Tommi Knuutinen

Jatkuvatoimisen olosuhdeseurannan hyödyntäminen päiväkotikiinteistöjen sisäilmaongelmien ennaltaehkäisemisessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusterveysasiantuntija (RTA)

Opinnäytetyö

31.1.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Tommi Knuutinen
Otsikko: Jatkuvatoimisen olosuhdeseurannan hyödyntäminen päiväkotikiinteistöjen sisäilmaongelmien ennaltaehkäisemisessä
Sivumäärä: 45 sivua
Aika: 31.1.2023

Tutkinto: Rakennusterveysasiantuntija (RTA)
Ohjaajat: Tommi Mäntykoski, Lehtori, Metropolia AMK
Piia Markkanen, Sisäilmakoordinaattori, Vantaan kaupunki

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka suuren osan käyttöajasta vantaalaiset päiväkodit täyttivät asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sekä sisäilmastoluokituksen tavoitearvot mitattujen sisäilman olosuhteiden osalta. Kymmenessä päiväkodissa mitattiin reilun vuoden aikana sisäilman lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta, suhteellista kosteutta sekä paine-eroa sisä- ja ulkoilman välillä. Raja- ja tavoitearvoina käytettiin asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja, sisäilmastoluokituksen tavoitearvoja sekä sisäisesti määritettyjä tavoitevaihteluvälejä niillä olosuhteilla, joille viranomainen tai muu ohjaava taho ei ole asettanut tarkkoja tavoitearvoja.

Tutkimustulosten perusteella asumisterveysasetuksen toimenpiderajat täyttyivät pääasiassa hyvin. Hiilidioksiditasot olivat jatkuvasti toimenpiderajan alapuolella, ja sisäilmastoluokitukseen verrattuna tulokset olivat pääsääntöisesti luokissa S2 ja S1. Kesäkaudella sisäilman lämpötila pysyi niin ikään toimenpiderajojen sisäpuolella, mutta lämmityskausilla lämpötilat tippuivat paikoin toimenpiderajan alapuolelle. Sisäilman suhteellinen kosteus oli pääasiassa tavoitevaihteluvälin sisällä, mutta lämmityskausilla suhteellisen kosteuden havaittiin laskevan paikoin sen alapuolelle. Paine-eromittausten perusteella suurin osa kiinteistöstä oli pääsääntöisesti tavoitevaihteluvälin sisällä. Paine-eron vaihteluväli vaihteli paljon kiinteistöjen välillä.

Rakennuksen ikä vaikuttaa sisäilman olosuhteiden pysyvyyteen. Vuoden 2000 jälkeen rakennetut päiväkotikiinteistöt täyttävät tavoitearvot ennen vuotta 2000 rakennettuja kiinteistöjä useammin. Poikkeama tästä oli sisäilman suhteellinen kosteus, vanhempi kiinteistökanta oli tavoitevaihteluvälissä 5 prosenttiyksikköä uutta rakennuskantaa kauemmin.

Avainsanat: sisäilma, sisäilmaongelma, olosuhde, olosuhdeseuranta, lämpötila, hiilidioksidi, suhteellinen kosteus, paine-ero

Abstract

Author:	Tommi Knuutinen
Title:	Utilization of continuous indoor climate monitoring in prevention of indoor air problems in day care properties
Number of Pages:	45 pages
Date:	31 January 2023
Degree:	Building Health Expert
Instructors:	Tommi Mäntykoski, Lecturer, Metropolia AMK Piia Markkanen, Indoor air coordinator, City of Vantaa

---

The purpose of this thesis was to find out how much of the time of use Vantaa day-care centers met the target limits for indoor air conditions set in publications “Decree of the Ministry of Social Affairs and Health on Health-related Conditions of Housing and Other Residential Buildings and Qualification Requirements for Third-party Experts” and “Classification of Indoor Environment 2018”. In ten day care properties, the indoor air temperatures, carbon dioxide concentrations, relative humidity and pressure difference between the indoor and outdoor air were measured over a period of a year. Internally determined target limits were used for the indoor air conditions for which the authority has not set other target limits.

Based on the thesis research, the target limits of the Finnish housing health ordinance are mostly met well. The carbon dioxide levels were constantly below the target limits, and when compared to the indoor environment classifications, the results mostly met the requirements for categories S2 and S1. In the summer season, the indoor air temperature also remained within the target limits, but during the heating season the indoor air temperatures dropped below those limits on some occasions. The relative humidity of the indoor air was mainly within the target range but during the heating seasons the relative humidity was found to fall below it. Based on the pressure difference measurements, most of the properties were generally within the target range. The differential pressure range varies greatly between properties.

The age of the building affects the stability of the indoor air conditions. Day care properties built after the year 2000 meet the target values more often than properties built before year 2000. The only deviation from this was the relative humidity of the indoor air, where the older building stock met the target limits longer than the new building stock.

Keywords: indoor air, indoor air problem, indoor climate, indoor climate controlling, air temperature, carbon dioxide, relative humidity, pressure difference

Sisällys

1 Johdanto 6

2 Määräykset ja tavoitearvot 7

2.1 Asumisterveysasetus 7
2.2 Sisäilmastoluokitus 8

3 Tarkasteltavat sisäilman olosuhteet 9

3.1 Lämpötila 9
3.1.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus 12
3.2 Hiilidioksidi 15
3.2.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus 15
3.3 Suhteellinen kosteus 17
3.3.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus 19
3.4 Paine-ero 20
3.4.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus 21

4 Aineisto ja mittaukset 21

4.1 Mittausaika 21
4.2 Mittalaitteet ja ohjelmisto 22
4.3 Kohteet 23
4.4 Mittauspisteiden sijoittelu 24
4.5 Tulosten kerääminen 24
4.6 Epävarmuustarkastelu 25

5 Tulokset 26

5.1 Sisäilman lämpötila 27
5.2 Sisäilman hiilidioksidi 30
5.3 Sisäilman suhteellinen kosteus 32
5.4 Paine-ero 33
5.5 Rakennusajankohdan vaikutus sisäolosuhteisiin 34

6 Johtopäätökset 38

6.1 Lämpötila 38
6.2 Hiilidioksidi 39

6.3 Suhteellinen kosteus 40
6.4 Paine-ero 40
6.5 Rakennuksen iän vaikutus sisäolosuhteisiin 41
7 Pohdinta 42
8 Tulosten hyödynnettävyys 43
9 Loppusanat 44
Lähteet 46

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella, kuinka suuren osan käyttöajasta Vantaan kaupungin päiväkotien sisäilman pysyvät asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen ja sisäilmastoluokituksen tavoitearvojen sisällä. Tarkasteltavat olosuhteet olivat sisäilman lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidipitoisuus sekä paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä. Ohjearvoina käytettiin asumisterveysasetuksen 2015 toimenpiderajoja sekä Sisäilmastoluokituksen 2018 luokkien S1, S2 ja S3 tavoitearvoja. Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron tavoitearvona käytettiin Vantaan kaupungin sisäilma-asiantuntijoiden sisäisesti määrittelemää tavoitevaihteluväliä +5…-10 Pascalia, mikä on tavoitteena myös rakennusten paine-erojen mittausohjeessa. Sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitevälinä pidettiin Asumisterveysohjeessa 2003 esitettyä suositusta 20…60 RH% [1].

Tarkasteltavana oli kymmenen päiväkotia. Ensimmäisissä päiväkodeissa olosuhdeseuranta oli aloitettu syyskuussa 2021. Tämän jälkeen olosuhdeseuranta asennettiin uusiin kiinteistöihin aina tarpeen mukaan. Tässä opinnäytetyössä tarkastelen olosuhdedataa aikaväliltä 9. syyskuuta 2021–23. joulukuuta 2022. Sisäilman olosuhdemittaukset on jaettu kolmeen tarkastelujaksoon – kahteen lämmityskauteen sekä yhteen lämmityskauden ulkopuoliseen kauteen.

Jatkuvatoimista olosuhdeseurantaa käytetään Vantaan kaupungilla sisäilmaongelmia ennaltaehkäisevässä toiminnassa, ennakoivassa kiinteistönhoidossa sekä korjausten onnistumisen seurannassa. Seurantakohteet ovat valikoituneet Vantaan kaupungin sisäilma-asiantuntijoiden tekemien asiantuntija-arvioiden kautta osana jokapäiväistä työtä. Yhtään järjestelmää ei ole siis asennettu pelkästään tätä opinnäytetyötä varten. Yksittäisissä päiväkodeissa mitataan myös melua sekä sisäilma TVOC-pitoisuuksia, mutta näiden mittausten tuloksia ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä. Olosuhdeseurannan lisäksi järjestelmän kautta kerätään palautetta myös tilankäyttäjiltä, mutta näidenkin tulosten läpikäyminen on jätetty tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 Määräykset ja tavoitearvot

2.1 Asumisterveysasetus

Terveydensuojelulain mukaan asunnon ja muiden sisätilojen sisäilman puhtaus, lämpötila, kosteus, melu, ilmanvaihto, valo, säteily tai muut vastaavat olosuhteet eivät saa olla sellaiset, että niistä aiheutuu terveyshaittaa asunnossa tai muissa sisätiloissa oleskeleville [2]. Terveydensuojelulain nojalla Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksen (545/2015) asunnon tai muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista ja ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyydestä, myöhemmin Asumisterveysasetus [3].

Asumisterveydellä tarkoitetaan asuntojen, päivähoito- ja koulutilojen, oppilaitosten, lastenkotien, vanhainkotien ja muiden vastaavien julkisten tilojen terveydellisiä olosuhteita. Näillä terveydellisillä olosuhteilla tarkoitetaan asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia olosuhteita. [3]

Sosiaali- ja terveysministeriön lupaviranomainen Valvira on laatinut asumisterveysasetukselle viisiosaisen soveltamisohjeen, jossa annetaan yksityiskohtaisia tulkintoja ja käytännön esimerkkejä asetuksen soveltamiseen. Soveltamisohjeessa on kerrottu niin ikään ulkopuolisen asiantuntijan pätevyysvaatimukset. Soveltamisohje on tarkoitettu varsinkin kuntien terveydensuojeluviranomaisille sekä muille alan ammattilaisille. [3] Sisätilojen olosuhteista lämpötilan ja hiilidioksidin toimenpiderajat on esitetty Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osassa I.

Ennen Valviran laatimia soveltamisohjeita käytössä oli Sosiaali- ja terveysministeriön vuonna 2003 julkaisema Asumisterveysohje, jonka aineisto oli niin ikään tarkoitettu terveydensuojeluviranomaisen käyttöön auttamaan sisäilman olosuhteiden terveydellisen vaikutuksen arviointiin asuntotarkastuksissa. Opasta voitiin soveltaa kuitenkin myös muiden oleskelutilojen, kuten hoito- ja oppilaitosten terveydellisten olojen arviointiin. Oppaassa on esitetty kemiallisten ja mikrobiologisten epäpuhtauksien määriä sekä sisäilman fysikaalisia oloja kuvaavia lukuja, mutta esitettyjä määriä tai lukuja ei voitu pitää sitovina. [1]

Terveydensuojelulaissa säädetään, että mikäli haitta on olemassa ja se johtuu rakennuksen rakenteista, eristeitä tai rakennuksen perusjärjestelmistä, on vastuu haitan poistamisesta tällöin rakennuksen omistajalla, ellei muualla laissa ole toisin säädetty. Toimenpiteisiin haitan ja siihen johtaneiden tekijöiden selvittämiseksi, poistamiseksi ja rajoittamiseksi on terveydensuojelulain mukaan ryhdyttävä välittömästi. Jos terveyshaitta johtuu kuitenkin asunnon tai muun tilan tavanomaisesta poikkeavasta käytöstä, on terveyshaitan poistamisen vastuu tällöin asunnon tai oleskelutilan haltijalla. [2]

Terveydensuojeluviranomainen voi joissain tapauksissa rajoittaa tai jopa kieltää asunnon ja muun oleskelutilan käyttöä, mikäli terveyshaitan epäillään aiheuttavan välitöntä vaaraa eikä haittaa voida korjata. Käyttöä voidaan rajoittaa myös silloin, jos terveydensuojeluviranomaisen aikaisempaa määräystä haitan poistamiseksi ei ole noudatettu eikä muita lain mukaisia toimenpiteitä voida pitää riittävinä. [2]

2.2 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokituksen uusin versio on Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäilmastoluokitusta käytetään rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa ja urakoinnin tavoitteena, kun on tarkoitus rakentaa sisäympäristöltään entistä viihtyisimpiä, turvallisempia ja terveellisempiä rakennuksia. Sisäilmastoasiat otetaan rakennushankkeessa huomioon samalla tavalla kuin muutkin toiminnalliset vaatimukset: rakennuttaja valitsee tavoitetason ja suunnittelijat laativat suunnitelmat siten, että valittu tavoitetaso saavutetaan. Urakoitsijat toteuttavat ratkaisut suunnitelmien mukaisesti ja tavoitetasojen täyttyminen varmistetaan valvomalla toteutusta. Valittu luokitus ohjaa suunnittelua ja rakentamista jokaisessa rakennushankkeen vaiheessa. Luokitus on tarkoitettu pääasiassa uudisrakentamiseen, mutta sitä voidaan soveltuvin osin käyttää myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastoluokituksen käyttö on täysin vapaaehtoista eikä se ole viranomaisohje tai tulkinta sellaisesta. [4]

Sisäilmastoluokituksen ensimmäisessä luvussa käsitellään sisäilman lämpöolosuhteiden-, ilman epäpuhtauksien-, ääniolosuhteiden- sekä valaistusolosuhteiden tavoitearvoja. Sisäilmastoluokituksen tavoitetasot kuvaavat nykytiedon mukaan terveyden ja viihtyisyyden kannalta turvallisia, viranomaisvaatimuksia korkealaatuisempia sisäilmasto-olosuhteita. [4]

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen luokkaan: laatuluokkiin S1, S2 ja S3, joista S1 on laadultaan korkein:

