

**HENRI HURME**

*Sisäilman laadun vertailu  
painovoimaisen ja koneellisen  
ilmanvaihdon kohteissa*

ADUCATE REPORTS AND BOOKS 8/2010



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*Aducate – Centre for Training  
and Development*

**HENRI HURME**

*Sisäilman laadun vertailu  
painovoimaisen ja koneellisen  
ilmanvaihdon kohteissa*

Aducate Reports and Books

8/2010

Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate  
Itä-Suomen yliopisto  
Kuopio  
2010

Aihealue:  
Rakennusten terveellisyys

Kopijyvä Oy

Kuopio, 2010

Sarjan vastaava toimittaja: Johtaja Esko Paakkola

Toimituskunta: Esko Paakkola (johtaja, KT), Jyri Manninen (prof., KT),  
Lea Tuomainen (suunnittelija, proviisori), Tiina Juurela (suunnittelija,  
TL) ja Helmi Kokotti (suunnittelija, RI/FT)

Myynnin yhteystiedot:

Sari.Zitting-Rissanen@uef.fi

puh. 040 5357 986

Itä-Suomen yliopisto, Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate

aducate-julkaisut@uef.fi

<http://www.aducate.fi>

ISSN 1798-9116

ISBN 978-952-61-0053-1

ISBN 978-952-61-0054-8

## **ABSTRACT:**

Tutkimuksessa mitattiin sisäilman laatua (hiukkaset, IO-suhde, lämpötila, kosteus ja hiilidioksidi) omakotitaloissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys tai koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Koneellisella ilmanvaihdolla ei tulosten perusteella saavuteta merkittävästi parempaa sisäilman laatua tutkittujen parametrien osalta – suurin alenema oli CO<sub>2</sub>-pitoisuuksissa. Jos koneellisen ilmanvaihtojärjestelmien oikeat säädöt ja huollot olisi tehty ennen mittauksia, koneellisen ilmanvaihdon vaikutus olisi voinut olla parempi.

## **AVAINSANAT:**

sisäilman laatu, ilmanvaihto, hiukkaset, lämpötila, kosteus, hiilidioksidi

## **ABSTRACT:**

Indoor air quality (particles, IO-ratio, temperature, humidity and CO<sub>2</sub>) were measured in single-family houses having either natural ventilation, air-exchange heating or mechanical supply and exhaust ventilation system. The results revealed the indoor air quality to be almost at the same level in all houses despite of ventilation system. Only the CO<sub>2</sub> concentration was less in the houses with mechanical ventilation. The adjustments of air flows and maintenance of the system were not done before the study. Thus, the results exposed the actual situation in houses during normal use.

## **KEYWORDS:**

indoor air quality, ventilation, dust, temperature, humidity, carbon dioxide



## *Esipuhe*

Sisäilmalla tarkoitetaan rakennuksen tai muun tilan sisällä olevaa ilmaa. Rakennuksen sisällä vallitseva ilmasto koostuu monista eri tekijöistä. Käsitteenä sisäilmalla tarkoitetaan hiukkasia, kaasuja ja mikrobeja, joita kulkeutuu hengitysteihin. Sisäilmasto on laajempi käsite, johon kuuluu sisäilman lisäksi lämpöolosuhteet, kosteus, säteilyolosuhteet, sähköiset ominaisuudet, melu ja valaistus. Kun sisäilmasta ei aiheudu terveyshaittaa ja sisätilaa käyttävät ihmiset ovat tyytyväisiä sisäilmaan, voidaan sisäilmaa pitää hyvänä. Tutkimus käsittelee sisäilmanlaadusta hiukkasia, lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidia. Näihin edellä mainittuihin tekijöihin pystytään vaikuttamaan kohtuullisen helposti asunnoissa. Kohteena olivat omakotitalot ja tutkitut ilmanvaihtotyypit ovat painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Tutkimuksessa selvitettiin painovoimaisen ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtotyyppien sisäilmanlaatua ja nykyaikaisen koneellisen ilmanvaihdon hyötyä sisäilmaan.

Lopputyön ohjaajina toimivat Helmi Kokotti ja Vesa Asikainen. Haluan kiittää ohjaajiani tutkimuksen ohjauksesta ja asiantuntija-avusta. Kiitän koko koulutuksesta myös koulutusohjaajaa Helmi Kokottia, joka on motivoinut opiskelua. Suuri kiitos myös perheelleni, erityisesti vaimolle ja sukulaisilleni joilta olen saanut kannustusta tekemisiini.

Raahessa 12.04.2010

Henri Hurme



# Sisällysluettelo

## Esipuhe

1. Sisäilman epäpuhtaudet ja ilmanvaihto.....	13
<b>1.1 SISÄILMA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 HUONEILMAN LÄMPÖTILA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 HUONEILMAN KOSTEUS .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 HUONEILMAN HIILIDIOKSIDI .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 HIUKKASET .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6 ILMANVAIHTO .....</b>	<b>21</b>
1.6.1 Ilmanvaihtotyypit.....	24
2. Tutkimuksen tavoite .....	25
3. Aineisto ja menetelmät .....	26
4. Tulokset .....	28
<b>4.1 LÄMPÖTILA.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 KOSTEUS.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 HIILIDIOKSIDI.....</b>	<b>32</b>
<b>4.4 HIUKKASET .....</b>	<b>34</b>
<b>4.5 TEHOSTETTU TUULETUS.....</b>	<b>37</b>
<b>4.6 HIUKKASTEN IO-SUHDE.....</b>	<b>41</b>
5. Johtopäätökset .....	50
6. Yhteenvedo .....	53
7. Lähdeluettelo.....	55

## LIITTEET

Liite 1. Kesän ja talven mittaustulokset keskiarvona.

Liite 2. Mittaustulokset kesä ja talvi eriteltynä.

Liite 3. Asuntojen IO- suhteet.



## **Taulukkoluetelo**

Taulukko 1. Lämpötilojen, lämpötilaindeksien ja ilman virtausnopeuden ohjeellisia arvoja. Asumisterveysohje, 2003.

Taulukko 2. Tutkimuskohteiden rakennusteknisiä taustatietoja.

## **Kuvaluettelo**

Kuva 1. Sisäilman lämpötilojen (°C) keskiarvot kesän ja talven mittausten keskiarvona.

Kuva 2. Sisäilman lämpötilojen (°C) keskiarvot kesän ja talven mittausten keskiarvona kohteittain.

Kuva 3. Sisäilman lämpötilan (°C) käyrä koneellisen ilmanvaihdon kohteessa kesäolosuhteissa.

Kuva 4. Sisäilman lämpötilan (°C) käyrä painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa talviolosuhteissa.

Kuva 5. Sisäilman RH:n (%) keskiarvot kesällä ja talvella eri ilmanvaihdon kohteissa.

Kuva 6. Sisäilman RH (%) eri kohteissa kesällä ja talvella.

Kuva 7. Sisäilman suhteellisen kosteuden (%) vaihtelu koneellisen ilmanvaihdon kohteessa talvella.

Kuva 8. CO<sub>2</sub> pitoisuudet (ppm) kesän ja talven yhdistettynä keskiarvona.

Kuva 9. CO<sub>2</sub> pitoisuudet (ppm) kesän ja talven yhdistettynä keskiarvona kohteittain.

