

PAINESUHTEET LAADUNVARMISTUKSESSA

Elias Takkinen
Opinnäytetyö AMK
Syksy 2024
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Elias Takkinen
Opinnäytetyön otsikko: Painesuhteet laadunvarmistuksessa
Työn ohjaaja(t): Tomi Jäävirta
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2024
Sivumäärä: 27

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella ilmanvaihtokanavien ja -koneiden puhdistuksen sekä huollon vaikutusta päiväkotirakennuksen painesuhteisiin laadunvarmistuksen näkökulmasta. Työssä tutkittiin myös ulkoisten tekijöiden, kuten tuulen ja rakennuksen geometrian, vaikutusta mittaustuloksiin. Tämä työ tehtiin toimeksiantona ISS Palvelut Oy:n Oulun tekniikan yksikölle.

Työssä käytettiin tietoperustana rakennusten ilmanvaihdon ja painesuhteiden hallintaan liittyviä ohjeita sekä alan aiempaa tutkimusta. Mittaukset toteutettiin jatkuvalla paine-erojen mittauksella ilmanvaihtojärjestelmän huolto- ja säätötyön ajan. Tuloksista ilmeni, että kanavistojen puhdistuksen vaikutuksia paine-eroihin on vaikea erottaa, sillä ilmanvaihtojärjestelmän säätötyö ja ulkoiset tekijät, kuten tuulen suunta ja voimakkuus, vaikuttavat mittaustuloksiin merkittävästi. Ilmanvaihtojärjestelmän väärät säädöt havaittiin mahdolliseksi syyksi epätasapainoisiin painesuhteisiin työn alkutilanteessa.

Johtopäätöksenä todettiin, että ilmanvaihtojärjestelmän huolellinen säätötyö on olennainen osa puhdistusprosessia ja laadunvarmistusta. Kehitysehdotuksena esitetään, että mittausjaksoa laajennetaan kattamaan pitempi ajanjakso ennen puhdistusta ja huoltoa sekä sen jälkeen. Tämä mahdollistaisi tarkemman vertailun ja selkeämmät johtopäätökset ilmanvaihtojärjestelmän huollon vaikutuksista rakennuksen painesuhteisiin.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services
Option of HVAC Engineering

Author(s): Elias Takkinen
Title of thesis: Pressure Differences in Quality Assurance
Supervisor(s): Tomi Jäävirta
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2024
Number of pages: 27

The aim of this thesis was to examine the impact of cleaning and maintenance of ventilation ducts and units to the pressure differences in a daycare building from a quality assurance perspective. The influence of external factors, such as wind and the building's geometry to the measurements results was also investigated in the study.

The theoretical basis included guidelines and previous research related to building ventilation and pressure management. The measurements were carried out by continuous measurement of pressure differences during the maintenance and adjustment work of the ventilation system.

The results indicated that the effects of cleaning on pressure differences are difficult to isolate due to the significant influence of ventilation system adjustments and external factors like wind direction and speed. Incorrect system settings were identified as a possible cause of unbalanced pressure ratios at the start of the process.

The conclusion highlights that precise adjustments of the ventilation system are a critical part of the cleaning process and quality assurance. As a development suggestion, extending the measurement period to include time before and after cleaning and maintenance would enable more accurate comparisons and clearer conclusions regarding the effects of ventilation system maintenance on building pressure differences.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 RAKENNUKSEN PAINESUHTEET	6
2.1 Ilmanvaihdon tasapaino	6
2.2 Rakenteiden tiiveys	8
2.3 Ulkoiset tekijät	10
2.4 Paine-erojen tavoitetasot.....	11
3 MITTAUKSET	14
3.1 Mittausten haasteet	14
3.2 Paine-eron mittaaminen	15
4 HUOLTO JA TULOKSET.....	18
4.1 Huolto	18
4.2 Tulokset.....	20
5 POHDINTA	24
LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

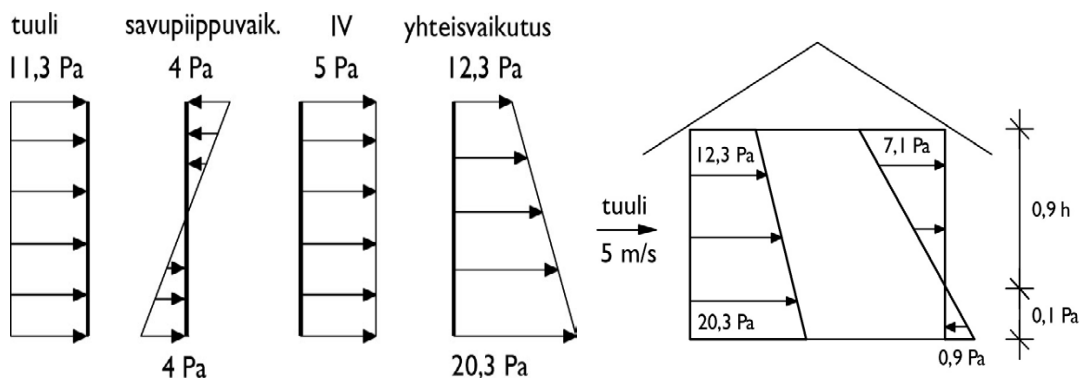
Painesuhteiden ja paine-erojen hallinta on olennainen osa ilmanvaihdon laadunvarmistusta, sillä se vaikuttaa rakennuksen sisäilman laatuun, rakenteiden kestävyys- ja energiatehokkuuteen. Ilmanvaihtojärjestelmän toimiessa suunnitellusti ilma virtaa puhtaammista tiloista likaisempiin, mikä estää epäpuhtauksien, kuten pölyn, mikrobien tai hajujen, kulkeutumisen alueille, joissa oleskellaan tai työskennellään.

Hetkelliset paine-erojen mittaukset voivat olla haastavia johtuen ulkoisista tekijöistä kuten kovasta tuulesta tai kylmästä säästä, sillä ne vaikuttavat tuloksen luotettavuuteen. Mittausten luotettavuuden parantamiseksi niitä tulisi suorittaa jatkuvalla mittauksella pidemmällä aikavälillä sekä huolellisesti valituista mittauskohdista. Kun ympäristön olosuhteet ovat tiedossa ja tallennettuna, voidaan niiden avulla karsia mittaustuloksista häiriötekijät ja tehtyä tarkemmat johtopäätökset.

Työssä tarkastellaan laadunvarmistuksen näkökulmasta, kuinka ilmanvaihtokanavien ja -koneiden puhdistus sekä huolto ja ulkoiset tekijät vaikuttavat päiväkotirakennuksen painesuhteisiin ja paine-eroihin. Paine-eroja mitattiin vaipan yli loggereilla rakennuksen kahdelta eri julkisivulta työn aikana. Puhdistus tehdään pääasiassa paloturvallisuuden varmistamiseksi pelastuslain mukaisesti (Pelastuslaki 379/2011, 13 §). Ilman säännöllistä puhdistusta kanaviin kertynyt lika ja pöly voi aiheuttaa paloturvallisuusriskin sekä estää ilman kulkua ja häiritä ilmavirtoja. Pahimmillaan se voi johtaa painesuhteiden epätasapainoon ja heikentyneeseen sisäilmanlaatuun. Puhdistuksen yhteydessä tarkastetaan palo- ja säätöpeltien toiminta sekä lopuksi säädetään ilmavirrat suunnitelmien mukaisiksi paine-eroja tarkkailemalla.