- Luokka S1 on yksilöllinen sisäilmasto, eli sisäilma laatu on erittäin hyvä. Lämpöolot ovat viihtyisät ja lämpöolosuhteita sekä valaistusta pystytään säätämään yksiköllisesti eikä tilojen ylilämpenemistä esiinny. Luokkaan S1 ei Suomessa vallitsevien sääolosuhteiden takia periaatteessa päästä ilman sisätilojen koneellista jäähdyttämistä.
- Luokkaa S2 voidaan pitää hyvänä sisäilmaston tasona, jossa sisäilman laatu on hyvä ja siinä ei esiinny epäpuhtauksia, mutta tilojen ylilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä.
- Luokkaa S3 voidaan pitää tyydyttävänä sisäilmaston tasona, joka vain täyttää maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveydensuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. [4]

3 Tarkasteltavat sisäilman olosuhteet

3.1 Lämpötila

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan huoneilman lämpötilan on sovelluttava asumiseen ja oleskeluun eikä se saa myöskään aiheuttaa huoneilman kosteuden tiivistymistä rakenteisiin tai niiden pinnoille. Lämpötila vaikuttaa niin asuinviihtyvyyteen kuin suorien terveyshaittojen syntymiseen. Näiden lisäksi huoneilman lämpötilalla on vaikutus rakenteiden kosteus- ja lämpöteknisen toimivuuteen ja tätä kautta välillisesti syntyviin terveyshaittoihin. [5]

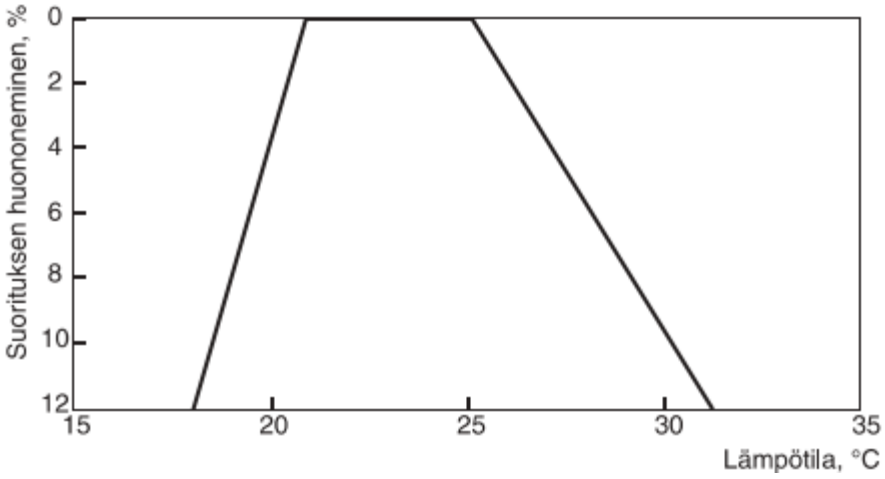
Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) koskee uuden rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamista. Asetuksen mukaan huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään lämmityskaudella 21 celsiusastetta. Huonelämpötilan hallintaa suunnitellessa lämpötila voi vaihdella lämmityskaudella 20–25 celsiusasteen välillä ja lämmityskauden ulkopuolelle 20–27 asteen

välillä. Asetuksen arvoista voidaan poiketa vain erityisiä lämpötiloja vaativien toimintojen tai tilojen suunnittelussa. [6]

Ympäristöministeriön asetus (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelusta ja rakentamisesta kertoo huonelämpötilasta myös seuraavasti:

> Rakennuksen huonelämpötilan on oltava suunniteltuna käyttöaikana viihtyisä, eivätkä ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot ja pintalämpötilat saa sitä heikentää. [6]

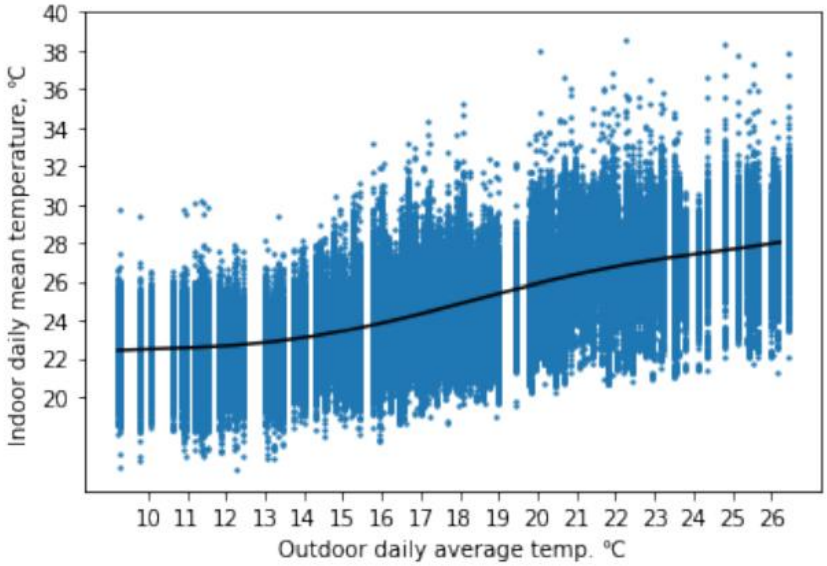
Liian korkea tai liian matala sisäilman lämpötila voi aiheuttaa erilaisia oireita ja lisätä epäviihtyvyyttä. Matala lämpötila aiheuttaa mm. vedon tuntemusta, kun taas liian korkea lämpötila lisää kuivuuden ja tunkkaisuuden tunnetta sekä aiheuttaa väsymystä. Liian korkean lämpötilan aiheuttama elimistön kuormitus on verrattavissa raskaaseen ruumiilliseen työhön. Lämpöolot vaikuttavatkin merkittävästi työnteon tuottavuuteen. Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty lämpötilan ja työn tehokkuuden heikkenemisen suhde. [7] Kuvasta nähdään, että työn tehokkuus heikkenee lämpötilan ollessa yli +25 °C tai alle +21 °C.



Kuva 1 Lämpötilan ja toimistotyöntekijän suorituskyvyn välinen riippuvuus [7].

RAIL-hankkeen loppuraportissa on todettu, että päivittäinen sisälämpötila on yhteydessä päivittäiseen ulkolämpötilaan (ks. kuva 2). Tarkastelussa mukana olleiden kerrostaloasuntojen välillä on suuria eroja niiden sisälämpötiloissa

helleaaltojen aikana, mutta myös jo ennen niitä. Kaikkien asuntojen lämpötila kuitenkin kohoaa helleaaltojen alkaessa, ja laskevat ulkoilman lämpötilan laskiessa. Sisälämpötilojen nousu ja lasku tapahtuu viiveellä ulkoilman lämpötilan muutokseen nähden. [8]



Kuva 2. Ulkolämpötilan yhteys sisälämpötilaan kesän 2021 aikana Helsingissä [8]

Lämpöoloihin voidaan vaikuttaa suunnittelu- ja rakennusvaiheessa erilaisilla taloteknisillä ratkaisuilla, rakennesuunnittelulla sekä arkkitehtuurisin keinoilla. Myös ns. passiiviset lämmönsäteilyn vähentämisen keinot kuten ikkunoiden lämmöneristävyys, ikkunoiden suuntaus ja mekaaniset aurinkosuojaukset kuten kaihtimet vähentävät ulkopuolelta tulevan lämpösäteilyn määrää. [7]

Uusi tutkimustieto vahvistaa jo olemassa olevaa tietoa siitä, että passiivisilla auringonsuojaratkaisuilla ja tuuletusikkunoiden käytöllä voidaan vähentää tilojen ylilämpenemistä merkittävästi ja kustannustehokkaasti. Uuden tutkimuksen mukaan äärimmäisen kuuman hellekesän aikana nämäkään keinot eivät kuitenkaan riitä yksistään takaamaan viihtyisiä lämpööloja vaan tarvitaan aktiivisia jäähdytyskeinoja. Passiivisella aurinkosuojauksella ja aktiivisella jäähdytyksellä pystytään tilojen ylilämpenemin estämään myös tulevaisuuden ilmastoskenaarioissa. [8]

3.1.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisäilman lämpötilalle on esitetty alla olevassa kuvassa 3. Asetuksen mukaan lämmityskauden ulkopuolella päivähoitopaikkojen, oppilaitosten ja muiden vastaavien tilojen sisäilman lämpötilan tulee olla yli +20 °C, mutta lämpötila ei saa kuitenkaan nousta yli +32 °C. Lämmityskaudella sisäilman lämpötilan tulee niin ikään olla yli +20 °C, mutta lämpötila ei saa nousta yli +26 °C. Vanhuksille ja heikkokuntoisille tarkoitetuissa tiloissa toimenpideraja on tiukempi kuin hyväkuntoisille tarkoitetuissa tiloissa vanhuksien ja heikkokuntoisten ollessa suuremmassa riskissä korkeiden lämpötilojen aiheuttamille haittavaikutuksille. Niissä sisäilma lämpötilan toimenpiderajat lämmityskaudella ovat samat kuin edellisessä, mutta lämmityskauden ulkopuolella lämpötila ei saa nousta yli +30 °C.

	Lämpötilojen toimenpiderajat	*Lämpötila-indeksi TI*
Asunnossa		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

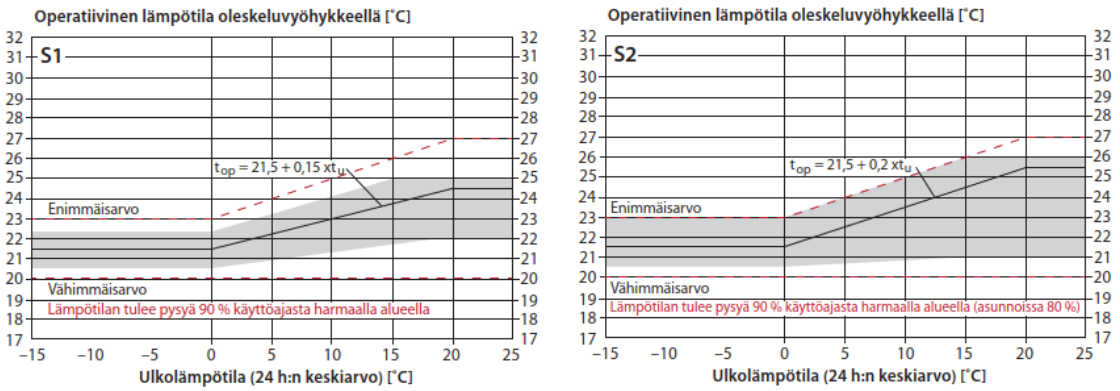
Kuva 3. Lämpötilojen toimenpiderajat Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osan I mukaan [5]

Sisäilmastoluokituksen mukaiset lämpötilan tavoitearvot on esitetty alla olevassa kuvassa 4. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat on merkattu suluissa. Kuvasta nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen täyttäminen ei vielä takaa sisäilmastoluokituksen mukaista hyvää sisäilmaston tasoa.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 [1]	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ [1]	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 [1]	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$< 22,5 + 0,166 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$> 20,5 + 0,075 \times t_u$	$> 20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$< 23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) [2]
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) [2]
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) [2]
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Kuva 4. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa Sisäilmastuoluokitus 2018 mukaan. [4]

Ulkolämpötilan ollessa alle 0 °C tai yli 15 °C/20 °C käytetään rajoina taulukon mukaisia staattisia arvoja. Muutoin käytetään ulkoilman lämpötilasta riippuvaista laskennallista arvoa. Luokissa S1 ja S2 lämpöolosuhteiden pysyvyys käyttöajasta (%) toimi- ja opetustiloissa tulee olla 90 % käyttöajasta. Luokassa S3 olosuhteiden pysyvyydelle ei ole asetettu vastaavaa vaatimusta. Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty operatiivisen lämpötilan kuvaajat luokissa S1 ja S2.



Kuva 5. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot, tummennettu alue kuvaa tavoitearvoaluetta (tavoitelämpötila + lämpötilan sallittu vaihteluväli) [4]

3.2 Hiilidioksidi

Rakennuksen ilmanvaihdon riittävyyttä käyttöön nähden voidaan arvioida sisäilman hiilidioksidipitoisuuden perusteella, koska sisäilman hiilidioksidi on pääasiassa ihmisperäisestä toiminnasta aiheutuvaa. Sisäilmastoluokituksen sisäilman hiilidioksidin tavoitearvot koskevatkin vain ihmisperäistä hiilidioksidia. [4] Ihminen tuottaa täydessä levossa noin 0,2 litraa ja maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa noin 2,5–3,0 litraa hiilidioksidia minuutissa [9].

Ilmanvaihdon tarkoitus on tuoda raikasta ja puhdasta ilmaa sisätiloihin sekä poistaa sisäilmaan kertyviä epäpuhtauksia, kuten hiilidioksidia. Riittämättömän ilmanvaihdon takia hiilidioksiditasot voivat nousta ajoittain korkealle. Hiilidioksidipitoisuudet voivat nousta korkealle esim. opetuksen aikana luokkahuoneissa, päiväkotien lepohuoneissa päiväunien aikaan tai yön aikana asuntojen makuuhuoneissa. Suurina pitoisuuksina hiilidioksidi voi aiheuttaa väsymyksen tunnetta, päänsärkyä ja työskentelytehon huononemista. [10] Hiilidioksidipitoisuuksien nousun takana on yleensä riittämätön ilmanvaihto.