Kuva 10. Hiilidioksidipitoisuuden (ppm) vaihtelu painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa.

Kuva 11. Hiilidioksidipitoisuuden (ppm) vuorokausivaihtelu painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa.

Kuva 12. Hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm kesän ja talven yhteisenä keskiarvona eri ilmanvaihtotavan kohteissa.

Kuva 13. Kesäajan hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm eri ilmanvaihtotavan kohteissa.

Kuva 14. Talviajan hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm eri ilmanvaihtotavan kohteissa.

Kuva 15. Sisäilman lämpötila (°C) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 16. Sisäilman suhteellinen kosteus (RH,%) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 17. Sisäilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus (ppm) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 18. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm. Talo 3. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 19. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm. Talo 2. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 20. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm. Talo 6. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

Kuva 21. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm talviajalta. Tehostettu tuuletus 3 painovoimaista ja normaalitoiminta 5 painovoimaista sekä koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät.

Kuva 22. Kesäajan IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3 µm...>10 µm) kohteissa, joissa oli joko painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) ilmanvaihto tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).

Kuva 23. Talviaajan IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3 µm...>10 µm) kohteissa, joissa oli joko painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) ilmanvaihto tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).

Kuva 24. Kesän ja talven IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3 µm...>10 µm) kohteissa, joiden ilmanvaihtojärjestelmä oli: painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).

Kuva 25a. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >0,3µm hiukkasilla.

Kuva 25b. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >0,5µm hiukkasilla.

Kuva 25c. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >1µm hiukkasilla.

Kuva 25d. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >3µm hiukkasilla.

Kuva 25e. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >5 µm hiukkasilla.

Kuva 25f. IO- suhteet eriteltyinä kohteittain >10µm hiukkasilla.

## *Käsitteitä*

### **Oleskeluvyöhyke:**

Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

### **Huoneilman lämpötila:**

Ilman lämpötila, mitattuna mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta. Huoneilman lämpötila mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti.

### **Operatiivinen lämpötila:**

Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Operatiivinen lämpötila kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen.

### **Ilmanvaihdon tarve:**

Tarvittavan ilman laadun ylläpitämiseksi tarvittava ilmanvaihto.

### **Ilmanvaihto:**

Tapahtuma, jossa tilaan tulee ja sieltä poistuu ilmaa. Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää tilassa sopivaa ilman laatua. Ilmanvaihto voi olla joko koneellisesti toteutettu tai painovoimainen ilmanvaihto.

### **Hiilidioksidi:**

Ihmisen aineenvaihdunnasta peräisin oleva epäpuhtaus sisäilmassa CO<sub>2</sub>.

### **Sisäilma:**

Sisäilmalla tarkoitetaan hengitettävää ilmaa.

### **Sisäilmasto:**

Sisätilojen ilman laatu kokonaisuudessaan, johon kuuluvat sisäilman lisäksi esimerkiksi lämpöolosuhteet, suhteellinen kosteus ja vetoisuus.

**Suhteellinen kosteus:**

Suhteellinen kosteus (tavallisesti Rh, myös RH (%) tai  $\Phi$ ) on todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa. Se kertoo, kuinka monta prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästyskosteudesta.

**ppm:**

Aineen pitoisuus tilavuusosuutena ilmassa. Tilavuusosuudenyksikkönä käytetään tilavuuden miljoonasosaa, joka ilmaistaan yleisesti lyhenteellä ppm. Voi olla joskus myös massaosuutena ilmassa.

**Lämpöiihtyvyy:**

Lämpöiihtyvyyden kokeminen ja lämpöiihtyvyyden puutteiden aiheuttamat terveydelliset vaikutukset ovat yksilöllisiä ja riippuvat monesta tekijästä, kuten sisäilmaolosuhteista, ihmisen terveydentilasta, iästä, herkistymisestä, altistusajasta sekä psykologisista tekijöistä.

Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän lisäksi mm. vaipan ilmavuodot ja pintojen lämpötilat.

**Kosteus:**

Kosteus tarkoittaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa.

**Terveyshaitta:**

Asuinympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuva sairaus tai terveyden häiriö. Terveyshaittana pidetään myös altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai oloille siten, että sairauden tai sen oireiden ilmeneminen on mahdollista. Sisäilmaohjeessa todetaan, että silmin havaittava mikrobikasvusto asunnon rakenteissa ja sisäpinnoilla on myös terveyshaitta.



# *1. Sisäilman epäpuhtaudet ja ilmanvaihto*

## **1.1 SISÄILMA**

Asunnon ja muiden oleskelutilojen terveellisyyteen vaikuttavat kemialliset ja mikrobiologiset epäpuhtaudet sekä fysikaaliset olot. Fysikaalisia tekijöitä ovat sisäilman lämpötila ja kosteus, melu, ilmanvaihto, säteily ja valaistus. Epäpitoisuuksien pitoisuus sisäilmassa riippuu myös ilmanvaihdon toiminnasta ja sen tehokkuudesta. Terveysturvallisuuslain (763/94) 26 §:n mukaan asunnon ja muun sisätilan sisäilman tulee olla puhdasta eivätkä lämpötila, kosteus, melu, ilmanvaihto, valo, säteily, mikrobit ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa asunnossa tai sisätilassa oleskeleville. Puhtaudella tarkoitetaan esimerkiksi sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia sekä sisäilman mahdollisesti sisältämiä hiukkasia ja kuituja. Asuntojen terveydellisiä ohjeita ja määräyksiä on esitetty sosiaali- ja terveysministeriön julkaisemassa Asumisterveysohjeessa (2003:1,STM) ja Asumisterveysoppaassa (2007, STM).

Sisäilmalla tarkoitetaan rakennuksen tai muun tilan sisällä olevaa ilmaa. Rakennuksen sisällä vallitseva ilmasto koostuu monista eri tekijöistä. Käsitteenä sisäilmalla tarkoitetaan hiukkasia, kaasuja ja mikrobeja, joita kulkeutuu hengitysteihin. Sisäilmasto on laajempi käsite, johon kuuluu sisäilman lisäksi lämpöolosuhteet, kosteus, säteilyolosuhteet, sähköiset ominaisuudet, melu ja valaistus. Kun sisäilmasta ei aiheudu terveyshaittaa ja sisätilaa käyttävät ihmiset ovat tyytyväisiä sisäilmaan, voidaan sisäilmaa pitää hyvänä (Seppänen, 1996). Sisäilma on merkittävä tekijä ihmiselle, tämä johtuu siitä että valtaosa suomalaisista oleskelee sisätiloissa yli 90% elinajastaan.

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto.

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja. Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa. (RakMK D2, 2003).