2 RAKENNUKSEN PAINESUHTEET

Rakennuksen painesuhteilla tarkoitetaan rakennuksen osien tai sen sisä- ja ulkoilman välisiä paine-eroja, jolloin ilma pyrkii virtaamaan korkeammasta paineesta alhaisempaan. Painesuhteet määräytyvät sisäisten ja ulkoisten tekijöiden yhteisvaikutuksesta kuten ilmanvaihtojärjestelmän tasapainosta, rakenteiden tiiveydestä, tuulesta sekä lämpötilaerojen aiheuttamasta savupiippuvaikutuksesta (kuva 1). Painesuhteet vaihtelevat usein rakennuksen ulkovaipan yli ja ne voivat muuttua nopeasti. Paine-erot määrittävät ilmavirran suunnan huoneiloissa, kerrosten välillä sekä rakennuksen ulkovaipan läpi. (Ympäristöministeriö 2016, 86, 118.)



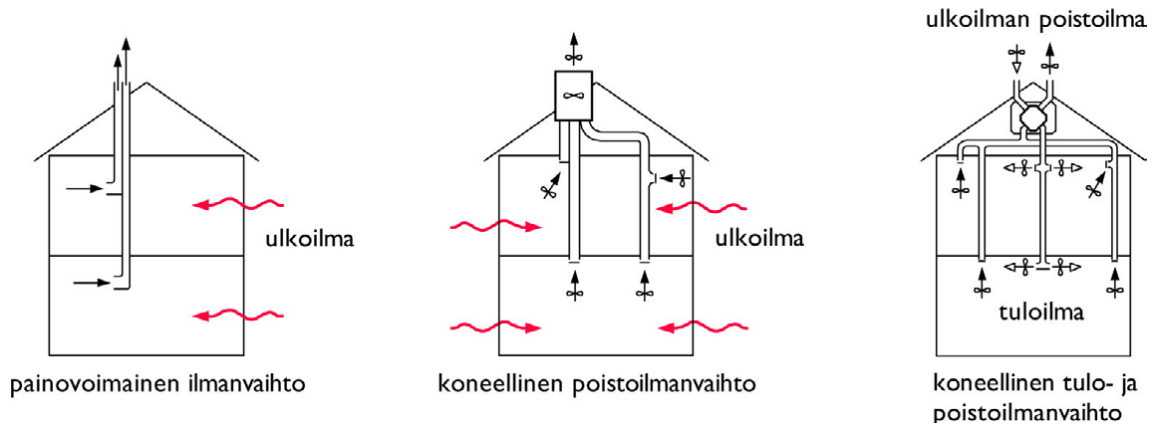
KUVA 1. Yhteisvaikutus tuulenpuoleisen ulkoseinään kohdistuvaan paineeseen (Ympäristöministeriö 2016, 122)

Myös rakennuksen koko ja käyttötarkoitus vaikuttavat paine-eroihin. Esimerkiksi toimistorakennuksissa, joissa on laboratorioita, syntyy paljon epäpuhtauksia, minkä vuoksi tarvitaan runsaasti erillispoistoa, jolloin riittämätön korvausilman saanti aiheuttaa ongelmia. Tällöin ilmanvaihtojärjestelmän painesuhteiden ollessa epätasapainossa voivat paine-erot rakennuksen vaipan yli olla huomattavan suuria. (Sisäilmautiset 2016.)

2.1 Ilmanvaihdon tasapaino

Painesuhteet määräytyvät rakennuksessa, jossa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä sen toimivuuden ja säätöjen, rakennuksen ulkovaipan tiiviiden sekä

tulo- ja poistoilmaventtiilien lukumäärän ja sijainnin perusteella. Rakennuksen ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero ulkovaipan yli riippuu myös käytetystä ilmanvaihtojärjestelmästä. Rakennuksessa voi olla koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä tai painovoimainen ilmanvaihto (kuva 2). Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä oli yleisin vielä 1960-luvulla. Uudessa rakennuskannassa käytetään yleensä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää lämmöntalteenotolla. (Ympäristöministeriö 2016, 121.)



KUVA 2. Ilmanvaihtojärjestelmien perusratkaisuja (Ympäristöministeriö 2016, 121)

Rakennuksen paineolosuhteiden hallinta edellyttää ilmavirtojen tarkkaa tasapainotusta, jotta ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisä- ja ulkoilman välisiin paineeroihin pysyy vähäisenä. Tärkeää on suorittaa ilmanvaihtojärjestelmän perussäädön jälkeinen hienosäätö tarkkailemalla vaipan yli muodostuvia paine-eroja. Ilmanvaihdon painesuhteisiin vaikuttavat myös järjestelmän toimivuus ja puhtaus, sillä tukkeutuneet tai merkittävästi likaantuneet päätelaitteet (kuva 3), kanavat tai suodattimet voivat aiheuttaa ilmavirralle vastusta vaikuttaen tilavuusvirtauksiin kanavistossa. Ilmanvaihtokanavien puhdistustarve tarkastetaan suositusten mukaan viiden vuoden välein, ja ilmanvaihtokoneiden puhdistustarve arvioidaan aina suodattimien vaihdon yhteydessä. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019, 20, 28–29.)



KUVA 3. Merkittävästi likaantunut kytkentälaatikon etulevy ennen ja jälkeen puhdistuksen

Tulo- ja poistoilmasuodattimet vaihdetaan yleensä kahdesti vuodessa tai silloin, kun suodattimen ylittävä paine-ero kasvaa suureksi, mikä osoittaa suodattimen likaantumisen ja ilmanvirran heikentymisen. Kun suodattimet ovat tiiviisti kiinnitettyinä suodatinkehysiin ilman ohivirtausta, ulkoilman epäpuhtaudet eivät pääse kertymään merkittävästi tuloilmakanaviin. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019, 20, 28–29.)

2.2 Rakenteiden tiiveys

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys ja painesuhteet liittyvät keskeisesti toisiinsa. Suomessa asuinrakennukset ja oleskelutilat suunnitellaan alipaineisiksi, jotta kosteuskonvektiosta aiheutuva rakenteiden vaurioitumisriski voidaan minimoida. Rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantaminen ja hallitsemattomien ilmapuotojen poistaminen parantavat energiatehokkuutta, estävät kosteuden siirtymistä rakenteisiin ja ehkäisevät epäpuhtauksien kulkeutumista vuotoilmavirtausten mukana. (Ympäristöministeriö 2016, 118–119.)

Vuotoilmavirtausten pääsy rakenteiden läpi pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä, sillä monissa nykyisissä rakenteissa niiden vaikutuksia ei ole otettu riittävästi huomioon. 1970- ja 80-luvuilla rakennetuissa taloissa rakennus pyrittiin alipaineistamaan ilmanvaihtojärjestelmällä, jotta ilmavirrat sisätiloista ulospäin pysyisivät hallinnassa. 1990-luvulla alettiin tiivistää rakennusten ulkovaippoja tavoitteena vähentää vuotoilman mukana kulkevaa energiahävikkiä ja estää radonin pääsy sisäilmaan. (A-insinöörit 2019, 11.)

