

## COMBI-hankkeen paine-eromittausten yhteenveto

Eero Tuominen, Anssi Laukkarinen, Antti Kauppinen, Tuomas Raunima ja Juha Vinha  
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

### Tiivistelmä

Osana vuosien 2015-2018 aikana toteutettua COMBI-hanketta toteutettiin sisäilman olosuhteiden kenttämittauksia uusissa ja korjatuissa kouluissa ja päiväkodeissa. Tässä artikkelissa käydään läpi kenttämittausten paine-eromittausten tuloksia ja niistä tehtäviä havaintoja.

Mittaustulosten perusteella löytyi paitsi paine-eroiltaan hallittuja, myös erittäin suuren paine-eron omaavia kohteita. Usein suuret alipaineisuudet johtuivat erillispoistoista, joita ei sammutettu pääilmanvaihdon sammutuksen yhteydessä. Monissa kohteissa paine-erot olivat arkipäivisin ylipaineisia ja muuna aikana alipaineisia. Merkittäviä eroja loma- ja käyttökausien välillä ei löytynyt. Käyttöä suurempi vaikutus oli säätilan muutoksilla. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että suurimmassa osassa kohteita ilmanvaihtoa tulisi säätää siten, että paine-erot ulkovaipan yli pysyisivät maltillisempina eri käyttötilanteissa.

### 1. Johdanto

COMBI-hankkeessa toteutettiin sisäilman olosuhteiden kenttämittauksia vuosien 2015-2018 aikana. Mittauksia toteutettiin yhteensä 21 koulussa ja päiväkodissa Pirkanmaalla ja Helsingin alueella. Uudiskohteita näistä oli 11 ja korjauskohteita 11, joista yhdessä koulussa oli sekä uudis- että korjausosa. Lisäksi mukana oli yksi vanhainkoti, jossa myös oli mukana sekä uudis- että korjausosa. Näin eri kohteita oli yhteensä 24, kun uudis- ja korjausosat käsitellään erikseen. Uudiskohteet on rakennettu 2006-2015 vuosien aikana ja korjauskohteet ennen 1990-lukua. Korjauskohteiden peruskorjaukset on ajoittuneet kaikki 2010-luvulle.

Tutkimuksessa kerättiin perustiedot kohteiden käytöstä ja taloteknisistä järjestelmistä. Lisäksi kohteissa tehtiin sisäilman olosuhteiden mittausta käsittäen paine-eron, lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden seurantamittauksia sekä radonmittauksia purkkimittauksina, joita täydennettiin muutamilla dynaamisilla radonmittauksilla. Osassa kohteista suoritettiin lisäksi vaipan ilmatiiveyden mittaus, jos tätä tietoa ei ollut valmiiksi saatavilla. Tässä artikkelissa keskitytään yksinomaan paine-erojen mittaustuloksiin, jotka on laajemmin raportoituna Kauppisen diplomityössä [1].

### 2. Tutkimuksen suoritus

Tutkimusta varten rakennettiin tietoa tallentavia paine-eron mittausyksiköitä, jotka lähettävät mittadatan aika-ajoin palvelimelle. Pitkä mittadata jaettiin jaksoihin, joista laskettiin tunnuslukuja keskenään vertailtaviksi. Tunnuslukuja olivat mitattujen tulosten lukumäärä, ali- ja ylipaineisten tulosten prosentuaalinen osuus, 0...-15 Pa mittaustulosten prosentuaalinen osuus (*kertymä*), 2,5 ja 97,5 % persentiilit (*ala- ja yläpersentiili*), minimi, maksimi, keskiarvo ja mediaani.