## **1.2 HUONEILMAN LÄMPÖTILA**

Ilman lämpötila on yksi keskeisistä tekijöistä sisäilmaston viihtyvyyden ja terveyden kannalta. Ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus, kosteus, ihmisen vaatetus ja toiminnan laatu. Ihmisen kokema lämpöaistimus on yksilöllistä ja toiset kokevat samat olosuhteet erilaisina. Lämpöaistimukseen ihmisellä vaikuttaa myös terveydentila ja joskus ikä. Lämpöolot vaikuttavat lähinnä viihtyvyyteen, mutta pitkäaikainen veto ja viileys saattavat aiheuttaa myös terveyshaittaa. Jos huoneilman lämpötila on liian matala tai korkea, ilma on liian kosteaa tai kuivaa, ilmanvaihto on vajaa tai liian suuri tai ilmanvaihtojärjestelmä on epätasapainossa, voi näistä seikoista aiheutua ihmisille oireilua ja terveyshaittaa tai ne voivat saada heidät kokemaan asunto-olonsa epävihtyisiksi. Lämpöolot ovat siten ulkovaipan toimivuuden, ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän toiminnan sekä ulko- ja sisäpuolisen kuormituksen summa, jossa kukin osatekijä vaikuttaa sitä enemmän, mitä enemmän toiminta poikkeaa asianmukaisesta ja hyväksyttävästä toimivuudesta. Jos huoneilma on lämmityskaudella liian lämmintä, se voi lisätä väsymistä, keskittymiskyvyn alenemista, hengitystieoireilua ja aiheuttaa kuivuuden tunnetta, mikä johtaa usein turhaan ilmastutukseen. Liian korkea

lämpötila voi myös kiihdyttää kaasumaisten epäpuhtauksien vapautumista lähteistään. Huoneilman lämpötila ja vetoisuus mitataan standardin SFS 5511 kohdan 4 mukaisesti, operatiivinen lämpötila saman standardin kohdan 5 mukaisesti pallo-, kuutio- tai ellipsilämpömittarilla ja pintalämpötila kohdan 6 mukaisesti infrapunalämpömittarilla tai asianmukaisella pinta-anturilla varustetulla kosketuslämpömittarilla. (2003:1, STM). Seuraavan sivun taulukossa 1 on asumisterveysohjeen taulukko lämpöolosuhteista.



Taulukko 1. Lämpötilojen, lämpötilaindeksien ja ilman virtausnopeuden ohjeellisia arvoja. Asumisterveysohje, 2003.

## LÄMPÖTILOJEN, LÄMPÖTILAINDEKSIEN JA ILMAN VIRTAAUSNOPEUDEN OHJEELLISIA ARVOJA

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) <sup>1)</sup>	18 <sup>1)2)</sup>		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 <sup>2)</sup>		20	
Seinän lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	16 <sup>6)</sup>	81	18 <sup>6)</sup>	87
Lattian lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	18 <sup>2)6)</sup>	87	20 <sup>6)</sup>	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 <sup>4)6)</sup>	61	12 <sup>6)</sup>	65
Ilman virtausnopeus <sup>5)</sup>	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä, kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.

4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pistemäinen pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C.

### 1.3 HUONEILMAN KOSTEUS

Sisäilman kosteus vaikuttaa esimerkiksi ihmisen hikoiluun ja hengitykseen. Liiallinen ilman kosteus voi edistää pölypunkkien esiintymistä ja aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin, mikä puolestaan lisää mikrobikasvun riskiä.

Suomen olosuhteissa sisäilman liiallinen kosteus ei yleensä ole ongelma. Ongelmia saattaa kuitenkin syntyä ilman kosteuden tiivistyessä eli kondensoituessa kylmiin pintoihin rakennuksen ulkovaipan lämpövuotojen ja ilmapuotojen seurauksena. Märkätiloissa kosteus nousee helposti liian korkeaksi, jos ilmanvaihto ei ole riittävää. Kuiva ilma hidastaa hengitysteiden värekarvojen liikettä ja heikentää liman poistumista hengitysteistä. Tällöin limakalvojen kyky vastustaa tulehduksia vähenee. Kuivan ilman aiheuttamat ongelmat ovat myös osittain yksilöllisiä. Omissa käytännön tutkimuksissa alhainen huoneilman kosteus noin 20% ei kaikissa paikoissa ole ollut aistittavissa, kun taas toisissa kohteissa on tunnettu sisäilman olevan kuivaa sen ollessa 24% tienoilla. Alhainen ilman kosteus lisää myös staattisen sähkön muodostumista.

Asumisterveysohjeen mukaan asunnon ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 20 – 60 %, joskaan sen saavuttaminen ei ole aina mahdollista muun muassa ilmastollisista syistä. Näistä arvoista poikkeamista ei voida pitää terveyshaittana, jos muut asumisen terveydelliset edellytykset täyttyvät. Terveydelliseltä kannalta paras sisäilman suhteellinen kosteus on 30 - 40 %. Huoneilman kostuttamista tulee aina välttää. Jos kuitenkin huoneilmaa kostutetaan ilman kostuttimella, on ilman suhteellista kosteutta seurattava luotettavalla kosteusmittarilla. Huoneilman kosteus mitataan standardin SFS 5511 kohdan 8 mukaisesti samasta kohdasta kuin huoneilman lämpötila (2003:1, STM).

## 1.4 HUONEILMAN HIILIDIOKSIDI

Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa sisäilmaan hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) ja muita epäpuhtauksia. Hiilioksidin määrää sisäilmassa voidaan pitää ihmisestä peräisin olevien sisäilman epäpuhtauksien indikaattorina. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota suureksi esimerkiksi asuinhuoneiston makuuhuoneessa yön aikana, koulun luokahuoneessa oppituntien aikana ja päiväkodin lepoahuoneessa. Sisäilma tuntuu tällöin tunkkaiselta.

Hiilidioksidin suuri pitoisuus sisäilmassa voi aiheuttaa väsymystä, päänsärkyä ja työskentelytehon huononemista. Sisäilman kohonnut hiilidioksidipitoisuus on osoitus ilmanvaihdon riittämättömyydestä, eikä sille voida ilmoittaa mitään erityistä terveydellistä ohjearvoa. Jos sisäilman hiilidioksidipitoisuus ylittää 2 700 mg/m<sup>3</sup> (1 500 ppm), ilmanvaihto ei ole terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla. Hiilidioksidi tulisi mitata sisäilmasta, jos sisäilma tuntuu tunkkaiselta tai ilmanvaihdon riittävyttä on syytä epäillä. Tyydyttävänä hiilidioksidipitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää arvoa 2 160 mg/m<sup>3</sup> (1 200 ppm). Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden vaihteluita (usean tunnin tai vuorokauden aikana) on suositeltavaa seurata sellaisilla jatkuvatoimisilla, rekisteröivillä mittalaitteilla, joiden toiminta perustuu esimerkiksi infrapunasäteilyn adsorptioon (SFS 5412) tai sähkökemialliseen kennoon. Mittalaitteet on kalibroitava säännöllisesti ja sähkökemiallisten laitteiden kennot on uusittava muutaman vuoden välein. Hetkellinen hiilidioksidipitoisuus voidaan mitata myös suoraan osoittavilla ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät imettäessä niiden läpi tietty ilmavirta (2003:1, STM).

Käytännössä sisäilman hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota suureksi esimerkiksi painovoimaisessa ilmanvaihdossa makuuhuoneessa yön aikaan väliovien ollessa suljettuna. Lisäksi pitoisuuksiin vaikuttaa huoneen ilmatilavuus ja tiiviys. Uudemmissa koneellisissa ilmanvaihtojärjestelmissä ei tätä ongelmaa yleensä ole.