3.2.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus

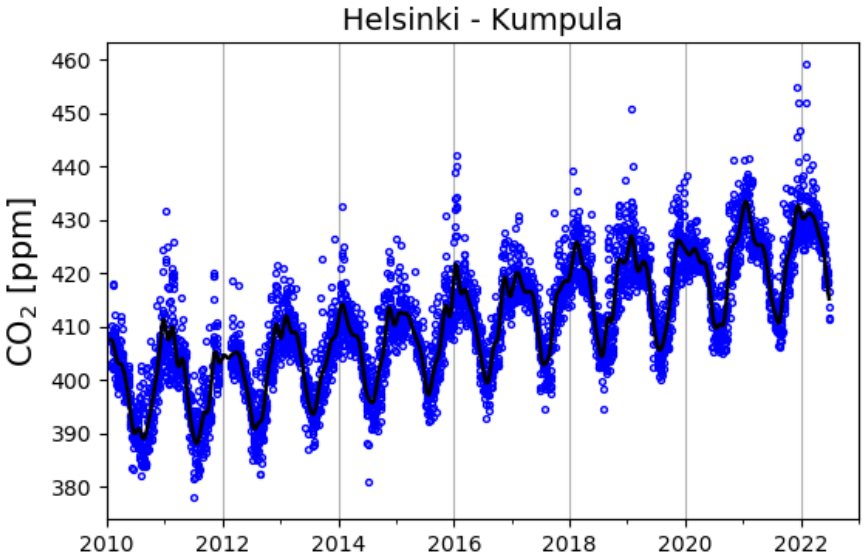
Asumisterveysasetuksessa sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi on säädetty pitoisuus, joka on 2100 mg/m^3 tai 1150 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Pitoisuus vastaa ilmanvaihtoa, joka on keskimäärin 4 l/s henkilöä

kohden. Toimenpiderajaa tarkastellessa on hyvä ottaa huomioon, että kyseisessä pitoisuudessa hiilidioksidi ei aiheuta terveyshaittaa. [5] Sosiaali- ja terveysministeriö on vuonna 2020 julkaisemassaan julkaisussa asettanut hiilidioksidin HTP-arvoksi työpaikoilla 5 000 ppm. [11]

Sisäilmastoluokituksen mukaiset sisäilman hiilidioksidipitoisuusrajat ovat:

- sisäilmastoluokassa S1 350 ppm + ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (= noin 750 ppm)
- sisäilmastoluokassa S2 550 ppm + ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (= noin 950 ppm)
- sisäilmastoluokassa S3 800 ppm + ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (= noin 1200 ppm). [4]

Mikäli ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta ei voida mitata tai sitä ei tunneta, niin sen arvona voidaan käyttää 400 ppm [4]. Alla olevasta kuvasta 6 nähdään ilmatieteenlaitoksen Helsinki-Kumpula mittausaseman ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu usean vuoden ajalta päiväkeskiarvona. Mitattu hiilidioksidipitoisuus vaihtelee välillä 380–440 ppm ollen aina talvisin muita vuodenaikoja korkeammalla. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kasvaa noin 2 ppm vuodessa. [12]



Kuva 6. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu Helsingin Kumpulan mittauspisteellä viime vuosikymmenen aikana [12]

3.3 Suhteellinen kosteus

Ilmassa on aina jonkin verran vesihöyryä eli kosteutta. Sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta ja sisäilman kosteuslisästä. Ilman vesihöyryn määrään vaikuttaa suuresti lämpötila: mitä lämpimämpää on, sitä enemmän siihen voi olla sitoutunut kosteutta, kun taas kylmään ilmaan kosteutta sitoutuu vähemmän. Suhteellinen kosteus kertoo, miten lähellä ilman absoluuttinen kosteus on maksimikosteutta. Se on siis ilman absoluuttisen kosteuden suhde kylläiseen höyryn kosteuteen vallitsevassa lämpötilassa alla olevan kaavan mukaisesti. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina [%RH] ja ilman absoluuttinen kosteus grammoina ilmakuutiometriä kohden [g/m3]. [13]

$$RH = \frac{p}{p_{kyll}} \times 100\%$$

Talvella suomessa ulkoilman absoluuttinen kosteus on pieni. Samalla sen suhteellinen kosteus on kuitenkin korkeampi kuin kesäisin. Syynä on se, että pakkasilmaan mahtuu huomattavasti vähemmän kosteutta kuin lämpimään ilmaan. Kun kylmää ulkoilmaa tuodaan sisälle ja lämmitetään normaalin huonelämpötilan tasolle, niin ilman suhteellinen kosteus laskee erittäin alas, sillä sisäilman lämpimän ilman kosteuskapasiteetti on kylmää ulkoilmaa huomattavasti korkeampi. [13]

Talvisin Suomessa sisäilman suhteellinen kosteus voi laskea lämmitetyissä tiloissa hyvinkin alas 10…20 %:iin aiheuttaen erinäköisiä ärsytysoireita, kuten limakalvojen ja silmien kuivumista [7]. Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty

absoluuttisen kosteuden arvoja suhteessa suhteelliseen ilmankosteuteen eri lämpötiloissa.

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m3					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

Kuva 7. Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus ilman lämpötilan suhteen. [14]

Kun ilma jäähtyy riittävästi kasvaa sen suhteellinen kosteus lähelle 100 %: a. Kun suhteellinen kosteus nousee 100 %:in saavutetaan ns. kastepiste, jolloin ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy nesteeksi. Ilmiö voidaan nähdä, kun ikkunapinnoille tiivistyy kosteutta. Sama ilmiö tapahtuu myös muualla rakenteissa, kun sisäilman kosteus pyrkii tasoittumaan ulkoilman kanssa ja lopulta tiivistyy nesteeksi kylmään rakennekerrokseen kosteuden törmättyä lämpötilaan, jossa kastepiste saavutetaan.

Tampereen yliopiston vuonna 2019 tekemässä tutkimuksessa selvitettiin koulujen ja päiväkotien sisäilman kosteuslisää. Tutkimuksen perusteella näiden rakennusten kosteuslisä on lähellä nollaa. [15] Koska mikrobikasvun riski rakenteissa ja niiden pinnoilla nousee, kun sisäilman kosteuslisä on enemmän kuin 3–4 g/m^3, sisäilman kosteuslisä ei tutkimuksen perusteella näyttäydy suurena ongelmana päiväkotikiinteistöissä. Toisaalta asunnoissa, joissa on heikko ilmanvaihto ja paljon kosteutta lisäävää toimintaa on kosteuslisän vaikutus suurempi.

Bakteerien ja homeiden kasvun kannalta oleellisia tekijöitä ovat kasvualustan kosteus ja lämpötila, ei niinkään huoneilman olosuhteet. Vähimmäiskosteus homekasvulle rakennusmateriaaleilla on noin 75…80 %. Hyvin homehtumisherkillä materiaaleilla kasvu voi alkaa, kun suhteellinen kosteus saavuttaa jo RH 65…70 %, jos lämpötila on suotuisa. [16] Yleensä rakennuksista löytyy aina mikrobikasvulle sopivaa ravintoa ja soveltuva lämpötila, joten kosteuden merkitys mikrobikasvun syntymiselle on kriittinen. Sisäilman laatuun vaikuttavien tekijöiden, kuten mikrobikasvun, pölypunkkien lisääntymisen tai kemiallisten vuorovaikutusten voimakkuus on pienimmillään ns. optimialueella ilman suhteellisen kosteuden ollessa 30…55 %RH. [17]

3.3.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus

Asumisterveysasetuksessa ei ole säädetty suhteelliselle kosteudelle tarkkoja rajoja. Aiemmassa Asumisterveysohjeessa sisäilman suhteellisen kosteuden suositusarvona on kuitenkin käytetty 20…60 % [1]. Huoneilman suhteellinen kosteus riippuu suuresti ulkoilman kosteudesta ja rakennuksessa tapahtuvasta toiminnasta, josta aiheutuu kosteuslisää (pyykkien peseminen ja kuivattaminen, suihkussa käyminen, ruoan laitto). Soveltamisohjeessa on korostettu, että kosteuslisän ollessa enemmän kuin 3–4 g/m3, mikrobikasvun riski rakenteissa ja niiden pinnoilla nousee [5].

Sisäilmastoluokituksessa sisäilman suhteellisesta kosteudesta kirjoitetaan seuraavasti:

> Ilman suhteelliselle kosteudelle ei ole annettu tavoitearvio, koska se voi pakkashuippujen aikana laskea hyvinkin alhaiseksi. Mahdollista paikallista kostutusta käyttäessä ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alla 60 %, eikä kostutus saa aiheuttaa kosteus- ja mikrobivaurioiden riskiä. [4]

Myöskään Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 ei anna selkeitä raja-arvoja sisäilman kosteudelle:

> Sisäilman kosteuden on pysyttävä tilojen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa sisäilman kosteudesta aiheutuvia

kosteusvaurioita, mikrobien kasvua tai terveydellistä haittaa välttäen. [6]

Aiempien suositusarvojen ylittämistä ei voida pitää terveyshaittana, mutta oikeissa olosuhteissa liian suuri sisäilman suhteellinen kosteus aiheuttaa mikrobikasvun riskin rakenteiden sisäpinnoilla sen kylmimmissä kohdissa. Huoneilman suhteellinen kosteus ei saa siis olla pitkäkestoisesti niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa tai niiden pinnoille mikrobikasvun riskiä. [5]

Tarkkojen tavoitearvojen puuttuessa on Vantaan kaupungin sisäilma-asiantuntijat määrittäneet mittauksille oman tavoitetason. Tavoitetasoksi on määritetty aikaisemmin käytetty tavoitetaso 20…60 %RH [1].

3.4 Paine-ero

Paine-erolla tarkoitetaan tässä tapauksessa rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välistä paine-eroa. Paine-eron suuruus johtuu useista tekijöistä, kuten rakennuksen vaipan ilmanpitävyydestä sekä tulo- ja poistoilmavirtojen erosta. Mikäli rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmavirrat eivät ole yhtä suuria, ilmanvaihto synnyttää jatkuvan yli- tai alipaineen Hetkellisesti voi esiintyä myös sääolosuhteista kuten tuulesta aiheutuvia suuria paine-eropoikkeamia.

Kun sisätila on ylipaineinen ulkoilmaan nähden, on sisäilman kosteudella riski tiivistyä rakenteisiin ja niiden pinnoille. Tämä lisää riskiä rakenteiden kosteusvaurioille. Suuri alipaine taas lisää hallitsemattomia vuotoilmavirtauksia sisäilmaan. Ilmavirtausten mukana rakenteista ja maaperästä voi kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan. Rakenteiden läpi tapahtuvan vuotoilmavirtauksen tulisi olla mahdollisimman vähäistä. [5,18] Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osan I mukaan rakennuksen käytön ulkopuolisen ajan ilmanvaihdon tulee olla sellainen, että sisäilmaan ei kerry haitallisessa määrin rakennus- ja sisustusmateriaaleista tai muista lähteistä vapautuvia tai muualta rakenteista kantautuvia epäpuhtauksia. [5]

3.4.1 Toimenpiderajat ja sisäilmastoluokitus

Asumisterveysasetuksessa ei ole asetettu toimenpiderajoja rakennuksen sisäilman ja ulkoilman väliselle paine-erolle. Asetuksessa kuitenkin sanotaan, että mikäli alipaineisuus on yli 15 Pascalia, niin alipaineisuuden syy tulee selvittää ja ilmanvaihtoa tasapainottaa mahdollisuuksien mukaan. [5] Myöskään sisäilmastoluokituksessa ei ole asetettu paine-eron tavoitearvoja.

Tarkkojen toimenpiderajojen puuttuessa Vantaan kaupungin tekemissä jatkuvissa paine-eroseurannoissa on päätetty käyttää tavoitevaihteluväliä +5…-10 Pascalia. Tämä vaihteluväli on esitetty myös ympäristöministeriön toimeksiantona toteutetussa A-insinöörien julkaisussa Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti (2019), liite 3 paine-eron maksimiarvo toimisto-, liike tai opetusrakennuksen perustapaus [18].

4 Aineisto ja mittaukset

Tässä opinnäytetyössä käsitellään olosuhdedataa kymmenestä vantaalaisesta päiväkodista. Päiväkoteihin viitataan tarvittaessa tunnisteilla A, B, C…J; jotka on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.3. Mittaukset on tehty osana Vantaan kaupungin sisäilma-asiantuntijoiden jokapäiväistä työtä Vantaan kaupungin ennakoivassa sisäilmatoiminnassa sekä korjausten jälkeisessä laadunvarmistuksessa.

4.1 Mittausaika

Sisäilman olosuhteita on mitattu ensimmäisissä päiväkodeissa syyskuusta 2021 lähtien. Mittaustulokset on kerätty kaikista päiväkodeista 23. joulukuuta 2022 saakka. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa sekä sisäilmastoluokituksessa lämpötilojen tavoitearvot vaihtelevat vuodenajan sekä ulkoilman lämpötilan mukaan. Jotta mitattu tieto olisi vertailtavissa näiden kahden julkaisun kesken, on olosuhdetieto jaettu kolmeen eri tarkastelujaksoon:

- lämmityskausi 1 (LK1), 9/2021–4/2022

- lämmityksen ulkopuolinen kausi (LUK), 5/2022–8/2022
- lämmityskausi 2 (LK2), 9/2022–12/2022

4.2 Mittalaitteet ja ohjelmisto

Vantaan kaupunki on kilpailuttanut sisäilmaston ja jatkuvatoimisten mittaus- ja palautejärjestelmän sopimussuhdekumppanin vuonna 2021. Kumppaniksi kaupungille tuli 720 Degrees, joka huolehtii mittareiden asentamisesta, huollosta, vaihtamisesta, poistamisesta sekä selainpohjaisen alustan ylläpitämisestä ja kehittämisestä.

Mittalaitteina tehdyissä mittauksissa käytettiin Small Data Gardenin valmistamia ilmanlaatu- ja paine-erosensoreita (kuvat 8 ja 9). IOTSU L3 AQ01 -anturi (kuva 8) mittaa sisäilman suhteellista kosteutta, lämpötilaa ja hiilidioksidia. Anturilla pystyy mittaamaan halutessaan myös sisäilman TVOC-pitoisuuksia.

Kuva 8. Ilmanlaadun mittalaite IOTSU L3 AQ01 (kuva omasta arkistosta)

Paine-eroa seurattiin Small Data Gardenin IOTSU L3 DP01 anturilla (kuva 9). Anturi asennettiin sisätiloihin, mittausletku tuotiin ulkovaipan yli ikkunakarmiin poratun reiän kautta.

Kuva 9. Paine-eron mittalaite IOTSU L3 DP01 [19].