## 2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteet valittiin COMBI-hankkeen alkuvaiheessa. Kohteiden valinta aloitettiin ottamalla yhteyttä kaupunkien ja kuntien tilakeskusten päällikköihin, jonka jälkeen otettiin yhteyttä tilojen käyttäjiin ja rakennuksen huoltohenkilökuntaan. Rakennuksissa käytiin paikan päällä ennen lopullista valintaa. Kenttämittauskohteet sisälsivät päiväkoteja, kouluja ja palvelutaloja. Korttelitaloissa päiväkoti- ja koulutilat ovat samassa rakennuksessa. Taulukossa 1 listatut kohteet sijaitsivat Helsingissä, Tampereella, Kangasalalla, Lempäälässä, Pirkkalassa ja Nokialla. Valintakriteereistä ja valintaprosessista on saatavilla tarkempi kuvaus Pirhosen diplomityössä [2].

Taulukko 1. Kenttämittauskohteet.

Uudiskohteet	Kaupunki/kunta	Rakennusvuosi
Ruskeasuon päiväkoti	Helsinki	2015
Kulosaaren korttelitalo	Helsinki	2013
Korttelitalo Kanava	Helsinki	2012
Omenapuiston päiväkoti	Helsinki	2013
Kalasadaman korttelitalo	Helsinki	2015
Luhtaan päiväkoti	Tampere	2012
Vuores-talo	Tampere	2013
Koukkuniemi, impivaara vanhainkoti	Tampere	2013
Toivion koulu, laajennusosa	Pirkkala	2012
Kuljun koulu, laajennusosa	Lempäälä	2006
Koivurinteen koulu ja päiväkoti	Ruutana/Kangasala	2014
Liuksialan päiväkoti	Kangasala	2012
Korjauskohteet	Kaupunki/kunta	Peruskorjausvuosi (rakennusvuosi)
Vartiokylän yläaste	Helsinki	2012 (1962, 1965)
Sakara, päiväkoti	Helsinki	2012 (1971)
Myllypuron ala-aste	Helsinki	2013 (1966)
Keula, päiväkoti	Helsinki	2013 (1981)
Tilhi, päiväkoti	Helsinki	2015 (1976)
Koukkuniemi Jukola, vanhainkoti	Tampere	2011-2013 (1955)
Jussinkylän päiväkoti	Tampere	2014 (1980)
Koulunkadun päiväkoti	Tampere	2013 (1906)
Amurin päiväkoti	Tampere	2015 (1983)
Toivion koulu, vanha osa	Pirkkala	2012 (1958)
Puopuiston päiväkoti vanha osa	Nokia	2012 (1929)
Kuljun koulu, vanha osa	Lempäälä	2016 ja 2015 (1950-luku)

Mittalaitteita sijoitettiin eripuolille rakennusta, tiloja tutkittiin 1-10 kohteen koosta riippuen. Tutkitut tilat sijaitsivat pääosin ensimmäisessä maanpäällisessä kerroksessa. Mittauksissa keskityttiin tutkimaan ryhmä- ja luokkatiloja, mutta myös muissa tiloissa, kuten keittiössä ja liikuntasaleissa, tehtiin mittauksia. Paine-eromittareita sijoitettiin pääasiassa sekä tilan ylä- että alaosaan, jotta saatiin tietoa paine-eroista eri korkeuksilla. Poikkeuksena oli sellaiset tilat, joissa huonekorkeus tai tilan käyttö esti asentamisen sekä ylä- että alaosaan. Yhteensä paine-eron mittauspisteitä oli tutkimuksessa 53 kpl uudiskohteissa ja 47 kpl korjauskohteissa ja nämä sijaitsivat 53 eri tilassa.

## 2.2 Mittalaitteet ja mittadatan verifiointi

Paine-eron mittausyksiköt koottiin tutkimusryhmälle hankituista Raspberry Pi –tietokoneista, Honeywell:n HSCDRRN001ND2A3 -antureista ja Huaweiin GSM –modeemeista sekä muista pientarvikkeista. Paine-eromittaukseen käytettäviä antureita testattiin useilta eri valmistajilta ennen laitteistojen hankintaa ja valitut mittarit kalibroitiin ennen kenttämittausten aloitusta. Tarkempi kuvaus laitteistosta on saatavilla Pirhosen diplomityöstä [2].

