Pa:n verran, tästä voidaan tehdä johtopäätös ilmavirtojen olevan tasapainossa.

Todellisuudessa kuitenkin ei voida sanoa, johtuuko pieni ero kokonaisilmavirroista vai rakennuksen tiiviydestä ja mikäli rakennus ei ole tiivis, saattavat ilmavirrat olla hyvin suuret, eikä paine-eroa voi tästä syystä syntyä.

Kokonaisilmavirtoja täytyy kuitenkin mitata, jotta tiedetään ilman liikkuvan ja vaihtuvan rakennuksessa.

*4. Millaisia huomioita on tehtävä paine-eron seurannan osalta kiinteistöissä, jotka ovat eri vaiheissa kiinteistön elinkaarta?*

Käyttöönottovaiheessa tehdään paine-eron mittauksia ilmanvaihtojärjestelmää säädettäessä. Tiiviissä rakennuksessa ei onnistu pelkällä ilmavirtamittauksella tekemään riittäviä säätöjä. Jotta saadaan ilmanvaihtuvuus kuntoon, täytyy säätää ilmavirrat kuntoon. Tämän jälkeen mitataan paine-erot, jotta saadaan selvyyttä, tarvitseeko tehdä hienosäätöä ilmavirtoihin, jotta saadaan paine-ero halutuksi.

Ylläpidon aikaisessa vaiheessa ei pitäisi olla suuria ongelmia, koska säädöt on saatu halutunlaisiksi käyttöönoton yhteydessä. Kuitenkin seuranta on hyvä olla, jotta tiedetään alkaako painesuhteet muuttumaan ajan kuluessa.

Saneerattavien kohteiden osalta olisi aloitettava mittauksista. Ylipäätään mikä tahansa saneeraus tehdään, niin yleensä ilmatiiveys paranee. Tästä syystä olisi hyvä nähdä millainen lähtökohta on korjauksia aloittaessa ja pystytään arvioimaan korjauksen jälkeen töiden onnistuminen. Korjausten jälkeen ilmavirrat pitää säätää ja jos kyseessä on tiivis rakennus, myös paine-erot täytyy ottaa säädöissä huomioon.

Purkutuomion saaneessa kohteessa lähtökohtaisesti halutaan luoda ylipaine. Tässäkin on aloitettava tekemällä mittauksia, jotta saadaan selvyyttä siitä, kuinka vaikea kohteen ylipaineistuksesta tulee. Vanhemmissa kiinteistöissä järjestelmät eivät välttämättä suostu ajamaan isompaa tuloilmaa kuin poistoilmaa.

*5. Ilmamäärien tilakohtaisessa suunnittelussa käytetään ohjeiden mukaan tilojen lattiapinta-alaa tai henkilömäärää. Onko nykyinen tapa hyvä, olisiko sitä syytä muuttaa ja miten se toteutettaisiin?*

Nykyinen tapa on hyvä, koska voidaan käyttää montaa menetelmää. Neliömäärä on hyvä, koska aloittaessa suunnittelua ei usein tiedetä henkilömääriä tilan käyttötarkoitukselle. Niillä päästään suunnittelemaan hyvään lopputulokseen, mikäli ei ole mitään poikkeustapauksia tilojen toiminnassa. Mitoitussäännöt ovat suunnittelijalle helppoja ja peruskohteisiin riittäviä. Henkilömääriä pitäisi käyttää ensisijaisesti, mutta niitä ei yleensä tiedetä.

Nykyään on myös asetus, joka mahdollistaa suunnittelun mallintamalla. Voidaan mitoittaa esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuksien mukaan. Esimerkiksi isoissa tiloissa, joissa on ajoittain iso ihmismäärä, voidaan mallintaa, mikä olisi riittävä ilmamäärä eri tilanteissa. Tämä on järkevä ratkaisu erikoistiloissa, joissa täytyy ottaa huomioon kustannukset ja tehokkuus käyttäjät huomioiden.

*6. Pystyykö ulkovaipan yli mittauksia hyödyntämään takuuajan ilmavirtojen säädöissä?*

Ulkovaipan yli mittauksia pystyy ja pitää aina hyödyntää, kun lähdetään säätämään tiivistä rakennusta.

Tiloja säädettäessä on otettava tuuli huomioon. Hetkellistä mittausta, joka toteutetaan esimerkiksi ikkunan raosta ei ole luotettava tapa mitata ja näissä tilanteissa mittauksen voi toteuttaa, vaikka vertaamalla tilan ja käytävän välistä paine-eroa. Koko palvelualueetta säädettäessä ulkoilmaan nähden olisi hyvä olla mittausjärjestelmä, joka pystyy näyttämään kokonaisen viikon keskiarvoa ja tämän jälkeen tekemään tarvittavia korjaustoimenpiteitä.

*7. Tulisiko uudisrakentamisessa ottaa huomioon myös alapohjan paine-eron seuranta ja vaikuttaisiko se muun kiinteistön ilmavirtojen suunnitteluun?*

Ainakin erikoistapauksissa olisi hyvä ottaa. Puhutaan esimerkiksi alapohjista, joissa on radon ongelmaa. Jos alapohjaan on asennettu radonin ohjaamiseen tarkoitettu erillispoisto, niin silloin yritetään pitää alapohja alipaineisena

sisäilmaan verrattuna. Jos sisätilat ovat 20 Pa alipaineessa, niin tällaista alipainetta ei ole mahdollista toteuttaa lattiatason alapuolelle. Suunnittelijan onkin huomioitava se, että alimman kerroksen paine-erot olisivat mahdollisimman lähellä neutraalitasoa.