## 1.5 HIUKKASET

Hiukkasia on aina ilmassa. Hiukkasten koko, muoto ja koostumus vaihtelevat merkittävästi eri olosuhteissa. Valtaosa hiukkasista on niin pieniä, ettei niitä paljain silmin pysty näkemään. Hiukkasten koosta käytetään yksikköä mikrometri ( $\mu\text{m}$ ) eli millimetrin tuhannesosa. Suuret hiukkaset aiheuttavat likaantumista ja voivat olla merkittävä viihtyisyyshaitta. Niiden olemassaolon pystyy ihminen helposti havaitsemaan. Ilmassa leijuvista suurista hiukkasista osa on maaperästä lähtöisin, osa katupölyä ja osa myös kasvien siitepölyjä ja sienien itiöitä. Terveysvaikutuksiltaan merkittävimpiä ovat pienet hiukkaset, joita ei pysty näkemään. Hiukkaset voidaan jakaa neljään kokoluokkaan: Suuret hiukkaset ovat yli 10  $\mu\text{m}$  kokoisia. Suuret hiukkaset jäävät pääosin nenään ja nieluun. Hengitettävät hiukkaset ovat alle 10  $\mu\text{m}$  kokoisia. Suurimpia hengitettäviä hiukkasia sanotaan karkeiksi hiukkasiksi joiden koko on 2,5 -10 $\mu\text{m}$ . Ne tunkeutuvat keuhkoputkiin saakka ja poistuvat limaerityksen ja värekarvatoiminnan ansiosta tuntien kuluessa nieluun ja ruoansulatuskanavaan ja edelleen pois elimistöstä. Pienimmät hiukkaset eli pienhiukkaset ovat alle 2,5  $\mu\text{m}$  ja ultrapienet hiukkaset alle 0,1  $\mu\text{m}$  kokoisia. Pienhiukkaset pääsevät keuhkorakuihin saakka ja niistä liukenevia yhdisteitä voi päästä verenkiertoon (Hiukkasia ilma opas, Hengityслиitto Heli 2005).

Kokonaisleijuman lähteinä ovat ihmisen toiminta sekä ulkoilmasta sisään siirtyvät liikenteen aiheuttamat päästöt, kuten katupöly ja luonnosta peräisin oleva pöly. Sisäilmassa suuret hiukkaset eivät jää leijumaan ilmaan, vaan ne laskeutuvat lattialle ja muille tasopinnoille. Terveydellistä merkitystä on erityisesti laskeutuneen pölyn sisältämällä orgaanisilla hiukkasilla ja mineraalivillakuiduilla. Ärsytysoireet voivat aiheutua suorasta ihokosketuksesta ja hetkellisesti kohonneiden hiukkaspitoisuuksien kuormittaessa hengitysteiden limakalvoja ja silmiä. Hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset ovat ulkoilmassa peräisin palamisreaktioista, liikenteen, energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen kaukokulkeumasta ja katupölystä sekä sisätiloissa ulko/sisäsiirtymästä, tupakansavusta ja muista sisälähteistä (huonepöly, ruuanlaitto,

jne.). Pienhiukkasten oletetaan olevan terveydelle haitallisimpia, koska ne kulkeutuvat syviin hengitysteihin. Ulkoilman pienhiukkasten on todettu lisäävän lasten ja astmaatikkojen oireita sekä hengitys- ja sydänsairaiden sairaalaanottoja ja kuolleisuutta. Ulkoilman hiukkasten aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ei ole nykyisen tutkimustiedon perusteella määritettävissä pitoisuutta, jonka alapuolella haittoja ei esiintyisi. Hiukkasten pitoisuus voidaan määrittää joko niiden massana tai lukumääränä ilmatilavuutta kohden (2003:1, STM).

Ilman suodatuksella poistetaan ulkoilmasta ja kiertoilmasta haitalliset epäpuhtaudet kunkin tarkoituksen vaatimalla tavalla. Suodatuksen vaatimustaso määräytyy terveyden, turvallisuuden, siisteyden, laitteiden toiminnan, kulumisen tai tuotteiden pilaantumisen mukaan (Seppänen O., 1996).

### **Sisälähteet:**

Sisäilman pienhiukkasten yleisin ja merkittävin lähde on ulkoilma. Ilman erityisiä sisälähteitä sisäilman pienhiukkaspitoisuudet ovat 65-90 % ulkoilman vastaavasta pitoisuudesta. Yleisin sisälähde on ihmisen liikkumisesta ja fyysisestä aktiivisuudesta aiheutuva pöly, joka koostuu pääasiassa erilaisista mineraalihiukkasista. Merkittävin sisälähde on kuitenkin tupakointi. Pienhiukkaspitoisuuksia nostavat sisäilmassa myös kaikki muut vapaassa tilassa tapahtuvat polttoprosessit.

### Altistumistasot:

Ilman erityisiä kodin tai työpaikan sisälähteitä aktiivisen kansalaisen pienhiukkasaltistumisen taso on keskimäärin hieman ulkoilmapitoisuutta korkeampi, ja poikkeaa tästä myös koostumukseltaan sekä lähdeosuuksiltaan. Koska kansalainen viettää ajastaan valtaosan sisätiloissa, rakennusten ilmanvaihdossa ja sisätiloissa tapahtuva hiukkasten passiivinen (depositio) ja aktiivinen (koneellisen ilmanvaihdon suodattimet) suodattuminen vähentää altistumista ulkoilman pienhiukkasille. Liikenteestä peräisin oleville pienhiukkasille altistumisen taso on siis keskimäärin n. 50% ulkoilmapitoisuutta suurempi ja vaihtelee huomattavasti.

Terveysvaikutukset altistumispitoisuuksilla:

Ulkoilman pienhiukkaset (läpimitta alle 2.5 µm, PM2.5) lisäävät hengityselinsairauksiin sekä sydän- ja verisuonitauteihin liittyvää sairastavuutta ja kuolleisuutta myös Suomessa. Sairastavuus ja kuolleisuus lisääntyvät päivinä, jolloin pienhiukkasaltistukset ovat suuria. Samoin kuolleisuus on korkeampi kaupungeissa, joiden ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet ja pitkäaikaispitoisuudet ovat korkeat.

(Jantunen M. ym., 2005)

## **1.6 ILMANVAIHTO**

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa asunnon ja muiden oleskelutilojen sisäilmaa epäpuhtauksia sekä kosteutta ja liiallista lämpöä sekä samalla huolehtia puhtaan korvausilman saannista. Epäpuhtaudet ovat yleensä peräisin ihmisten aineenvaihdunnasta, asumisen erilaisista toiminnoista, rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja eräissä tapauksissa maaperästä (radon). Ilmanvaihdon suuruus määräytyy yleensä sen epäpuhtauden mukaan, jonka pitoisuuden alentamiseen tarvitaan eniten puhdasta ilmaa (ulkoilma).