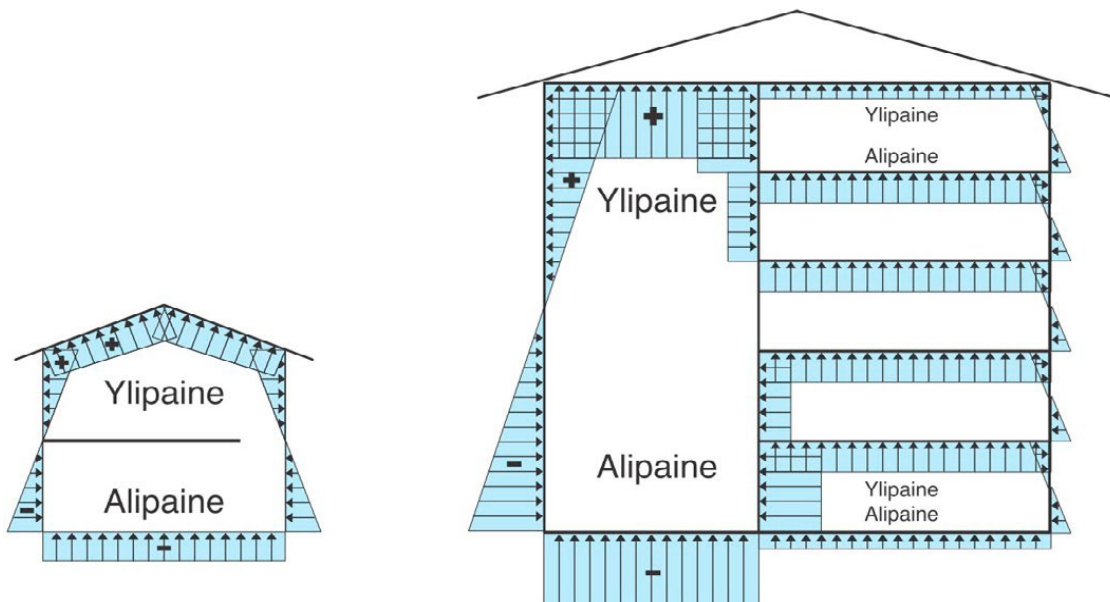
Ilmavuotoihin vaikuttavat ulkovaipan vuotokohtien määrä, koko ja sijainti korkeussuunnassa. Lisäksi vuotoilmavirtauksiin vaikuttavat sisä- ja ulkoilman väliset paine- ja lämpötilaerot sekä tuuliolosuhteet. Jos rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmavirrat eivät ole tasapainossa, se aiheuttaa jatkuvan ylipainetta alipaineen. Kylmällä säällä syntyy niin sanottu terminen paine-ero, jolloin ulkoilmaa virtaa rakennuksen alaosaan ja sisäilmaa poistuu yläosasta. Tuulenpaine voi myös aiheuttaa ilmavirtoja rakennuksen vaipan läpi siten, että ilmaa virtaa sisään tuulen puoleiselta julkisivulta ja poistuu muilta sivuilta. (A-insinöörit 2019, 11.)

Rakennuskorjaukset, kuten ryömintätilojen tuuletusaukkojen lisääminen, ikkunoiden vaihtaminen tai rakenteiden tiivistäminen, voivat muuttaa painesuhteita. Esi-merkiksi tuuletusaukot voivat tuulen vaikutuksesta aiheuttaa ryömintätilaan ylipainetta sisätiloihin nähden. Kun rakennuksen ilmatiiveyttä parannetaan, tulee varmistaa riittävä korvausilman saanti ja säätää tulo- ja poistoilmamäärät vastaamaan muuttuneita painesuhteita. (Ympäristöministeriö 2016, 118–119.)

Ilmavuotoluku kuvaa rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyden tasoa. Nykyisin käytössä oleva ilmavuotoluku q_{50} osoittaa, kuinka paljon vuotoilmaa (m^3/h) virtaa ulkovaipan läpi sisään tai ulos, kun sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 50 Pa. Vanhoissa rakennuksissa ilmavuotoluku (q_{50}) voi olla yli $10 m^3/(h \cdot m^2)$, mutta nykyisin energiankulutuslaskennassa käytetään ylärajana arvoa $4 m^3/(h \cdot m^2)$ ja uudisrakennuksissa tavoitellaan arvoa $1 m^3/(h \cdot m^2)$. (A-insinöörit 2019, 8, 11.)

2.3 Ulkoiset tekijät

Terminen paine-ero, eli savupiippuvaikutus, on merkittävä tekijä rakennuksen paine-erojen muodostumisessa. Se syntyy sisä- ja ulkoilman lämpötilaeroista johtuvista ilman tiheyseroista, jotka voimistuvat lämpötilaeron kasvaessa (kuva 4). Suomen ilmastossa ulkoilman ollessa yleensä sisäilmaa kylmempää termisen paine-ero aiheuttaa alipainetta rakennuksen alaosiin ja ylipainetta yläosiin. Vaikutus korostuu erityisesti korkeissa rakennuksissa, joissa termisen paine-eron hallintaa voidaan parantaa jakamalla rakennus pystysuuntaisesti ilmatiiviisiin osiin. Pitkät pystysuuntaiset tilat ja rakenteet, kuten porrashuoneet, hissikuilut ja tekniikkahormit, lisäävät termisen paine-eron vaikutusta. (Motiva 2024, 9.)



KUVA 4. Painejakauma rakennuksen ulkovaipan yli sisä- ja ulkoilman lämpötila-eron seurauksena (Ympäristöministeriö 2016, 120)

Savupiippuvaikutuksen aiheuttamien paine-erojen hallitsemiseksi voidaan käyttää ovia ja seiniä ilmavirtauksien vähentämiseksi. Ilmanvaihtovyöhykkeillä tulo- ja poistoilmavirrat on mitoitettava siten, että ilma virtaa puhtaista tiloista likaisempiin. Myös erillispoistojen käytön aikana tulo- ja poistoilmavirtojen on oltava tasapainossa. Suunnitelmissa tulee esittää, miten korvausilma järjestetään erillispoistoja varten. Siirtoilmareitit sekä tehostetun ilmanvaihdon ulkoilmareitit on suunniteltava siten, että painehäviö pysyy alle viidessä pascalissa eikä siirtoilma saa kulkea useamman kuin yhden huoneen läpi. (Finvac ry 2019, 5.)

Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä rakennuksen muodosta. Tuuli aiheuttaa ylipainetta kohtamaansa pintaan ja alipainetta suojan puoleisiin seiniin ja kattoihin. Rakennuspaikan vallitseva tuulensuunta ja rakennuksen aukkojen sijainti vaikuttavat sisäpaineeseen. Jos tuulenpuoleinen seinä on muita epätiiviimpi, rakennukseen muodostuu ylipainetta ja vastaavasti alipainetta, jos aukot ovat pääosin suojan puolella. Näin tuulen suuntaa ja aukkojen sijoittelua voidaan hyödyntää arvioitaessa, millä puolen rakennusta esiintyy todennäköisemmin yli- ja alipaineolosuhteita. (Ympäristöministeriö 2016, 119.)

Jos tuulen nopeus ylittää 6 m/s, muodostaa tuuli 1950–80-luvuilla rakennettujen rakennusten tuulenpuoleiselle julkisivulle korkean ylipaineen ja saman julkisivun puoleisiin tiloihin alipaineen riippumatta ilmanvaihdon tasapainotuksesta. Suojan puoleisissa tiloissa puolestaan syntyy ylipainetta ja suojan puoleisella julkisivulla alipainetta. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019, 19.)