*8. Millaisia käytäntöjä teillä ja nykyään alalla on rakennusten painesuhteiden huomioimiseen suunnittelun- ja ylläpidon vaiheissa?*

Rakennusten painesuhteiden huomioiminen on melko uusi asia ja oikeastaan vasta tulossa. Automaatiosuunnittelussa on alettu huomioimaan, että rakennuksessa pitäisi olla jatkuvia paine-eron seurantajärjestelmiä. Yleisempi tapa, mikä on ollut jo useamman vuoden käytössä, on suunnitella jatkuvailmavirtaiset mittaukset, jotka kytketään automaatioon IV-koneisiin. Käytännössä ei kuitenkaan ole vielä riittävää tietoa miten kyseiset mittaukset olisi järkevä asentaa samoin kuin ilmavirtamittausten kanssa.

Kuntotutkimuksia tehdessä on usein tullut tilanteita vastaan, missä IV-koneisiin on asennettu ilmavirtamittaukset mitkä ei toimi tai luullaan niiden toimivan. Valvomosta tarkastellessa mittaustulos on juuri se, mikä on koneen nimellisilmavirta, mutta tarkastellessa koneen sisälle havaitaan, että mittarit on asennettu väärin. Siitä syystä valvomon antamia tuloksia on aina syytä tarkastella varauksella koska on ihmeellistä, miten väärin asennettu mittari antaa oikeita mittaustuloksia. Tämä on mahdollista esimerkiksi siten, että koneelle on syötetty korjauskerroin, jonka tuloksena saadaan ilmavirrat näyttämään fiksuilta.

*9. Onko ilmanvaihtokoneiden pysäyttämällä tai osateholle laittamisella kiinteistön käytönajan ulkopuolella negatiivisia vaikutuksia sisäilman laatuun?*

Useissa kiinteistöissä on vielä esimerkiksi WC-poistoja, joita ei pysty edes pysäyttämään automaattisesti. Sammuttaessa yleisilmanvaihdon se tarkoittaa sitä, että erillispoistot jäävät mahdollisesti vielä päälle. Riippuen WC-poistojen määrästä ne voivat aiheuttaa yhdessä hyvinkin suuren alipaineen öisin ja tämä on

erityisesti ongelma kouluissa ja päiväkodeissa, missä on paljon WC-tiloja. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmä halutaan sammuttaa, olisi syytä sammuttaa myös erillispoistot.

Mikäli järjestelmät sammutetaan kokonaan, on tehty tutkimuksia, joiden mukaan ilmanvaihto olisi syytä laittaa päälle 2 tuntia ennen käyttäjien saapumista kohteelle. Tämä on riittävä aika, jolloin kiinteistö kerkeää huuhtoutumaan kunnolla.

Epäkäytön maine on pilattu kahdesta eri syystä. Yksi on tämä paine-erojen korjaaminen sammuttamisen jälkeen korkealle, jolloin korvausilma ei ole riittävä. Toinen on käyntiaikojen väärä ohjelmointi, jolloin huuhtelua ei kerkeä tapahtumaan riittävästi ennen käyttäjien saapumista kiinteistöön tai tehon pudotus liian aikaisin, kun käyttäjiä on vielä kiinteistössä.

Tämän johdosta eri kunnilla on erilaisia käytäntöjä siitä, miten IV-koneita pitäisi ajaa. Mikäli koneita pidetään jatkuvasti päällä, voi se aiheuttaa paljonkin energiankulutusta

#### 5.2.4 Asiantuntija 4

*1. Kuinka tärkeänä pidätte rakennuksen paine-erojen seuranta? Koetaanko se mielestänne alalla tarpeeksi tärkeänä?*

Tutkiessa ja selvittäessä sisäilmaongelmia on alettu ymmärtämään, että rakennuksen alipaineisuus, joka nykyistä hatarammissa rakennuksissa niiden ollessa alle 15–20 vuotta vanhoja oli hyväksi kiinteistölle, sillä rakenteiden läpi kulkeva ilma lämmitessään myös kuivatti rakenteita. Vuosien myötä viistosateet ja maaperästä nouseva kosteus ovat aiheuttaneet rakenteisiin kosteusvaurioita. Rakenteisiin on alkanut lisäksi muodostua mikrobikasvua. Alipaineen synnyttämä ilmavirtaus rakenteiden läpi on sitten tuottanut haitallisia mikrobiperäisiä hiukkasia sisäilmaan.



Tästä syystä rakennusten painesuhteisiin on alettu kiinnittämään enemmän huomiota ja huolehtimaan siitä, etteivät rakennukset olisi niin alipaineisia kuin mitä aiemmat rakentamismääräykset ovat sallineet. Työryhmän uudistaessa rakentamismääräyskokoelmaa ja laatiessa uutta asetusta uusien rakennusten suunnitteluun ohjeistettiin, että rakennukset olisi suunniteltava kutakuinkin tasapainoon ulkoilmaan nähden, jotta ilmanvaihtojärjestelmä ei aiheuttaisi ilmavuoja synnyttäviä paine-eroja, joiden vaikutuksesta epäpuhtauksia pääsisi rakenteista sisäilmaan.

Viime vuoden kesällä on Talotekniikkainfoon päivitetty Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas, jossa todetaan, ”Rakennuksen vaipan yli vaikuttavan paine-eron seurantaan varten rakennus tulee varustaa riittävällä määrällä jatkuvatoimisia paine-erolähettäviä, joiden mittauksista on hyvä kerätä trenditietoa”. Mielestäni tämä on hyvä uudistus ohjeistukseen, mutta sivulauseessa pitäisi mielestäni lukea ”tulee mittauksista kerätä tietoa”, jotta trenditietoa varmasti kerätään analysointia varten.

Ulkovaipan yli olevalla jatkuvatoimisella paine-eron seurannalla pystytään havaitsemaan nopeasti esimerkiksi se, että tuloilmakone on pysähtynyt mitä ei aina havaita muutoin yhtä nopeasti. Paine-eromittausten tuloksia tarkastelevan henkilön tulee ymmärtää myös tuulenpaineen vaikutus paine-eroihin eri puolilla rakennusta. Säästä johtuvista seikoista ei pitäisi tehdä vääriä johtopäätöksiä, mutta mikäli pidemmän ajan seurannan tuloksena havaitaan liiallista yli- tai alipainetta, niin tilanteeseen voitaisiin puuttua.