Sisäilman olosuhdemittareiden toiminta varmistetaan asennusvaiheessa erillisellä kalibroidulla käsimittarilla. Kalibroidun mittarin tuloksia verrataan jatkuvatoimisten mittareiden mittaamiin arvoihin. Paine-eromittareiden asennuksessa vastaavaa varmistusta ei tehdä. Laadunvarmistustieto toimitetaan tilaajalle pyydettäessä. Kaikkien antureiden mittaama data siirtyy suoraan palveluntarjoajan selainpohjaiselle alustalle, josta sitä voidaan tarkastella lähes reaaliaikaisesti.

4.3 Kohteet

Mittauskohteina oli eri-ikäisiä ja eri kokoisia vantaalaisia päiväkoteja. Kohteiden erityispiirteet on esitelty tarkemmin alla olevassa taulukossa 1. Tulosten tulkitsemista varten ns. uudemman rakennuskannan päiväkodit jotka on rakennettu vuoden 2000 jälkeen on korostettu taulukossa sinisellä.

Taulukko 1. Mittauskohteet ja niiden erityispiirteet

Päiväkoti	Rak.vuosi	Laajuus [m²]	Mittaus alkanut	Huomautukset
A	2016	1011	17.5.2022	Osa isompaa kiinteistöä
B	1988	816	30.9.2022	
C	2004	1240	11.5.2022	
D	1976	1084	6.10.2022	
E	1971	682	8.12.2021	Kerrostalon ala-kerrassa
F	1983	695	2.12.2021	
G	1997	1 235	18.4.2022	
H	1975	637	11.5.2022	
I	1977	1 103	16.9.2021	
J	2020	1 612	9.9.2021	

4.4 Mittauspisteiden sijoittelu

Olosuhdemittarit on asennettu pääasiassa aina kaikkiin lepohuoneisiin, mutta mittareita on esimerkiksi myös toimistoissa, neuvotteluhuoneissa sekä liikuntasaleissa. Paine-eromittareita on pyritty asentamaan jokaiselle ilmanvaihdon toiminta-alueelle ja mahdollisuuksien mukaan eri ilmansuuntiin aukeaville seinustoille.

Olosuhdemittarit on pyritty sijoittamaan tiloihin mahdollisimman edustaviin paikkoihin pois tuloilmaventtiileiden alta sekä ikkunaseiniltä. Mittarit on asennettu korkeussuunnassa oleskeluvyöhykkeelle.

4.5 Tulosten kerääminen

Mittarit tallentavat tietoa lyhyin väliajoin. Mittausdata siirtyy suoraan palvelimelle ja nähtäville selainpohjaiseen seurantapaneeliin. Selainpohjaisesta järjestelmästä voidaan esimerkiksi myös seurata antureiden akkujen varausta sekä

muuttaa niiden asetuksia tai asettaa sähköpostihälytyksiä poikkeavien olosuhteiden ilmetessä.

Olosuhdetietoa kerätään jatkuvasti, mutta kaikkien kiinteistöjen ”käyttöajaksi” on asetettu aikaväli maanantai - perjantai klo 08:00-16:00. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tietoa vain em. käyttöajalta, jolloin esitetty tieto vastaa mahdollisimman tarkasti käyttäjien kiinteistöissä kokemia olosuhteita.

Mittaustuloksia verrataan asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päiväkodeille asetettuihin arvoihin sekä sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin. Tulosten tulkinta on jaettu kahteen lämmityskauteen sekä yhteen lämmityskauden ulkopuoliseen kauteen. Olosuhteiden pysyvyyttä on tarkasteltu myös kiinteistöjen rakennusajankohdan mukaan.

4.6 Epävarmuustarkastelu

Koska olosuhdeseurantajärjestelmiä ei ole asennettu tätä opinnäytetyötä varten, liittyy mittaustietojen tarkasteluun epävarmuustekijöitä, jonka takia päiväkodit eivät myöskään ole täysin vertailtavissa keskenään. Jokainen järjestelmä on asennettu kiinteistökohtaisilla tarpeilla eikä esimerkiksi mittauspisteiden määrä tai niiden huonekohtainen sijoittelu ole kohteiden välillä täysin vertailtavissa.

Antureiden määrä vaihtelee kohteittain noin kolmesta aina noin viiteentoista. Antureita on sijoitettu yksilöllisten tarpeiden mukaan eikä niiden sijoittelua ole optimoitu tämän opinnäytetyön kaltaista laajaa vertaistarkastelua varten. Mittaroitavana ei esimerkiksi ole pelkästään päiväkotien lepohuoneet, jotka ovat hiilidioksidin nousemisen kannalta kaikkein kriittisimpiä tiloja. Mittareita on sijoiteltu lepohuoneiden lisäksi muun muassa toimistoihin, neuvotteluhuoneisiin sekä liikuntasaleihin.

Olosuhdemittaustieto on otettu mukaan tähän yhteenvetoon, vaikka järjestelmä ei olisi kohteessa ollutkaan toiminnassa koko tarkastelujakson ajan. Esimerkiksi päiväkotien E ja F olosuhdeseuranta on alkanut vasta joulukuussa 2021, mutta ne ovat silti mukana tarkastelujaksolla LK1. Järjestelmän ei ole siis tarvinnut olla

toiminnassa koko tarkastelujakson ajan, jotta se otettaisiin huomioon ko. tarkastelujaksolle.

Kaikki yhteenvedossa tarkasteltu data on mitattu em. ”käyttöajalta”. Tarkastelujaksolta ei ole pystytty poistamaan tälle käyttöajalle osuvia arkipyhiä tai muita vapaita, jolloin kiinteistöt ovat saattaneet olla tyhjinä käyttäjistä. Tarkastelujaksolle LKU on otettu vain ne kolme päiväkotia, joissa on ollut toimintaa jatkuvasti koko kesän 2022 ajan.

Mittausten epävarmuuteen vaikuttaa niin ikään jokaisen olosuhteen mittauskomponenttien mittausalue ja mittaustarkkuus. Olosuhdekohtaiset mittausepävarmuudet ja esitetyn tiedon resoluutio on esitetty alla olevassa taulukossa 2:

Taulukko 2. Mitta-antureiden mittaustarkkuudet (M.V. = mitatusta arvosta)

Olosuhde	Mittausalue	Mittaustarkkuus	Resoluutio
Lämpötila [°C]	-40…+125	± 0,2	0,1
Hiilidioksidi [ppm]	400…5000	± 30 & 3 % M.V.	10
Suht. kosteus [%]	0…100	± 2	0,1
Paine-ero [Pa]	-500…+500	3 % M.V.	0,1

5 Tulokset

Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi kuinka suuren osan rakennuksen käyttöajasta mitatut olosuhteet ovat täyttäneet niille asetetut sisäilmaluokituksen tavoitearvot, asumisterveysasetuksen toimenpiderajat tai sisäisesti asetetut tavoitevaihteluvälit. Kappaleessa 5.5 on lisäksi tarkasteltu jokaisen olosuhteen pysyvyyttä kiinteistöjen rakennusaikakauden mukaan. Rakennuskausien vertailu on tehty pelkästään jälkimmäiseltä tarkastelujaksolta (LK2) ja tulos on ilmoitettu eri

aikakausien kiinteistöjen tavoitearvossa pysymisen keskiarvona. Kiinteistöjen ikään perustuva vertailu on tehty vain jälkimmäisen tarkastelujakson mittauksista, koska muilla tarkastelujaksoilla otanta olisi liian pieni luotettavan arvioinnin tekemiseksi. Mittaroitavana olleet päiväkodit ovat mukana eri tarkastelujaksoilla seuraavasti:

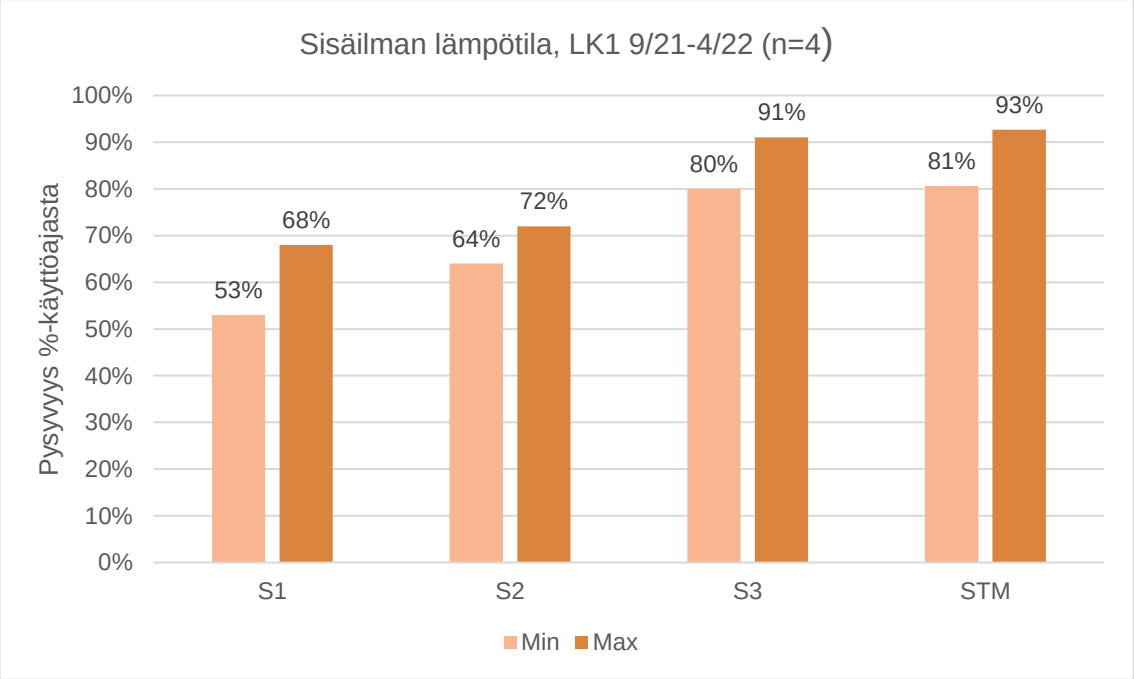
- lämmityskausi 1: E, F, I, J
- lämmityskauden ulkopuolinen kausi: A, C, J
- lämmityskausi 2: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J

Lisäksi päiväkodit on jaettu niiden rakennusajankohtien mukaan seuraavasti:

- ennen vuotta 2000 rakennetut päiväkodit: B, D, E, F, G, H, I
- vuoden 2000 jälkeen rakennetut päiväkodit: A, C, J

5.1 Sisäilman lämpötila

Ensimmäisen lämmityskauden sisäilman lämpötilan mittaustulokset on esitetty alla olevassa kuvassa 10. Tarkastelujaksolla oli mukana neljä päiväkotia.

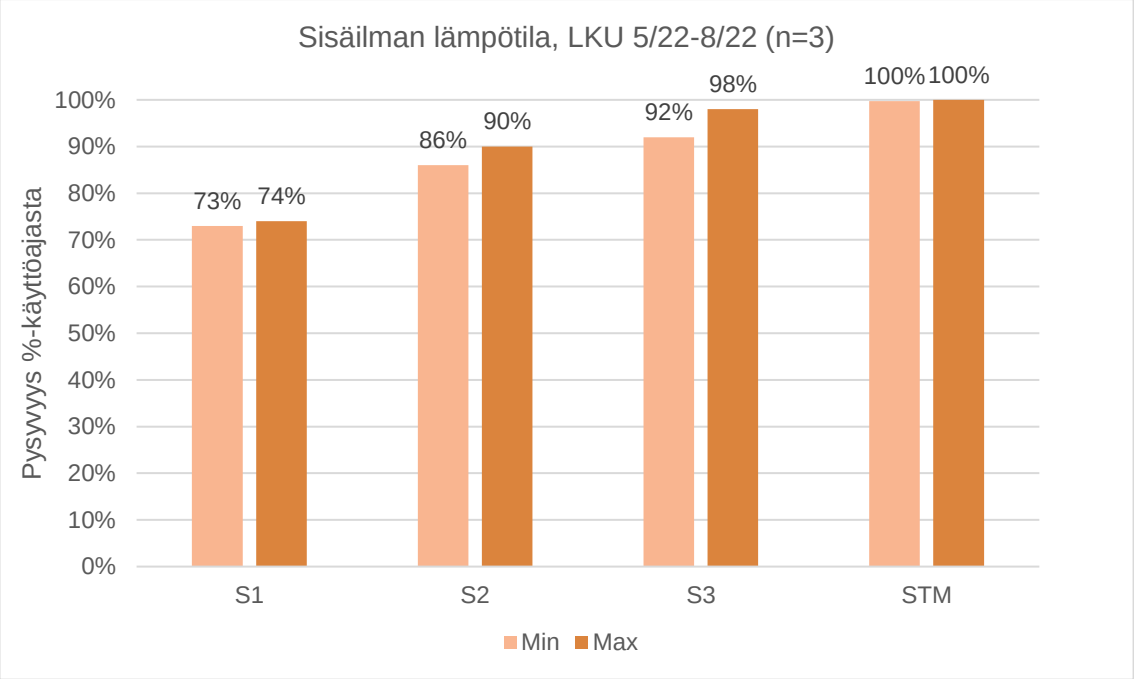


Kuva 10. Lämpötilan pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen sisällä ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasossa. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas

tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 10 nähdään, että tarkastelujaksolla olleiden kiinteistöjen lämpötilat eivät täyttäneet jatkuvasti asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja. Sisäilmaluokituksen S2 tavoitearvoihin päästiin parhaimmillaan 72 % käyttöajasta ja S1 tavoitearvoihin 68 % käyttöajasta. Kun kiinteistöjen lämpötilakuvaajia tarkastelee lähemmin, niin nähdään, että poikkeamat ovat olleet kaikissa tapauksissa tavoitetasojen alituksia. Päiväkotien lämpötilojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla +20,7…21,1 °C välillä.

