

Jaakko Rautio

**1990-LUVUN PIENTALOJEN
ILMANPAINESUHTEIDEN TARKASTELU JA
VERTAILU RAKENNUSAIKAISIIN JA
RAKENTAMISEN NYKYISIIN SÄÄDÖKSIIN**

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri, Talotekniikka
Tekijä	Jaakko Rautio
Työn nimi	1990-luvun pientalojen ilmanpainesuhteiden tarkastelu ja vertailu rakennusaikaisiin ja rakentamisen nykyisiin säädöksiin
Vuosi	2022
Sivut	44 sivua
Työn ohjaajat	Petteri Järvelä, Keijo Piirainen

TIIVISTELMÄ

Asuinrakentamisen ilmanpainesuhteisiin liittyvät säädökset ovat muuttuneet merkittävästi viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana. 1990-luvulla sallittiin asuinrakentamisessa jopa 30 Pascaliin alipaine, kun nykyään pyritään pääsemään ilmanpainesuhteiden osalta lähelle tasapainotilaa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää 1990-luvulla rakennettujen pientalojen ilmanpainesuhteet ja vertailla niitä rakentamisen aikaisiin ja nykyisiin säädöksiin.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea 1990-luvulla rakennettua yksikerroksista pientaloa. Kussakin kohteessa painesuhteet mitattiin ulkovaipan yli ja mittaukset kestivät viikon ajan. Lisäksi kohteista mitattiin ilmamäärät ja tehtiin lämpökamerakuvaukset rakennusten tiiveyden arvioimiseksi. Ilmanvaihtokoneiden asetuksia ei muutettu mittausjaksojen aikana, vaan ne saivat olla sellaiset, joiksi ne oli alun perin määritelty. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimien tehot kirjattiin ylös.

Jokaisessa tutkitussa kohteessa painesuhteet täyttivät sekä rakentamisen aikaiset että tämän päivän vaatimukset. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysoppaan mukaan kohteissa, joiden ilmanvaihtotapa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, tulisi pyrkiä paine-eroon 0...-2 Pa. Tutkittavat kohteet asettuvat myös tähän, kaikista kapeimpaan ohjeistukseen.

Painesuhteiden mittausjakson tuloksien perusteella voisi tehdä johtopäätöksen, että myös ilmanvaihto kohteissa on säädetty tasapainoiseksi. Ilmamäärämittaukset osoittivat kuitenkin, ettei näin ole, vaan jokaisessa kohteessa olisi syytä tehdä ilmanvaihdon säädöt uusiksi ammattilaisen toimesta. Vaikka ilmanvaihtoa kohteissa ei ollut säädetty oikein, painesuhteet pysyttelivät lähellä nollaa. Tämä selittyy rakennusten heikolla ilmatiiveydellä, joka todennettiin lämpökamerakuvilla. Jos tämän tutkimuksen ikäluokan pientalossa ilmatiiveyttä ei ole erikseen mitattu ja todettu hyväksi, ei ilmanvaihdon tasapainoisuutta voi todentaa pelkällä painesuhdemittauksella.

Asiasanat: painesuhde, ilmatiiveys, paine-ero, ilmanvaihto

Degree	Engineer, Building Services Engineering
Author (authors)	Jaakko Rautio
Thesis title	Examination of air pressure ratios of detached houses built in the 1990s and comparison of results with regulations during construction and with regulations today
Time	2020
Pages	44 pages
Supervisor	Petteri Järvelä, Keijo Piirainen

ABSTRACT

The regulations on air pressure ratios in residential construction have changed significantly over the last thirty years. In the 1990s, a negative pressure of up to 30 Pascals was allowed in residential construction, whereas today the aim is to achieve air pressure ratios close to equilibrium. The aim of this study was to investigate the air pressure ratios in detached houses built in the 1990s and to compare them with those at the time of construction and with current regulations.

Three single-storey detached houses built in the 1990s were considered in this study. At each site, the pressure ratios were measured over the outer sheath and the measurements were taken over a period of one week. In addition, air volumes were measured and thermographic camera images were taken to assess the air tightness of the buildings. The settings of the air conditioning units were not changed during the measurement periods, but were allowed to remain as they were originally specified. The fan power of the air conditioning machines was recorded.

At each of the sites examined, the pressure ratios met both the requirements at the time of construction and today's requirements. According to the Ministry of Social Affairs and Health's Guide to Housing Health, in buildings with mechanical ventilation, the aim should be to achieve a pressure difference of 0...-2 Pa. The sites under consideration also fall within this, the narrowest of all guidelines.

Based on the results of the pressure ratio measurement period, it could be concluded that the ventilation in the sites is also balanced. However, the air volume measurements demonstrated that this is not the case and that at each site re-adjustment should be done by a professional. Although the ventilation was not correctly set up, the pressure ratios remained close to zero. This is explained by the poor air tightness of the buildings, which was verified by thermal imaging. If the air tightness of a detached house in the age group of this study has not been specifically measured and found to be good, the equilibrium of ventilation cannot be verified by pressure ratio measurements alone.

Keywords: pressure ratio, air tightness, pressure differential, ventilation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PIENTALOJEN PAINESUHTEISIIN LIITTYVÄT SÄÄNNÖKSET	7
3	PAINE-ERON MUODOSTUMINEN RAKENNUKSISSA.....	8
3.1	Rakennuksen painesuhteet	8
3.2	Tuuli.....	8
3.3	Terminen paine-ero	8
3.4	Ilmanvaihto	9
3.5	Ilmanpitävyys.....	10
3.6	Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtotavoilla	10
4	TUTKIMUSMENETELMÄ	12
4.1	Tutkimuksen suorittaminen	12
4.2	Hetkellinen mittaaminen	12
4.3	Seurantamittaus.....	13
4.4	Termisen paine-eron kompensointi.....	13
5	MITTAUKSISSA KÄYTETTÄVÄT MITTALAITTEET.....	16
5.1	Vaatimukset mittalaitteille	16
5.2	Hetkellisessä mittauksessa käytettävä mittalaite	16
5.3	Seurantamittauksessa käytettävä mittalaite.....	17
6	TARKASTELEVAT KOHTEET JA NIISSÄ SUORITETUT MITTAUKSET	19
6.1	Kohde Honkajoenkaari 6	19
6.1.1	Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät.....	19
6.1.2	Paine-eromittaukset.....	20
6.1.3	Lämpökamerakuvat	23
6.2	Kohde Torpparintie 6	24
6.2.1	Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät.....	24
6.2.2	Paine-eromittaukset.....	26
6.2.3	Lämpökamerakuvat	28
6.3	Honkajoenkaari 4	29

6.3.1	Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät.....	29
6.3.2	Paine-eromittaukset.....	31
6.3.3	Lämpökamerakuvat	33
7	MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI	35
7.1	Kohteen Honkajoenkaari 6 mittaustulokset.....	35
7.2	Kohteen Torpparintie 6 mittaustulokset	35
7.3	Kohteen Honkajoenkaari 4 mittaustulokset.....	36
8	YHTEENVETO	38
9	POHDINTA	41

1 JOHDANTO

Tämän työn tutkimustavoitteena on selvittää, millaiset ilmanpainesuhteet 90-luvulla rakennetuissa pientaloissa on ja vertailla niitä rakentamisen aikaisiin sekä nykyisiin säädöksiin. Työssä tutkimuksen kohteena on kolme kyseisenä aikakautena rakennettua omakotitaloa, joissa kussakin suoritetaan yhden viikon pituinen mittaus kolmeen eri kohtaan sijoitetulla paine-eromittarilla. Lisäksi kohteista mitataan tulo- ja poistoilmavirrat sekä tehdään lämpökamerakuvaukset rakenteiden tiiveyden arvioimiseksi.

Mittausten perusteella arvioidaan, tulisiko tutkimuksen kohteena olevissa omakotitaloissa tehdä ilmanvaihdon säädöt uusiksi nyt, kun talojen valmistumisesta on kulunut aikaa 20–30 vuotta. Tutkimuksen tulokset voivat antaa osviittaa siitä, onko ilmanpainesuhteiden tarkastelu tarpeen laajemminkin 90-luvulla rakennetuissa taloissa. Säädökset ovat olleet painesuhteiden osalta usean vuosikymmenen samat, mutta rakentamiseen liittyvät säädökset, tavat ja käytetyt menetelmät ovat muuttuneet eri vuosikymmenillä.

2 PIENTALOJEN PAINESUHTEISIIN LIITTYVÄT SÄÄNNÖKSET

1990-luvulla rakennettuihin pientaloihin on sovellettu Ympäristöministeriön vuoden 1987 D2 Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennusten sisäilmasto- ja ilmanvaihto-ohjeita ja määräyksiä. Määräyksen mukaan rakennuksen painesuhteet tuli suunnitella siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia. Rakennuksen rakenteisiin ei saanut syntyä pitkäaikaista kosteusvaurioriskiä painesuhteiden vuoksi. /1./

Vuoden 1987 D2 rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto -määräyksen mukaan rakennukset on pitänyt suunnitella ulkoilmaan nähden hiukan alipaineisiksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa ja mikro-organismien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Määräyksen mukaan alipaine ei saanut kuitenkaan ylittää 30 Pa:n rajaa. Poikkeuksena ylipaineiseksi on voitu suunnitella muun muassa puhdastiloja ja sellaisia tiloja, joissa toiminnasta johtuen ulko-ovia tai muita aukkoja pidetään usein auki. /1./

Koko rakentamismääräyskokoelma uudistui 1. tammikuuta 2018, jolloin määräyksiä korvattiin ohjeilla ja asetuksilla. Muun muassa rakentamismääräyskokoelman nimitys D2 jäi kokonaan pois. Se korvattiin Ympäristöministeriön asetuksella 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Asetuksessa ei ole enää määritelty tarkkaa arvoa sallitulle ali- tai ylipaineelle, vaan vastuu on siirretty rakennuksen suunnittelijoille. Asetuksen mukaan erityissuunnittelijan pitää suunnitella rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat niin, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen takia rakenteille haitallista pitkäaikaista kosteusrasitusta, eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Pääsuunnittelijalle, erityissuunnittelijalle ja rakennesuunnittelijalle on annettu yhteiseksi ohjeeksi suunnitella tehtäviensä mukaisesti rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta niin, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa. Tällöin vältetään rakenteissa ja maaperässä olevien epäpuhtauksien sekä radonin siirtymistä sisäilmaan, sekä kosteuden siirtymistä rakenteisiin. /2./

3 PAIN-ERON MUODOSTUMINEN RAKENNUKSISSA

3.1 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen painesuhteet määräytyvät tuulen, termisen paine-eron sekä ilmanvaihdon mukaan. Paine-erojen seurauksena ilma virtaa rakennuksen sisällä tilasta toiseen ja eri kerrosten välillä sekä ulkovaipan läpi sisältä ulos ja ulkoa sisälle. Ilmanpainesuhteet vaihtelevat eri vuorokauden- ja vuodenaikoina ja voivat muuttua hyvinkin nopeasti. /3, s. 34; 4, s. 118, 122./

Rakennuksen paine-erojen selvittämisellä voidaan arvioida ilmavirtojen suuruutta ja suuntaa sekä ilmavirtausten mukana siirtyvän kosteuden, lämmön ja epäpuhtauksien merkitystä rakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja sisäilman laadun kannalta. Ilmanpainesuhteilla on merkitystä rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta erityisesti kylmänä vuodenaikana. Tällöin ilman lämpötila- ja kosteuspitoisuuserot ovat suuret sisä- ja ulkoilman välillä. Kesäaikana paine-eroilla on merkitystä lähinnä hyvin kosteissa tiloissa tai korkeissa rakennuksissa. /3, s. 34; 4, s. 118./

3.2 Tuuli

Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu tuulen suunnasta ja nopeudesta, sekä rakennuksen geometriasta ja ympäröivästä maastosta. Tuuli aiheuttaa tuulelle kohtisuoraan altistuvan rakennuksen osan pintaan ylipainetta. Samalla tuuli aiheuttaa tuulen suunnasta katsottuna rakennuksen sivuseinille sekä suojaan jääville takaseinille alipainetta. Tuuli voi aiheuttaa lyhytaikaisesti suurtakin yli- tai alipainetta. Tuulen vaikutus voi ulottua myös rakennuksen sisälle, jolloin rakennuksen painesuhteet voivat muuttua ja ilmanvaihto häiriintyä. /3, s. 37; 4, s. 119./