## *2. Millaisia hyötyjä näette rakennuksen vaipan yli mitattavasta paine-erosta ja onko se tarpeellista?*

Täydentääkseni aiemman kysymyksen vastaustani, esimerkiksi päiväkodeissa ja kouluissa on erityisen tärkeää, että pystymme takaamaan lapsille ja nuorille hyvät sisäolosuhteet. Vanhemmissa rakennuksissa, jotka ovat pidemmän ajan olleen alttiina sadevesille ja maaperän kosteudelle, on rakenteisiin voinut

muodostua kosteusvaurioita, jotka eivät välttämättä näy ulkopuolelta eikä sisältä, mutta ilma-virtaukset ovat voineet tuoda rakenteista mikrobin aineenvaihduntatuotteita tai itiöitä sisäilmaan.

Nykyisin rakennusten ollessa huomattavasti aikaisempaa tiiviimpiä rakennuksia, jonka takia ilmanvaihtojärjestelmä halutaan pitää mahdollisimman tasapainossa. Tiiviissä rakennuksessa ilmavirtojen vaikutus vaipan yli olevaan paineroon on huomattavasti suurempi, kuin rakennuksessa, jossa on vuotoilmareittejä, mutta samalla tiiviin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on helpompi säätävissä tasapainoon.

Sekä vanhemmissa, että uudemmissa rakennuksissa pyritään saamaan ilmanvaihtojärjestelmä mahdollisimman tasapainoon, sekä ymmärtää mitkä tekijät vaikuttavat painesuhteisiin.

### *3. Paine-eroja mitataan lähtökohtaisesti ilmanvaihdon normaalin käyttötilanteen ilmavirroilla, onko tämä riittävä rakentamisen kehittyessä ja kiinteistöjen tiivistyessä?*

Vuonna 2020 on Helsingin kaupunkiympäristön tilat-palvelu laatinut mittaroinin suunnitteluohje, johon sisältyy sisäolosuhteiden mittarointi. Tähän asti on mitattu huonelämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuuksia vain, jos rakennuksessa on tarpeenmukainen ilmanvaihto. Nämä tiedot on tarvittu, jotta automaatiojärjestelmä voi säätää ilmanvaihdon määrän tarpeen mukaan.

Nyt on päätetty, että uudis- ja peruskorjaushankkeissa tullaan asentamaan huoneilojen olosuhdemittarointi myös rakennuksiin, joissa on vakioilmavirtajärjestelmä. Sekä tarpeenmukaisten, että vakioilmavirtajärjestelmien rakennuksiin asennetaan paine-eroanturit mittaamaan paine-eroa ulkovaipan yli. Rakennushankkeen suunnittelijat määrittelevät antureiden sijainnit, jotka asennetaan urakoinnin aikana. Mittauksista saatava data tuodaan automaatiojärjestelmään. Tilat-palvelulla on tämän lisäksi käytössä energiankulutus- ja

olosuhdeseurantajärjestelmä, jonne sama data tulee siirtymään. Paine-eroa ulkovaipan yli ei ole tarkoitus mitata jokaisesta huonetilasta, mutta vähintään jokaisen IV-koneen palvelu-alueelta on tärkeää saada dataa kerättyä, sekä eri julkisivuilta, jotta tuulen paine tulee myös huomioitua.

Ohjeistus on ollut niin vähän aikaa voimassa, että tällä hetkellä on vasta suunnitteluvaiheessa olevia hankkeita. Yhtään rakennushanketta nykyisellä ohjeituksella ei siis ole vielä valmistunut.

#### *4. Millaisia huomioita on tehtävä paine-eron seurannan osalta kiinteistöissä, jotka ovat eri vaiheissa kiinteistön elinkaarta?*

Käyttönoton sekä ylläpidon aikana jatkuva paine-eromittaus auttaa ilmavirtojen säätäjää. Ajatellaan, esimerkiksi tasaisin väliajoin tehtäviä ilmanvaihtokanavien nuohouksia, joiden jälkeen tehdään myös ilmanvaihtokoneiden säätötyöt. Jos säätäjällä on mahdollisuus nähdä, vaikka tabletilla, heti kanavien säätötöiden vaikutus, voi ilmavirtojen säätötyötä tekemä tasapainottaa tulo- ja poistoilmanvaihtoa välittömästi.

20–30 vuoden ikäiset rakennukset on suunniteltu silloisen rakennusmääräysten mukaan alipaineisiksi. Alipaineinen rakennus toimi vuosia ihan hyvin, kunnes rakennuksen rakenteiden kosteustekninen toiminta alkoi pettämään, koska kosteat rakenteet eivät enää kuivuneet riittävästi. Ne olivat liian pitkään kosteana, jonka seurauksena rakenteet pääsivät homehtumaan ja alipaineen vaikutuksesta ilmavirrat rakenteiden epätiiveyskohtien läpi toivat epäpuhtaudet sisätiloihin.

Jos rakennus on selvästi alipaineinen, on viisasta tilata LVI-suunnittelija suunnittelemaan rakennuksen ilmanvaihto tasapaineiseksi, jonka jälkeen voidaan teettää tarvittavat muutostyöt.

Mikäli rakennus, jossa on kosteusvaurioituneita rakenteita, joudutaan ylläpitämään toimintaa, saattaa sisäilma-asiantuntija ehdottaa, että rakennus ylipaineistetaan mahdollisuuksien mukaan. Paine-eroa seurataan IoT-antureilla, jotta nähdään, miten ylipaineistus onnistuu. Tällaiset kohteet ovat usein hyvin haastavia johtuen vanhoista ilmanvaihtojärjestelmistä, ilmanvuotoreiteistä, rakenteiden epätiiveydestä ja siitä, että ovia ja ikkunoita avataan jatkuvasti.