2.4 Paine-erojen tavoitetasot

Painesuhteiden ja paine-erojen tarkastelussa on hyvä ymmärtää, miten ilmanvaihtoratkaisut on suunniteltu ja toteutettu eri aikakausina, kun vanhempien rakennusten painesuhteita pyritään säätämään kohti nykyisiä tavoitetasoja. Aiemmin rakennusten paine-eroihin ei ollut erillisiä tai tarkasti määriteltyjä määräyksiä. Sen sijaan paine-eroihin pyrittiin vaikuttamaan jo suunnitteluvaiheessa ilmavirtojen mitoituksessa. (A-Insinöörit 2019, 13–14.)

Rakentamismääräyskokoelman D2-osan kohdassa 3.7.8.2 todettiin näin: ”Ilmavirtojen tarpeen mukaisen säädön toiminta suunnitellaan sellaiseksi, etteivät rakennuksen ja sen eri huonetilojen paine-erot muutu haitallisesti” (Rakennusmääräyskokoelma D2 2012, 19). Tämä tarkoitti, että paine-erojen hallinta perustui ilmamäärien säätelyyn, mutta mittauksia ja -välineitä ei määrätty tarkasti määräyksissä. Rakennuksissa käytettiin joko pelkästään poistoilmanvaihtoa tai tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä tuloilmavirta suunniteltiin 5–10 % pienemmäksi kuin poistoilmavirta, jotta varmistettiin rakennuksen alipaineisuus. (A-Insinöörit 2019, 13–14.)

Nykyisten ilmanvaihto-ohjeistusten mukaan rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat mitoitetaan tasapainoisiksi, jotta vaipan yli ei synny haitallisia paine-eroja. Lopulliset päätelaitteiden säädöt tehdään siten, että rakennuksen ulkovaipan yli ei synny ylipainetta. Samalla varmistetaan, että alipaine pysyy hallinnassa, yleensä alle 5 pascalissa. Paine-erot eivät saa ylittää sallittuja rajoja pitkäaikaisesti, vaikka ilmavirtoja tehostetaan tai vähennetään. Tämä on erityisen tärkeää huomioida korkeiden rakennusten suunnittelussa, jotta painesuhteet toimivat oikein. (Finvac ry 2019, 4–5.)

Paine-erojen suositukset (taulukko 1) on laadittu erityisesti koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla varustettujen rakennusten säätötyön tueksi. Painovoimaisella ilmanvaihdolla noudatetaan suunnittelijan ohjeita, ja korkeiden rakennusten paine-erot vaativat oman erillisen tarkastelunsa. Paine-erojen tavoitetasot mitataan metrin korkeudelta siitä kerroksesta, johon tavoitetta sovelletaan. (A-insinöörit 2023, 14–15.)

TAULUKKO 1. Asuin-, toimisto-, liike-, opetus- ja vaativien rakennusten paine-erojen tavoitetasot koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustetussa kohteissa (A-insinöörit 2023, 15)

Rakennuksen tyyppi	Normaali käyttötilanne	Maksimi-arvo
Asuinpientalo ¹	0 – -5 Pa	+2...-15 Pa (tehostus)
Asuinkerrostalo ²	0 – -10 Pa	0...-15 Pa (tehostus)
Toimisto-, liike- tai opetusrakennus ³	+5 – -5 Pa	+5...-10 Pa
Paine-erojen hallinnan kannalta vaativa kohde ⁴	+5 – -15 Pa	Määritellään tapauskohtaisesti

¹ Pieni mitoitusilmavirta suhteessa ulkovaipan alaan.

² Pienissä huoneistoissa suuri mitoitusilmavirta suhteessa ulkovaipan pinta-alaan.

³ Ei erillispoistoja, mitoitusilmavirta noin 2 l/(s*m²), vähäinen kosteuslisä.

⁴ Muuttuvaimavirtaiset ja siirtoilman käyttöön perustuvat järjestelmät, suuret mitoitusilmavirrat, yli 25 m korkea rakennus.

Asuinrakennuksille suositellaan lievää alipainetta, ja tehostustilanteissa tulee tarkistaa, että korvausilmareitit toimivat asianmukaisesti. Mikäli tehostuksen vaatimaa korvausilmaa ei ole huomioitu suunnittelussa, säätötyössä suositellaan konsultoimaan suunnittelijaa tarvittavien korjaustoimien arvioimiseksi. Paine-erojen tulee pysyä tavoitetasoissa sekä ilmanvaihdon tehostuksen aikana että normaalissa käyttötilanteessa palvelualueiden välillä. Muissa kuin asuinrakennuksissa säätötyössä käytetään paine-eromittausta, ja mikäli tavoitearvot ylittyvät, ylityksen syyt tulee selvittää. (A-insinöörit 2023, 14–15.)

Muissa kuin asuinrakennuksissa ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että käyttöajan ulkopuolella ulkoilmavirta on keskimäärin vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$, m^2 , mikä varmistaa ilman vaihtumisen kaikissa huonetiloissa ja paine-erojen hallinnan. Ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia joko jatkuvasti pienemmällä ilmavirralla tai jaksottaisesti, jolloin keskimääräinen vähimmäisilmavirta toteutuu. Jaksoittaisessa käytössä on varmistettava hygieniatilojen tuloilman saanti ja painevaihteiden välttäminen. (Finvac ry 2019, 5–6.)

Jo kumotun Suomen rakennusmääräyskokoelman D2 (2012) kohdan 3.7.6 mukaan rakennuksen ja sen tilojen paine-erot suunnitellaan siten, että ilma kulkee puhtaammista tiloista kohti tiloja, joissa epäpuhtauksia kertyy enemmän. Rakennus pidetään tavallisesti hieman alipaineisena ulkoilmaan nähden, jotta voidaan ehkäistä kosteus- ja homevauriot, mutta alipaine ei saa ylittää 30 pascalia. Tietyt erikoistilat, kuten puhdastilat, voidaan suunnitella ylipaineiseksi. Tilat, joissa syntyy paljon epäpuhtauksia tai kosteutta, suunnitellaan alipaineiseksi muihin tiloihin verrattuna. (Rakennusmääräyskokoelma D2 2012, 19.)

Kohdassa 3.2.2.3 kerrotaan että koulujen, päiväkotien ja vastaavien rakennusten ilmanvaihdossa ulkoilmavirran tulee käyttöajan ulkopuolella olla vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$, $/\text{m}^2$, mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,2 \text{ 1/h}$, kun huoneen vapaakorkeus on $2,5 \text{ m}$. Tämä voitiin toteuttaa pitämällä hygieniatilojen ilmanvaihto jatkuvasti käynnissä tai käyttämällä ilmanvaihtoa jaksottaisesti. (Rakennusmääräyskokoelma D2 2012, 19.)

3 MITTAUKSET

Paine-eromittaukset rakennuksen ulkovaipan yli ovat tärkeä osa ilmanvaihdon tasapainotuksen laadunvarmistusta, sillä ne varmistavat sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron pysymisen suunnitelluissa rajoissa. Tilojen väliset paine-eromittaukset auttavat lisäksi arvioimaan päätelaitteiden mittausten ja säätöjen luotettavuutta erityisesti silloin, kun tilojen väliset rakenteet ovat tiiviitä. (Taitotalo 2023, 59.)

Mittauksilla voidaan myös arvioida ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa, tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainoa sekä järjestelmän tai ulkoisten tekijöiden aiheuttamia hetkellisiä paine-eron vaihteluita. Tuloksia voidaan käyttää apuna ilmanvaihtojärjestelmää tasapainottaessa, mutta ilmavirtoja ei kuitenkaan saa säätää pelkästään paine-erojen mittaustuloksiin perustuen. (A-Insinöörit 2019, 3.)