3.3 Terminen paine-ero

Terminen paine-ero syntyy sisäilman ja ulkoilman välisen lämpötilaeron johdosta. Termodynamiikan II lain mukaan lämpötilaerot pyrkivät aina tasoittumaan. Talvella lämmin sisäilma pyrkii virtaamaan ulos rakennuksesta sen yläosasta, ja ulkoilma vastaavasti sisään rakennuksen alaosaan. Tällöin

rakennuksen yläosaan syntyy ylipainetta ja alaosaan alipainetta. Terminen paine-ero tunnetaan myös nimityksillä hormivaikutus tai savupiippuvaikutus, ja sen yksikkönä käytetään usein Pa/m. Savupiippuvaikutus on suurin talvella, jolloin sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on suurin. /5, s. 9; 3, s. 35; 4, s.120./

3.4 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa rakennuksen sisä- ja ulkopuolisen ilman väliseen paine-eroon. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla täysin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä tai painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä tai kahden edellisen yhdistelmä siten, että poisto tapahtuu koneellisesti ja tulo alipaineisesti. Täysin tai osittain koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttamat painesuhteet rakennuksissa riippuvat ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuudesta ja säädöistä, rakennuksen vaipan tiiveydestä, sekä tulo ja poistoilmaventtiilien määrästä ja sijainnista. /4, s. 121./

1990-luvulla käytettiin ilmanvaihdon suunnittelun tukena vuonna 1987 julkaistua ohjetta tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelusta. Tämän mukaan yksikerroksisen rakennuksen tuloilmavirta tulee olla 15 % kokonaispoistoilmavirtaa pienempi. Tällä mitoituskriteerillä pientalo on pyritty saamaan hieman alipaineiseksi ulkoilmaan nähden. Nykyisen Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 mukaan asunnon kokonaistulo- ja poistoilmavirrat saavat poiketa enintään 10 % suunnitteluarvoistaan ja toisistaan, ja huonekohtaisesti 20 % suunnitteluarvoistaan. /6; 2./

Suurimmat paine-erot vaipan yli aiheutuvat koneellisesta poistoilmanvaihdosta. Erillispoistoilla, kuten keittiöiden liesituulettimella ym., voi olla suuri merkitys alipaineen muodostumiseen rakennuksessa, varsinkin, jos rakennuksen vaippa on hyvin ilmatiivis. Etenkin tarpeen mukaan tehostettavien erillispoistojen vaikutusta voi olla vaikea hallita. Siksi ilmavirtojen tasapainotus tulee varmistaa ilmanvaihtokone- ja rakennuskohtaisesti. /7, s. 87./

3.5 Ilmanpitävyys

Rakennusvaipan tiiveys ja tilojen välisten rakenteiden ilmanpitävyys vaikuttaa paine-erojen syntymiseen ja niiden pysymiseen. Tiiveyttä kuvataan ilmanvuotoluvulla. Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa ulkovaippaneliön läpi tunnissa, kun paine-ero on 50 pascalia.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta on esitetty taulukko, jonka mukaan 1990-luvulla rakennettujen pientalojen ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $6,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. /8./

Paine-eroja tarkasteltaessa on hyvä kiinnittää ilmanpitävyyden lisäksi huomiota mahdollisiin vuotokohtiin. Vuotokohdista rakennukseen pääsee vuotoilmaa, joka on erilaisten ulkovaipan rakojen kautta rakennukseen virtaavaa ulkoilmaa. Erityisesti rakenteiden liitoskohtien ja läpivientien kohdilta voi syntyä ilmavirtauksia, jotka huonontavat rakennuksen ilmanpitävyyttä. /3, s. 39, 5, s. 7./

3.6 Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtotavoilla

Suomessa rakennukset suunnitellaan yleensä tasapainoon ulkoilmaan nähden. Paine-eron suuruus riippuu kohteen vaipan ilmanpitävyydestä ja ulkoilma- ja ulospuhallusilmavirtojen erosta. Ulkoilmavirralla tarkoitetaan rakennukseen siirrettävää ilmavirtaa ja ulospuhallusilmalla rakennuksesta ulos puhallettavaa ilmavirtaa. Jos ilmanvaihdon ilmavirtojen ero on suuri, voi tiiviiseen rakennukseen päästä syntymään haitallisen suuri paine-ero. Mikäli paine-ero on jopa 30–100 Pa, se edistää epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. /4, s. 118; 7, s. 86./

Vuonna 2009 julkaistussa Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisoppaassa on määritelty eri ilmanvaihtojärjestelmien tavoitteelliset paine-erot taulukon 1 mukaisesti. Tavoitteena on, että asuintiloihin ei tulisi terveydelle haitallisia epäpuhtauksia asuntoa ympäröivistä tiloista ja rakenteista. Mikäli rakennus on ylipainainen ulkoilmaan nähden, sen ilmanvaihto on Asumisterveysohjeen mukaan puutteellinen tai puutteellisesti säädetty. Tämä voi pitkään jatkuessa johtaa kosteusvaurioihin. /9, s. 64–65./

Taulukko 1. Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihdon tavoilla /9, s. 64/

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0... -5 Pa ulkoilmaan ±0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5... -20 Pa ulkoilmaan 0... -5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0... -2 Pa ulkoilmaan ±0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan

Sisäilmasto-ongelmaisia rakennuksia tutkittaessa on huomattu, että ilmanvaihtojärjestelmä voi aiheuttaa ja pahentaa sisäilman laatuun liittyviä ongelmia. Ongelmakohteissa ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat, suunnittelemattomat paine-erot voivat aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. Ongelmat korostuvat, jos rakennuksen vaippa ei ole tiivis. /9, s. 66; 7, s. 85./

4 TUTKIMUSMENETELMÄ

4.1 Tutkimuksen suorittaminen

Tähän tutkimukseen valittiin kolme 1990-luvulla rakennettua yksikerroksista pientaloa. Kussakin rakennuksessa suoritettiin yhden viikon pituinen mittaus kolmeen eri kohtaan sijoitetulla paine-eromittarilla. Pidempikestoisten mittauksien paine-eromittareiden sijainnit ja luotettavuus varmistettiin hetkellisillä mittauksilla. Lisäksi kohteista mitattiin tulo- ja poistoilmavirrat kaikista päätelaitteista. Kohteissa suoritettiin myös lämpökamerakuvaukset rakenteiden tiiveyden arvioimiseksi. Lämpökamerakuvauksissa kiinnitettiin huomiota erityisesti ikkunoiden ja ovien tiiviyteen sekä nurkahuoneiden ulkoseinää vasten oleviin nurkkiin. Rakennusten painesuhteita sekä tulo- ja poistoilmamääriä verrattiin rakennusaikaisiin ja tämän päivän säädöksiin.

4.2 Hetkellinen mittaaminen

Hetkellisellä mittauksella voidaan määrittää ulkoilman ja mitattavan tilan välinen paine-ero mittaushetkellä. Käytännössä hetkellisellä mittauksella paikannetaan rakennuksen tilat, joissa on liian suuri epätasapaino tulo- ja poistoilmavirtojen välillä. Yleensä selvityksen kohteena on rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tuottama paine-ero, jolloin mittaajan pitää selvittää rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi ja päättää, missä käyttötilanteessa mittaukset suoritetaan. Mitattaessa on huomioitava myös tuuli ja rakennusten käyttäjien toiminta. Nämä voivat aiheuttaa mittaustuloksiin virheiksi tulkittavaa vaihtelua. /5, s. 23./

Valitun tilan ja ulkoilman välinen paine-ero mitataan noin 1 metrin korkeudelta lattiapinnasta. Mittauksen aikana kaikkien ulkoikkunoiden ja -ovien tulee olla suljettuina. Jos rakennuksen huoneissa on tiiviit väliovet, ne pidetään mittausten aikana auki. Paine-eroa ei ole suositeltavaa mitata ulkolämpötilan ollessa alle -15 °C tai hyvin tuulisella säällä, ellei tarkoituksena ole selvittää nimenomaan ääriolosuhteiden vaikutusta. Paine-eromittaukset tulisi tehdä asunnon normaalia käyttöä vastaavissa käyttö- ja sääolosuhteissa. /5, s. 24–26; 9, s. 64./

Yleisesti painesuhde mitataan rakennuksen ulkovaipan yli käyttämällä oven, ikkunan tai tuuletusaukon karmin ja puitteen välistä ulos johdettavaa ohutta läpivientiputkea, johon sisällä oleva manometri on kytketty. Kun määritetään koko pientalon paine-eroa ulkoilmaan verrattuna, mittaus pitää suorittaa vähintään kahdelta julkisivulta tuulen vaikutuksen eliminoimiseksi. /5, s. 26; 9, s. 64–65./

4.3 Seurantamittaus

Seurantamittauksella voidaan määrittää rakennuksen sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron vaihtelua normaalin käytön aikana. Seurantamittauksella voidaan selvittää koko mittausjakson keskimääräinen paine-ero. Lisäksi sen avulla pystytään määrittämään ilmanvaihdon aiheuttama käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolisen ajan paine-ero, sääolojen sekä rakennuksen käytön vaikutus. Tarvittaessa seurantamittauksella voidaan selvittää myös ilmanvaihtokoneiden käyntiajat ja ilmanvaihdon automaation toiminta. /5, s. 29./

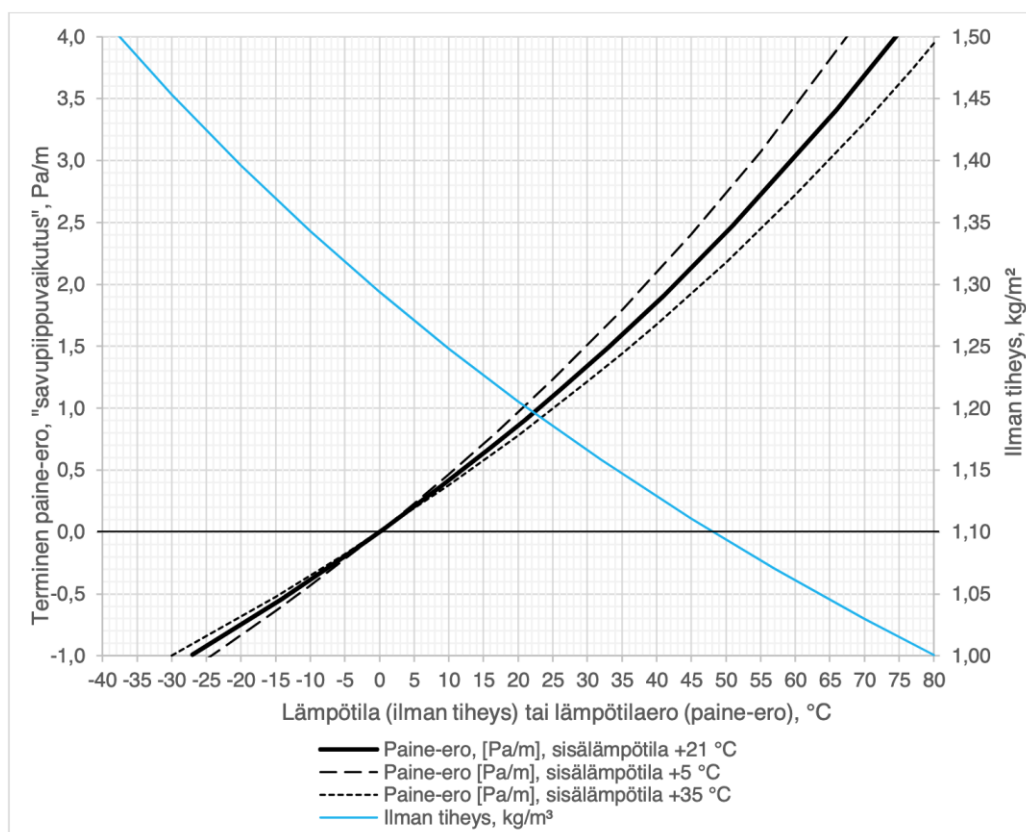
Seurantamittaus suoritetaan tallentavalla mittalaitteella, jossa mittauksen kesto on vähintään 1–2 viikkoa. Määritettäessä koko rakennuksen paine-eroa ulkoilmaan nähden tulee mittaukset suorittaa samanaikaisesti ainakin kahdelta eri julkisivulta. Seurantamittauksessa laitteisto asennetaan samalle korkeudelle (1,0 m lattiapinnasta) kuin lyhytkestoisessa mittauksessa. Ulkologgerit on myös hyvä suojata esimerkiksi koteloinnilla tuulivaikutuksen vähentämiseksi. /5, s. 29, 31./