Rakennuksen ilmanvaihto vaikuttaa suoraan tai välillisesti niihin tekijöihin, jotka aiheuttavat terveyshaittaa asunnossa tai muussa oleskelutilassa. Sisäilman epäpuhtaudet ovat pääasiassa kemiallisia yhdisteitä, ja ihmisen altistuminen niille riippuu kolmesta eri tekijästä: epäpuhtauspäästöstä, ilmanvaihdosta ja altistusajasta. Asunnossa ei yleensä voida vähentää altistusaikaa. Jos asunnossa tai muussa oleskelutilassa on materiaaleja, joista vapautuu sisäilmaan epäpuhtauksia, voidaan näitä materiaaleja poistaa tai vaihtaa ja ilmanvaihtoa tehostaa. Jos halutaan vähentää ihmisen aineenvaihdunnasta ja toiminnoista johtuvia sisäilman epäpuhtauksia, ilmanvaihdon tehostaminen on yleensä ainoa käytettävissä oleva menetelmä. Väärin suunniteltu tai toteutettu ilmanvaihto voi aiheuttaa terveyshaittaa.

Riittämättömän ilmanvaihdon seurauksena huoneilman hiilidioksidipitoisuus kohoaa, mikä aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, väsymystä, päänsärkyä ja keskittymis-

kyvyn alenemista. Huoneisiin kantautuva puhaltimien, kanaviston tai venttiilien melu saattaa olla häiritsevää. Liian suuri tai kylmä tuloilmavirta voi aiheuttaa vetoa. Epätasapainossa oleva ilmanvaihtojärjestelmä voi aiheuttaa myös sen, että terveydelle haitallisia epäpuhtauksia kulkeutuu asuntoihin rakennuksen muista tiloista. Ilmanvaihtolaitteet voivat myös olla epäpuhtauksien lähteenä, erimerkiksi huonokuntoisista äänenvaimennusmateriaaleista voi irrota kuituja tuloilmaan.

Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa ilmaan hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) ja muita epäpuhtauksia. Hiilidioksidin määrää sisäilmassa voidaan pitää ihmisestä peräisin olevien epäpuhtauksien esiintymisen indikaattorina. Sisäilma ei ole terveydensuojalain vaatimukset täyttävää, jos hiilidioksidipitoisuus on yli 2 700 mg/m<sup>3</sup> (1 500 ppm). Huoneilma saattaa kuitenkin tuntua tunkkaiselta hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä 2 160 mg/m<sup>3</sup> (1 200 ppm). Ulkoilmavirran pitäisi olla yleensä noin 4 l/s henkilöä kohden, jotta hiilidioksidipitoisuus ei kohoaisi suuremmaksi kuin 1 500 ppm.

Asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa on yleensä myös muita epäpuhtauksien lähteitä, jotka lisäävät sisäilman epäpuhtauksien määrää. Epäpuhtauksien vähentämiseksi tai poistamiseksi ulkoilmaa tarvitaan enemmän, yleensä 8 – 10 l/s henkilöä kohden.

Ilmanvaihdon tarvetta arvioitaessa on otettava huomioon myös liian suuren ilmanvaihdon aiheuttamat haitat: vetoisuus, ilmanvaihdon aiheuttama melu ja sisäilman liiallinen kuivuminen silloin, kun ulkoilman lämpötila on alle – 5 °C. Vanhojen rakennusten ilmanvaihdolle voidaan tapauskohtaisesti hyväksyä edellä mainitusta ohjeesta poikkeava vähäisempi ilmanvaihto. Riittävästä ilmanvaihdosta on tällöin pyrittävä huolehtimaan esimerkiksi ikkunatuuletuksella. Ilmanvaihdon suunnitteluperusteet ja ohjearvot ovat ympäristöministeriön julkaisemassa rakennusmääräyskoelmassa D2 ”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto”. Asunnon ilmanvaihto on terveyden kannalta riittävää silloin, kun ilmanvaihtojärjestelmän aikaansaama ilmanvaihtuvuus on vähintään 0,5 m<sup>3</sup>/h kaikissa asuinhuoneissa (ilmanvaihtokerroin 0,5 l/h). Ilman tulee vaihtua kaikissa huoneissa, erityisesti makuu- ja oleskeluhuoneissa silloin, kun asunnossa oleskellaan, ja pesutiloissa silloin, kun ne ovat käytössä tai märkiä. Ilmanvaihdon pitää toimia, vaikka huoneisto olisi tilapäisesti tyhjiillään.

Muiden oleskelutilojen ilmanvaihto on terveydensuojelulain vaatimukset täyttävää, kun se on rakennuksen rakentamisajankohtana voimassa olleen rakentamismääräyskokoelman osan D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto" mukaista. Asunnon ilmanvaihdon lisääminen tilapäisesti vähimmäismäärää (0,5 l/h) suuremmaksi on tarpeen, kun asunnossa esimerkiksi laitetaan ruokaa, saunotaan, kuivataan pyykkiä, siivotaan, tupakoidaan tai tiloissa oleskelee suuri määrä ihmisiä. Ilmanvaihtolaitteiden aiheuttama melu ja veto eivät saa aiheuttaa terveyshaittaa. Ilmanvaihdon ilmapvirrat eivät saa olla niin suuria, että huoneilman lämpötila ja kosteus niiden johdosta laskevat selvästi (2003:1, STM).

Sisäilman laadun ja ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden kannalta tuloilman suodattimella on tärkeä rooli. Sisälle tulevaa ulkoilmaa on siis puhdistettava. Tuloilman suodatuksella estetään epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Ilmansuodatusta tarvitaan ennen kaikkea ihmisen terveyden ja viihtyvyyden vuoksi. Myös ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja monet tuotantoprosessit ja herkät laitteet edellyttävät ympäröivältä ilmalta puhtautta. Tehokas sisälle tulevan ulkoilman suodatus on mahdollista vain, jos tuloilma tuodaan sisään huonetiloihin koneellisesti. Ilmaa voidaan puhdistaa erilaisten suodattimien avulla. Suodattimen oikea valinta on monivaiheinen tehtävä, johon vaikuttavat ennen kaikkea kohteen käyttötarkoitus, käyttöaika, ulkoilman laatu, sisäiset epäpuhtauslähteet ja sisäilman tavoitetaso. Useimmissa uusissa asuinrakennuksiin tarkoitetuissa ilmanvaihtokoneissa on jo vakiovarusteena hienosuodatin, joka poistaa tuloilmasta myös valtaosan pienhiukkasista. Suodattimet jaotellaan yleensä seuraaviin luokkiin, karkeasuodatin luokat G1-G4, hienosuodatin luokat F5-F9, hepasuodatin luokat H10-H14 ja ulpasuodatin luokat U15-U18.

Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Oleskelutilojen tuloilma on yleensä suodatettava. Tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimien erotusaste on vähintään 80 % 1,0 $\mu$ m:n hiukkasilla suodattimen käyttöiän aikana. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on F7. Suodatinkehyyksen ja ilman virtaussuunnassa sen jälkeen olevien alipaineisten osien vuotoilmavirta ei saa merkittävästi heikentää ilman-



suodatuksen tehokkuutta. Taajamaja teollisuusalueiden ulkopuolella ja etäällä vilkasliikenteisiltä liikenneväyliltä sijaitsevien rakennusten tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimena on vähintään karkeasuodatin. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on G4. (RakMK D2, 2010). Sisäilmastoluokitus 2008, S1 luokassa käytetään F8 suodatinta ja S2 luokassa F7 suodatinta.