*5. Ilmamäärien tilakohtaisessa suunnittelussa käytetään ohjeiden mukaan tilojen lattiapinta-alaa tai henkilömäärää. Onko nykyinen tapa hyvä, olisiko sitä syytä muuttaa ja miten se toteutettaisiin?*

Tilat-palvelun LVI-suunnitteluohjeessa on asetettu tavoitteeksi sisäilmastoluokituksen S2-luokka. Ilmanvaihto suunnitellaan pääsääntöisesti henkilöperusteisesti, jolloin S2-luokan ulkoilmavirran ohjearvo opetustiloille ja päiväkotien ryhmätiloille on 8 l/s, hlö. Aina ei kuitenkaan saada jokaiseen tilaan selkeää tietoa kuinka paljon henkilöitä tiloissa tulee olemaan, jonka takia koko rakennusta ei pystytä mitoittamaan henkilöperusteisesti. Tämän takia osa tiloista, esimerkiksi pääopetustilat mitoitetaan henkilöperusteisesti ja aulat, käytävät sekä eteiset voidaan mitoittaa neliöperusteisesti.

Nykyiset Sisäilmastoluokitus 2018:n tavoitearvot ilmavirtojen mitoittamiseen ovat mielestäni hyvät. Se miten ilmanvaihdon suunnittelua kehitettäisiin, voidaan ajatella esimerkiksi nykyisen covid-19-pandemian kautta. Aiheesta on tehty tutkimuksia, miten ilmanvaihtojärjestelmällä on vaikutusta viruksen leviämiseen ilmateitse, joten mahdollisesti tulevan vuosikymmenen sisällä tämä voi vaikuttaa jollain tavalla nykyiseen suunnitteluun. On kuitenkin muistettava, että meillä koulujen ja päiväkotien ilmanvaihto on jo erittäin hyvä verrattuna muuhun maailmaan.

*6. Pystyykö ulkovaipan yli mittauksia hyödyntämään takuuajan ilmavirtojen säädoissä?*

Kyllä ehdottomasti pystyy. Pilotointimielessä tällä hetkellä on asennettu paine-eron mittarointi ulkovaipan yli n. kymmenestä viiteentoista, pääsääntöisesti koulu- ja päiväkotirakennukseen. Näistä on saatu hyvää tietoa ja ymmärrystä, minkälaisia IoT paine-eroanturit ovat ja näyttävätkö ne oikeaa tietoa ja kuinka hyvin mittausdata siirtyy pilvipalveluun.

Palatakseni aiemmin vastaamaani aiheeseen kanavistojen nuohouksesta ja tämän jälkeisistä säätötöistä, mielestäni tässä pystyy hyvin hyödyntämään paine-eron seurantaa.

*7. Tulisiko uudisrakentamisessa ottaa huomioon myös alapohjan paine-eron seuranta ja vaikuttaisiko se muun kiinteistön ilmavirtojen suunnitteluun?*

Alapohjan paine-eroseuranta on järkevä ratkaisu, kunhan puhaltimien pyörimisnopeudelle asetetaan riittävät ehdot ja paine-eroseurannasta tulee hälytys, kun paine-eroa ei saavuteta. Meillä on valmistunut viimeisten vuosien aikana kaksi uudispäiväkotia, joihin on suunniteltu ja asennettu paine-eroseuranta alustatilan ja 1. kerroksen välille.

Päiväkodin numero 1. toimintakaavioon on kirjattu seuraavasti: Alapohja pidetään alipaineisena suhteessa 1. kerrokseen, paine-ero pidetään asetusarvossaan säätämällä puhaltimen kierrosnopeutta; alustatilassa oleva puhallin PF02 pyörii jatkuvasti vakionopeudella; katolla oleva huippuimuri PF01 pyörii aina vähintään aseteltavalla miniminopeudella; puhallin PF01 siirtyy miniminopeudelle, kun alustatilan lämpötila laskee alle -2 astetta; puhallin PF01 siirtyy minimiasetukselle, jos ulkoilman absoluuttinen kosteus on suurempi kuin alustatilan tai poistoilman absoluuttinen kosteus.

Päiväkodin numero 2. toimintakaaviossa mainitaan seuraavaa: Alapohja pidetään alipaineisena suhteessa 1. kerrokseen, paine-ero pidetään asetusarvossaan säätämällä puhaltimen kierrosnopeutta; katolla oleva huippuimuri PF01 käy miniminopeudella, kun alustatilan lämpötila on alle +7 astetta tai ulkoilman

absoluuttinen kosteus on suurempi kuin alustatilan tai poistoilman absoluuttinen kosteus.

Paine-eroseuranta alustatilan ja 1. kerroksen välillä ei ole vaikuttanut muun kiinteistön ilmanvaihdon suunnitteluun. Muun kiinteistön ilmanvaihto on suunniteltu ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta mukaisesti:

*8. Millaisia käytäntöjä teillä ja nykyään alalla on rakennusten painesuhteiden huomioimiseen suunnittelun- ja ylläpidon vaiheissa?*

Aiemmin mainitsemani mittaroinnin suunnitteluohje on viimeisin käytäntö, joka on tuotu rakennuttamisen suunnitteluohjeisiin. Suunnitteluvaiheessa LVI- sekä automaattiorakennuttaja osallistuvat suunnitteluun ja yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa määrittävät antureiden lukumäärät ja sijainnit.