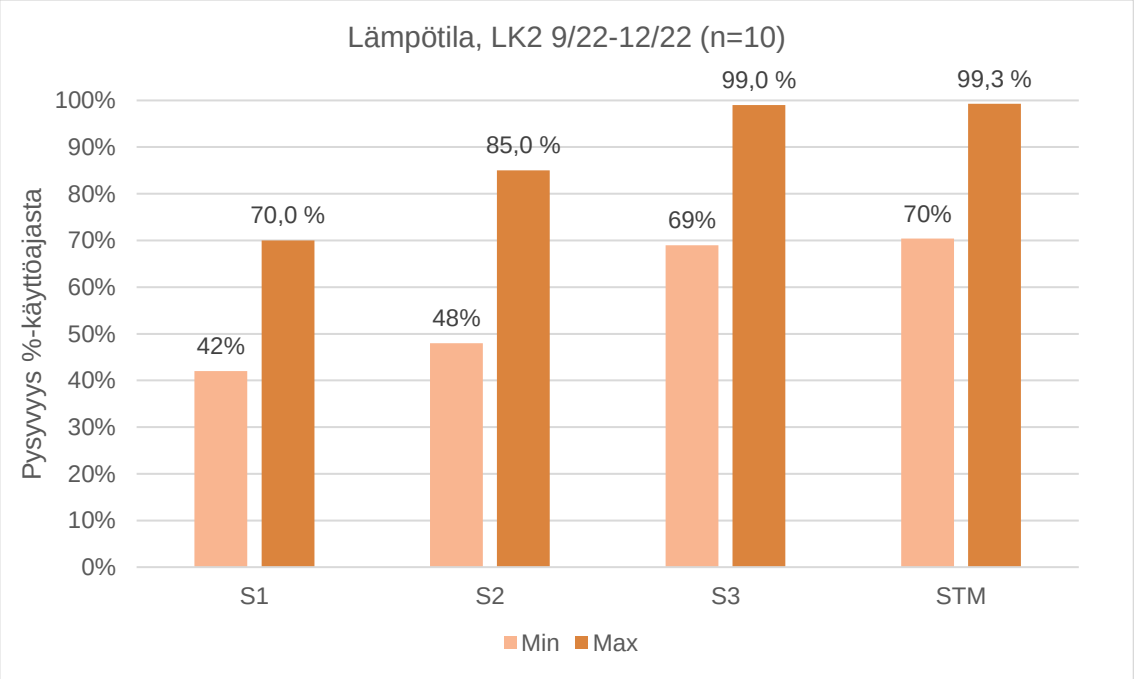
Alla olevassa kuvassa 11 on esitetty mittaustulokset lämmityskauden ulkopuoliselta jaksolta. Tarkastelujaksolla oli mukana kolme päiväkotia, jotka olivat toiminnassa koko kesäkauden.



Kuva 11. Lämpötilan pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen sisällä ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasoissa. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 11 nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajat +20…+32 °C täytettiin kaikissa kolmessa kiinteistössä jatkuvasti. S2 luokassa oltiin vähintään 86 % käyttöajasta ja S1-luokan tavoitearvoihinkin päästiin kaikissa kiinteistöissä noin 73 % käyttöajasta. Tarkastelujakson lämpötilakuvaajia tarkemmin tarkasteltaessa huomataan, että poikkeamat sisäilmastoluokituksen tavoitearvoista ovat olleet aina niiden ylityksiä. Suuri osa näistä ylityksistä sijoittuu kesä- ja elokuun lopuille, kun Suomessa vallitsi poikkeuksellisen lämpimät kelit. Päiväkotien lämpötilojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla +23,0…24,2 °C välillä.

Alla olevassa kuvassa 12 on esitetty toisen lämmityskauden aikaiset mittaustulokset. Tarkastelujaksolla oli mukana kymmenen päiväkotia.



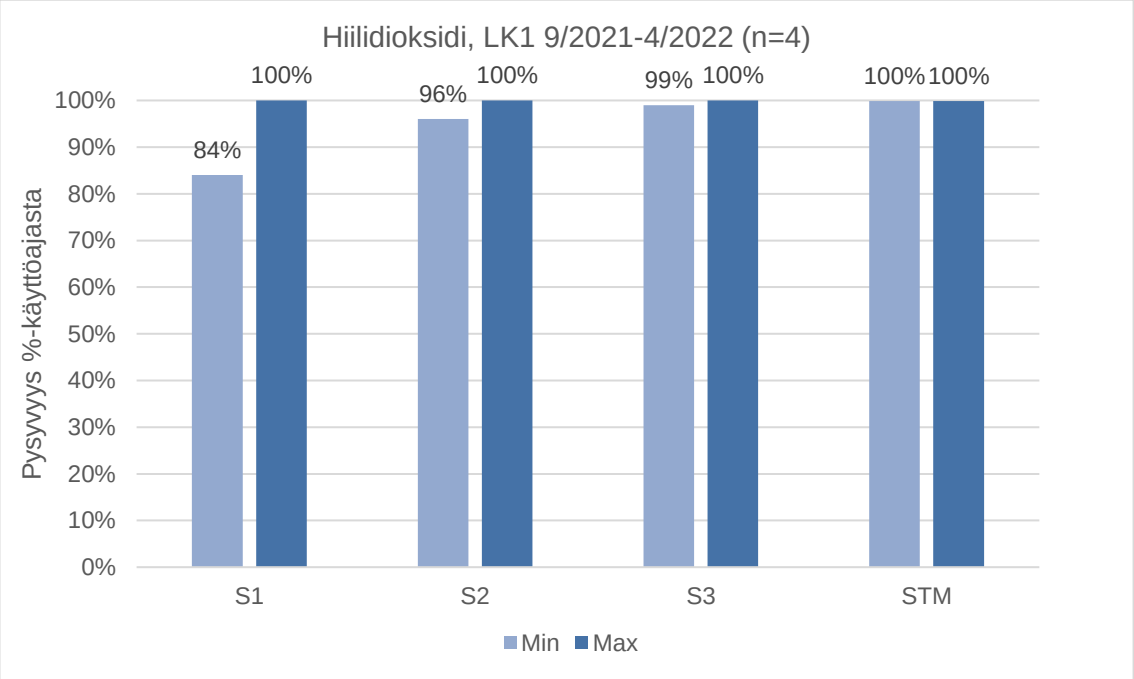
Kuva 12. Lämpötilan pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen sisällä ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasoissa. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 12 nähdään, että lämpötilat eivät täyttäneet jatkuvasti asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja, mutta parhaiten pärjänneessä kiinteistössä toimenpiderajoista jäätiin vain hetkellisesti. S2 luokkaan päästiin parhaillaan 85 %

käyttöajasta, joissain päiväkodissa kuitenkin vain 48 % käyttöajasta. S1 luokkaan päästiin parhaimmillaan 70 % käyttöajasta ja heikoimmin 42 % käyttöajasta. Parhaat lämpöolosuhteet olivat päiväkodissa C, heikoimmat päiväkodissa B. Päiväkotien lämpötilojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla +20,7…22,8 °C välillä.

5.2 Sisäilman hiilidioksidi

Alla olevassa kuvassa 13 on esitetty ensimmäisen lämmityskauden mittaustulokset. Mittauksissa oli mukana neljä päiväkotia.

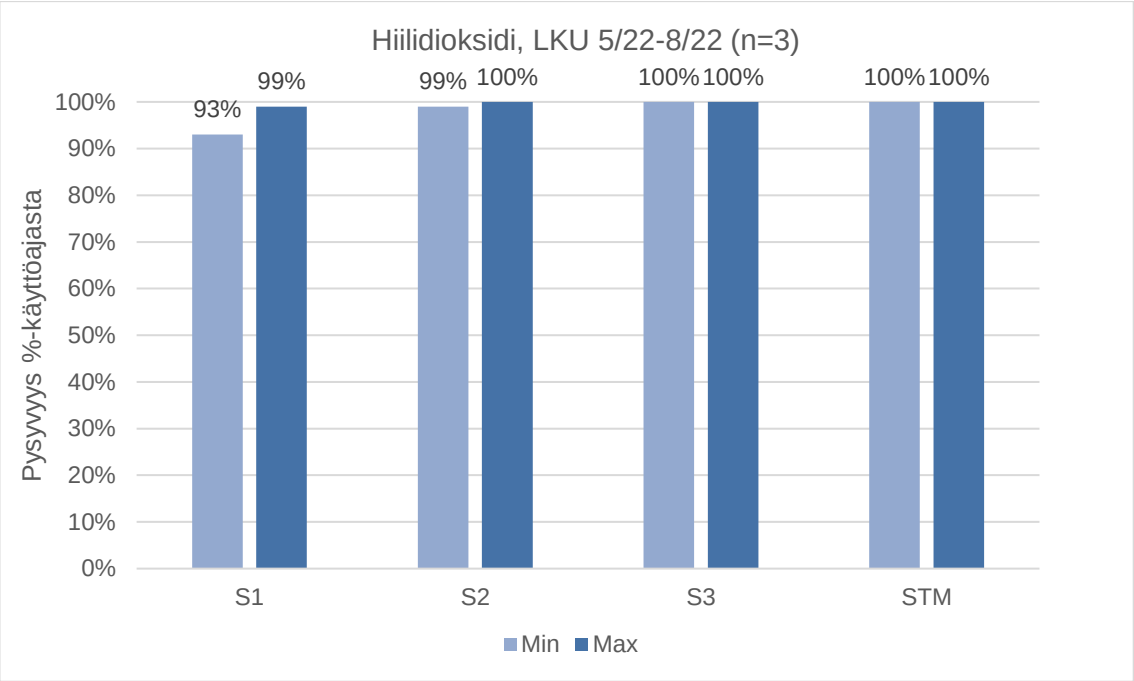


Kuva 13. Hiilidioksidipitoisuuden pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasojen alapuolella. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat siis tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen tavoitearvoissa pysymisen vaihteluväli.

Kuvasta 13 nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpideraja 1550 ppm ei ylittynyt kertaakaan. S2-luokan tavoitearvossa 950 ppm pysyttiin kaikissa päiväkodeissa vähintään 96 % käyttöajasta. S1-luokan tavoitearvoon päästiin heikoimmin suoriutuneessa päiväkodissa 84 % käyttöajasta ja parhaimmillaan jopa

100 % käyttöajasta. Päiväkotien hiilidioksiditasojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla 460…553 ppm välillä.

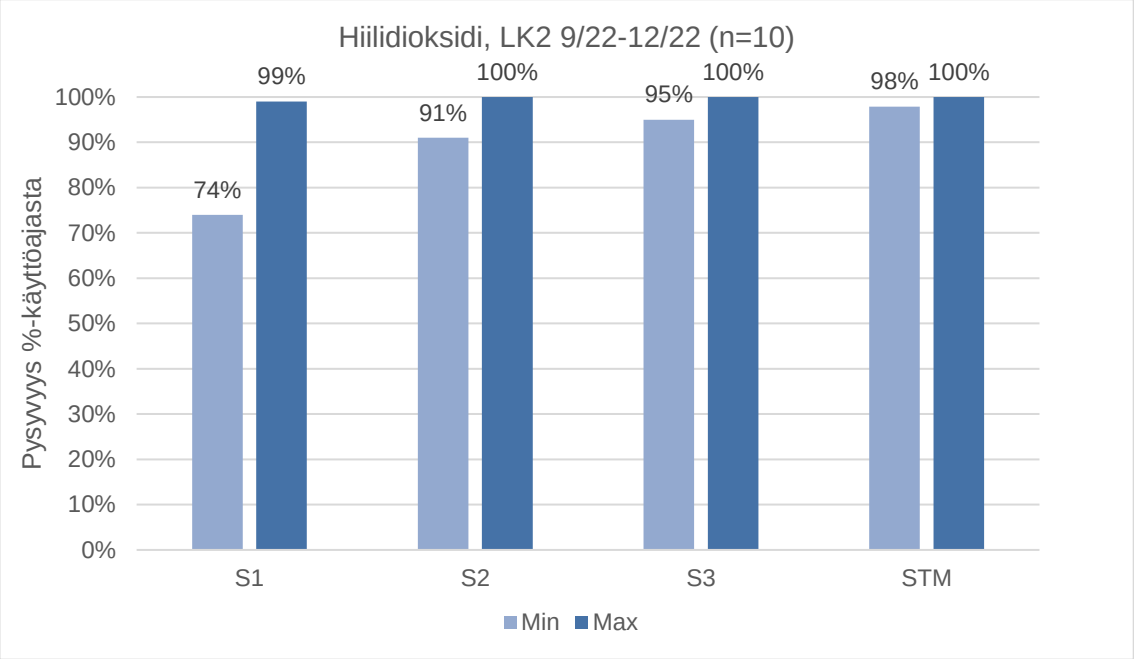
Alla olevassa kuvassa 14 on esitetty lämmityskauden ulkopuolisen tarkastelujakson mittaustulokset. Mittauksissa oli mukana kolme päiväkotia.



Kuva 14. Hiilidioksidipitoisuuden pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasojen alapuolella. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen tavoitearvoissa pysymisen vaihteluväli.

Kuvasta 14 nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpideraja 1550 ppm ei ylittynyt kertaakaan. Myös S2 luokka täytettiin vähintään 99 % käyttöajasta ja S1 luokankin tavoitearvot täytettiin vähintään 93 % käyttöajasta. Päiväkotien hiilidioksiditasojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla 512…560 ppm välillä. Kaikki tarkastelujaksolla olleet päiväkodit ovat ns. uudempaa rakennuskantaa ja rakennettu vuoden 2000 jälkeen.

Alla olevassa kuvassa 15 on esitetty toisen lämmityskauden mittaustulokset. Mittauksissa oli mukana kymmenen päiväkotia.