Mittausyksiköt tallentavat dataa noin 5 minuutin välein sisäiselle muistille. Data suunniteltiin lähetettäväksi palvelimelle yhden viikon mittadatan sisältävissä tiedostoissa, mutta tutkimuksen edetessä GSM-modeemien vikaantumiset estivät tämän ja datan keruu tehtiin lopulta käsin.

Eri tavoin kerätyt mittadatat yhdistettiin ennen analysointia yhdeksi mittauspistekohtaiseksi tiedostoksi. Samalla tehtiin mittadatan verifiointia. Mittadatasta jätettiin epäluotettavia osuuksia pois; esimerkiksi ylä- ja alaosan mittadatoja verrattiin ja poikkeavien tulosten osalla tarvittaessa jätettiin toisen mittapisteen data pois jatkotutkimuksista. Analysointivaiheessa kuhunkin laskentaan sisällyntä mitattujen tulosten lukumäärää käytettiin luotettavuuden arviointiin; jos joissain mittapisteissä luku poikkesi merkittävästi muista mittapisteistä, tiedettiin mittadatassa olevan aukkoja, jotka heikentävät tuloksen luotettavuutta. Tarkempi kuvaus prosessista on kirjoitettu Kauppisen diplomityöhön [1].

## 2.3 Tunnusluvut

Luvussa 2 luetellut tunnusluvut laskettiin eri kausille:

- pitkä kausi 21.11.2016-8.7.2018
- käyttö- ja lomakausi talvella 12.-18.12.2016 ja 26.12.2016-1.1.2017
- käyttö- ja lomakausi kesällä 14.-20.5.2018 ja 4.-10.6.2018 tai 2.-8.7.2018

Kesällä lomakausia on kaksi, koska mittalaitteita alettiin kerätä pois kesän 2018 aikana.

Kouluissa lomakausi alkoi jo kesäkuun puolella ja siksi niistä anturit voitiin kerätä aiemmin, kun päiväkodeissa lomakausi alkoi vasta heinäkuussa.

Kausien sisällä tehtiin lisäksi rajauksia käyttötilanteiden mukaan. Haastattelujen perusteella valittiin sellaiset käyttötilanteet, jotka ovat useimmissa mittapisteissä varmasti käyttötilanteen kuvauksen mukaisia. Käyttötilanteet on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 1. Käyttötilanteiden kuvaukset

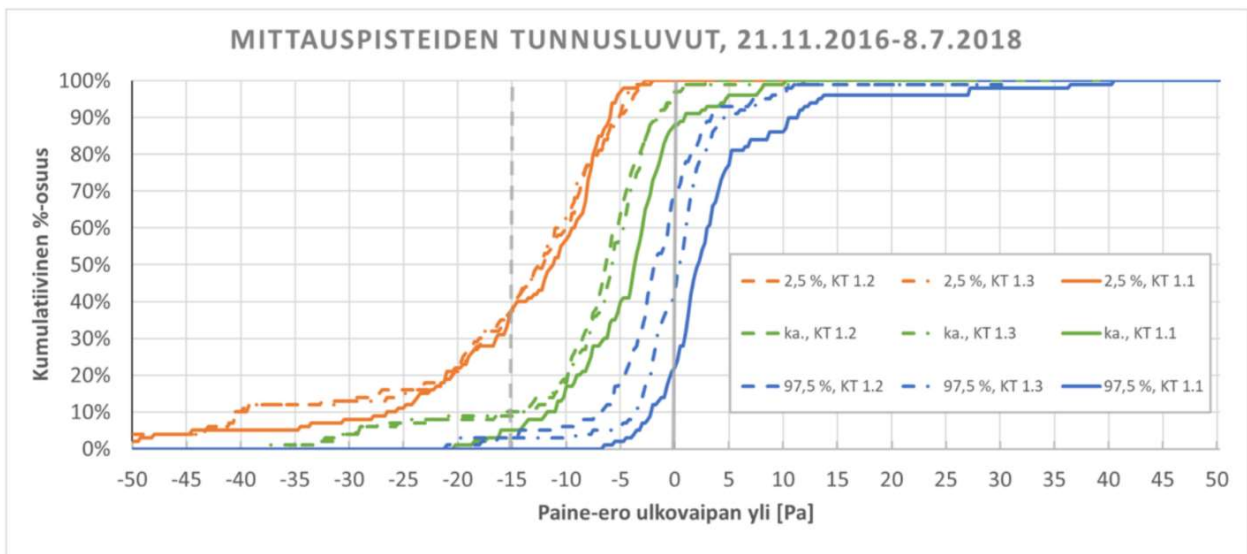
Käyttötilanne	Tunnus	Viikonpäivät	Kellonaikaväli
Koko kausi	KT 1.0	Ma-Su	24/7
Arkipäivän käyttötilanne	KT 1.1	Ma-Pe	10:00-14:00
Arkiyön käyttötilanne	KT 1.2	Ma-Pe	23:00-04:00
Viikonlopun käyttötilanne	KT 1.3	La-Su	24/7