Viime syksynä olemme myös kilpailuttaneet puitesopimuksen, jota isännöitsijät käyttävät ilmanvaihtokanavien puhdistus- ja säätötöiden tilaamiseen. Tarjouspyyntömateriaaliin lisättiin ohjeistus ilmanvaihdon säädöstä kaksivaiheisella menetelmällä. Säätötoimenpiteiden yhteydessä urakoitsijoiden täytyy mitata rakennuksen paine-eroa ulkovaipan yli, jotta lopputuloksena saadaan rakennus mahdollisimman hyvin tasapainoon ja tämän jälkeen luoda raportti tilaajalle.

Viime vuonna laadittiin uusi ilmanvaihdon katsastusopas ympäristöministeriön tilaamassa hankkeessa. Opasta pilotoidaan muutamissa Suomen kunnissa tänä vuonna. Ilmanvaihtojärjestelmän katsastus on tarkoitettu huomattavasti kevyemmäksi kuin ilmanvaihtotekninen kuntotutkimus. Katsastuksessa mitataan vain hetkellistä paine-eroa.

Hetkellinen paine-eromittaus antaa kuitenkin tietoa siitä, onko kiinteistön paine-ero ulko- ja sisäilman välillä  $-30$  Pa vai  $-5$  Pa mittaushetkellä. Katsastuksen aikana on tarkoitus tehdä useita mittauksia ja urakoitsija pystyy kaikkien

mittausten perusteella mahdollisesti ehdottamaan pitempiaikaista seuranta, mikäli alipaineisuutta havaitaan useissa mittauspisteissä.

Katsastusoppaan käyttö tulee olemaan vapaaehtoista, joten jäämme mielenkiinnolla seuraamaan, miten hyvin tämä otetaan vastaan.

### *9. Onko ilmanvaihtokoneiden pysäyttämällä tai osateholle laittamisella kiinteistön käytönajan ulkopuolella negatiivisia vaikutuksia sisäilman laatuun?*

Helsingin kaupungilla on teetetty energiakatselmuksia 90-luvulta lähtien. Näissä katselmuksissa kartoitetaan, miten rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa ilman, että tehdään mittavia investointeja. Valaistus, huonelämpötilat ja ilmanvaihdon käyntiajat ovat olleet isossa roolissa energiankulutukseen vaikuttaessa. Kouluissa ja päiväkodeissa on jo ennen 90-lukua pysäytetty ilmanvaihtokoneet, kun rakennuksen käyttö on alkuillasta loppunut ja ilmanvaihtokoneet on käynnistetty taas aamulla.

Helsingin kaupunkiympäristön tilat-palvelu osallistui Aalto-yliopiston tutkimukseen vuosina 2019–2021, jossa selvitettiin, miten ilmanvaihtokoneiden käyntiajat vaikuttavat sisäilman laatuun. Tutkimuksen tulos oli, että ilmanvaihtokoneiden pysäyttäminen yöksi ei heikennä sisäilman laatua rakennuksen käyttöaikana, koska koulu ja päiväkotirakennuksissa ei ole yöaikaan mm. mitään kosteuslähteitä. Jos ilmanvaihto pysäytetään yöksi, sisäilman kosteus pysyy kutakuinkin vakiona. Materiaaleista vapautuu jonkun verran haihtuvia orgaanisia yhdisteitä enemmän kuin päivällä, mutta kun ilmanvaihto käynnistetään riittävän aikaisin aamulla, saadaan VOC-yhdisteet huuhdottua pois. Sisäilman laatu on siis yhtä hyvää, kuin jos IV-kone olisi ollut päällä koko yön.

Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärät on saatu tasapainoon, sekä käytön aikana että käytön ajan ulkopuolella, voi osateholla toimiva ilmanvaihtojärjestelmä olla myös toimiva ratkaisu. Helsingin kaupungilla on niin kunnianhimoiset hiili-neutraalisuustavoitteet ja kiinteistöt kuluttavat merkittävän osan energiasta,

jolloin täytyy miettiä ja noudattaa tapoja, miten energiaa voidaan tuottaa tarpeeseen. Kun rakennuksessa on paljon ihmisiä, huoneissa on suuri henkilötiheys ja ihmiset tuottavat suuren osan epäpuhtauksista tiloihin, niin silloin täytyy olla hyvä ilmanvaihto.

Huomioon on myös otettava kiinteistöjen iltakäytön lisääntyminen, jolloin tilat-palvelulla täytyy olla tieto, millainen ohjelmointi IV-koneiden käyntiaikoihin asetetaan. Asuinrakennuksissa, sairaaloissa ja senioritaloissa ilmanvaihto on tietenkin oltava myös öisin päällä, mutta edellämainitut asiat koskevat koulu- ja päiväkotirakennuksia ja muita palvelurakennuksia, joita ei käytetä öisin.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyötä tehdessäni opin paljon paine-erojen merkityksestä ja siitä, miten pinnalla aihe tällä hetkellä rakentamisessa on. Tämä on mielestäni hyvä asia, koska Suomen olosuhteet ulkoilman osalta muuttuvat eri vuodenaikoina ja ihmisille on pystyttävä rakentamaan kiinteistöjä, jotka ovat viihtyisiä, terveellisiä ja turvallisia asua sekä työskennellä ja pysyvät sellaisina rakennuksen elinkaaren loppuun asti.

Rakennustekniikka ja materiaalit ovat kehittyneet menneiden vuosikymmenten aikana laadukkaiksi, mutta oma kokemukseni ja asiantuntijoiden haastattelut nostivat minulle kysymyksen, onko talotekniikka pysynyt kehityksen osalta samassa tahdissa? Ohjeistuksia kokonaisilmavirtojen suunnitteluun on päivitetty menneisyyden painovoimaisesta ilmanvaihdosta nykyajan tulo-/poistokoneisiin sitä mukaan, kun on havaittu ongelmia. Ohjeistus on ollut toimiva sen aikakauden osalta, mutta ongelmat ovat ilmenneet mahdollisesti vasta vuosia rakentamisen jälkeen. Lähes kaikkiin ongelmiin on liittynyt liian suuri tai liian pieni paine-ero.