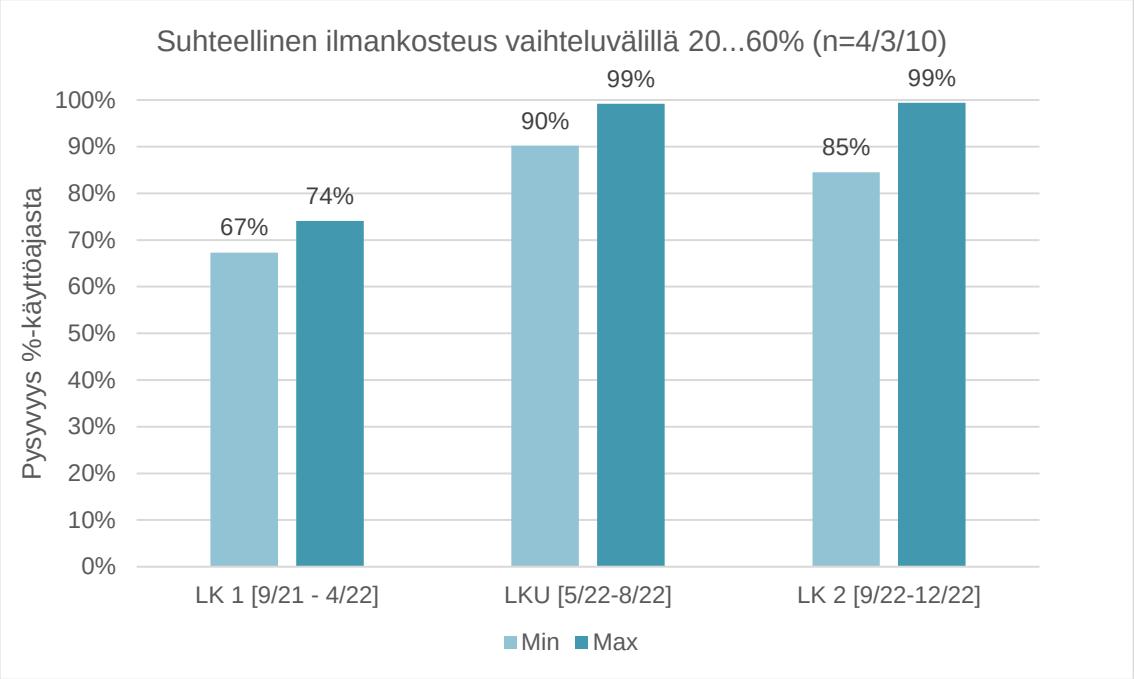


Kuva 15. Hiilidioksidipitoisuuden pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasojen alapuolella. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat siis tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen tavoitearvossa pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 15 nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpideraja 1550 ppm täytettiin kaikissa kiinteistöissä vähintään 98 % käyttöajasta. S2 luokan tavoitearvoissa oltiin vähintään 91 % käyttöajasta ja S1 luokan tavoitearvot täytettiin vähintään 74 % käyttöajasta, parhaimmillaan jopa 99 % käyttöajasta. Päiväkotien hiilidioksiditasojen keskiarvot vaihtelivat tarkastelujaksolla 515…651 ppm välillä.

5.3 Sisäilman suhteellinen kosteus

Sisäilman suhteellisen kosteuden vaihteluväli tarkastelujaksoilla on esitetty alla olevassa kuvassa 16. Kuvassa on esitetty kaikkien kiinteistöjen tavoitevaihteluvälien täyttyminen tarkastelujaksoittain.

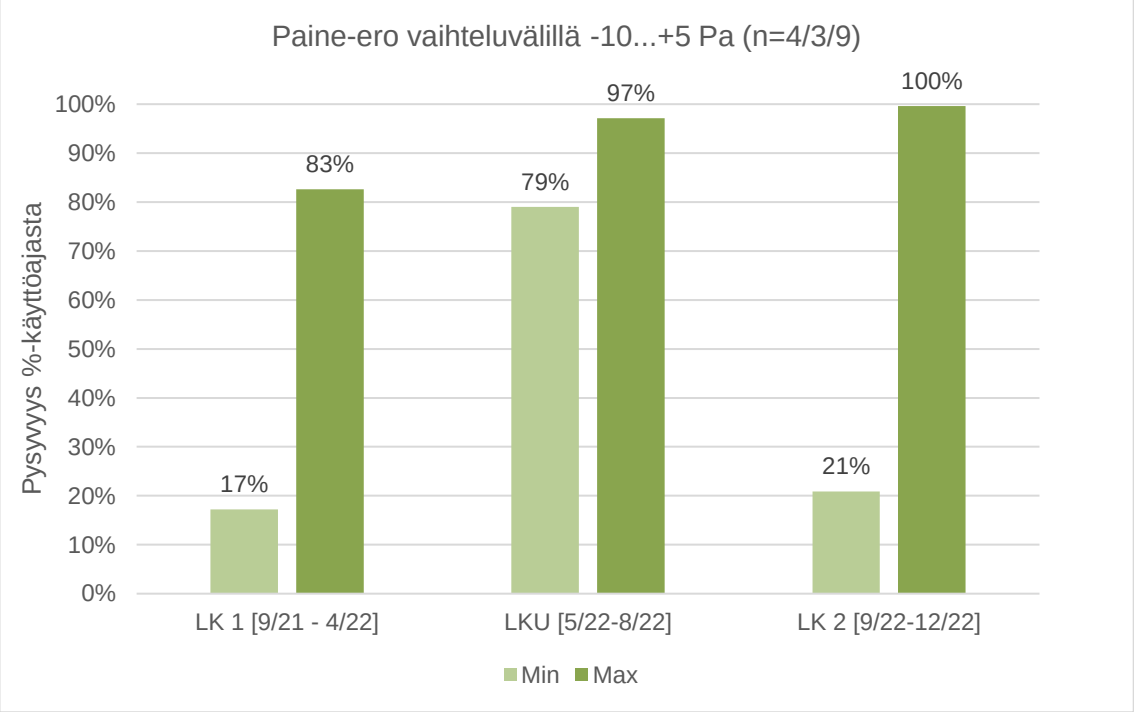


Kuva 16. Suhteellisen kosteuden pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) tavoitetasossa 20–60 %RH. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen tavoitetason pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 16 nähdään, että ensimmäisellä tarkastelujaksolla sisäilman suhteellinen kosteus oli tavoitevaihteluvälissä parhaimmillaankin vain 74 % käyttöajasta. Kesä-ajalle sijoittuvassa toisessa tarkastelujaksossa tavoitevaihteluvälit täyttyivät kaikissa kohteissa 90 % käyttöajasta, parhaimmillaan jopa 99 %. Toisella lämmityskaudella pysyvyys vaihteli 85…99 % välillä.

5.4 Paine-ero

Paine-eron vaihteluväli tarkastelujaksolla on esitetty alla olevassa kuvassa 17. Kuvassa on esitetty kaikkien kiinteistöjen tavoitearvojen täyttämisen vaihteluvälit tarkastelujaksoittain. Paine-eromittaukset ovat huomioitu viimeisessä tarkastelujaksossa poikkeuksellisesti vain yhdeksästä päiväkodista. Päiväkodin D kohdalla huomattiin yhdessä kiinteistöön asennetussa paine-eromittarissa virhe, jonka takia kiinteistöstä mitattu tieto on jätetty huomioimatta.

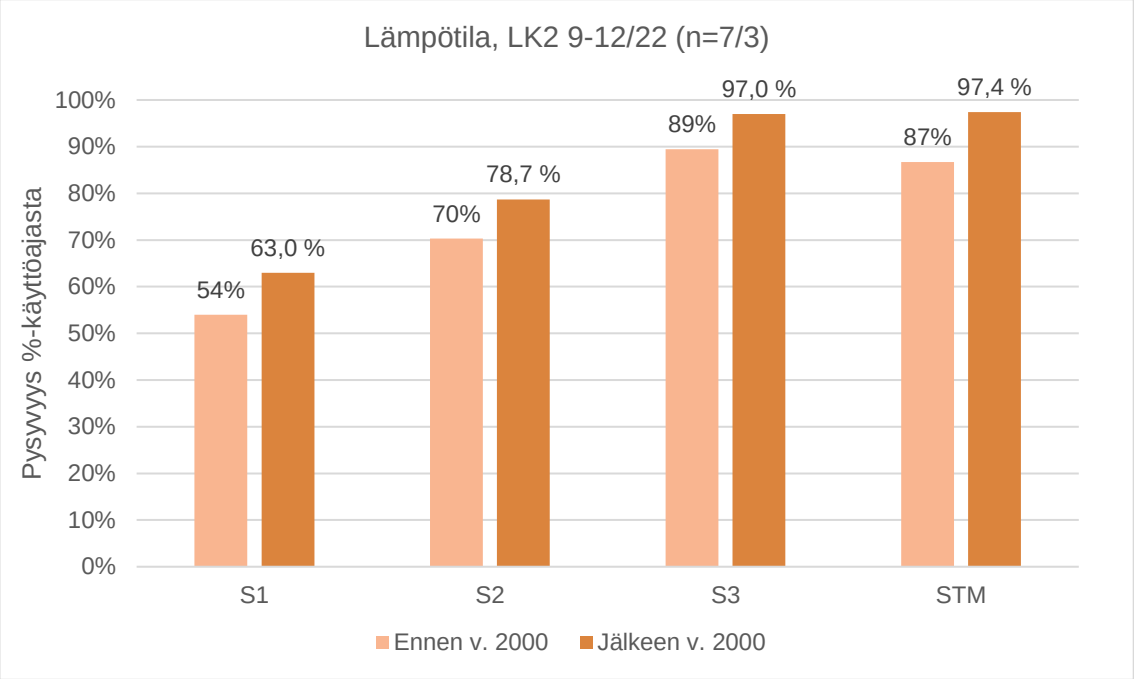


Kuva 17 Paine-eron pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asetetussa tavoitetasossa -10…+5 Pa. Vaaleampi pylväs on tarkastelujakson heikoiten suoriutunut kiinteistö, kun taas tummempi pylväs suoriutui parhaiten. Pylväiden arvot ovat tarkastelujakson kaikkien kiinteistöjen tavoitetasossa pysyvyyden vaihteluväli.

Kuvasta 17 nähdään, että paine-erojen tavoitetasojen täyttyminen vaihtelee hyvin paljon kiinteistöjen välillä. Parhaimmillaan joissain kiinteistöissä tavoitetasot täyttyvät jopa 100 % käyttöajasta, kun toisessa kiinteistössä vastaava lukema on 17 %.

5.5 Rakennusajankohdan vaikutus sisäolosuhteisiin

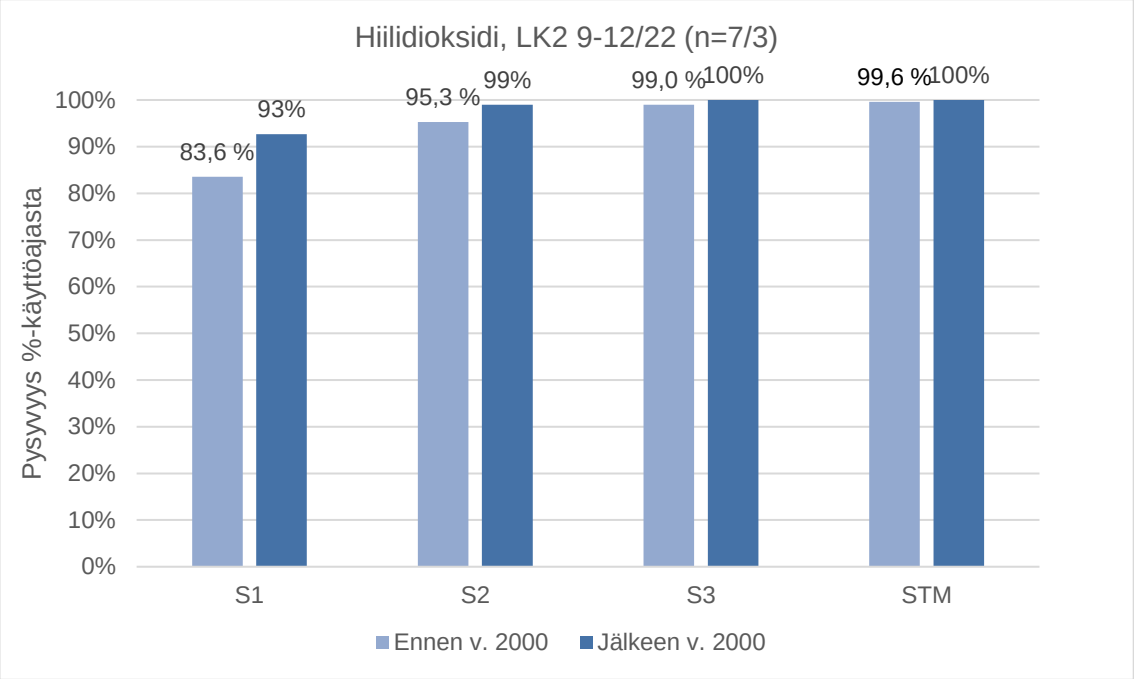
Alla olevassa kuvassa 18 on esitetty eri aikakausien kiinteistöjen lämpötilojen keskiarvot jälkimmäisellä lämmityskaudella (LK2). Ennen vuotta 2000 rakennettujen kiinteistöjä on seitsemän ja vuoden 2000 jälkeen rakennettuja kiinteistöjä kolme.



Kuva 18. Lämpötilan pysyvyys (% rakennuksen käyttöajasta) asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen sisällä ja sisäilmastoluokituksen tavoitetasoissa eri aikakausina rakennetuissa päiväkodeissa.

Kuvasta 18 nähdään, että uudemmat kiinteistöt pysyvät vanhoja kiinteistöjä suuremman osan käyttöajasta asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen sekä sisäilmastoluokituksen tavoitearvojen sisällä. Uudemmissa kiinteistöissä asumisterveysasetuksen toimenpiderajat täytettiin keskimäärin jopa yli 97 % käyttöajasta, kun vanhemmissa rakennuksissa toimenpiderajoissa ollaan käyttöajasta 87 %. S2 luokan arvoissa oltiin uudemmissa kiinteistöissä noin 79 % käyttöajasta, kun vanhemmissa kiinteistöissä vastaava luku on 70 %. S1 luokan tavoitearvoihin päästiin vielä heikommin: uudemmissa päiväkodeissa 67 % käyttöajasta ja vanhemmissa 54 % käyttöajasta.