## 3. Tulokset

Laajasta kenttämittausaineistosta voidaan laskea ulos paljon eri tunnuslukuja, joita voidaan lisäksi verrata ristiin. Tässä artikkelissa on keskitytty kuvaamaan eri mittapisteissä tehtyjen paine-eromittausten tilastollista jakaumaa.

### 3.1 Kaikki tilat

Kuvassa 1 on esitetty koko kaudelta lasketut eri käyttötilanteiden persentiilit ja keskiarvot kumulatiivisena kertymänä. Havaitaan esimerkiksi, että alapersentiili (2,5 %) on lähes kaikissa kohteissa alipaineinen. Lisäksi voidaan huomata, että arkipäivän käyttötilanteessa (KT 1.1) 90 % mittapisteistä on ollut keskimäärin alipaineisia ja vain alle 5 % on ollut keskimäärin alipaineisempia kuin -15 Pa. Arkiyön (KT 1.2) käyttötilanteet puolestaan ovat lähes säännönmukaisesti muita käyttötilanteita alipaineisempia ja tämä erottuu erityisesti yläpersentiilien (97,5 %) kohdalla. Vastaavasti arkipäivän käyttötilanteessa (KT 1.1) ylipaineisuus on yleisintä niin keskiarvojen kuin yläpersentiilinkin (97,5 %) osalta. Alapersentiileissä eri käyttötilanteiden väliset erot jäivät pieniksi, mutta arkipäivisin kaikista alipaineisimpien mittauspisteiden osuus vähenee.