Paine-eron seuranta on tehty tähän mennessä erilaisia menetelmiä käyttäen. Tällä hetkellä suuntaus on se, että ulkovaipan yli mitattavaa paine-eroa ollaan tuomassa osana jo hankesuunnitteluvaihetta. Mielestäni kaikista kiinteistöistä olisi tarpeellista seurata kokonaisilmavirtoja ja paine-eroa ulkovaipan yli. Molemmilla tiedoilla on mahdollista tehdä yksittäisiä johtopäätöksiä, kuten mikä tilan paine-ero mahdollisesti on tai liikkuuko kanavistossa ilmaa, mutta molemmat mittaukset ovat tarpeellisia ja mittauspisteitä täytyy olla riittävästi, jotta tilan suunnitellusta tulo- ja poistoilmavirrasta saadaan mittauksiin perustuvaa tietoa.

Uskon, että tulevaisuudessa mahdolliset viat pystytään paikallistamaan hyvinkin tarkasti ja mahdollisesti jopa ilman kohdekäyntiä talotekniikan ja automaation kehittyessä. Tämä kuitenkin vaatii sen, että esimerkiksi kiinteistöhoitajien koulutuksessa ja mahdollisuuksien mukaan myös tekniikan alan kouluissa on korostettava opetuksessa, mitä sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero rakennuksissa voi aiheuttaa. Tämä edesauttaa myös kiinteistön ylläpidosta vastaavien tahojen sekä kiinteistön omistajien työtä, kun huollosta vastaa ammattitaitoinen henkilö, joka pystyy päivittäin seuraamaan kohteen perustoimintoja etänä.

Haastattelujen perusteella huolenaiheita jatkuvaseurantaisen laitteiston hankintaan aiheuttavat kustannukset ja datan määrä, joiden uskotaan kasvavan laitteiston lisääntyessä merkittävässä määrin. Uudisrakentamisessa otetaan nykyään jo hankesuunnittelun vaiheessa huomioon rakennusautomaatioon tuotavia lämpötilaa, hiilidioksidia ja jopa VOC-yhdisteitä mittaavia antureita, niin tuokonaisten lisäksi paine-eron mittaaminen kuinka paljon lisäkustannuksia, verratessa mahdollisiin hyötyihin pidemmällä ajanjaksolla? Mielestäni jatkuvatoimisen paine-eron mittausten lisääminen kiinteistöön on suuri hyöty pitkällä aikavälillä niiden aiheuttamiin kustannuksiin nähden.

Mikäli ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu oikein ja suunnitellusti, lähtökohtaisesti koko rakennus pyritään pitämään paine-eroiltaan lähes aina samanlaisena. Paine-eroa mittaavia antureita ei mielestäni tarvitse olla jokaisessa

tilassa, vaan ilmanvaihdon palvelualueittain ja korkeissa rakennuksissa kerroksittain eri seinustoilla. Paine-eron mittalaitteiden sijoittelussa on mielestäni tarkasteltava pelkkien palvelualueiden lisäksi myös IV-kanaviston suunnittelua.

Rakennusten väärät paine-erot johtuvat yleensä ilmanvaihtojärjestelmien epätasapainosta, ja tämän takia kanaviston alku- sekä loppupäässä olevissa tiloissa olisi mielestäni oltava mittalaitteet. Tämän avulla esimerkiksi ilmanvaihtokanavistossa olevien ilmamääräsäätimien ja palopeltien mahdollinen toimimattomuus näkyisi välittömästi.

Haastatellessani alan asiantuntijoita kaikki olivat sitä mieltä, että paine-eron seuranta ulkovaipan yli on hyödyllistä, kunhan mitattavaa dataa ymmärretään oikein ja siitä saatavaa tietoa osataan hyödyntää, mutta kaikkien tilojen osalta mittaus ei ole tarpeellista. Kuten aiemmin mainittu, jokaista tilaa ei ole tarpeenmukaista mitata erikseen, vaan suunnittelussa olisi nähdäkseni hyvä käyttää samanlaista periaatetta, kuin ilmavirtojen tarpeenmukaisessa suunnittelussa. Suuren pinta-alan kattavat tilat olisi mielestäni aina järkevää mitata ja sen lisäksi mahdollisesti yksittäisiä huoneita palvelualueittain.

Tutkimuksessa IoT-mittalaitteiden toimivuudesta jatkuvaseurantaisena järjestelmänä rakennuksille oli mielestäni onnistunut. Tähän mennessä erilaiset loggerit, joihin olen törmännyt, voidaan asettaa mittaamaan tarvittaessa jopa sekunnin välein, mutta kiinteistön toimivuuden kannalta tämä ei ole tarpeenmukaista. 30 minuutin mittausvälin omaavalla mittalaitteella saatiin hyvä käsitys molempien kiinteistöjen paine-eroista, ja mahdollisista trendeistä.

Siirtokoulussa ilmanvaihtokoneistojen suunnittelut kokonaisilmamäärät oli suunniteltu tasan, joten suunnitelmien perusteella voisi olettaa paine-eron olevan lähellä tasapainotilannetta. Mittausjakson aikana kerätystä mittadatasta kuitenkin nähdään, että käyttöaikana kaikki ensimmäisen kerroksen mittapisteet olivat keskiarvoltaan alipaineisia, kun taas toisessa kerroksessa kaikki mittapisteet olivat hieman ylipaineisia. Käyttöajan ulkopuolella kaikki mittapisteet olivat

lievässä alipaineessa, joten mikään näistä paine-eroista ei täsmää täysin suunniteltujen kokonaisilmavirtojen kanssa. Paine-erot kuitenkin ovat hyvin lähellä 0 Pa:ia, joten ilmanvaihtojärjestelmästä ja rakennusautomaatiosta riippuen hyvin pienillä muutoksilla koko rakennus olisi mahdollista saada lievään alipaineeseen.