3.1 Mittausten haasteet

Tiiviissä rakennuksissa jo sallitun toleranssialueen sisällä olevat ilmavirtaerot voivat aiheuttaa merkittäviä paine-eroja, erityisesti rakennuksissa, joissa mitoitusilmavirrat ovat suuria. Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtojen mittaustarkkuus ei ole tarpeeksi hyvä mitattaessa pieniä ilmavirtoja, mikäli se on toteutettu virtausmittauksella. Tämä voi vaikeuttaa säätötyötä sekä johtaa epätarkkoihin säätöihin ja siten myös vaikuttaa sisäilman laatuun. Yksittäisen huonetilan ilmavirtojen toleranssi on $\pm 20\%$ ja järjestelmä- tai huoneistokohtaisten ilmavirtojen $\pm 10\%$ suunnitellusta arvosta mittausrvirheet mukaan lukien. (A-Insinöörit 2023, 3; Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, 27 §.)

Järjestelmien säätämiseen liittyy myös yleisiä haasteita riippuen siitä, käytetäänkö koneellista poistoilmanvaihtoa vai tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa voivat haasteiksi muodostua korvaus- ja siirtoilman puutteet sekä vedon tunne. Vanhoissa kantti- ja rakenneainekanaavissa järjestelmissä ongelmaksi voi muodostua kanaviston ja hormien

vuotaminen, jolloin ei saada luotettavasti mitattua todellista kokonaisilmavirtaa. Korvaus- ja siirtoilman puutteet aiheuttavat sen, että korvausilma tulee ulkoilma-venttiilien sijasta rakennuksen ulkovaipan epätiiviyden kohtien kautta vuotoilmana ja se näkyy usein voimakkaana alipaineena. Siirtoilman puute puolestaan vaikeuttaa järjestelmän toimivuutta, kun väliovien avaaminen tai sulkeminen voi muuttaa ilmavirtoja. (Taitotalo 2023, 7–8.)

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän haasteita ovat automaatiojärjestelmän puutteet kuten vanhentuneet ja epätarkat virtausmittarit, ilmanjaon toimintahäiriöt, ilmavirtojen mittausepätarckkuudet, kanaviston vuodot sekä osatehon käytön epätasainen ilmavirtojen jakautuminen kanavistossa ja päätelaitteissa, mikä johtuu liian väljistä kanavamitoituksista. Lisäksi vanhentuneissa rakentamismääräyskokoelmissa ohjeistettiin mitoittamaan poistoilman kokonaisilmavirrat noin 10 % tuloilmaa suuremmaksi. Tämän vuoksi ilmavirtojen mittausta ja tasapainotusta ei suositella tehtäväksi alkuperäisten suunnitelmien mukaan, vaan tarvittaessa mitoitukset tulee säätää tasapainoon. Palvelurakennuksissa mitoitusperusteet poikkeavat asuinrakennuksista, minkä vuoksi ilmavirrat ovat huomattavasti suurempia ja mittaukseen sekä tasapainotukseen liittyvät virheet kasvavat. (Taitotalo 2023, 8–11.)

Mittauksen ja tasapainotuksen aikana voi ilmetä liiallista ali- tai ylipainetta, mikä voi johtua esimerkiksi vikaantuneesta ilmamääräsäätimestä (IMS), sisä- ja ulkoilman välisestä lämpötilaerosta, tuulen nopeudesta tai likaantuneista päätelaitteista ja niiden säätöosista. Tuuli ja rakennuksen käyttäjien toiminta, kuten ulkoovien tai tuuletusikkunoiden avaaminen, voivat aiheuttaa mittaustuloksiin vaihtelua, mikä voidaan tulkita mittausrvirheeksi. Pienetkin muutokset voivat vaikuttaa paine-eroihin: esimerkiksi kammiopaineohjatun ilmanvaihtokoneen referenssipaineen muutos voi aiheuttaa jopa kymmenien pascalien paine-eron rakennukseen. (A-Insinöörit 2019, 23; Taitotalo 2023, 15.)

3.2 Paine-eron mittaaminen

Paine-erojen mittauksessa on tärkeää tietää rakennuksen ilmanvaihtoratkaisu ja valita käyttötilanne, jossa mittaus suoritetaan. Esimerkiksi koneellisessa poisto-

tai tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä käyttötilanteita voi olla tehostustila tai puoliteho. (A-Insinöörit 2023, 23.)

Määrittäessä koko rakennuksen keskimääräistä paine-eroa ulkoilmaan verrattuna tehdään mittaus suositusten mukaisesti kahdelta eri julkisivulta. Monikerroksisissa rakennuksissa mittaus tehdään ylimmästä ja alimmasta kerroksesta sekä kahdelta julkisivulta. Myös kylmällä säällä tai termisen paine-eron ollessa yli 1 Pa/m tehdään 2+2 mittauksia. Korkeissa rakennuksissa tulee mitata myös porrashuoneiden ja ulkoilman sekä porrashuoneen ja sisätilojen paine-ero hetkellisillä mittauksilla. (A-Insinöörit 2023, 32.)

Paine-eron mittaaminen rakennuksen ulkovaipan yli tehdään noin 1 metrin korkeudelta lattiapinnasta. Mittaus voidaan tehdä esimerkiksi tuuletusikkunan tai oven alanurkasta johtamalla tarkoitukseen sopiva mittaletku ulos ja sulkemalla sen jälkeen ikkunan tai oven kiinni. Jos korkeusasema poikkeaa 1,0 metrin tavoitearvosta enemmän kuin 0,3 metriä, voidaan mittaustulos korjata vastaamaan paine-eroa 1,0 metrin korkeudella. Ulkovaipan yli tehtävää mittauksia ei suositella tekemään kylmän tai tuulisen sään vallitessa kuten ulkolämpötilan ollessa alle -15 °C, tuulen keskinopeuden ollessa yli 6 m/s tai puuskien yli 10 m/s, ellei ole tarkoitus selvittää ääriolojen vaikutusta paine-eroihin. (A-Insinöörit 2019, 24–27.)

Hetkellisellä paine-eromittauksella voidaan selvittää kahden vierekkäisen sisätilan tai ulkoilman ja sisätilan välinen paine-ero mittaushetkellä tai paikantaa tilat, joissa tulo- ja poistoilmavirrat ovat epätasapainossa. Tämä menetelmä soveltuu erityisen hyvin rakennuksen sisätilojen välisten paine-erojen mittaukseen, sillä tuulen tai käyttäjien toiminnan vaikutus tuloksiin on vähäinen. Mittaustapaa käytetään kuitenkin yleensä ilmavirtojen tasapainotuksen yhteydessä. (A-Insinöörit 2019, 23,29; Tietotalo 2023, 59.)

Pidempiaikainen paine-eroseuranta tehdään seurantamittauksella, jolloin saadaan kattavammin tietoa rakennuksen paine-erojen käyttäytymisestä eri tilanteissa. Seurantamittauksella voidaan esimerkiksi määrittää rakennuksen keskimääräinen paine-ero, käyttöajan ja sen ulkopuolisen ajan paine-ero, sääolojen ja rakennuksen käytön vaikutukset paine-eroihin tai jos ilmanvaihdon kanssa on havaittu ongelmia. (A-Insinöörit 2019, 29.)