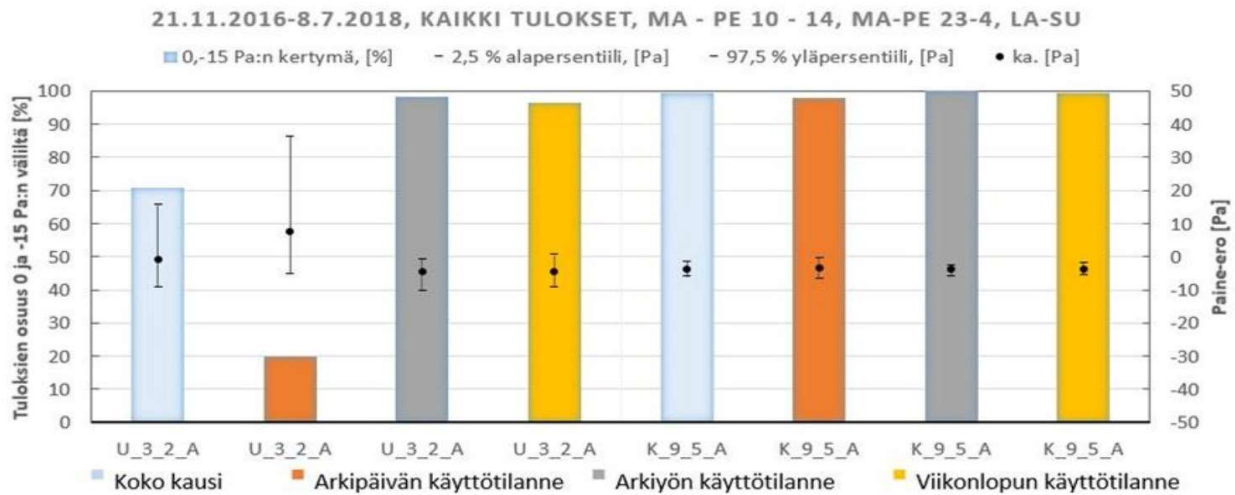


Kuva 1. Koko kaudelta lasketut eri käyttötilanteiden ylä- ja alapersentiilit sekä keskiarvot. Kolme vasemmanpuoleisinta käyrää edustavat 2,5 % persentiilejä (ala) eri käyttötilanteissa ja vastaavasti kolme oikeanpuoleisinta käyrää edustavat 97,5 % persentiilejä (ylä) eri käyttötilanteissa.

### 3.2 Tilakohtaisia tunnuslukuja

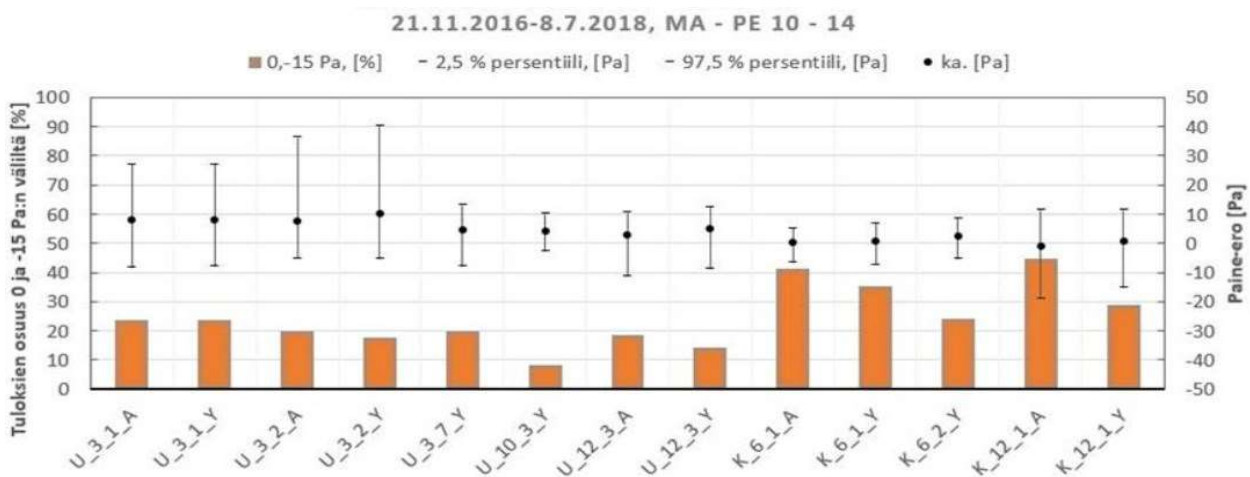
Tilakohtaista paine-eron jakaumaa koko kaudelta eri käyttötilanteissa on käsitelty seuraavaksi. Kuvan 2 pylväät kuvaavat paine-eron 0...-15 Pa välillä olevien mittaustulosten lukumäärää prosenttiosuutena (kertymä). Korkea pylväs siis on merkki paine-eron pysymisestä maltillisesti alipaineisena. Eri käyttötilanteet on erotettu toisistaan väreillä. Myös kuvassa 1 esitetyt eri tilojen paine-eron keskiarvot sekä ylä- ja alapersentiilit on nyt esitetty tilakohtaisesti pisteellä ja hajontajanalla.