### **1.6.1 Ilmanvaihtotyypit**

Ilmanvaihtojärjestelmät ovat tavallisesti asuinrakennuksessa:

- Painovoimainen poistoilmanvaihto
- Koneellinen poistoilmanvaihto
- Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
- Ilmanvaihtolämmitys

#### **Painovoimainen poisto**

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma saadaan liikkeelle sisä- ja ulkoilman välisten paine ja lämpötilaerojen avulla. Painovoimaisessa hormissa ilman liikkeen aiheuttama paine-ero on pieni, eikä hormiin voi tehdä mutkia eikä pitempiä vaakasuoraan meneviä putkilinjoja. Ongelmana ilmanvaihdossa on huono säädettävyys, koska ilmavirrat vaihtelevat sääolosuhteiden mukaan, esimerkiksi kun lämpötilaeroa ja tuulta ei ole, ei hormissa ole silloin ilmavirtaakaan. Poistohormit ovat yleensä keittiössä, WC:ssä ja kylpyhuoneessa. Tuloilma tulee rakenteiden läpi tai tuloilmaventtiileistä. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan tehostaa järkevällä ikkunatuuletuksella ja liesituulettimen ajoittaisella käytöllä.

#### **Koneellinen poistoilmanvaihto**

Koneellisen poistoilmanvaihdon poistoilmaventtiilit on sijoitettu samalla tavalla kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Poistoilman määrää lisätään puhaltimilla ja se voidaan säätää vakioksi, eikä ulkoilman olosuhteet vaikuta virtauksiin kovin paljoa.

Heikkoutena voidaan pitää puhtaan tuloilman saantia joka monesti tulee rakenteiden läpi. Tuloilmaa voidaan johtaa myös venttiileistä, mikä kylmän sään aikana voi aiheuttaa vetoa koska ilmaa ei lämmitetä.

### **Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto**

Tuloilma johdetaan yleensä makuu- ja oleskelutiloihin ja poistoilma viedään WC:stä, keittiöstä, kylpyhuoneesta ja vaatehuoneista ulos. Rakennuksen vaippa tehdään tiiviksi, jolloin puhdas ilma sisälle saadaan tehokkaasti suodattimien kautta. Tuloilma lämmitetään lämmöntalteenoton avulla, eikä tuloilmasta näin aiheudu vetoa. Järjestelmä toimii hyvin oikein säädettynä, huollettuna ja käytettäessä.

### **Ilmanvaihtolämmitys**

Ilmalämmityksen lämmitykseen on yhdistetty myös ilmanvaihto. Lämpö siirretään huoneeseen lämmitetyn ilman välityksellä. Suurin osa ilmasta kierrätetään takaisin ilmalämmityskoneeseen ja osa ilmanvaihtoilmana poistoilmana ulos. Poisto- ja ulkoilman lisäksi palautusilma on varustettu suodattimella. Palautusilman suodatus vaikuttaa rakennuksen ilman laatuun.

## *2. Tutkimuksen tavoite*

Tutkimuksen tavoite oli selvittää sisäilman laatua eri tavalla toteutetuissa ilmanvaihtotavoissa ja verrata sisäilman laatua painovoimaisen ilmanvaihdon ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon välillä. Lisäksi tutkittiin ulkoilman vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuteen IO-suhteen avulla.

### *3. Aineisto ja menetelmät*

Tutkimuksen kohteena oli 15 omakotitaloa. Tutkitut ilmanvaihtotavat olivat painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys ja koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä. Tutkituista kohteista kahdeksassa oli painovoimainen ilmanvaihto, kahdessa ilmanvaihtolämmitys ja viidessä kohteessa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

Asunnot sijaitsivat 10-15km päässä Raahen kaupungin keskustasta. Tarkempia tietoja asunnoista on esitetty taulukossa 2.

Sisäilmasta mitattiin hiilidioksidipitoisuuksia, hiukkaspitoisuuksia kokoluokassa  $>0,3 >0,5 >1,0 >3,0 >5,0 >10\mu\text{m}$ , lämpötilaa ja kosteutta. Mittaukset toteutettiin pitkäaikaisseurannalla eli mittauskalusto jätettiin asuntoon yhdeksi tai kahdeksi vuorokaudeksi kerrallaan mittaamaan pitoisuuksia, jonka jälkeen tiedot siirrettiin tietokoneelle analysointia varten. Mittaukset suoritettiin asunnoissa keskeisimmästä kohtaa rakennuksen oleskeluvyöhykettä 1,1 metrin korkeudelta. Aina ennen mittauksia ja mittauksen jälkeen mitattiin ulkoilmasta hiilidioksidin ja hiukkasten pitoisuudet sekä lämpötila ja kosteus, jotta pystyttiin arvioimaan ulkoilman pitoisuuksien vaikutus/kulkeuma sisäilmaan.

Kolmessa painovoimaisessa ilmanvaihdon kohteissa ensimmäisen mittausjakson jälkeen tehostettiin tuuletusta ja käytettiin ilmanpuhdistinta, jotta pystyttiin selvittämään ilmanpuhdistimen hyödyn vaikutusta hiukkaspitoisuuksiin talviolosuhteissa. Ilmanpuhdistin oli varustettu esisuodattimella, F9 hiukkassuodattimella ja aktiivihii-lisuodattimella. Ilmanpuhdistimen ilmamäärä on 1000 m<sup>3</sup>/h. Tuuletus on suoritettu kaksi kertaa vuorokaudessa 15min kerrallaan, sitten että asuntoihin on saatu tehokas ristiveto. Jokaisesta kohteesta laskettiin hiukkasten IO -suhde talven ja kesän mittauksista. Hiukkaspitoisuuksien IO -suhde laskettiin erikseen kaikista mitatuista hiukkaskokoluokista.

Taulukko 2. Tutkimuskohteiden rakennusteknisiä taustatietoja.

Kohde	Rakennusvuosi Asuinpinta-ala	Runkorakenne	Rakentamistapa	Ilmanvaihto
Talo 1.	1949 ja 1975 140m <sup>2</sup>	Hirsirunkoinen/ puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 2.	1947. 67 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Sahanpurueristeet.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 3.	1975. 70 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 4.	1971. 184 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Julkisivu muurattu	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 5.	1976. 150 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Julkisivu muurattu	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 6.	1978. 120 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Julkisivu muurattu	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 7.	1979. 148 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 8.	1976. 169 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Julkisivu muurattu	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Painovoimainen poisto.
Talo 9.	2007. 197 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Koneellinen tulo- ja poisto.
Talo 10.	1994. 180 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Koneellinen tulo- ja poisto.
Talo 11.	1998. 201 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Koneellinen tulo- ja poisto.
Talo 12.	2007. 193 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Koneellinen tulo- ja poisto.
Talo 13.	2004. 188 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Koneellinen tulo- ja poisto.
Talo 14.	1982. 218 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen. Julkisivu muurattu	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Ilmanvaihto- lämmitys.
Talo 15.	1980. 175 m <sup>2</sup>	Puurakenteinen.	Paikallarakennettu, kap- paletavarasta.	Ilmanvaihto- lämmitys.

### **Mittauslaitteet:**

Kohteissa käytetyt mittalaitteet:

Hiilidioksidi, lämpötila, kosteus, paine-ero ja ilmamäärä TSI VelociCalc Plus 9555-p.