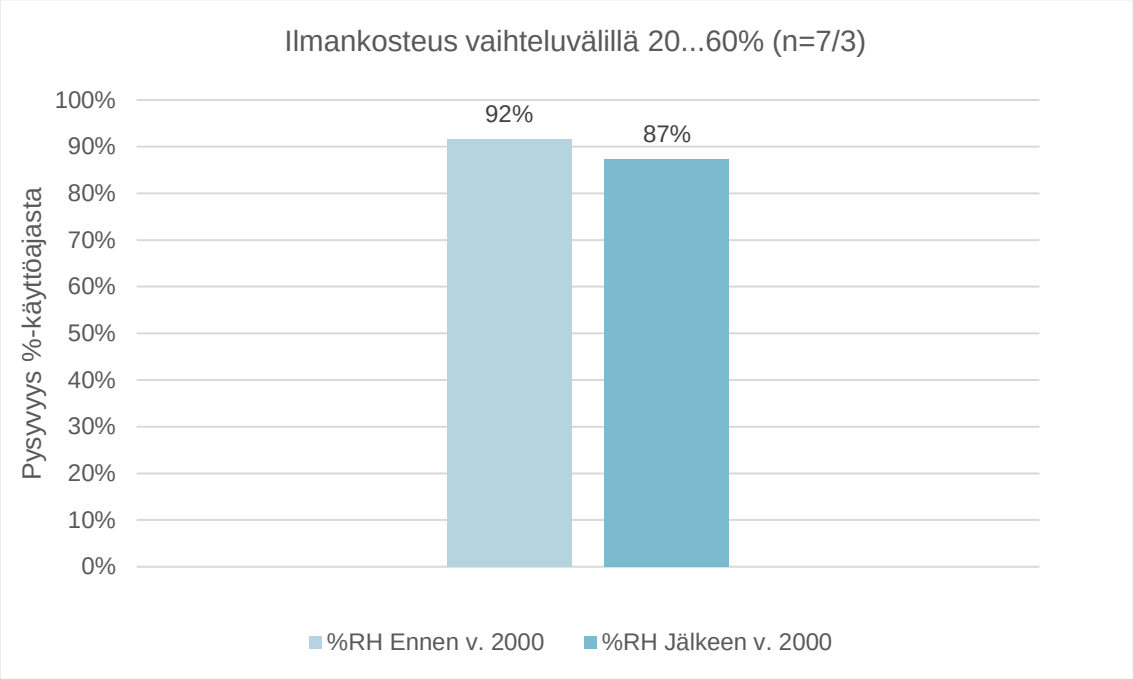
Alla olevassa kuvassa 19 on esitetty eri aikakausien rakennusten hiilidioksidipitoisuuksien toimenpiderajojen ja tavoitearvojen täyttymisen keskiarvot toisella lämmityskaudella. Ennen vuotta 2000 rakennettujen kiinteistöjä on seitsemän ja vuoden 2000 jälkeen rakennettuja kolme.



Kuva 19. Hiilidioksidipitoisuuden pysyvyys (% käyttöajasta) eri aikakauden rakennuksissa, kun tarkastellaan kiinteistökantojen keskiarvoja.

Kuvasta 19 nähdään, että hiilidioksidin toimenpiderajaa 1550 ppm ei ylitetty kertaakaan. S2 luokan tavoitearvot täytetään uudemmissa päiväkodeissa keskimäärin 99 % käyttöajasta ja vanhemmissa 95 % käyttöajasta. Eroa rakennusten välillä on S1 luokassa, jossa uudemmat päiväkodit täyttävät tavoitearvot keskimäärin 93 % käyttöajasta ja vanhemmat 84 % käyttöajasta.

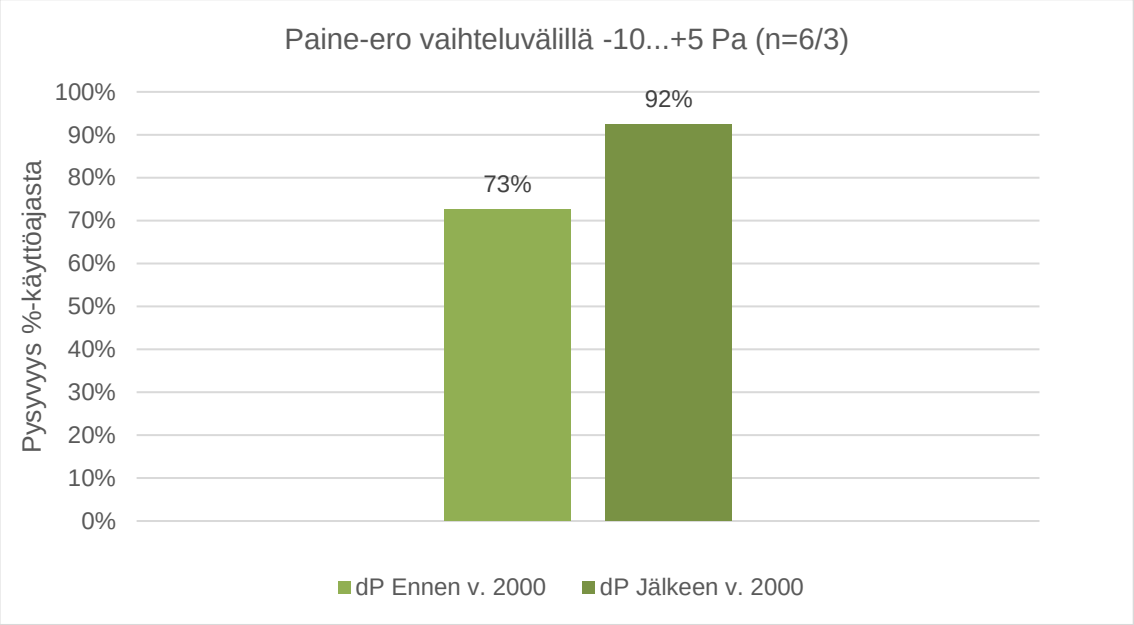
Alla olevassa kuvassa 20 on esitetty eri aikakausien rakennusten sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvojen täyttymisen keskiarvot toisella lämmityskaudella. Ennen vuotta 2000 rakennettujen kiinteistöjä on seitsemän ja vuoden 2000 jälkeen rakennettuja kolme.



Kuva 20. Suhteellisen kosteuden pysyvyys (% käyttöajasta) eri aikakauden rakennuksissa, kun tarkastellaan kiinteistökantojen keskiarvoja.

Kuvasta 20 nähdään, että vanhemmissa rakennuksissa sisäilman suhteellinen kosteus oli tavoitearvoissa keskimäärin 92 % käyttöajasta, kun uudemmissa rakennuksissa vastaava luku oli 87 %.

Alla olevassa kuvassa 21 on esitetty eri aikakausien rakennusten paine-eron tavoitearvojen täyttymisen keskiarvot toisella lämmityskaudella. Ennen vuotta 2000 rakennettujen kiinteistöjä on kuusi ja vuoden 2000 jälkeen rakennettuja kolme.



Kuva 21. Eri aikakausina rakennettujen päiväkotien paine-eron pysyvyys (% käyttöajasta) tavoitevaihteluvälissä

Kuvasta 21 nähdään, että uudemmissa rakennuksissa paine-eron tavoitevaihteluväli käyttöaikana saavutettiin keskimäärin 92 prosenttisesti, kun vanhemmissa rakennuksissa vastaava lukema oli 73 %. Paine-erot olivat keskimäärin selkeästi paremmin hallinnassa uudemman rakennuskannan kiinteistöissä kuin vanhemmissa kiinteistöissä.

6 Johtopäätökset

6.1 Lämpötila

Lämpötiladatasta nähdään, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajat täyttyvät käyttöaikana osassa rakennuksissa melko hyvin, mutta useissa kiinteistöissä on selkeitä puutteita varsinkin lämmityskausilla. Lämmityskausien aikana poikkeamat toimenpiderajoista ovat aina niiden alituksia eli toisin sanoen kiinteistöissä on tarpeettoman kylmä. Vastaavasti lämmityskauden ulkopuolella toimenpiderajat täyttyivät 100 % käyttöajasta. Sisätilojen lämpötilan nousu johtui ulkoilman lämpötilan noususta. Kuumimpina päivinä ulkoilman lämpötila nousi jopa +30 celsiusasteeseen [20]. Mittausten mukaan sisälämpötila nousi

korkeimmalle kesä- ja elokuun lopuilla, jopa +28 celsiusasteeseen. Tästäkään huolimatta asumisterveysasetuksen toimenpiderajaa +32 celsiusastetta ei ylitetty kertaakaan.

Kiinteistöjen sisäilman lämpötilojen keskiarvot vaihtelivat talvikausina noin +20…+23 celsiusasteen välillä ja kesäkaudella noin +23…+24:n asteen välillä. Talvikausina sisäilman lämpötila on useissa kiinteistöissä jatkuvasti viihtyvyysrajan alarajalla ja kesäisin kaikissa kiinteistöissä mukavuusalueen ylärajalla. Ulkoilman vaikutus sisäilman lämpötilaan on suuri, kun kiinteistössä ei ole aktiivista jäähdytystä. Hiljattain julkaistussa tutkimuksessa onkin todettu, että passiivissa auringonsuojaratkaisuilla sekä tuuletusikkunoilla voidaan vähentää tilojen ylilämpenemistä merkittävästi, mutta äärimmäisen kuumana ajanjaksona nämäkään keinot eivät riitä takamaan viihtyisi lämpöoloja, vaan lämpötilojen nousua hillitsemään tarvitaan aktiivista jäähdytystä [21].

6.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidimittauksista nähdään, että päiväkotien ilmanvaihto on riittävä käyttäjämäärään nähden ja asumisterveysasetuksen toimenpiderajoja ei normaalin käytön aikana ylitetä. Päiväkodissa D havaittiin ilmanvaihdon häiriötilanne 13. joulukuuta 2022, jolloin ilmanvaihtokone oli sammunut ja sisäilman hiilidioksidiarvot nousivat paikoittain yli 2000 ppm tasolle aina mittausten loppuun asti ennen kuin häiriö huomattiin ja saatiin korjattua. Tämä selittää kuvissa 15 ja 19 sen, että asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen ei täytettykään jatkuvasti vaan siitä jäätiin hyvin hetkellisesti. Liian korkea hiilidioksidipitoisuus yhdistyi tehdyissä mittauksissa siis ilmanvaihtojärjestelmän vikatilanteeseen.

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan täyttämisen lisäksi useissa päiväkodeissa täytettiin myös sisäilmastoluokituksen hyvän (S2) ja erittäin hyvän (S1) sisäilmaston tavoitetasot. Vastaavanlaisia tuloksia on saatu muun muassa VTT:n Sisäilma 2020 hankkeesta, jossa vantaalaisten päiväkotien ja koulujen hiilidioksiditasojen on todettu alittavan asumisterveysasetuksen toimenpiderajan jatkuvasti [22].

6.3 Suhteellinen kosteus

Ensimmäisen lämmityskauden aikana päiväkotien sisäilman suhteellinen kosteus pysyi tavoitetasossa parhaimmillaan noin 74 % käyttöajasta. Kesäkaudella tavoitearvoissa pysyttiin 90…99 % käyttöajasta ja toisella lämmityskaudella tavoitearvoihin päästiin 85…99 % käyttöajasta. Lämmityskausien keskinäinen tulosten eroavaisuus johtuu todennäköisesti siitä, että jälkimmäinen lämmityskausi on lyhyempi, eikä talven kylmimmät ja kuivimmat säät osuneet sen kohdalle. Lämmityskausilla sisäilman suhteellinen kosteus jäi usein tavoitevaihteluvälin alapuolelle, kun taas kesäkaudella suhteellinen kosteus nousi paikoin yli tavoitevaihteluvälin ylärajan. Tämä on tavanomainen tulos, sillä sisäilman suhteellisen kosteuden vaihtelu tapahtuu ulkoilman säävaihteluiden mukaan [5].

6.4 Paine-ero

Paine-erojen pysyvyys tavoitevaihteluvälissä vaihtelee suuresti kiinteistöjen välillä. Parhaiten suoriutuvat kiinteistöt ovat lähes jatkuvasti tavoitevaihteluvälin sisällä, kun joissain kiinteistöissä tavoitevaihteluvälit saavutetaan vain noin 20 % käyttöajasta. Heikoimmin vertailussa pärjäsi päiväkoti E. Päiväkoti E sijaitsee kerrostalon alimmassa kerroksessa ja sen ilmanvaihdossa on tiedostettuja haasteita. Haasteita on pyritty ratkaisemaan siinä onnistumatta. Lisäksi kaikilla kolmella tarkastelujaksolla mukana olevan päiväkoti J:n kohdalla tavoitevaihteluvälissä pysyttiin jokaisella jaksolla aina edellistä paremmin (tavoitevaihteluvälissä pysyvyys kausittain: 52 % / 79 % / 85 %). Ensimmäisellä tarkastelujaksolla päiväkodissa J vallitsi tavoitevaihteluvälin ylittävä ylipaine, joka saatiin hallintaan ilmanvaihdon säätötoimenpiteillä.

Jos jätetään tarkastelematta kaikkein heikoimmin pärjänneitä päiväkoteja, on parhaat seitsemän päiväkotia yli 80 % ja parhaat viisi jopa yli 85 % käyttöajasta tavoitevaihteluvälissä viimeisimmällä tarkastelujaksolla. Tavoitetasoon nähden tapahtui niin ylityksiä kuin tason alituksiakin.

6.5 Rakennuksen iän vaikutus sisäolosuhteisiin

Mittaustiedon mukaan uudemmissa, vuoden 2000 jälkeen rakennetuissa kiinteistöissä olosuhteiden pysyvyys on parempi kuin vanhemmissa, ennen 2000-lukua rakennetuissa kiinteistöissä. Sisäilman olosuhteista kaikki paitsi suhteellinen kosteus pysyi paremmin tavoitetasossaan uudemmissa päiväkodeissa. Tuloksiin voi vaikuttaa monikin tekijä, kuten ilmanvaihtolaitteiston kunto ja rakentamisen aikaiset mitoitusarvot. Myös rakenteiden U-arvot ja niiden ilmanpitävyys eroavat eri aikakausien rakennuksissa jopa dramaattisesti ja vaikuttavat varsinkin lämpöolosuhteiden hallintaan.