Kuvassa 2 on esitetty kaksi eri tilaa, joiden jonkin käyttötilanteen kertymä on ollut yli 90 % ja paine-eron keskiarvo on pysynyt 0...-5 Pa välillä. Kuvasta voidaan havaita yleinen ilmiö; sekä kertymän että keskiarvon pysyminen esitetyissä rajoissa ei ole toteutunut arkipäivän käyttötilanteissa. Muissa käyttötilanteissa nämä ehdot täyttyivät yhteensä 23 tilan osalta.



Kuva 2. Kahden esimerkkitalan koko kauden paine-eron pysyvyys 0...-15 Pa välillä prosentteina mittaustuloksista (pylväät), paine-eron keskiarvot sekä ylä- ja alapersenttiilit (piste ja jana) eri käyttötilanteissa (tiloittain vasemmalta KT 1.0...1.3). Kuvan tiloissa vähintään yhden käyttötilanteen osalta pysyvyys on ollut yli 90% ja keskiarvo on ollut 0...-5 Pa välillä.

Tiloja, joissa kertymä on jäänyt alle 50 %:n joko yli- tai alipaineisuuden vuoksi oli arkipäivän käyttötilanteissa 8, arkiyön käyttötilanteessa 10 ja viikonlopun käyttötilanteessa 11. Kuvassa 3 on nähtävillä arkipäivän käyttötilanteessa kriteerin täyttävät tilat. Osassa tiloista on nähtävillä sekä ylä- että alaosan mittauspisteiden tunnusluvut. Kuvasta nähdään, että matala kertymä arkipäivisin on seurausta ylipaineisuudesta; matalan kertymän tiloissa paine-eron keskiarvo on pääosin nollan yläpuolella ja suurimmillaan jopa yli 10 Pa.



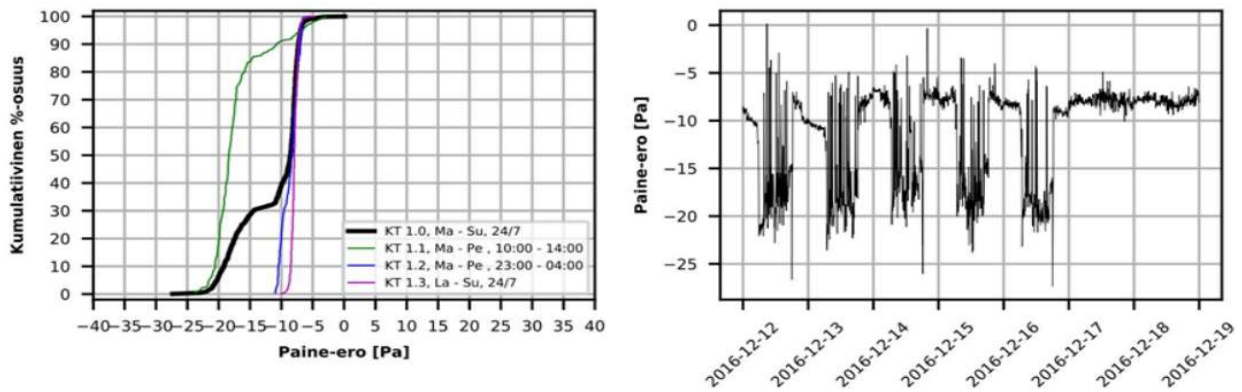
Kuva 3. Kahdeksan tilaa, joiden koko kauden arkipäivän käyttötilanteen paine-eron pysyvyys 0...-15 Pa välillä prosentteina mittaustuloksista (pylväät) on jäänyt alle 50 %:n. Lisäksi nähdään paine-eron keskiarvot sekä ylä- ja alapersenttiilit (piste ja jana).