Hiukkaspitoisuus kokoluokassa >0,3 >0,5 >1,0 >3,0 >5,0 >10µm. TSI AeroTrak 8220.

### **Aikataulu:**

Ensimmäinen mittauskierto on tehty talviolosuhteissa ja toinen kesäolosuhteissa.

Talviajan mittaukset suoritettiin 16.01.2009-21.04.2009 välisenä aikana ja kesäajan mittaukset 08.07.2009-25.08.2009 välisenä aikana.

## *4. Tulokset*

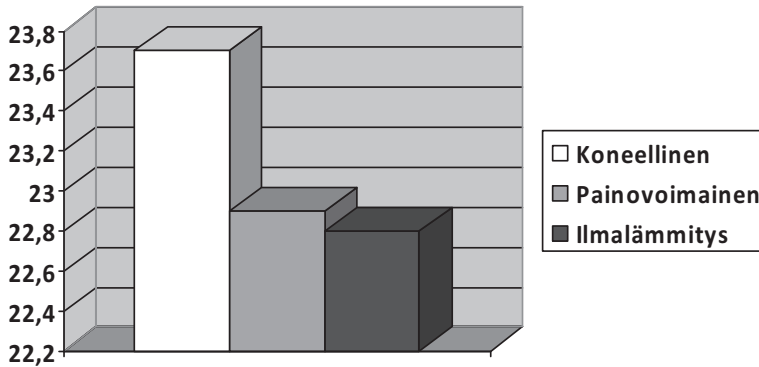
### **4.1 LÄMPÖTILA**

Talviaikana korkein mitattu lämpötila oli 24,3°C painovoimaisessa kohteessa ja matalin lämpötila oli 20°C, sekä painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa.

Kesäajan matalin lämpötila oli 21,8°C painovoimaisessa kohteessa ja korkein lämpötila oli 25,7°C koneellisen ilmanvaihdon kohteessa. Talviajan mittauksissa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteiden keskiarvolämpötila oli 22,6°C, koneellisen ilmanvaihdon omaavissa kohteissa 22,8°C ja ilmanvaihtolämmityksellä varustetuissa kohteissa 21,7°C. Kesäajan mittausten keskiarvolämpötilat olivat painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa 23,4°C, koneellisen ilmanvaihdonkohteissa 24,6°C ja ilmanvaihtolämmityksellä varustetuissa kohteissa 23,9°C.

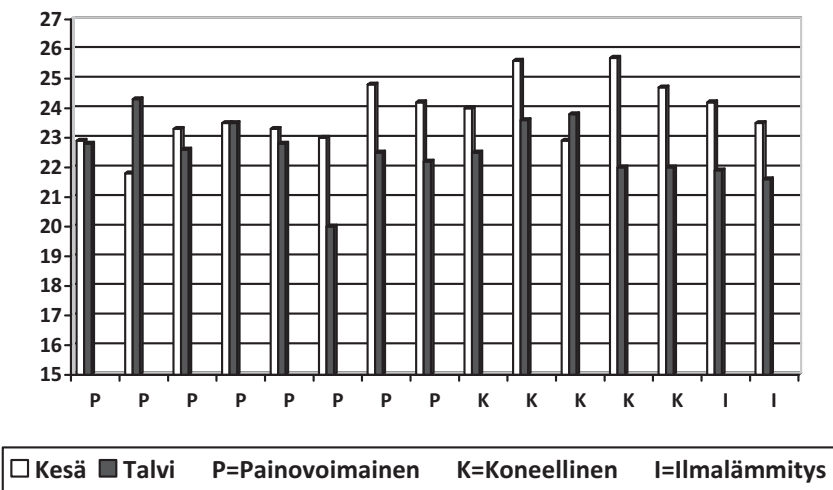
Kesäajan korkeimmat sisäilman lämpötilat olivat koneellisen ilmanvaihdon kohteissa verrattuna muihin kohteisiin. Ulkolämpötilat olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa eri ilmanvaihdon omaavien kohteiden mittauksissa. Seuraavissa kuvissa 1.-4. on esitetty lämpötilamittausten tuloksia.

### Lämpötila °C

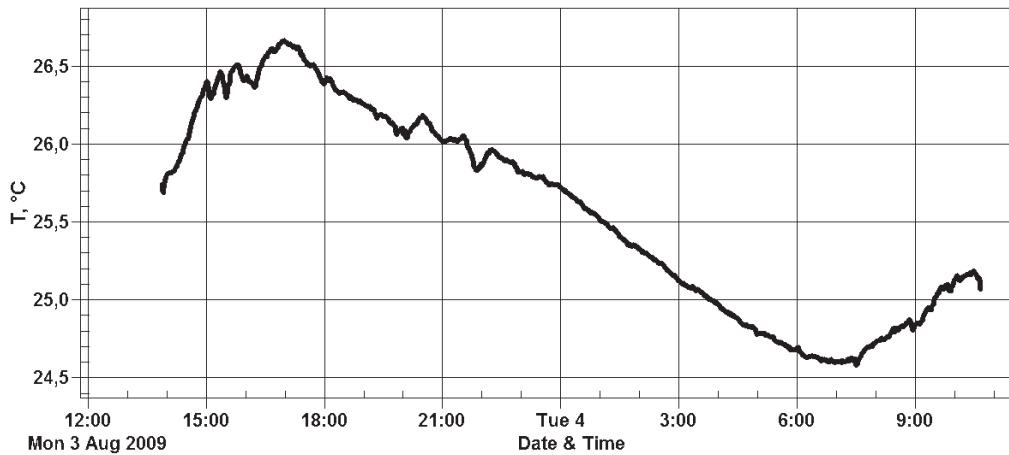


Kuva 1. Sisäilman lämpötilojen(°C) keskiarvot kesän ja talven mittausten keskiarvona.

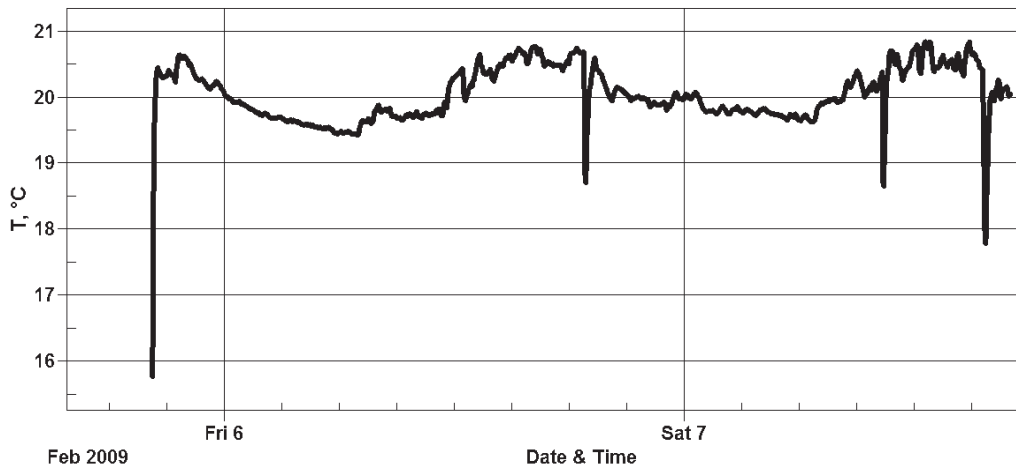
### Lämpötila °C



Kuva 2. Sisäilman lämpötilojen(°C) keskiarvot kesän ja talven mittausten keskiarvona kohteittain.