Uudemmassa rakennuskannassa sisälämpötilan tavoitetasot saavutetaan paremmin kuin vanhemmassa rakennuskannassa. Tähän voi olla useita syitä, kuten lämmitysjärjestelmän tekniikan parempi kunto ja toimintavarmuus sekä rakenteiden U-arvojen ja ilmatiiveyden parantuminen.

Hiilidioksidipitoisuudet alittivat asumisterveysasetuksen toimenpiderajan kiinteistön iästä riippumatta. Mittaustietojen perusteella kiinteistön iällä on merkitystä siinä, kuinka usein saavutetaan sisäilmastoluokituksen erittäin hyvän sisäilmaston laatutason S1 tavoitetaso 750 ppm.

Uudemmissa päiväkodeissa paine-erot ovat selkeästi paremmin hallinnassa kuin vastaavasti vanhemmissa päiväkodeissa. Vastaavanlaisia tuloksia on raportoitu aikaisemminkin osana COMBI-hanketta [21]. Tuominen ym. kirjoittaa, että kouluissa ja päiväkodeissa suuret alipaineisuudet ovat useimmiten johtuneet erillispoistoista, joita ei sammutettu pääilmanvaihdon sammutuksen yhteydessä [21]. Vanhoissa kiinteistöissä erillispoistoja ei ole välttämättä kytketty alun perin rakennusautomaatioon, tai automaatiota ei ole ollenkaan. Näin erillispoistot jäävät useammin päälle pääilmanvaihdon sammuessa kuin uusissa kiinteistöissä, joissa erillispoistot on yleensä liitetty automaatioon jo rakennusvaiheessa.

7 Pohdinta

Tähän opinnäytetyöhön koostetun aineiston mukaan Vantaan päiväkodeissa suurimmat sisäolosuhteisiin liittyvät haasteet liittyvät lämpöolosuhteisiin. Talvikaudella päiväkodeissa oli usein liian viileää ja lämpötilat alittivat ajoittain jopa asumisterveysasetuksen toimenpiderajan +20 celsiusastetta. Niin ikään sisäilmastoluokituksen S2 ja S1 luokkien suurimmat puutteet liittyvät lämpöolosuhteisiin. Lämpötilan lisäksi sisäilman suhteellinen kosteus on talvella matala, ja tällä itsessään voi olla sisäilman laatua heikentävä vaikutus. Toisaalta hiilidioksiditasot pysyvät jatkuvasti alhaisena, eikä asumisterveysasetuksen toimenpiderajaa ylitetty normaalitilanteessa kertaakaan. Mittausten aikana havaitut hiilidioksiditasojen nousut johtuivat ilmanvaihdon häiriötiloista. Myös paine-erojen epätasapainossa havaitut puutteet johtuvat ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta ja niiden säädöistä.

Sisäolosuhteiden osalta haasteita näyttää olevan enemmän vanhemmassa rakennuskannassa kuin uudemmassa rakennuskannassa. Vanhemmissa rakennuksissa rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien kunto ja toimintavarmuus aiheuttavat sen, että niissä olosuhteiden pysyvyyden turvaaminen on vaikeampaa. Lisäksi rakenteiden U-arvojen, ilmatiiveyden ja tilojen suunniteltujen ilmamäärien vaatimukset ovat muuttuneet vuosikymmenten aikana.

Jotta päiväkotien sisäilman olosuhteita voidaan parantaa nykyisestä, tulisi tulosten perusteella toimenpiteet kohdistaa ensimmäiseksi lämpötilaongelmien ratkaisemiseen niin talvi- kuin kesäkausillakin. Vaikka lämpötilat eivät kesällä nousseetkaan yli toimenpiderajan, on liian kuuma sisäilma selkeä sisäilman laatua ja viihtyvyyttä heikentävä tekijä. Myös talvisin liian kylmä sisäilma voi vaikuttaa viihtyvyyteen suuresti varsinkin päiväkodeissa, joissa lapset oleskelevat lattioiden tuntumassa ja kiinteistöissä ollaan usein ilman kenkiä tai muuta lämmintä ulkovaatetusta. Lämpötilaongelmat ovat suurempia vanhempaan rakennuskantaan kuuluvissa rakennuksissa. Rakennusvaiheessa rakennusten ylilämpenemistä voidaan estää arkkitehtuurisin, rakenneteknisin, taloteknisin ja maisemoinnin keinoin. Jälkikäteen rakennusten ylilämpenemistä voidaan vähentää passiivisilla aurinkosuojaratkaisuilla kuten kaihtimilla ja tuuletusikkunoiden

käytöllä. Passiiviset keinot eivät yksistään kuitenkaan riitä takaamaan viihtyviä lämpöolosuhteita, vaan helleaaltojen aikana tarvitaan myös aktiivista jäähdytystä ylilämpenemisen hillitsemiseksi.

Myös kuivaa sisäilmaa voidaan pitää sisäilmaa heikentävänä tekijänä. Ilmankosteus olikin toiseksi eniten mitatuista olosuhteista tavoitearvojen ulkopuolella. Sisäilman suhteellisen kosteuden nostaminen ilman merkittäviä ilmanvaihtoteknisiä kostutusjärjestelmiä on kuitenkin haastavaa ja tämän ongelman ratkaisemiseksi kaivataan rakenne- ja taloteknisesti turvallisia ja tehokkaita innovaatioita. Haasteita liian alhaisen suhteellisen kosteuden kanssa esiintyy kaikissa rakennuksissa niiden rakennusajankohdasta riippumatta.

Kiinteistöjen painesuhteisiin on myös hyvä kiinnittää huomiota. Liiallinen alipaine mahdollistaa epäpuhtauksien kulkeutumisen epätiiviiden rakenteiden ja rakenneliittymien kautta sisäilmaan heikentäen sen laatua. Haasteet paine-erojen kohdalla ovat selkeästi suuremmat vanhemmissa rakennuksissa, joissa talotekniset järjestelmät ovat useimmin jo ikääntyneitä ja vaativat enemmän huoltoa ja ylläpitoa, ehkä jopa uusimista. Vanhempien kiinteistöjen rakenteiden ilmatiiveys ei ole uusien kiinteistöjen tasoa. Epätiiviissä rakennuksessa suurien paine-erojen saavuttaminen on tiivistä rakennusta haastavampaa, joka puoltaa sitä, että paine-erojen epätasapaino johtuu merkittävistä ilmanvaihtojärjestelmien puutteista tai toimintahäiriöistä kuten erillispoistojen käyntiin jäämistä perusilmanvaihdon sammuessa.

8 Tulosten hyödynnettävyys

Opinnäytetyötä tehdessäni ja mittaustuloksia lukiessani minulla vahvistui tunne siitä, että jatkuvatoiminen olosuhdeseuranta ei ole yksiselitteinen ratkaisu kiinteistöjen sisäilmaongelmien ratkaisuun. Sen antama tieto kuitenkin tukee kiinteistön omistajaa ymmärtämään kiinteistön tilannetta ja auttaa miellyttävien ja terveellisten olosuhteiden ylläpitämisessä. Kun olosuhdejärjestelmään liittää palautteenantomahdollisuuden, kuten nyt on tehty, voidaan tietoa saada myös ihmisten kokemuksista, kuten Työterveyslaitoksen hyvän sisäympäristön ABC-mallissakin kehotetaan toimimaan [23]. Keskusteluissa muiden kaupunkien

vastaavien asiantuntijoiden kanssa kävi ilmi, että myös muualla Suomessa on tehty vastaavia havaintoja tämäntyyppisten järjestelmien käytöstä. Kuitenkin varsin vähän on kuultu siitä, miten muissa kunnissa mittaustietoa hyödynnetään ja koostetaan käytännössä.

Vantaan kaupungilla jatkuvatoimisen olosuhde- ja käyttäjäpalautejärjestelmän tuloksia on käytetty sisäilmaongelmia ennaltaehkäisevässä toiminnassa, ennakoivassa kiinteistönhoidossa sekä korjausten onnistumisen seurannassa. Mittaustuloksia kerätään aika ajoin yhteen ja yhteenveto tuloksista tiedotetaan myös kiinteistön käyttäjille, jolloin kaksisuuntainen vuorovaikutus käyttäjien kanssa säilyy. Muutamien päiväkotien kohdalla olosuhdetietoa on käytetty laajojen sisäilma- ja kosteusteknisten tutkimusten lähtötietoina ja tutkimusten aikaisten erillisten olosuhdeseurantojen sijasta varsin hyvällä menestyksellä. Hiilidioksidimittausten tuloksia on käytetty hyväksi terveydensuojeluviranomaisen pyynnöstä tehdyissä ilmanvaihdon riittävyyden mittauksissa.

Vantaan kaupungilla olosuhdeseurantajärjestelmää tullaan varmasti käyttämään aktiivisesti tulevien vuosien aikana. Tuloksia raportoidaan kohdekohtaisesti tilankäyttäjille ja huoltajille. Tiedon koonnille ja kokoomatulosten esittämiselle ei vielä ole olemassa vakiintunutta käytäntöä, mutta ajoittain tehtävä laajempi tiedon koonti voi tuoda arvokasta tietoa olosuhteiden hallinnasta.

9 Loppusanat

Opinnäytetyö oli luonteeltaan tutkimustyö, jonka tekemiseen olisin voinut käyttää vielä suuremman määrän työtunteja. Opinnäytetyön laajuustavoitteen takia kerättyä dataa käsiteltiin vain tässä opinnäytetyössä esitetyssä laajuudessa ja siitä olisi puristettavissa ulos vielä paljon enemmän tietoa. Tässä opinnäytetyössä esitetyllä tavalla tiedon kerääminen järjestelmästä vaati huomattavan määrän käsityötä, eikä tiedon kokoaminen tällä tarkkuudella ole mielestäni kannattavaa sellaisenaan ilman suurempaa tarkoitusta, kuten esimerkiksi tiedon kokoamista seminaariesitystä tai muuta vastaavaa esitystilaisuutta varten.

Tulen käyttämään järjestelmästä saatavia olosuhdetietoja hyväkseni osana jokapäiväistä työtäni, mutta se tulee tapahtumaan enemmän kohdekohtaisesti. Koen, että suurin hyöty järjestelmästä on ollut kohteissa, joissa on ollut tarvetta seurata ilmanvaihdon säätötoimien onnistumista sekä kohteissa, joissa on käynnissä ns. käyttöä turvaavia toimenpiteitä laajempaa korjausta odottaessa. Hiilidioksidimittaukset ovat olleet myös hyvä työkalu terveydensuojeluviranomaisen pyynnöstä tehdyissä ilmanvaihdon riittävyyden mittauksissa.

Yhtäaikaisesti mittauksia Vantaan kaupungilla on käynnissä tällä hetkellä noin kahdessakymmenessä päiväkodissa ja koulussa, joka on noin 12 % Vantaan päiväkotien ja koulujen yhteismäärästä. Olosuhdeseurantajärjestelmiä on tarkoitus pitää kiinteistöissä sen alkuperäisen asentamistarpeen mukaan aina noin vuodesta useampaan vuoteen asti. Näin toimittaessa Vantaan jokainen päiväkoti- ja koulukiinteistö on käyty läpi kahdeksassa vuodessa ja kaikista kohteista on seurattu sisäilmaston olosuhteita vähintään noin vuoden verran.

Lähteet

1 Asumisterveysohje 2003:1. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki 2003.

2 Terveydensuojelulaki 763/1994.

3 Asumisterveys. Verkkoaineisto. Valvira. <www.valvira.fi/ympäristoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>. Päivitetty 8.9.2016. Luettu 29.12.2022.

4 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. RT 07-11299. Rakennustieto Oy (tarkasteleminen vaatii kirjautumisen).

5 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje Osa I. Valvira. Päivitetty 25.4.2016. Luettu 15.10.2022

6 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1009/2017. 2018.

7 Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. 2007. LVI-05-10417. Rakennustieto Oy (tarkasteleminen vaatii kirjautumisen).

8 RAIL-hanke. Rakennusten kosteusvauriot ja ylilämpeneminen muuttuvassa ilmastossa. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:2. 2023.

9 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Laskentaopas. Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella 28.2.2018

10 Sisäilman kemikaalit. Verkkoaineisto. Valvira. <www.valvira.fi/ympäristoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>. Päivitetty 22.2.2016. Luettu 30.12.2022.

11 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. 2020. 654/2020

12 Kasvihuonekaasujen pitoisuudet. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet>. Luettu 30.12.2022

13 Hautala, Mikko; Peltonen, Hannu; Lahden Teho-Opetus Oy. 2003. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA I. 6., uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. (Sivut 221, 321)

14 Verkkoaineisto. Ilmankosteus. <http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>. Luettu 18.1.2023.

15 Tampereen teknillinen yliopisto. 2019. Sisäilman kosteuslisä ja lämpötilan sisäilmastoluokka kouluissa ja päiväkodeissa. Uusien ja korjattujen palvelurakennusten kenttämittaukset COMBI-tutkimushankkeessa.

16 Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Toim. Miia Pitkäranta. 28.09.2016

17 VTT Publications. Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures. Carey J. Simonson, Mikael Salovaara & Tuomo Ojanen. Espoo 2001

18 A-insinöörit. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. Liite 3. 14.10.2019.

19 Verkkoaineisto. IoT-laiteratkaisut. <https://smalldatagarden.fi/devices/ilmanlaatu/iotsu-l2-dp-01-differential-pressure/>. Luettu 18.1.2023.

20 Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. FMI DATA. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>. Tiedot ladattava erikseen. Luettu 27.1.2023.

21 Tampereen yliopisto. COMBI-hankkeen paine-eromittausten yhteenveto. Eero Tuominen, Anssi Laukkarinen, Antti Kauppinen, Tuomas Raunima, Juha Vinha. <https://research.tuni.fi/uploads/2019/10/e229a955-tuominen-et-al-rakennusfysiikka-2019-combi-hankkeen-paine-eromittausten-yhteenveto.pdf>.

22 Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Sisäilma 2020. VTT Technology 388. Huhtikuu 2021.

23 Verkkoaineisto. TTL. Sisäilma <https://www.ttl.fi/teemat/tyohyvinvointi-ja-tyokyky/sisailma>. Luettu 27.1.2023