Paine-eromittauksessa käytettävän laitteen tulee soveltua pienten paine-erojen mittaamiseen. Mittausalueen tulee kattaa vähintään -5 – +50 Pa, ja lukematarkkuuden on oltava vähintään 1 Pa (suositeltu tarkkuus 0,1 Pa). Lisäksi laitteen mittausvirhe saa olla enintään ± 1 pascalia erityisesti pienillä, -10 – +10 Pa:n paine-eroilla, jotta saadaan varmistettua mittausten tarkkuus. Lisäksi seuranta-mittauksessa käytettävien loggerien (kuva 5) tulee kyetä mittaamaan ja tallentamaan paine-eroa yhden minuutin välein vähintään yhden viikon aikana. (A-Insi-nöörit 2019, 23, 29.)



KUVA 5. Jatkuvassa seurantamittauksessa käytettävä paine-erologgeri, joka mit-taa paine-eroa rakennuksen ulkovaipan yli

4 HUOLTO JA TULOKSET

Ulkoiset tekijät vaikuttavat seurantamittareilla eli paine-erologgereilla saatuihin tuloksiin ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen ja tasapainotuksen aikana. Tutkimuskohteena on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva yli 1000 m² päiväkotirakennus, joka on rakennettu 1990-luvun loppupuolella. Rakennuksen ilmanvaihtokoneet sijaitsevat toisessa kerroksessa liikuntasalin ja sitä osittain ympäröivän parven vieressä omassa tilassa. Muu osa rakennuksesta on yksikerroksista ja se on jaettu neljään eri palo-osastoon.

Rakennuksessa on lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä hygienia-tilojen, eteisten ja väestönsuojan osalta koneellinen poistoilmajärjestelmä. Eteisiin ja hygienia-tiloihin tulee tuloilma siirtoilmana viereisistä ryhmätiloista. Väestönsuojalle tuloilma tulee osittain siirtoilmana. Keittiölle on oma pienempi ilmanvaihtokone (TK2), ja yleisille tiloille oma isompi ilmanvaihtokone (TK1). Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat rakennuksen 2. kerroksessa omassa tilassaan ja kanavisto on sijoitettu välikatolle eristettynä sekä alas lasketun katon välitilaan.

4.1 Huolto

Poistoilmakanavien puhdistusten yhteydessä asennettiin uusia puhdistusluukuja esimerkiksi sulkeutuvien palopeltien kohdalle, jolloin huomattiin suuren määrän pölyä ja likaa tarttuneen palopeltien ja sen mekaniikan ympärille (kuva 6). Se ei pelkästään vaikuta palopellin toimivuuteen vaan myös ilmavirtoihin, kun pölyä ja likaa pääsee kertymään tarpeeksi tukkien kanavistoa palopellin ympäriltä. Pitkällä aikavälillä tämä aiheuttaisi tiloihin tai rakennukseen ylipainetta johtuen poistoilman vajuudesta suhteessa tuloilmaan. Palopellit puhdistettiin sekä niiden toiminta tarkistettiin puhdistuksen jälkeen. Lian ja pölyn perusteella aiheutunutta paine-erojen muutosta on mahdotonta tarkastella mittaustuloksista koko rakennuksen kokonaisuudessa vaan tarkastelu pitäisi tehdä tilakohtaisesti.



KUVA 6. Sulkeutuvan palopellin ympärille kerääntynyttä likaa ja pölyä

Kanavistojen puhdistuksen yhteydessä tarkastettiin ilmanvaihtokone, jolloin havaittiin puhaltimien hihnojen ja kiilapyörien olevan huomattavasti kuluneet sekä suodatinkehysten tiivisteiden huonossa kunnossa (kuva 7). Puhaltimien tehoa säädetään etävalvomosta prosentuaalisesti. Kuluneet hihnat ja kiilapyörät voivat heikentää puhaltimien tehokkuutta, mikä vähentää kokonaisilmavirtoja. Tämä johtaa siihen, että ilmavirrat jäävät pienemmiksi kuin säädön perusteella oletetaan mikä voi vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän tasapainoon ja siten myös rakennuksen paine-eroihin.



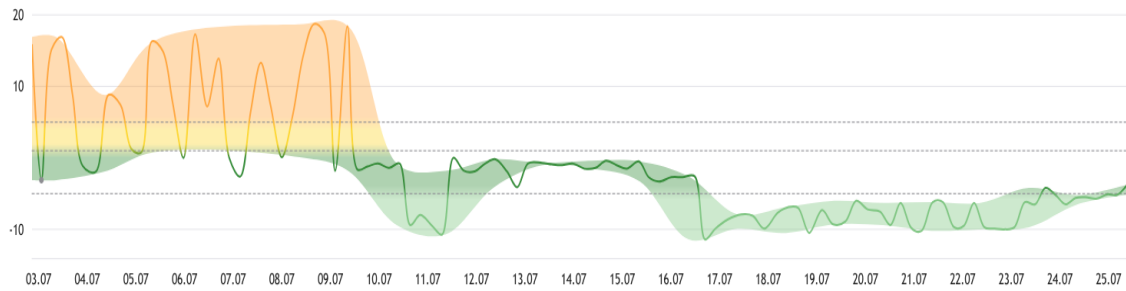
KUVA 7. Suodatinkehysten sekä huolto-oven kuluneet tiivisteet

Ilmanvaihtokanaviston ja -koneen puhdistuksen jälkeen suoritettiin ilmanvaihdon tasapainotustyö, jossa tulo- ja poistoilmapäätelaitteet pyrittiin säätämään haluttuihin arvoihin. Puhdistus- ja tasapainotustyön aikana kuitenkin havaittiin, että osa tuloilmakanaviston säätöpelleistä oli sijoitettu kohtiin, joihin ei päässyt käsiksi ilman merkittäviä rakenteiden purku- ja muokkaustöitä. Tilat minkä ilmapuuttoihin kyseiset säätöpellit vaikuttivat, jäivät alle halutun tuloilmamäärän. Sen takia viereisten hygieniatilojen tarvitsema siirtoilma jäi vajaaksi vaikuttaen painesuhteisiin.

4.2 Tulokset

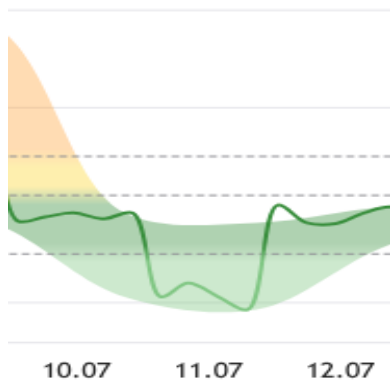
Jatkuvassa paine-erojen mittauksessa käytettiin Nollge Connected PressGuard-paine-eromittareita, jotka olivat kytkettynä langattomasti internettiin. Laitteen paine-erojen mittausalue on -500 – +500 Pa tarkkuudella $\pm 0,1$ Pa tai kolme prosenttia lukemasta. Ulkovaipan yli tehtäviä paine-eromittauksia varten loggereiden mittaletkut asennettiin ulos kuvan 5 mukaisesti tuuletusikkunoiden alareunasta, noin metrin korkeudelle lattianpinnasta. Loggereita asennettiin kaksi kappaletta rakennuksen eteläiselle ja yksi itäiselle julkisivulle. Mittaustuloksia loggerit ottivat 30 minuutin välein.