Mittausten tarkoituksena oli myös saada lisätietoa tuulensuojakoteloiden hyödyllisyydestä samalla mittaustekniikalla. Käyttäessä 30 minuutin mittausväliä en nähnyt mittadatassa suuria eroja verratessa mittalaitteeseen, jossa ei tuulensuojakoteloa ollut. Molemmilla mittauksilla oli nähtävillä piikkimäisiä kasvuja, Pel-Uskin omaavissa laitteissa kasvut olivat ajoittain hieman pienempiä, mutta jatkuvaseurantaisella järjestelmällä paine-eron ns. perustaso ja trendimäiset muutokset tulivat selville mittalaitteella, johon tuulensuojakoteloa ei asennettu. Mikäli mittausväli olisi ollut lyhyempi, esimerkiksi 10 sekuntia, olisivat tulokset mahdollisesti olleet erilaiset.

Tekemästäni insinööriyöstä haluan painottaa paine-erojen mittaamisen tärkeyttä. Aloittaessani tutkimusta ja haastatteluja olin tietoinen mahdollisista ongelmista, jotka väärät paine-erot tuovat tullessaan. Asiantuntijoiden haastattelut vahvistivat tietämystäni paine-eroja kohtaan, mutta samalla nostivat epäilyksen siitä, että painesuhteita saatetaan nykyaikaisessa rakentamisen kulttuurissa vähätellä. Ongelma johtuu siitä, että pielessä olevat paine-erot eivät välttämättä ole akuutteja ongelmia juuri sillä hetkellä ja niihin suhtaudutaan kovin verkkaisesti.

Paine-erojen ollessa pitkän ajan vääriä lopputuloksena on kuitenkin lähes aina tullut ongelmia, jotka ovat johtaneet mahdollisesti jopa rakennuksen ennenaikaiseen purkamiseen ja jotka olisi voitu korjata huomattavasti kustannustehokkaammilla toimenpiteillä etukäteen. Tämän vuoksi nykyisten ohjeistusten ja määräysten puutteellisuuteen pitäisi mielestäni reagoida ja lisätä viralliset tavoiterajat, joihin urakoitsijoiden ja kiinteistön omistajien tulisi päästä. Siinä missä

esimerkiksi kokonaisilmavirtojen määrää ja suodattimien puhtautta pystytään seuraamaan ja arvioimaan, myös paine-eroa tulisi seurata, sen liittyessä olennaisesti rakennuksen toimivuuteen.

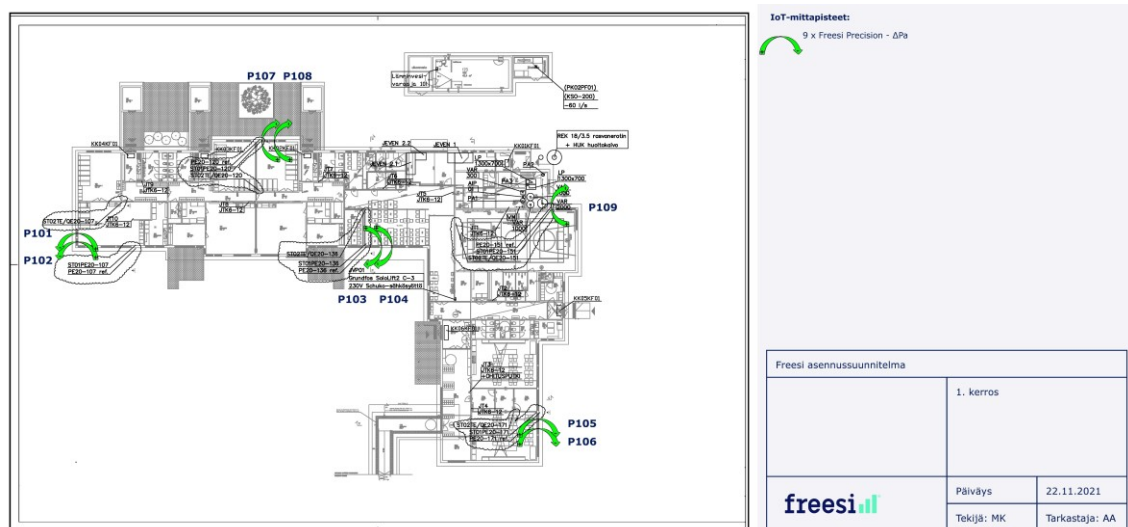
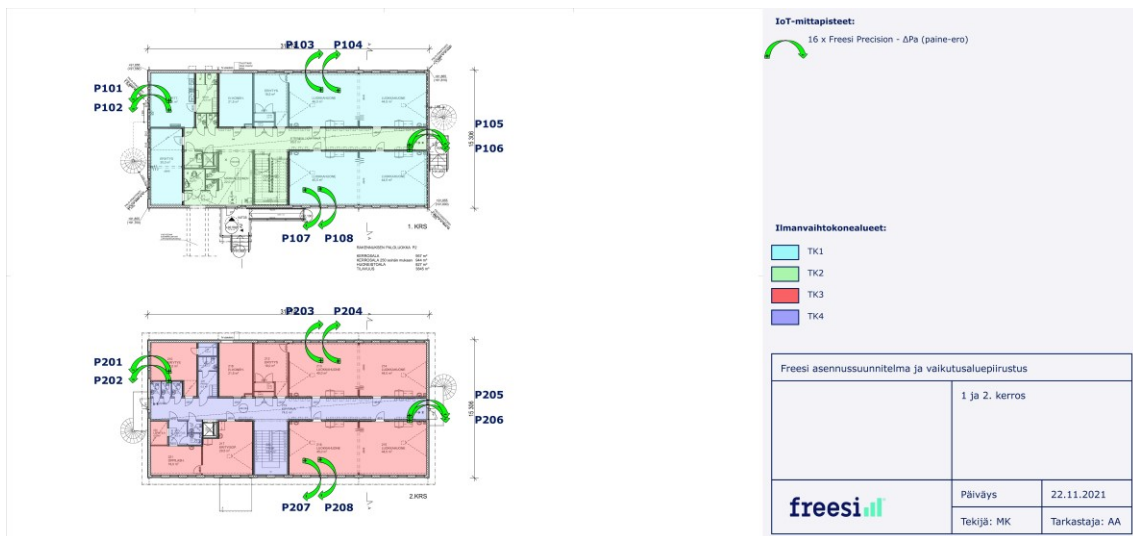
Tutkimuksessani käyttämäni IoT-anturit ajoivat hyvin asiansa, ja jo muutaman viikon mittauksella saatiin riittävästi dataa, jolla pystyttiin arvioimaan kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmien toimivuutta. Mittausjakson aikana tuuli vaihtui puhaltamaan kokonaan toisesta suunnasta, ja tämä aiheutti raakadatanäkymässä hetkittäisiä vaihteluja perustasostaan. Kuukauden pituisella mittauksella pystyttiin kuitenkin keskiarvoistamaan tulokset, jonka ansiosta tuulesta johtuvat poikkeamat eivät näkyneet mittauksessa ja tuloksia voi luotettavasti käyttää apuna esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmien säädöissä ja tasapainotuksessa.