4.4 Termisen paine-eron kompensointi

Termisen paine-eron kompensointi on tärkeää mittaustulosten tarkkuuden kannalta. Termisen paine-eron kompensointi voi tulla kyseeseen esimerkiksi silloin, kun paine-eron mittaamisessa käytettävän mittausletkun korkeusasema poikkeaa enemmän kuin 0,3 metriä tavoitellusta 1,0 metrin tasosta. Tällöin voi olla tarpeen korjata mittaustulosta vastaamaan paine-eroa 1,0 metrin korkeudella. Mikäli läpiviennin korkeusasema poikkeaa referenssikorkeusasemasta enimmillään +/- 1,0 m ja ulko- ja sisälämpötilan välinen lämpötilaero on alle 10 °C, korjausta ei tarvitse tehdä. Jos taas

läpiviennin korkeusasema poikkeaa 1,0 metrin referenssitasosta enemmän kuin 1,0 m, ja sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero on yli 5 °C, pitää mittaustulos korjata. /5, s. 10, 27./

Mittaustulosten korjaus suoritetaan määrittämällä terminen paine-ero [Pa/m]. Kun suoritetaan kertamittauksia, voidaan terminen paine-ero määrittää kuvan 1 avulla. Tällöin pitää olla tiedossa mittaushetken ulko- ja sisälämpötilat. /5, s. 28./



Kuva 1. Ilman tiheys ja terminen paine-ero /5, s. 28/

Pitempiketoisissa seurantamittauksissa lämpötilaero ei pysy vakiona, joten terminen paine-ero pitää määrittää laskennallisesti, mitatun ulkolämpötilan perusteella. Ulkolämpötilaksi laskentakaavaan asetetaan kohteesta mitattu lämpötila tai lähimmän sääaseman lämpötila. Lämpötilat tulee olla mitattu vähintään tunnin välein, jotta ne ovat riittävän luotettavat. Mikäli sisälämpötila ei vaihtelee merkittävästi, voidaan se olettaa vakioiksi. Termisen paine-eron laskenta on esitetty kaavassa 1. /5, s. 28./

$$\Delta p_{korjattu} = \Delta p_{mitattu} - \frac{\Delta p}{\Delta h} * (h_1 - h_0) \quad (1)$$

missä	$\Delta p_{mitattu}$	mitattu paine-ero [Pa]
	$\Delta p_{korjattu}$	laskennallisesti määritetty paine-ero 1,0 m korkeudella lattiasta [Pa]
	$\frac{\Delta p}{\Delta h}$	terminen paine-ero [Pa/m]
	h_0	paine-eron referenssitason korkeusasema [m]
	h_1	mittauskorkeus (läpiviennin korkeusasema) [m]

5 MITTAUKSISSA KÄYTETTÄVÄT MITTALAITTEET

5.1 Vaatimukset mittalaitteille

Hetkellisessä paine-eromittauksessa ja seurantamittauksessa käytettävien mittalaitteiden mittaustarkkuusvaatimukset ovat samat. Paine-eron mittausalue tulee olla vähintään -50...+50 Pa, lukematarkkuus vähintään 1 Pa, ja mittausrvirhe pienillä (-10...+10 Pa) paine-eroilla enintään ± 1 Pa. /5, s. 23, 29./

Seurantamittauksessa mittalaitteen tulee kyetä mittaamaan ja tallentamaan paine-ero yhden minuutin välein vähintään viikon ajanjaksolta. Käytännössä tämä tarkoittaa noin 10 000 mittausta. /5, s. 29./

5.2 Hetkellisessä mittauksessa käytettävä mittalaite

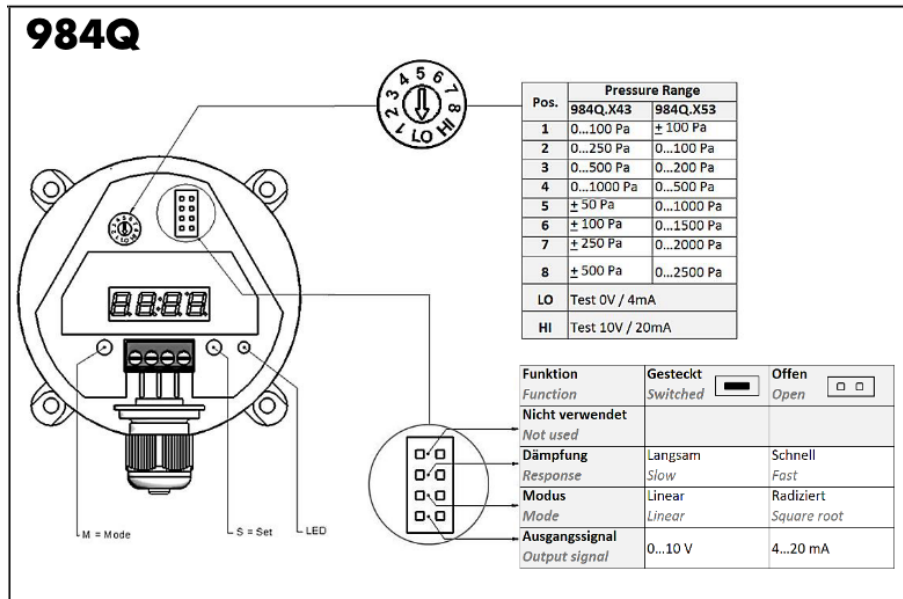
Tässä työssä hetkellisissä paine-eromittauksissa sekä tulo- ja poistoilmamäärä mittauksissa käytetään Miran DP-200 -paine-eromittaria. Hetkellisillä paine-eromittauksilla haluttiin varmistaa sopivat kohdat pidempikestoisille mittauksille. Miran DP-200 -paine-eromittarilla voidaan mitata rakennuksen painesuhteita, ilmanvaihdon ilmamääriä, ilmanvaihtokanavien virtausnopeuksia pitot-putkella sekä lämpötilaa. Miran DP-200 paine-eromittarin tarkemmat tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2. /10./

Taulukko 2. Miran DP-200 -paine-eromittarin tekniset tiedot /10/

Mittausalue	Paine ± 500 Pa Hetkellinen paineenkesto 1 bar (100 000 Pa) Lämpötila -270 .. +1370 °C Barometrinen paine 300 .. 1100 mBar
Resoluutio	Paine 0.1 Pa Ilmamäärä 0.1 l/s Virtausnopeus 0.1 m/s Lämpötila 0.1 °C Barometrinen paine 0.1 mBar
Tarkkuus	Paine ± 3.0 % mitattavasta paine-erosta, nolapistetarkkuus ± 0.1 Pa Lämpötila ± 0.3 °C (Ei sisällä termoparianturin tarkkuutta) Barometrinen paine ± 1.5 mBar
Mittausväli	Asetettavissa
Mittauskohteet	Kiinteistöjen paine-erot ja ilmanvaihto
Käyttölämpötila	-20... +60 °C
Suojausluokka	IP40
CE	Kyllä

5.3 Seurantamittauksessa käytettävä mittalaite

Pidempikestoisissa seurantamittauksissa käytetään Beckin näytöllistä 984Q-sarjan paine-eromittaria (kuva 2). Mittari asetettiin painealueelle numero 5, jolloin mittari kykenee havainnoimaan paine-erot -50...+50 Pa, tarkkuudella 1 Pa. Viestisignaaliiksi valittiin tässä tapauksessa jännite, koska paine-eromittari ja loggeri sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan. Mittauksissa käytettiin 30 sekunnin mittausväliä, joka tarkoittaa yhden viikon mittausjaksolla reilua 20 000 mittausta. Beck 984Q -paine-eromittarin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 3. Kuvassa 3 on esitetty mittauksen suoritustapa. /11./



Kuva 2. Beck 984Q -paine-eromittarin säätömahdollisuudet /11/

Taulukko 3. Beck 984Q -paine-eromittarin tekniset tiedot /11/

Mittausalue	Paine ± 50 Pa, asetuksella 5.
Lähtösignaali	0...10 V tai 4...20 mA
Tarkkuus	Paine ± 1.0 % mitattavasta paine-erosta, minimissään ± 1 Pa
Mittausväli	Asetettavissa
Mittauskohteet	Kiinteistöjen paine-erot
Käyttölämpötila	-10... +50 °C
Suojausluokka	IP54
CE	Kyllä



Kuva 3. Beck 984Q -paine-eromittari mittauksessa

6 TARKASTELTAVAT KOHTEET JA NIISSÄ SUORITETUT MITTAUKSET

6.1 Kohde Honkajoenkaari 6

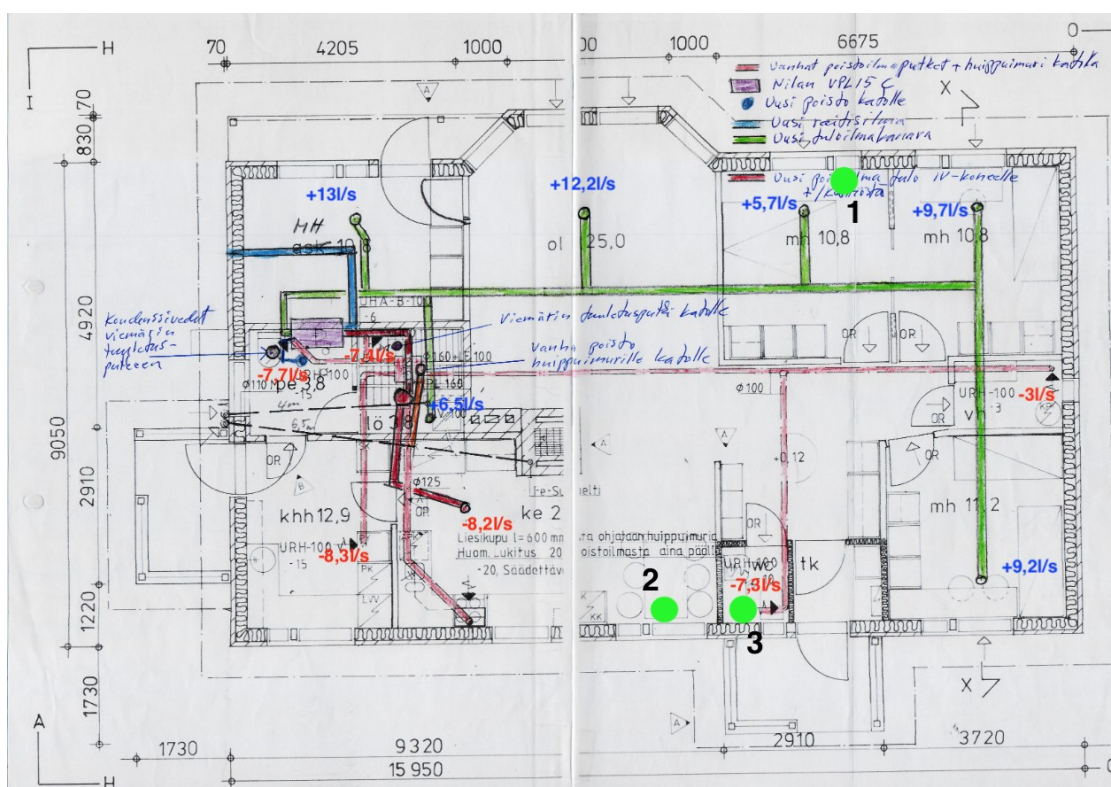
6.1.1 Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät

Taulukossa 4 on esitetty kohteen Honkajoenkaari 6 perustiedot. Kuvassa 4 on kohteen pohjapiirustus, johon on merkitty pidempikestoisen mittauksen paineeromittareiden sijainnit sekä mitatut tulo- ja poistoilmamäärät.