Paine-erojen mittauksia tehtiin 2.7–25.7.2024 välisenä aikana (kuva 8). Rakennuksessa ei ollut mittausten aikana muuta toimintaa kuin ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja huoltotyö. Tällöin mittaustuloksiin ei tullut juurikaan häiriöitä, jotka olisivat johtuneet rakennuksen käyttäjien ylimääräisistä ulko-ovien ja tuuletusikkunoiden avaamisista. Mittaukset ovat alkaneet illalla 2.7.2024 vaikka kuva näyttääkin datan alkaneen kertymään 3.7.2024 lähtien. Kuvan värit kertovat paine-erojen vaihteluvälistä. Oranssi väri tarkoittaa paine-eron olevan yli 5 pascalia ja vaaleanvihreä väri puolestaan alle 5 pascalia. Keltainen ja tummanvihreä väri tarkoittaa +5 – -5 Pa vaihteluväliä.



KUVA 8. Paine-erologgereista saatu paine-erokäyrä rakennuksesta eri työvaiheiden aikana 2.7.2024–25.7.2024

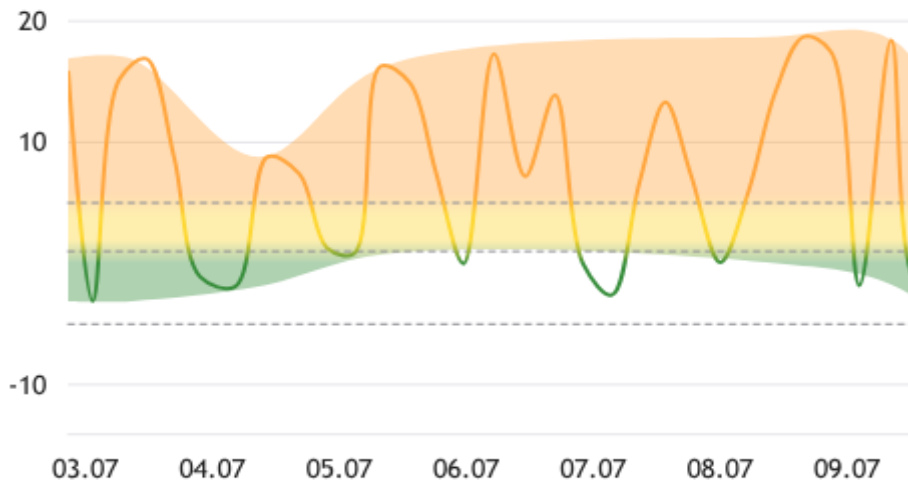
Myös ilmanvaihtojärjestelmien aikaohjelmat näkyvät kuvan 8 paine-erokäyrässä aaltoilevana vaihteluna. Ilmanvaihtokoneet kävivät puoliteholla öisin, kun taas huippuimureissa ei ollut erillistä puolitehoasetusta vaan ne olivat päällä koko ajan. Paine-erot muuttuivat eri työvaiheiden aikana, esimerkiksi 10.7–12.7.2024 välillä, jolloin TK1 ja TK2 olivat sammutettuina huolto- ja puhdistustyön aikana (kuva 9). Tällöin rakennus kävi yli 10 Pa alipaineisena johtuen päällä olevien huippuimurien sekä tuulen yhteisvaikutuksesta.



KUVA 9. Paine-erojen vaihteluväli 10.7–12.7.2024 aikana, kun ilmanvaihtokoneet olivat sammutettuina huollon- ja puhdistustyön aikana

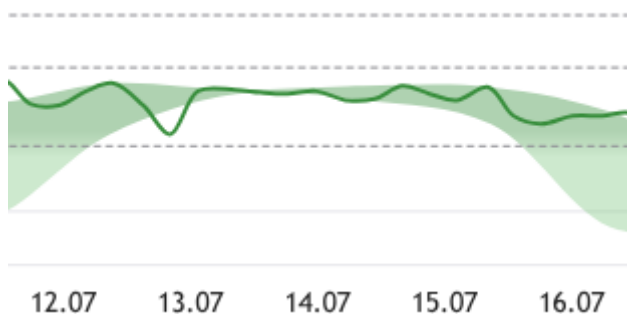
Ulkona vallitsevan säätilan vaikutusta mittaustuloksiin pyrittiin tarkastelemaan kohdetta lähimmän sääaseman mittaustulosten avulla. Ilmatieteenlaitoksen lähin havaintoasema sijaitsee noin 8 kilometrin päässä kohteesta, jolloin tarkastelussa käytettiin kyseisen sääaseman havaintoja. Havaintojen perusteella alueella oli keskimääräistä tuulisempaa 2.7.2024 ja 8.7.2024. Tuulenpuuskat olivat yli 10 m/s, mutta kuitenkin keskituulen pysyessä alle 6 m/s voidaan mittaustuloksista tulkita paine-erot virheellisiksi niiltä tunneilta, jolloin kyseiset tuulenpuuskat ovat esiintyneet. (Ilmatieteen laitos 2024.)

Säähavaintojen perusteella 2.7–9.7.2024 välisenä aikana vallitsi lännestä ja lounaasta puhaltava tuuli, joka yhdessä rakennuksen geometrian kanssa aiheutti ylipainetta eteläiselle julkisivulle, jossa sijaitsi kaksi mittauspistettä (kuva 10). Täydellä teholla käyneen ilmanvaihtojärjestelmän kanssa ulkoiset tekijät muodostivat kuvassa näkyvän paine-erojen voimakkaan vaihtelun. Ylipaineisuus voi myös osittain johtua ilmanvaihtojärjestelmän vääristä säädöistä.



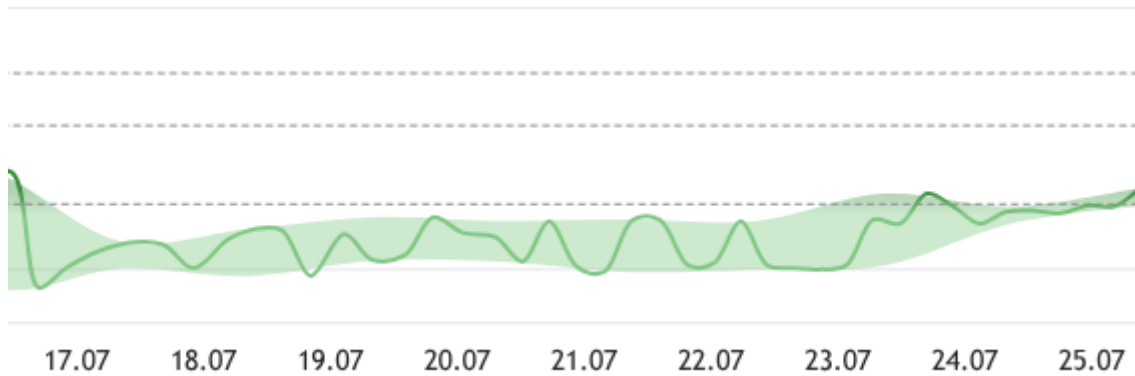
KUVA 10. Paine-erojen vaihteluväli 2.7–9.7.2024 välisenä aikana, jolloin tuuli on puhaltanut kohti julkisivua, missä kaksi loggeria sijaitsi

Ajanjaksolla 12.7–16.7.2024 tuuli on keskimäärin puhaltanut kaakon ja etelän väliseltä suunnalta, jolloin tuulen aiheuttama paine ei näy enää suurina vaihteluina tuloksissa loggereiden ollessa osittain tuulensuojassa (kuva 11). Tällöin paineerot ovat pysyneet -1 – -5 Pa:n välillä.