Paine-erot mitatuissa rakennuksissa olivat suhteellisen hyvät, mutta esimerkiksi siirtokoulussa, joka on uudisrakennus, havaittiin trendimäistä ylipainetta käytön aikana ylemmässä kerroksessa. Ennen mittausta tilaajalla oli tieto suunnitelluista ilmavirroista ja nyt myös tieto siitä, miten nykyisillä ilmanvaihtojärjestelmien asetuksilla rakennuksen paine-erot toimivat. Tiedon perusteella tilaaja pystyy halutessaan tekemään muutoksia kohteen ilmanvaihtoon tai osoittamaan urakoitsijalle tarpeen mukaisia toimenpiteitä, mikäli vastuu kuuluu heille rakennuksen toiminnasta. Tämä on yksi esimerkki siitä, miten mitattua dataa pystytään hyödyntämään rakennuksen hyvinvoinnin osalta.

## Lähteet

- 1 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2019. Verkkoaineisto. FINVAC. <[https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa 2019.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_ilmanvaihdon_mitoitukseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_2019.pdf)>. Luettu 7.12.2021.
- 2 Järnström, Helena; Koivusaari, Risto & Saari, Mikko. 2017. Sisäilman laadun hallinta rakennushankkeen eri vaiheissa. VTT-S-06675-17. Espoo: Rakennusteollisuus RT ry. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ajankohtaista/ajankohtaista-liitteet/2018/vtt-s-06675-17-rt-sisailman-laadun-hallinta-191217.pdf>> Luettu 7.12.2021
- 3 Kolari, Antti. 2018. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen perusteet. Verkko-opintopaketti. Savonia-ammattikorkeakoulu. Luettu 25.11.2021
- 4 Björkroth, Marko & Eskola, Lari. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. A-Insinöörit. 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 7.12.2021.
- 5 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 1 2731/06.10.01/2016. Valvira.
- 6 Havaintojen lataus. 2020. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Luettu 20.2.2022
- 7 Tuotekortti. PressGuard. 2021. Connected Finland <[https://www.connectedfinland.fi/wp-content/uploads/2020/04/PressGuardR4.1\\_brochure-1pageFIN-1.pdf](https://www.connectedfinland.fi/wp-content/uploads/2020/04/PressGuardR4.1_brochure-1pageFIN-1.pdf)> Luettu 30.11.2021.
- 8 Sisäilmajohtamisen palvelut. 2022. IISY Oy. FreesiCloud <<https://www.freesi.io>> Luettu 25.3.2022.

## Anturien sijaintipiirustus



## PressGuard-tuotekortti



INTERNETTIIN  
KYTKETTY PAINE-EROANTURI

### Connected PressGuard

Connected PressGuard on erilaisten paine-erojen mittaamiseen tarkoitettu mittalaite. PressGuard-laitteen paine-eroanturi mittaa erittäin tarkasti kahden mittapisteen välistä paine-eroa, esimerkiksi rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välillä.

Laite mittaa arvot ja lähettää ne haluamallasi aikavälillä Sigfox-verkon kautta internetiin mittaustulosten esitystä ja esimerkiksi hälytyksiä varten. Laitteen lähetysväliä voidaan säätää etänä.

PressGuard on varustettu pitkän käyttöiän takaavalla paristopakkauksella ja seinäkiinnityselineellä. Sigfox IoT-verkon tiedonsiirtokustannukset ovat matalat ja yhdessä pitkän paristonkeston kanssa laitteen elinkaarikustannus on erittäin edullinen.

- Kotelo: ASB -muovi
- Koko: 100 x 100 x 35 mm
- Paino: 166 g
- Paristopakkaus: C 3,6 V
- Paristopakkauksen kesto: 5 vuotta (30 min mittausväliä)
- Mittausväli: Säädettävissä (10 min ... 21 h)
- Mittausalue: -500 ... 500 Pa
- Tarkkuus: 0,1 Pa tai kolme prosenttia lukemasta
- Mittausalue: -20 ... 85 °C, tarkkuus ±2 °C
- Verkkoyhteys: Sigfox 868 / 902 / 920 MHz
- Toiminta-alue: Sigfox RC21 / RC22 / RC24 / RC27
- Hyväksynnät: CE, FCC, Sigfox Class 0U
- Takuu: 1 vuosi
- Tuotekoodi: CIPRG-3007-R0401(RC21) / CIPRG-3207-R0401(RC22) / CIPRG-3407-R0401(RC24) / CIPRG-3707-R0401(RC27)

ConnectedInventions