Taulukko 4. Kohde Honkajoenkaari 6 perustiedot

Käyttötarkoitus	Asuinrakennus, omakotitalo 5h+k+s + autotalli-varasto-liiterirakennus (kylmä)
Valmistumisvuosi	1990
Kerrosluku	1
Tilavuus	440 m ³
Kerrosala Huoneistoala	148 m ² 136 m ²
Päärakenteet	Puurunko, puu/tiiliverhous, huopakatto
Lämmitysjärjestelmä	Suorasähkö, leivinuuni, poistoilmalämpöpumppu
Lämmönjakojärjestelmä	Sähköpatterit, Optiwatti-ohjaus, sähköinen lattialämmitys tiloissa, joissa lattialaatta (eteiset, wc, kodinhoituhuone, kylpyhuone ja sauna).
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo ja poisto, jälkikäteen asennettu, Nilan VPL 15 C

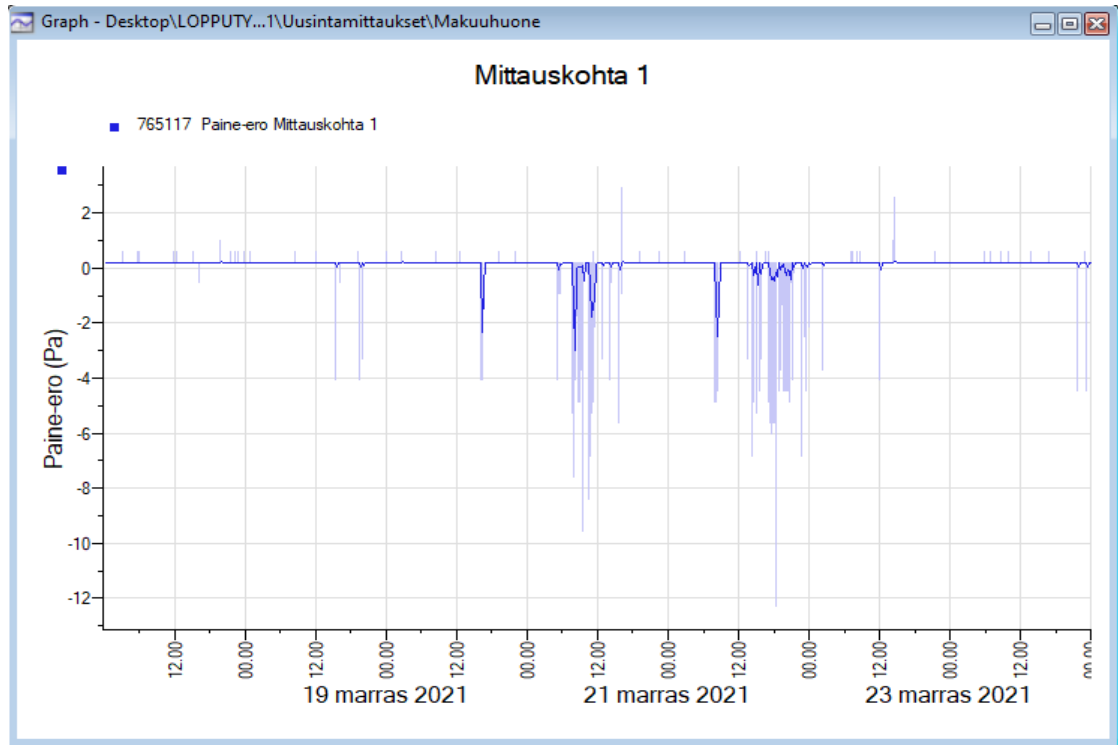
Tulo- ja poistoilmapuhaltimien tehot iv-koneella %	45/55
Mitattu tulo- ja poistoilmavirta l/l	56/43 (l/l)
Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde %	30 % tuloilmaa enemmän, kuin poistoa



Kuva 4. Honkajoenkaari 6, paine-eromittareiden sijainnit sekä tulo- ja poistoilmamäärät

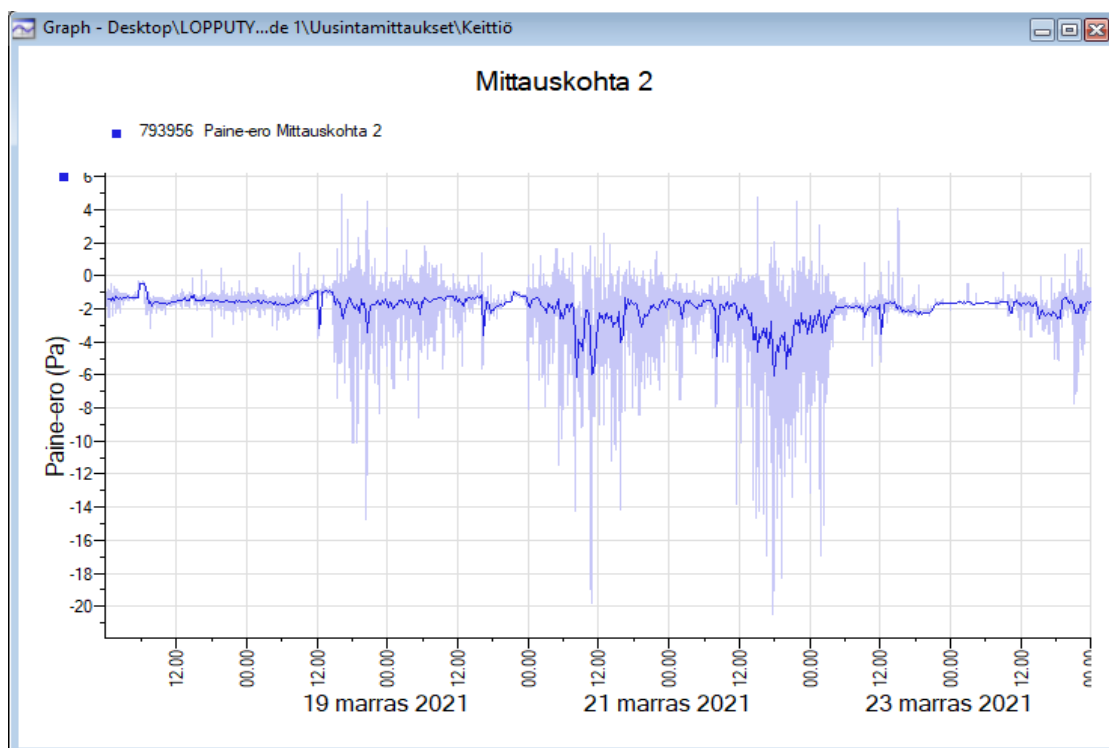
6.1.2 Paine-eromittaukset

Kuvissa 5–7 on kohteen Honkajoenkaari 6 kolmen eri mittauspisteen paine-eromittaus ajanjaksolta 17.–23.11.2021. Ajanjakson ulkoilman keskilämpötila oli 0,2 °C, ylimmän lämpötilan ollessa 4,9 °C ja alimman -8,2 °C. Sisäilman keskilämpötila oli 21 °C. /12./



Kuva 5. Kohde Honkajoenkaari 6, Mittauskohta 1, MH

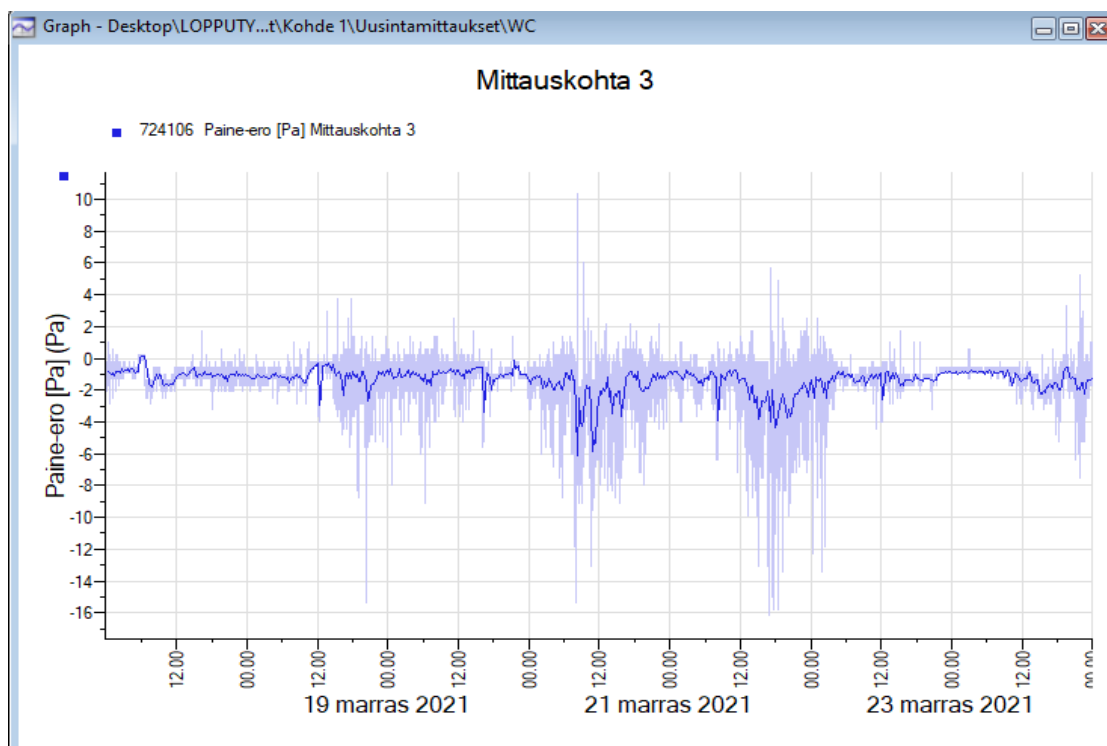
Mittauskohta 1 on käytössä vierasmakuuhuoneena ja sen ovi on pääasiassa auki. Makuuhuoneessa on tuloilmaventtiili ja kaakkoon aukeava ikkuna. Huoneen mittaustulos on tasainen. Paine-eromittauksessa näkyy lähinnä yksittäisiä alipainepiikkejä. Piikit ajoittuvat samoin kuin talon muiden mittauspisteiden voimakkaimmat piikit, joten nämä ovat todennäköisesti tuulesta tai käyttäjien toimista johtuvaa vaihtelua.



Kuva 6. Kohde Honkajoenkaari 6, Mittauskohta 2, K

Mittauskohta 2 sijaitsee keittiössä, joka on yhtä avonaista tilaa olohuoneen kanssa. Keittiössä on poistoilmaventtiili sekä erillispoistona liesituuletin. Olohuoneessa on tuloilmaventtiili. Keittiön kaksi ikkunaa aukeavat luoteeseen, olohuoneen neljä isoa ikkunaa kaakkoon. Keittiöstä on suora yhteys kodinhoitohuoneen ja kuistin kautta pääasiassa käytössä olevalle ulko-ovelle.

Paine-eromittauksessa näkyy sekä yli- että alipainevaihtelua. Koska voimakkain vaihtelu sekä yli- että alipaineen puolelle ajoittuu samoihin hetkiin, kyse on todennäköisesti tuulen vaikutuksesta. Lisäksi osa alipainepiikeistä voi olla erillispoiston aiheuttamia ja osa ali- ja ylipainepiikeistä ulko-oven aukaisusta johtuvia.

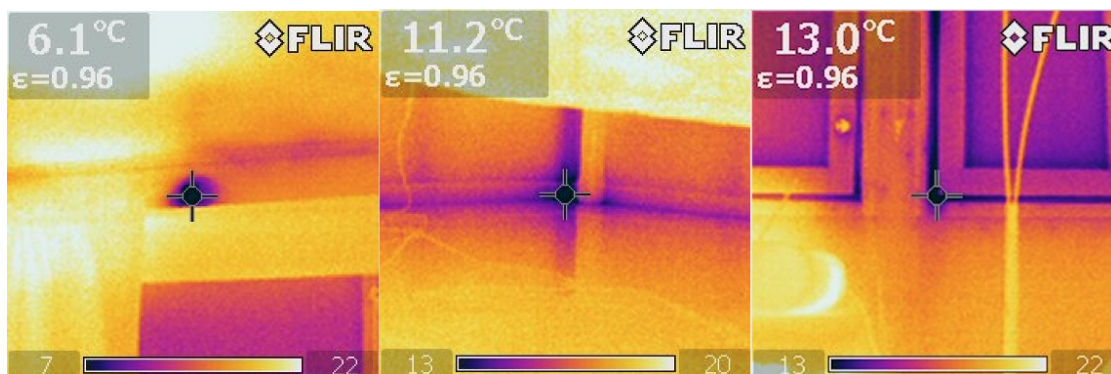


Kuva 7. Kohde Honkajoenkaari 6, Mittauskohta 3, WC

Mittauskohta 3 on talon WC:ssä, ja siellä on poistoilmaventtiili. Rungas vaihtelu kuvaajassa on todennäköisesti tuulen aiheuttamaa vaihtelua, sillä samankaltainen vaihtelu toistuu myös samalla talonsivulla olevassa keittiön kuvaajassa, mutta ei eri puolella taloa olevan makuuhuoneen kuvaajassa.