### 3.3 Tilakohtaiset mittaustulokset

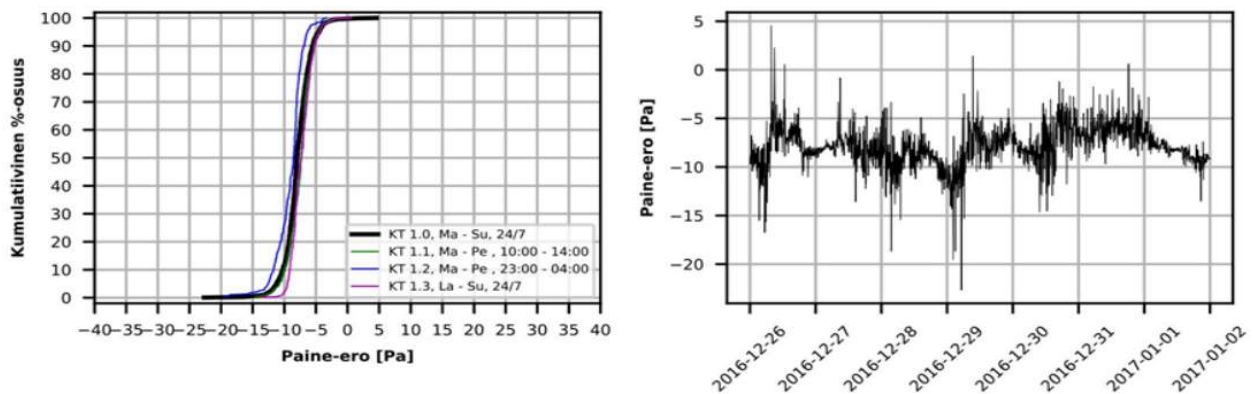
Mittauspistekohtaista vertailua on tehty eri ilmiöiden tunnistamiseksi. Kuvassa 4 on esitetty samasta mittapisteestä lasketut kertymäfunktioit talven 2016 käyttö- ja lomakauden viikon mittaisista mittadatoista. Kuvaajista voidaan havaita tuulisuuden aiheuttaman hajonnan kasvua paine-erossa lomakaudella 26.12.2016-1.1.2017. Lisäksi huomataan, että lomakaudella arkipäivän käyttötilanteen paine-ero ei eroa muista käyttötilanteista, kun käyttökaudella 12.12.-

18.12.2016 ero on merkittävä. Tämänkaltaista ilmanvaihdon selkeää muutosta loma- ja käyttötilanteiden välillä ei ollut havaittavissa kuin osassa kohteista.

### U\_12\_1\_A 12122016\_18122016



### U\_12\_1\_A 26122016\_01012017



Kuva 4. Käyttö- ja lomakauden erot erässä mittapisteessä. Ylemmässä käyttökauden arkipäivän käyttötilanteessa paine-erot ovat merkittävästi alipaineisempia kuin muissa käyttötilanteissa. Alipaineisuus poistuu lomakaudella.

## 4. Yhteenveto

Mittaustulosten perusteella löytyi paitsi paine-eroiltaan hallittuja, myös erittäin suuren paine-eron omaavia kohteita. Usein suuret alipaineisuudet johtuivat erillispoistoista, joita ei sammutettu pääilmanvaihdon sammutuksen yhteydessä. Monissa kohteissa paine-erot olivat arkipäivisin ylipaineisia ja muuna aikana alipaineisia. Merkittäviä eroja loma- ja käyttökausi- välillä ei löytynyt; suurempi vaikutus oli säätilan muutoksilla. Mittaustuloksista voidaan päätellä, että suurimmassa osassa kohteita ilmanvaihtoa tulisi säätää siten, että paine-erot ulkovaipan yli pysyisivät maltillisempina eri käyttötilanteissa.

## Lähdeluettelo

- [1] Kauppinen, A. 2018. Uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-erot ulkovaipan yli
- [2] Pirhonen, J. 2017. Sisäilman olosuhdemittaukset uusissa ja korjatuissa palvelurakennuksissa