KUVA 11. Paine-erojen vaihteluväli 12.7–16.7.2024 välisenä aikana, jolloin tuulensuunta on kääntynyt

Ajanjaksolla 17.7–25.7.2024 tuuli on puhaltanut kaakosta luoteeseen, jolloin mitaustuloksissa näkyy vähiten tuulen aiheuttamaa virheellisyttä johtuen siitä, että kaikki mittauspisteet ovat olleet suojassa tuulelta rakennuksen muotojen vuoksi (kuva 12). Paine-ero on tällöin pudonnut alle 5 pascalin.



KUVA 12. Paine-erojen vaihteluväli 17.7–25.7.2024 välisenä aikana, jolloin kaikki loggerit ovat olleet tuulelta suojassa

Mittausten aikana ulkolämpötila oli matalimmillaan 8,1 °C (yö) ja korkeimmillaan 28,5 °C (päivä). Sisälämpötila pysyi 24–26 °C välillä riippuen tilasta. Termisen paine-eron huomioiminen tuloksissa ei ole tarpeellista, sillä ulkolämpötila pysyi mittausten aikana 0 °C yläpuolella eikä suurta lämpötilaeroa sisä- ja ulkolämpötilan välillä ole kuin hetkellisesti muutamana yönä ja rakennuksen ollessa suurimaksi osaksi yksikerroksinen. Termisen paine-eron huomioiminen kuitenkin talvella olisi suositeltavaa tehdä liikuntasalin, eli rakennuksen korkeimman tilan osalta, jossa sen vaikutus näkyisi eniten.

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tarkastella laadunvarmistuksen näkökulmasta, kuinka ilmanvaihtokanavien ja -koneiden puhdistus sekä huolto yhdessä ulkoisten tekijöiden kanssa vaikuttavat kohteena olleen päiväkotirakennuksen painesuhteisiin ja paine-eroihin. Kohteessa käytettiin kolmea loggeria, jotka mittasivat paine-eroa jatkuvasti rakennuksen ulkovaipan yli. Painesuhteiden tarkastelu koko ilmanvaihtojärjestelmään vaikuttavan työn jälkeen on tärkeä osa laadunvarmistusta ja sillä voidaan varmistaa tehdyn huoltotyön lopputulos.

Loggereilla toteutetut jatkuvat paine-erojen mittaukset aloitettiin samana vuorokautena kuin ilmanvaihtokanavien puhdistukset. Kohteessa ilmanvaihtokanavat on puhdistettu viiden vuoden välein, joten kanavistojen rungot olivat muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta kuluneeseen aikaan nähden normaalisti likaantuneita. Ilmanvaihtokanavistojen puhdistuksessa joudutaan irrottamaan päätelaitteet niiden pesemistä varten, jolloin niiden säädöt eivät useimmiten pysy asetuksissaan. Tällöin pelkän kanavistojen puhdistamisen vaikutusta paine-eroihin on vaikea analysoida kohteen mittaustuloksista erikseen, vaan ne jäävät säätämisen ja ulkoisten tekijöiden takia tuloksista piiloon.

Ilmanvaihtojärjestelmän väärillä säädöillä on ollut merkitystä mittaustuloksiin alusta pitäen, sillä tasapainotustyön aikana huomattiin muutamia tuloilman säätöpeltejä, joiden säätöosiin ei päästy käsiksi kattorakenteiden vuoksi. Tiloista, joihin tuloilman säätöpellit vaikuttivat, jouduttiin väliaikaisesti säätämään poistoilmaa vähemmälle, jotta paine-erot pysyivät tavoitetasojen mukaisina. Pelkästään kyseisten tilojen vaikutusta paine-eroihin on hankala näyttää mittaustuloksista, vaikka niillä vaikutusta varmasti on ollutkin. Säätötyö vajaaksi jääneisiin tiloihin pitäisi tehdä uusiksi, kun pääsy säätöpelteille on mahdollistettu. Kokonaisuudessaan lopulliset mittaustulokset puoltavat sitä, että rakennuksen säätötyö on muuten onnistunut.

Ulkoisten tekijöiden, kuten tuulen ja rakennuksen geometrian huomioonottaminen on tärkeää suunniteltaessa loggereiden sijoittamista rakennuksessa, jotta niiden vaikutus tuloksiin saadaan minimoitua. Työn alussa tuulen vaikutus paine-

erojen mittaustuloksiin oli huomattava, sillä tuuli puhalsi suoraan eteläisen julkisivun mittauspisteitä kohti. Myös rakennuksen kulmikas geometria edesauttoi voimakkaan ylipaineen muodostumisessa.

Jotta mittaustuloksia olisi voitu analysoida tarkemmin, olisi paine-erojen mittaukset pitänyt aloittaa 1–2 viikkoa ennen varsinaista puhdistus- ja huoltotyön aloitusta ja lopettaa 1–2 viikkoa huollon jälkeisen ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotustyön jälkeen. Tällöin rakennuksen paine-eroista olisi saatu tarpeeksi vertailupohjaa työn tarkempaa analysointia varten.

LÄHTEET

Pelastuslaki 379/2011. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>. Luettu: 12.10.2024.

Ympäristöministeriö 2016. Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Luettavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>. Luettu: 29.10.2024.

Sisäilmautiset 2016. Hallitsemattomat paine-erot voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Luettavissa: <https://sisailmautiset.fi/hallitsemattomat-paine-erot-voivat-aiheuttaa-sisailmaongelmia/>. Luettu: 25.10.2024.

Kuntien sisäilmaverkosto 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuiotio. Luettavissa: https://www.motiva.fi/files/19359/Ilmanvaihdon_kayton_yleisohje_ja_perustelumuiotio_20190314.pdf. Luettu: 4.11.2024.

A-Insinöörit 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti. Luettavissa: 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: 20.10.2024.

Motiva 2024. Ilmavirtojen säädöt ja tarkastukset palvelukiinteistöissä -opas. Luettavissa: https://www.motiva.fi/files/22079/Ilmavirtojen_saadot_ja_tarkastukset_palvelukiinteistoissa_opas_03-2024.pdf. Luettu: 6.11.2024.

Finvac ry 2019. Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Helsinki. Luettavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf/9f1ca28e-57de-3fa4-5388-a00f4d973afb/Opas-ilmanvaihdon-mitoittamiseen-muissa-kuin-

[asuinrakennuksissa 2019b-D9B578DC 66D4 44BC B1AE DCAB875D5907-144726.pdf?t=1603260098252](https://asuinrakennuksissa_2019b-D9B578DC_66D4_44BC_B1AE_DCAB875D5907-144726.pdf?t=1603260098252). Luettu: 15.10.2024.

A-Insinöörit 2023. Ilmanvaihdon säädön yleisohje rakennusten paine-erojen hallintaan, tiiviit rakennukset. Luettavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmanvaihdon%20s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6hjeet%20tiiville%20rakennuksille%206.12.2023.pdf>. Luettu: 16.10.2024.

Rakennusmääräyskokoelma D2 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö. Helsinki. Luettavissa: https://ym.fi/documents/1410903/155128351/D2-2012_Suomi.pdf/84e2e22b-9e97-1550-5ebb-928e46c5580f/D2-2012_Suomi.pdf?t=1680083446464. Luettu: 15.10.2024.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Luettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. Luettu: 11.11.2024.

Taitotalo 2023. Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus. Luettavissa: https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmavirtojen%20mittaus%20ja%20tasapainotus%20-opas_19.12.2023.pdf. Luettu: 12.11.2024.

Ilmatieteen laitos 2024. Havaintojen lataus -palvelu. Luettavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>. Luettu: 6.12.2024.