6.1.3 Lämpökamerakuvat

Koska kohteista ei suoritettu tiiveysmittauksia, pyrittiin tiiveyttä selvittämään lämpökamerakuvauksien avulla. Kuvat otettiin Flir 60 lämpökameralla. Kuvassa 8 esitetyt lämpökamerakuvat on otettu samoista tiloista, kuin missä Beck-paine-eromittarit ovat sijainneet. Honkajoenkaari 6:ssa oli vielä vanhan painovoimaisen ilmanvaihdon osalta jäljellä raitisilmaventtileitä, joita ei ollut täysin tukittu ja joista lämpökameran mukaan pääsi ulkoilmaa tiloihin. Ikkunoiden tiivisteet olivat suurimmilta osin tiiviit tai melko tiiviit.



Kuva 8. Kohde Honkajoenkaari 6, lämpökamerakuvat

6.2 Kohde Torpparintie 6

6.2.1 Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät

Taulukossa 5 on esitetty kohteen Torpparintie 6 perustiedot. Kuvassa 9 on kohteen pohjapiirustus, johon on merkitty paine-eromittareiden sijainnit sekä mitatut tulo- ja poistoilmamäärät. Beck-paine-eromittarit sijoitettiin makuuhuoneeseen, keittiöön ja olohuoneeseen.

Taulukko 5. Torpparintie 6 perustiedot

Käyttötarkoitus	Asuinrakennus, omakotitalo 6h+k+s + autotallivarasto (lämmin)
Valmistumisvuosi	2000
Kerrosluku	1
Tilavuus	760 m ³
Kerrosala Huoneistoala	248 m ² 226 m ²
Päärakenteet	Puurunko, puuverhous, tiilikatto
Lämmitysjärjestelmä	Maalämpöpumppu, varaava takka
Lämmönjakojärjestelmä	Vesikiertoinen lattialämmitys

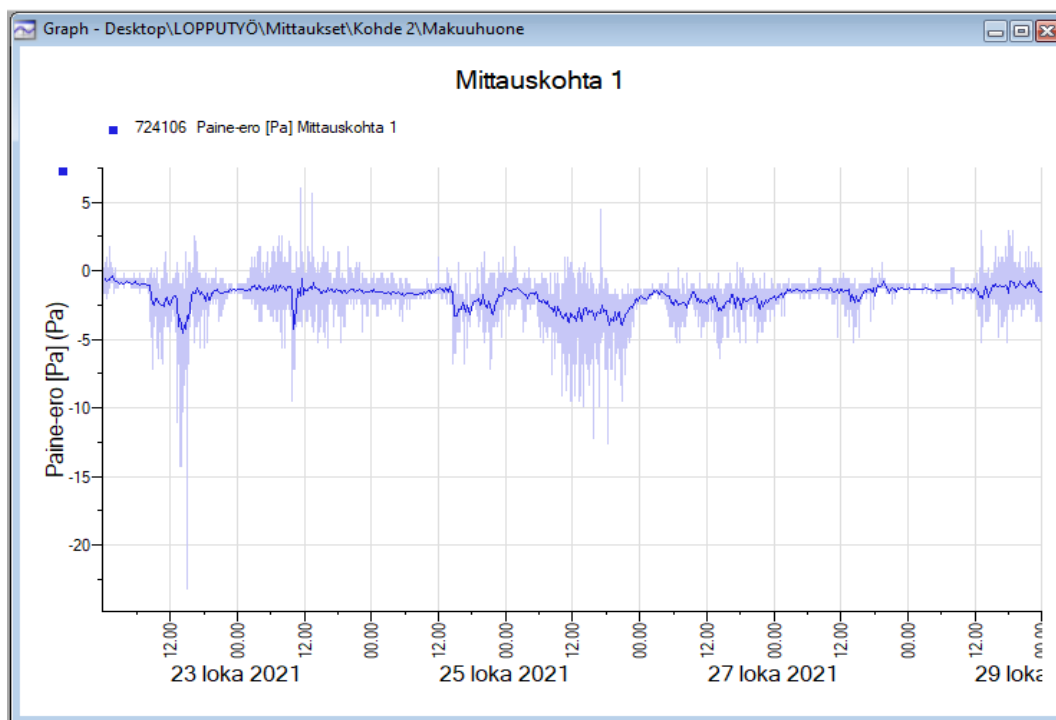
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo ja poisto, MUH ilmava Digit
Tulo- ja poistoilmapuhaltimien tehot iv-koneella %	50/50
Mitattu tulo- ja poistoilmavirta l/l	79/71 (l/l)
Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde %	11% enemmän tuloilmaa, kuin poistoa



Kuva 9. Torpparintie 6, paine-eromittareiden sijainnit sekä tulo- ja poistoilmamäärät

6.2.2 Paine-eromittaukset

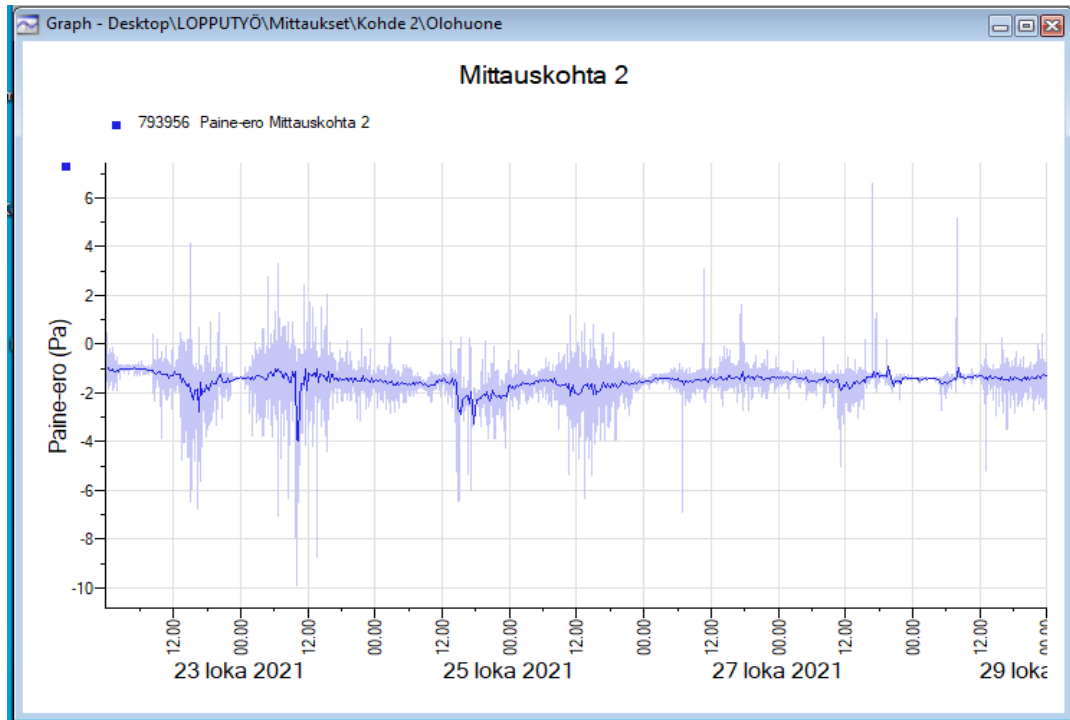
Kuvaajissa 10–12 on kohteen Torpparintie 6 kolmen eri mittauspisteen paine-eromittaus ajanjaksolta 22.-28.10.2021. Ajanjakson keskilämpötila oli 5.5 °C, ylimmän lämpötilan ollessa 11.8 °C ja alimman -4.6 °C. Sisäilman lämpötila oli 21 °C. /12./



Kuva 10. Kohde Torpparintie 6, Mittauskohta 1, MH

Mittauskohta 1 on käytössä päämakuuhuoneena. Makuuhuoneessa on tuloilmaventtiili. Sen vieressä olevassa vaatehuoneessa on poistoilmaventtiili, mutta vaatehuoneen ovi on jatkuvasti kiinni. Makuuhuoneen pariovi olohuoneeseen taas on pääasiassa auki.

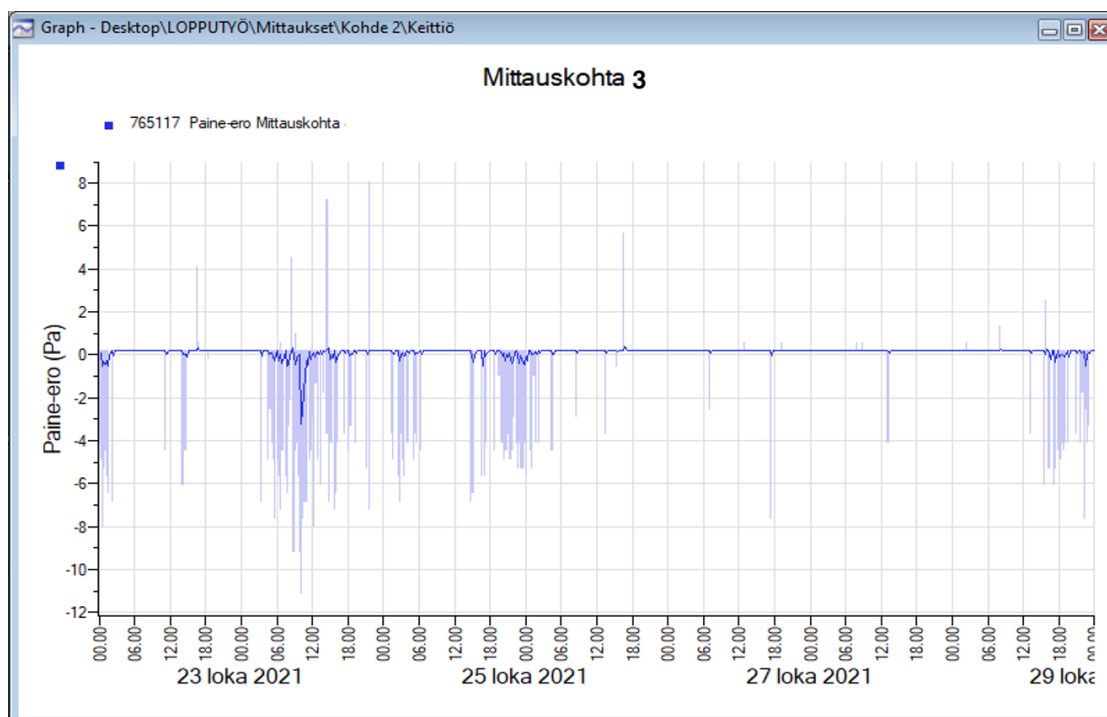
Makuuhuone on kulmahuone ja sen ikkunat avautuvat sekä etelään että länteen puiston suuntaan. Rungas vaihtelu kuvaajassa on todennäköisesti tuulen aiheuttamaa vaihtelua, sillä samankaltainen vaihtelu toistuu myös olohuoneen kuvaajassa, mutta ei eri puolella taloa tuulen suojassa olevan keittiön kuvaajassa.



Kuva 11. Kohde Torpparintie 6, Mittauskohta 2, OH

Mittauskohta 2 on olohuone, joka on yhtä avonaista tilaa keittiön kanssa. Olohuoneessa on suuret, länteen ja puiston suuntaan avautuvat ikkunat. Olohuoneessa on kaksi tuloilmaventtiiliä ja erikseen avattava painovoimainen takan tuloilmaventtiili.

Runsas vaihtelu kuvaajassa on todennäköisesti tuulen aiheuttamaa vaihtelua, sillä samankaltainen vaihtelu toistuu myös makuuhuoneen kuvaajassa, mutta ei olohuoneen kanssa samaa tilaa olevassa keittiössä. Keittiön ikkuna on olohuoneen ikkunoihin verrattuna tuulen suojassa.



Kuva 12. Kohde Torpparintie 6, Mittauskohta 3, K

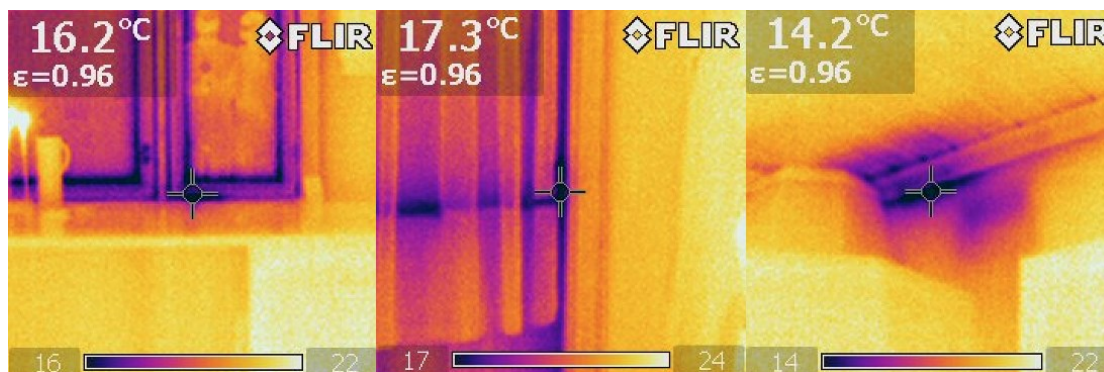
Mittauskohta 3 on keittiö, joka on yhtä avonaista tilaa olohuoneen kanssa. Keittiössä on poistoilmaventtiili ja lisäksi ruuanlaiton yhteydessä tarvittaessa käytettävä lisäpoisto, liesituuletin. Paine-eromittauksessa näkyvät piikit ovat alipaineisia ja voivat johtua esimerkiksi ruuanlaitosta tai muusta asukkaan toiminnasta. Mikäli alipainepiikit ovat lisäpoiston aiheuttamia, kuvaajan perusteella voidaan päätellä, että liesituuletin kykenee luomaan tilaan selkeän alipaineen, joka näkyy myös olohuoneen ja makuuhuoneen kuvaajissa.

Keittiön ikkuna avautuu rakennuksen sisäpihalle itään. Ikkuna on autotallirakennuksen ja kuistin välissä. Todennäköisesti ikkunan sijaintipaikka on tuulensuojassa. Tämä selittäisi, miksi keittiön kuvaajassa ei näy samankaltaista vaihtelua kuin samaa tilaa olevan olohuoneen kuvaajassa.

6.2.3 Lämpökamerakuvat

Kuvassa 13 on esitetty muutama Torpparintie 6:sta otetuista lämpökamerakuvista. Kuvat on otettu samoista tiloista kuin missä Beck-paine-eromittarit ovat sijainneet. Otettujen kuvien perusteella voidaan todeta, että rakennus on tiiviimpi kuin kaksi muuta mitattua rakennusta. Muun muassa nurkat, liitoskohdat sekä ikkunoiden ja ovien pielet olivat lämpimämpiä, eikä selkeitä viuhkamaisia kylmiä kohtia ollut havaittavissa. Mielenkiintoisin kohta

oli kylmempi kohta keittiön laipiossa, joka tosin voi selittyä liesituulettimen poistoputken sijainnilla ja vähäisemmällä yläpohjan eristepaksuudella kyseisessä kohdassa.



Kuva 13. Kohde Torpparintie 6, lämpökamerakuvat

6.3 Honkajoenkaari 4

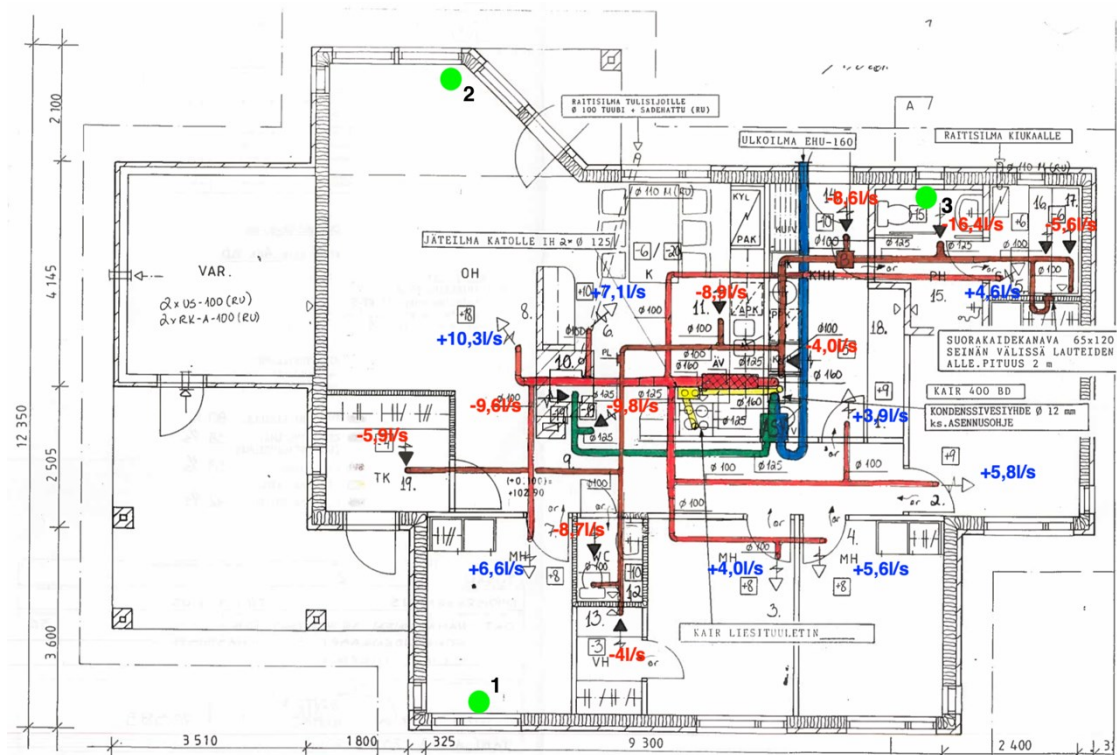
6.3.1 Perustiedot ja tulo-poistoilmamäärät

Taulukossa 6 on esitetty kohteen Honkajoenkaari 4 perustiedot. Kuvassa 14 on kohteen pohjapiirustus, johon on merkitty Beck-paine-eromittareiden sijainnit, sekä mitatut tulo- ja poistoilmamäärät. Paine-eromittarit sijoitettiin makuuhuoneeseen, olohuoneeseen ja wc-tilaan.

Taulukko 6. Kohde Honkajoenkaari 4 perustiedot

Käyttötarkoitus	Asuinrakennus, omakotitalo 5h+k+s + varastoliiterirakennus (kylmä)
Valmistumisvuosi	1990
Kerrosluku	1
Tilavuus	338 m ³
Kerrosala Huoneistoala	142 m ² 128 m ²
Päärakenteet	Puurunko, puu/tiiliverhous, peltikatto

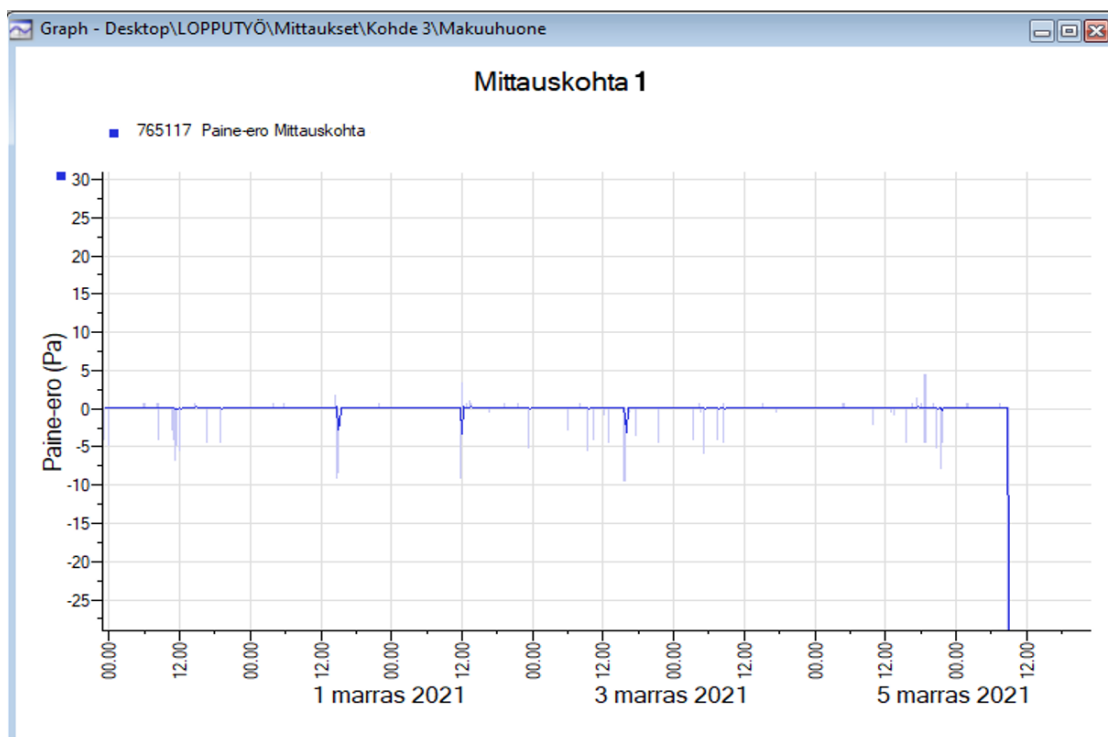
Lämmitysjärjestelmä	Suorasähkö, leivinuuni, poistoilman lämmöntalteenotto
Lämmönjakojärjestelmä	Kattolämmitys, kaakelipinnoilla lattialämmitys.
Ilmanvaihtojärjestelmä	Koneellinen tulo ja poisto, Onnline 100W
Tulo- ja poistoilmapuhaltimien tehot iv-koneella %	55/55
Mitattu tulo- ja poistoilmavirta l/l	48/62 (l/l), (20 l/s kiertoilma)
Tulo- ja poistoilmavirtojen suhde %	29% enemmän poistoa kuin tuloa



Kuva 14. Honkajoenkaari 4, paine-eromittareiden sijainnit, sekä tulo- ja poistoilmamäärät

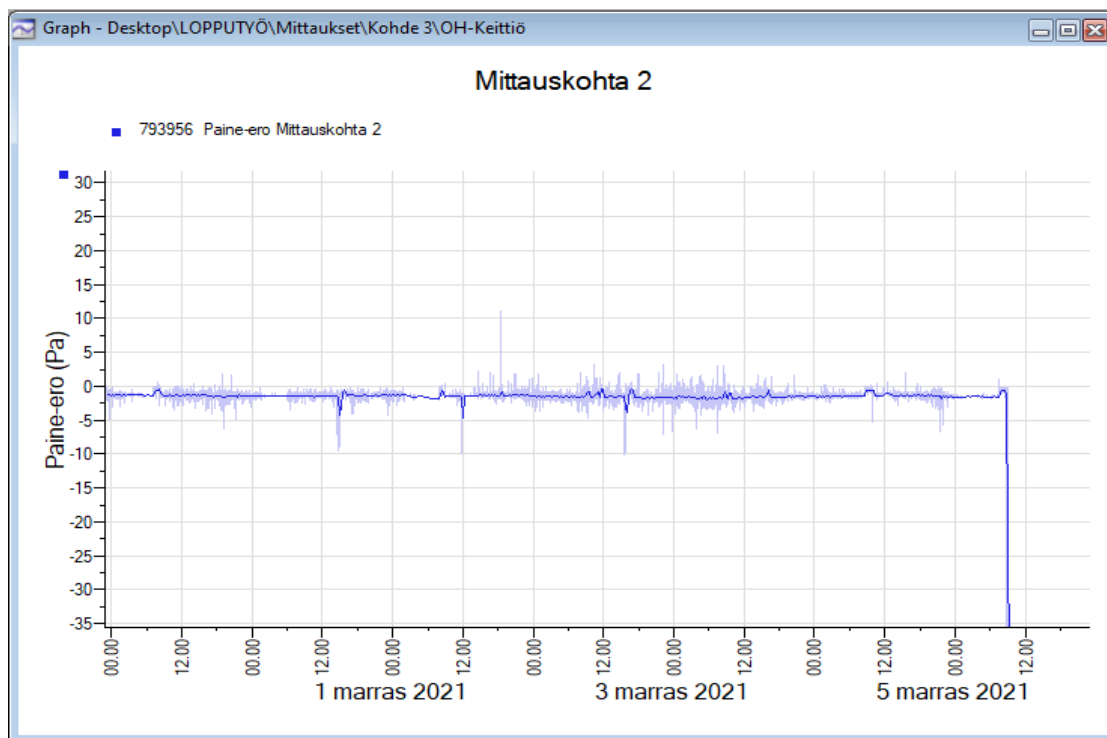
6.3.2 Paine-eromittaukset

Kuvissa 15–17 on kohteen Honkajoenkaari 4 kolmen eri mittauspisteen paine-eromittaus ajanjaksolta 30.10.–5.11.2021. Ajanjakson keskilämpötila oli 7 °C, ylimmän lämpötilan ollessa 11.6 °C ja alimman 2.6 °C. Sisäilman lämpötila oli 21 °C. /12./



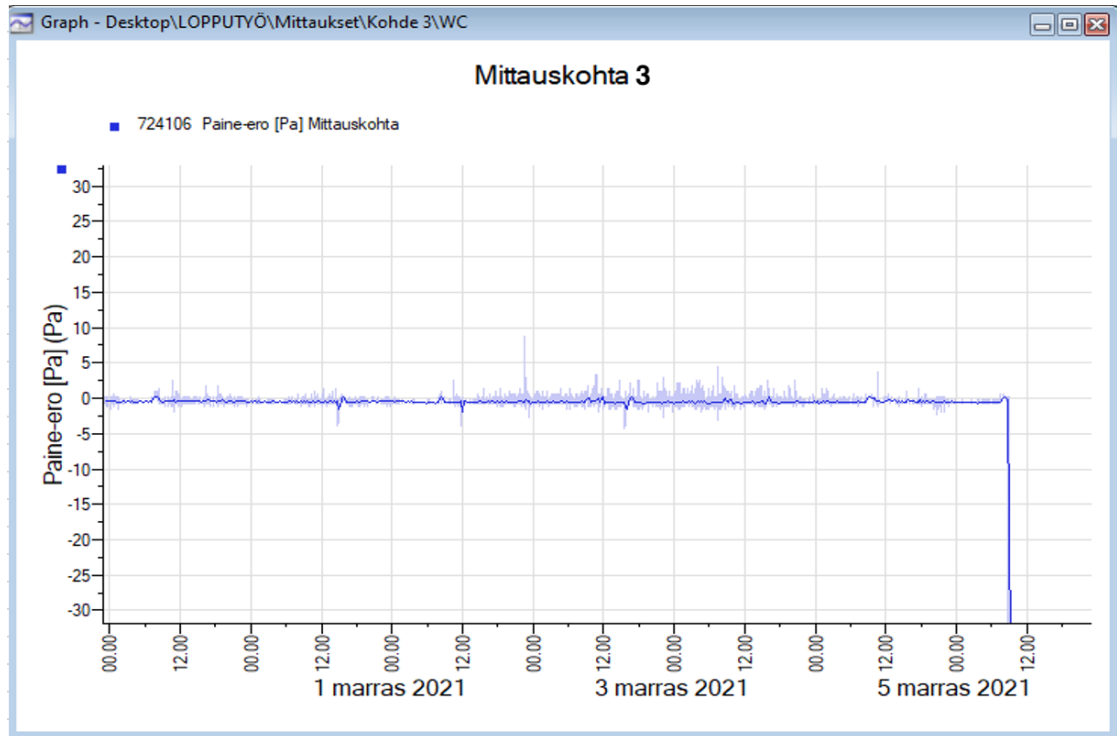
Kuva 15. Kohde Honkajoenkaari 4, Mittauskohta 1, MH

Mittauskohta 1:n makuuhuone on vierashuoneena, ja sen ikkuna aukeaa kadun puolelle länteen. Makuuhuoneessa on tuloilmaventtiili. Perhe ei juurikaan käytä huonetta, ja sen ovi pidetään pääosin auki. Paine-eromittauksessa näkyy lähinnä yksittäisiä piikkejä, jotka voivat johtua esimerkiksi lähellä olevan ulko-oven aukaisuista. Mittauksen tulos on niin tasainen, ettei siinä todennäköisesti näy tuulen vaikutusta.



Kuva 16. Kohde Honkajoenkaari 4, Mittauskohta 2, OH/K

Mittauskohta 2 sijaitsee olohuoneessa, jonka ikkunat aukeavat metsän puolelle itään ja joka on yhtenäistä tilaa keittiön kanssa. Olohuoneessa on tuloilmaventtiili ja keittiössä poistoilmaventtiili. Paine-eromittauksessa näkyy suhteellisen pientä, mutta toistuvaa vaihtelua sekä yli- että alipaineen puolelle. Tuloksessa voi näkyä esimerkiksi talon muiden huoneiden ovien ja ikkunoiden avaaminen ja sulkeminen sekä keittiön lisäpoiston käyttö. Lisäksi on mahdollista, että kuvaajassa näkyy tuulen vaikutusta.

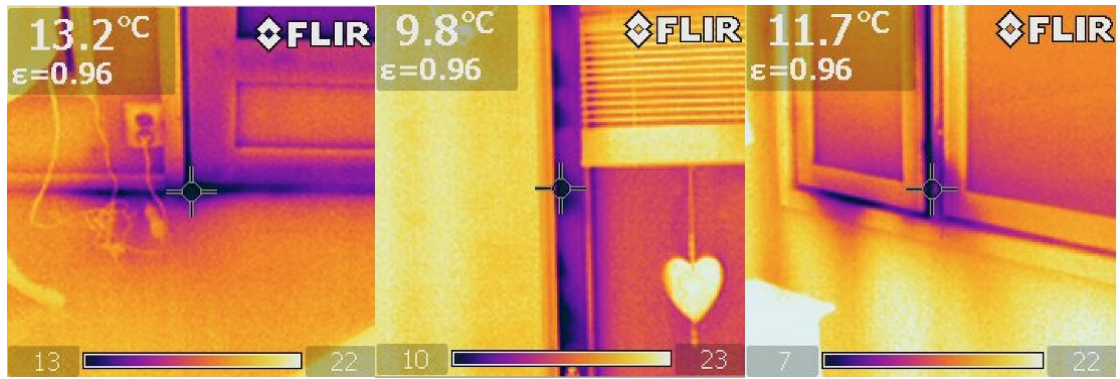


Kuva 17. Kohde Honkajoenkaari 4, Mittauskohta 3, WC

Mittauskohta 3 sijaitsee wc-tilassa, jossa on pieni metsän suuntaan länteen aukeava ikkuna ja joka on erotettu kylpyhuoneesta kevytrakenteisella liukuovella. Käytännössä liukuovi on jatkuvasti auki. Pesuhuoneessa on poistoilmaventtiili ja saunassa tulo- ja poistoilmaventtiili. Mittaustuloksessa näkyy hyvin pientä vaihtelua.

6.3.3 Lämpökamerakuvat

Kuvassa 18 on esitetty muutama Honkajoenkaari 4:sta otetuista lämpökamerakuvista. Kyseiset kuvat on otettu samoista tiloista, kuin missä Beck-paine-eromittarit ovat sijainneet. Otettujen kuvien perusteella voidaan todeta, että ilmaa pääsee sisään muun muassa ulko-ovien ja ikkunoiden tiivisteistä. Nurkat ja seinien liitoskohdat olivat samaa tasoa Honkajoenkaari 6:n kanssa.



Kuva 18. Kohde Honkajoenkaari 4, lämpökamerakuvat

7 MITTAUSTULOKSET JA ANALYSOINTI

7.1 Kohteen Honkajoenkaari 6 mittau tulokset

Alla esitettyyn taulukkoon 7 on esitetty kooste kohteen Honkajoenkaari 6 paine-eron mittau tuloksista. Tämän mittausjakson perusteella voidaan todeta, että kohteen Honkajoenkaari 6 painesuhteet täyttävät sekä rakennusaikaiset että tämän päivän tavoitearvot. Lisäksi näyttää siltä, että keittiön ja wc-tilan jatkuvan poiston ilmamäärä on riittävä, sillä tilat pysyvät pääosin hieman alipaineisina.

Taulukko 7. Honkajoenkaari 6 mittau tulokset

	Makuuhuone (MK1)	Keittiö (MK2)	WC (MK3)
Alin mitattu paine (Pa)	2,9	5	10,5
Ylin mitattu paine (Pa)	-12,4	-20,6	-16,3
Keskiarvo (Pa)	0,2	-1,9	-1,4
Mediaani (Pa)	0,2	-1,7	-1,0
Mediaani, savupiippuvaikutus huomioitu (Pa)	0,3	-1,8	-1,6
% alipainetta	1	99	97
% ylipainetta	99	1	3
keskimäär. sisälämpötila (°C)	20	20	20
keskimäär. ulkolämpötila (°C)	0,2	0,2	0,2

Paine-eromittauksen perusteella ilmanvaihdon voisi päätellä olevan tasapainossa. Ilmamäärämittauksista käy kuitenkin ilmi, että tuloilma ylittää 30 % poistoilman määrän. Rakennusaikaisen säännöksen mukaan tuloilmanmäärä tulisi olla 15 % poistoilmamäärää pienempi, ja nykyisten säännösten mukaan ero saisi olla korkeintaan 10 % toisistaan. Mittauksen perusteella Honkajoenkaari 6:n ilmanvaihtoa tulisi säätää tasapainoisemmaksi.

7.2 Kohteen Torpparintie 6 mittau tulokset

Alla esitettyyn taulukkoon 8 on esitetty kooste kohteen Torpparintie 6 paine-eron mittau tuloksista. Tämän mittausjakson perusteella voidaan todeta, että

kohteen Torpparintie 6:n painesuhteet täyttävät sekä rakennusaikaiset että tämän päivän tavoitearvot. Näyttäisi kuitenkin siltä, että keittiön jatkuva poisto ei ole riittävä, sillä tila ei pysy alipaineisena.

Taulukko 8. Torpparintie 6 mittaustulokset

	Makuuhuone (MK1)	Olohuone (MK2)	Keittiö (MK3)
Ylin mitattu paine (Pa)	6,1	6,6	8
Alin mitattu paine (Pa)	-23,3	-10,0	-11,2
Keskiarvo (Pa)	-1,8	-1,5	0,1
Mediaani (Pa)	-1,4	-1,4	0,2
Mediaani, savupiippuvaikutus huomioitu (Pa)	-1,3	-1,4	0,3
% alipainetta	98	99	1
% ylipainetta	2	1	99
keskimäär. sisälämpötila (°C)	21	21	21
keskimäär. ulkolämpötila (°C)	5,5	5,5	5,5

Paine-eromittauksen perusteella ilmanvaihdon voisi päätellä olevan hyvin lähellä tasapainoa. Ilmamäärämittauksista käy kuitenkin ilmi, että tuloilma ylittää 11 % poistoilman määrän, joka ei ole rakennusaikaisten tavoitearvojen mukainen, mutta hyvin lähellä nykyaikaisia tavoitearvoja. Myös Torpparintie 6:ssa kannattaisi tehdä ilmanvaihdon säätöä.

7.3 Kohteen Honkajoenkaari 4 mittaustulokset

Alla esitettyyn taulukkoon 9 on koottu kooste kohteen Honkajoenkaari 4 paine-eron mittaustuloksista. Tämän mittausjakson perusteella voidaan todeta, että kohteen Honkajoenkaari 4:n painesuhteet täyttävät sekä rakennusaikaiset että tämän päivän tavoitearvot. Paine-eromittauksen perusteella näyttäisi siltä, että olohuone-keittiötilan ja kylpyhuoneen poistoilmamäärä on riittävä, sillä tilojen paine-ero pysyy lähes jatkuvasti hieman alipaineen puolella.

Taulukko 9. Honkajoenkaari 4 mittaustulokset

	Makuuhuone (MK1)	Olohuone/Keittiö (MK2)	WC (MK3)
Ylin mitattu paine (Pa)	4,5	11,1	8,8
Alin mitattu paine (Pa)	-9,6	-10,3	-4,5
Keskiarvo (Pa)	0,2	-1,4	-0,5
Mediaani (Pa)	0,2	-1,4	-0,6
Mediaani, savupiippuvaikutus huomioitu (Pa)	0,2	-1,4	-0,9
% alipainetta	9	99	92
% ylipainetta	91	1	8
keskimäär. sisälämpötila (°C)	21	21	21
keskimäär. ulkolämpötila (°C)	7	7	7

Paine-eromittauksen perusteella ilmanvaihdon voisi päätellä olevan tasapainossa. Ilmamäärämittauksista käy kuitenkin ilmi, että poistoilman määrä ylittää 29 %:lla tuloilman määrän, joka on sekä rakennusaikaista että tämän päivän tavoitearvoa suurempi. Mittausten perusteella Honkajoenkaari 4:n ilmanvaihtoa tulisi säätää tasapainoisemmaksi.

8 YHTEENVETO

Paine-eroja mitatessa ja tuloksia tulkitessa on hyvä muistaa, että mittaustuloksiin vaikuttaa moni asia. Epäluotettavuutta tuloksiin voivat aiheuttaa mm. mittalaitteiden mahdolliset virheet, tuuli ja sen suunta, sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero ja sen aiheuttama hormivaikutus, käyttäjien toimenpiteet sekä ilmanvaihdon säädöt ja mahdolliset laiteviat.

Tässä tutkimuksessa paine-eroja tarkasteltaessa huomioitiin lisäksi kohteen ilmavirrat. Tutkimuksessa on kuitenkin jouduttu jättämään huomioimatta osa ilmanvaihtoon liittyvistä seikoista. Halutessaan vielä tarkempia tuloksia olisi kyettävä tarkastelemaan ilmanvaihtojärjestelmää, sen säätöjä ja automaatioita. Lämpökamerakuvausten lisäksi ulkovaipan tiiveys olisi hyvä mitata.

Virhepäätelmiin voi johtaa myös tutkijan kokemattomuus. Mittaukset on tehty talotekniikkainsinööri-koulutusohjelman antaman opin ja lähdekirjallisuuden perusteella. Työn tekijän kokemattomuus voi kuitenkin vaikuttaa sekä mittauksiin että mittaustulosten tulkintaan.

Tässä tutkimuksessa kohteiden paine-eroja seurattiin viikon verran. Viikon ajanjakso on Ympäristöministeriön julkaiseman Rakennusten paine-erojen mittaushjeen mukainen minimiseuranta-ajanjakso, mutta pidempi ajanjakso tasoittaisi tuloksissa mahdollisesti näkyvää epävarmuutta. Pidempi seurantajakso voisi tasoittaa muuttuvien sääolosuhteiden ja käyttäjän toimien mahdollisesti aiheuttamia vääristymiä tuloksissa. /5, s. 29./

Erityisesti Suomessa vuodenajat voivat vaikuttaa mittaustuloksiin ja paine-eroja tarkasteltaessa on tärkeää huomioida terminen paine-ero.

Tarkasteltavien kohteiden paine-erot olisivat voineet olla erilaisia kovalla pakkasella, kun ulko- ja sisälämpötilan ero on selkeämpi ja termisen paineeron vaikutus on suurin. On kuitenkin epätodennäköistä, että vuodenaikojen vaihtelun aiheuttama terminen paine-ero vaikuttaisi yksikerroksisen talon painesuhteisiin niin voimakkaasti, että tutkituissa kohteissa ei pysyttäisi rakennusaikaisissa tai nykyisissä tavoitearvoissa.

Mikäli kaikki kohteet olisi kyetty mittaamaan samaan aikaan, niiden tulokset olisivat paremmin vertailtavissa. Tällöin olisi ollut mielenkiintoista katsoa, voidaanko tuloksissa havaita samankaltaista sääolosuhteiden vaikutusta. Sääolosuhteista olisi voitu tarkkailla erityisesti lämpötilan vaikutusta. Kohteet sijaitsevat eri puolella kaupunkia ja ne on rakennettu eri ilmansuuntiin, joten mahdollisen tuulen vaikutuksen vertailu olisi ollut epäluotettavaa.

Nyt tuloksia tulkitessa kohteiden ilmanvuotoluku jouduttiin olettamaan aikakaudelle tyypilliseksi, mikä ei kuitenkaan vastaa välttämättä tutkittujen pientalojen tilannetta. Mikäli kohteiden ilmatiiveys olisi mitattu, olisi analyysi tiiveyden osuudesta paine-eron pitämiseen ollut luotettavampi. 1990-luvun pientalojen tiiveysmittauksissa on saatu huomattavasti oletusarvoa parempia ja heikompia tiiveystuloksia. Tiiveyden mittaaminen olisi ollut kiinnostavaa myös sikäli, että se olisi mahdollistanut pohdinnan siitä, onko kohteita mahdollisuus vaihtaa joskus esimerkiksi ylipaineiseksi, mikäli suositukset tai rakennuksen sisäilman laatu sitä vaatisi. /13, s. 49; 14./

Paine-eromittausten perusteella vaikutti siltä, että kaikkien kohteiden ilmanvaihto on tasapainossa. Viikon paine-eroseuranta näytti, että erityisesti kohteessa Honkajoenkaari 4 on päästy hyvin tasaiseen paine-eroon. Yksi päätelmä olisi voinut olla, että kun painesuhteet ovat tasaiset, ilmavirrat on painotettu oikein. Tämä tutkimus kuitenkin osaltaan osoitti, että paine-eron mittaamisen lisäksi on äärimmäisen tärkeää mitata myös kohteen ilmavirrat. Ajattelen, että tämä on tärkeää ainakin vielä 1990-luvulla rakennetuissa taloissa, joissa rakennuksen tiiveyden voidaan odottaa olevan selvästi nykysuosituksia heikompi.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että tutkittujen yksikerroksisten pientalojen paine-erot eivät yllä lähellekään rakennusaikaisia raja-arvoja. Tutkimuksen otos on pieni, joten tuloksen yleistäminen laajemmin 90-luvun rakennettuihin pientaloihin ei ole mahdollista. Tämä tulos ja aiemmat tutkimustulokset huomioiden voi kuitenkin olla mahdollista, että 90-luvulla rakennetuissa pientaloissa päästään tai päädytään painesuhteiltaan lähemmäs nollaa, kuin nykysuositusten mukaisesti rakennetuissa, tiiviimmissä taloissa. Jos kohteista olisi ollut olemassa LVI-mittauspöytäkirjat olisi ollut hienoa päästä myös vertaamaan, mikä nykyhetken tilanne on verrattuna

tilanteeseen rakennuksen valmistuttua. Jos tutkimusta lähtisi jatkamaan olisi myös mielenkiintoista verrata vallitsevia tuloksia kiinteistölle rakennusaikana laskettuihin tavoitearvoihin, tarkastella sisäilman laatua, tutkia rakenteiden kuntoa ja testata ilmanvaihdon erilaisten säätöjen vaikutusta paine-eroon.

9 POHDINTA

Tämän työn tutkimustavoitteena oli selvittää, millaiset ilmanpainesuhteet 90-luvulla rakennetuissa pientaloissa on ja vertailla niitä rakentamisen aikaisiin sekä nykyisiin säädöksiin. Rakennusten paine-eroihin on tärkeää kiinnittää huomiota, sillä niillä voi olla suuri vaikutus rakennuksen sisäilman laatuun ja rakenteiden kestävyYTEEN. Kuitenkaan pelkkä paine-eron mittaaminen ei riitä, vaan ilmanvaihdon ilmavirrat tulee mitata. Lisäksi paine-erojen seuranta ja ilmavirtojen mittaaminen on suhteellisen helppo ja nopea tapa selvittää, onko rakennuksen ilmanvaihto tasapainossa.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmen 1990-luvulla rakennetun yksikerroksisen pientalon paine-eroja ja ilmamääriä. Tarkastelluissa kohteissa ei ollut voimakasta ali- tai ylipainetta sisä- ja ulkoilman välillä. Kaikissa kohteissa ilmanvaihtotyyppi oli koneellinen tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmä. Kohteiden ilmamäärät eivät kuitenkaan olleet säädösten mukaisia.

Kohteiden paine-ero pysyttelee sekä pientalojen rakennusaikaisissa että nykyisissä suosituksissa. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta ei määrittele tarkkaa arvoa sallitulle ali- tai ylipaineelle. Aiemmin rakennukset piti suunnitella hiukan alipaineiseksi, mutta alipainetta sai kuitenkin maksimissaan olla -30 Pa. Sopivan tason määrittäminen jätettiin, ja on jätetty, rakennuksen suunnittelijalle, jonka tulee tuntea sekä kohde että olosuhteet optimaalisen ilmanvaihdon suunnittelemiseksi. Vaikka alalla on yleinen käytäntö pyrkiä painesuhteissa lähelle nollaa, jättää sekä nykyiset että aiemmat ohjeistukset ison liikkumavaran toteutukseen. Asumisterveysohjeen soveltamisoppaan mukaan kohteissa, joiden ilmanvaihtotapa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, tulisi pyrkiä paine-eroon 0...-2 Pa. Tutkittavat kohteet asettuvat myös tähän, kaikista kapeimpaan ohjeistukseen.

Tutkittujen kohteiden paine-eromittaus tulokset olivat samankaltaisia, mitä Seppänen sai tutkimuksessaan 'Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli', jossa hän tarkasteli yhteensä 176:n kohteen paine-eroja. Hänen tutkimuksessaan omakotitalojen keskimääräinen paine-ero ulkoilmaan nähden oli -2 Pa ja 1950–2000-luvulla rakennettujen kohteiden keskimääräinen paine

ero - 6Pa. Vaikka paine-ero tutkituissa kohteissa oli suositusten mukainen, Seppäsen (2010) mukaan koneellisen poiston ilmanvaihdolla vain 1–5 Pascalin alipaine ulkoilmaan nähden ei kuitenkaan vielä todista, että korvausilmaa olisi riittävästi. Hänen mukaansa pieni alipaine voi myös antaa viitteen siitä, että poistoilmakone on tehoton tai kertoa siitä, että ilmavuotoja on paljon. Näin ollen on tärkeää tarkastella myös kohteen ilmavirtoja, mikä huomattiin myös nyt tutkituissa kohteissa. /15, s. 34, 38./

Uskon, että tulevina vuosina rakennusten paine-eroista ja tiiveydestä tullaan puhumaan yhä enemmän pientalojen energiatehokkuusvaatimusten kasvaessa. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että mitä tiiviimpi rakennus on, sitä tärkeämpää on ilmanvaihdon tasapainoon säätö. Seppäsen (2010) tutkimuksen perusteella 2000–2007 valmistuneissa kohteissa alipaineet olivat huolestuttavan suuria. Vaikuttaisi siltä, että tässä tutkimuksessa mukana olleissa, 90-luvulla rakennetuissa taloissa, tätä vaaraa ei ole heikomman ilmatiiveyden vuoksi. /15, s. 35./

Mielestäni alalle kaivattaisiin selkeämpää ohjeistusta sekä painesuhteisiin että paine-eromittausten tulosten tulkintaan ja lisäksi viitearvoja johtopäätösten tekemiseen. Mielestäni mittaustulosten tulkintaan liittyy paljon haasteita ja pienistä paine-eroista puhuttaessa virheiden mahdollisuus korostuu.

Vaikka kaikissa kohteissa paine-erot ovat tasaiset, tämän tutkimuksen perusteella ilmavirtoja kannattaisi säätää. Tämä tulisi tehdä tutkituissa kohteissa mahdollisimman pian. Lisäksi säätötyö olisi hyvä tehdä aina, kun ilmanvaihtoon tehdään muutoksia tai korjauksia. Säätö tulisi tehdä ammattilaisen toimesta niin, että ilmavirrat ja paine-ero mitataan sekä ennen että jälkeen säätötyön. Vasta, kun kohteen painesuhteet ja ilmavirrat ovat ohjeistusten mukaiset voidaan olettaa, että rakennuksessa tilanne on hyvä sisäilman laadun ja rakenteiden kestävyys kannalta.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 1987.
2. Asetus 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.
3. Siikanen, U. Rakennusfysiikka: perusteet ja sovelluksia. Rakennustieto Oy. 2014.
4. Ympäristöministeriö. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöopas 28. Rakennustieto Oy. 1997.
5. Björkroth, M. & Eskola, L. Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti. A-insinöörit. 2019.
6. LVI-ohjekortti 30-10085. Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän tuloilmapuolen suunnittelu. 1987.
7. Saari, M., Nyman, M., Päckilä, T. & Jänström, H. Havaintoja ilmanvaihtojärjestelmistä sisäilmaongelmaisissa kohteissa. VTT Expert Services Oy, Sisäilmastoyhdistys, sisäilmastoseminaari. 2016.
8. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.
9. Asumisterveysopas. 3. korjattu painos. Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja terveys -lehti. 2009.

10. Pietiko Oy. Pietiko.fi. Miran DP-200 paine-eromittari. Saatavissa:
<https://www.pietiko.fi/tuotteet/ilmanvaihto/paine-eromittarit/miran-dp-200-paine-eromittari/>

11. Beck Sensors. Beck-sensors.com. 984A / 984Q. Saatavissa:
<https://www.beck-sensors.com/en/differential-pressure-transmitter-984/>

12. Ilmatieteen laitos. Vuorokausihavainnot Mikkelin lentoasema AWOS.
Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

13. Erkkilä, J. Ilmatiheys 1980- ja 1990-luvulla rakennetuissa pientaloissa. Rakennustekniikan koulutusohjelma, Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 2013.

14. Paloniitty, S. Rakennusten tiiviysmittaus. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki. 2012.

15. Seppänen, K. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Aducate reports and books 9/2010. University of eastern Finland. 2010.