Kuva 3. Sisäilman lämpötilan (°C) käyrä koneellisen ilmanvaihdon kohteessa kesäolosuhteissa.



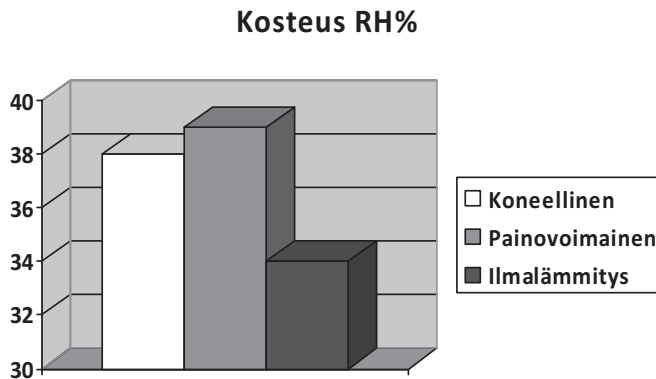
Kuva 4. Sisäilman lämpötilan (°C) käyrä painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa talviolosuhteissa.

## 4.2 KOSTEUS

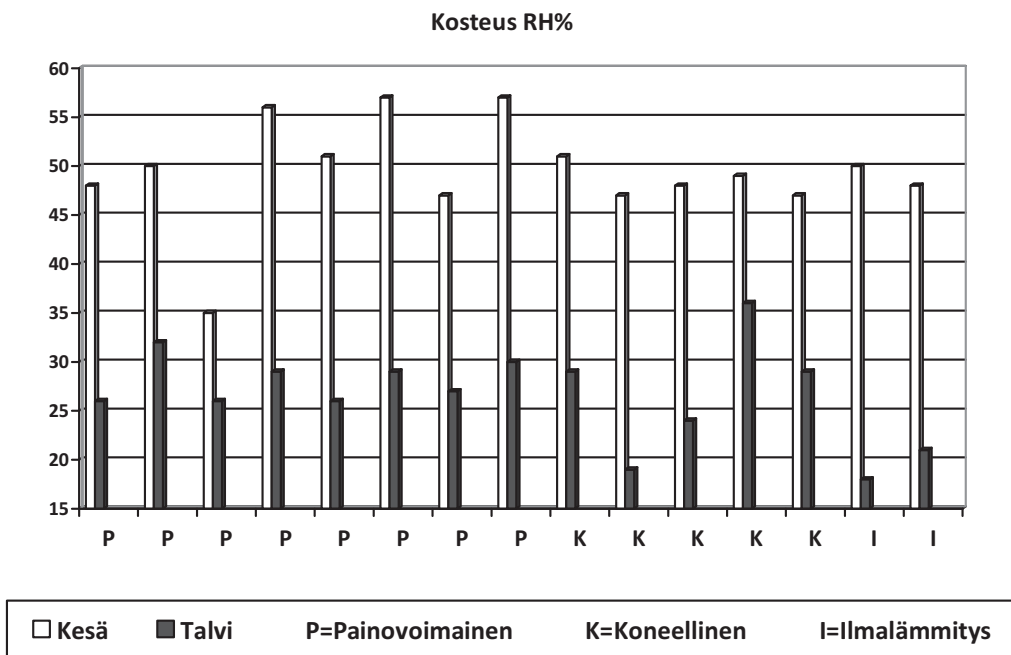
Talviaikana korkein mitattu kosteusprosentti oli RH 36% koneellisen ilmanvaihdon kohteessa ja matalin RH 18% ilmanvaihtolämmityksen kohteessa.

Kesällä korkein kosteusprosentti oli RH 57% ja matalin 35%, kumpikin painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Talviajan keskiarvo kosteus painovoimaisessa il-

manvaihdon kohteissa oli RH28%, koneellisissa RH27% ja ilmanvaihtolämmityksissä RH20%. Kesäajan keskiarvo kosteus painovoimaisessa ilmanvaihdon kohteissa oli RH50%, koneellisissa RH48% ja ilmanvaihtolämmityksissä RH49%. Kuvissa 5.-7. on suhteellisen kosteuden mittauksien tuloksia.

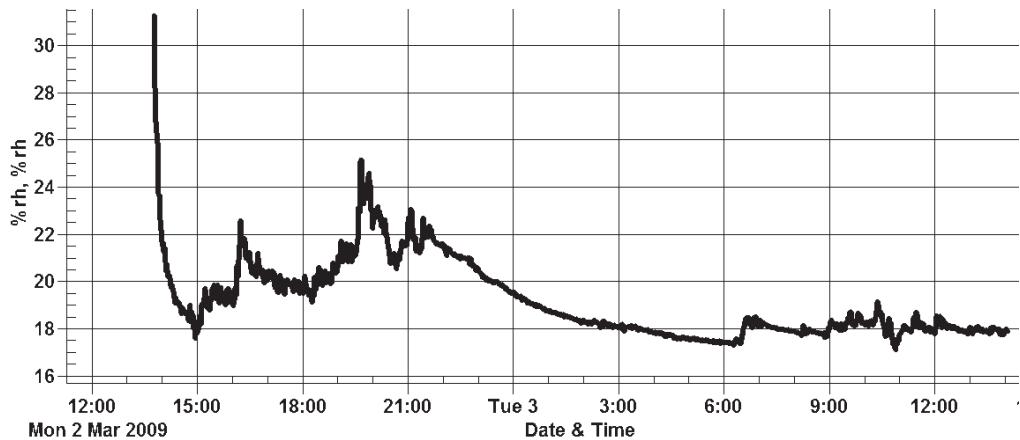


Kuva 5. Sisäilman RH:n (%) keskiarvot kesällä ja talvella eri ilmanvaihdon kohteissa.



Kuva 6. Sisäilman RH (%) eri kohteissa kesällä ja talvella.





Kuva 7. Sisäilman suhteellisen kosteuden (%) vaihtelu koneellisen ilmanvaihdon kohteessa talvella.

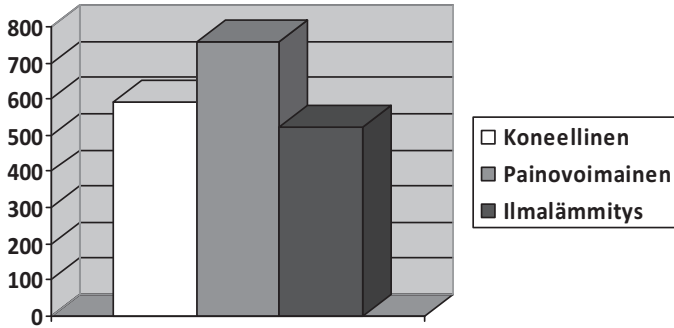
### 4.3 HIILIDIOKSIDI

Talviaikana korkein mitattu hiilidioksidipitoisuus oli 1023ppm painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa ja matalin pitoisuus 427ppm ilmanvaihtolämmityksen kohteessa.

Kesällä korkein hiilidioksidipitoisuus oli 1551ppm painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa ja matalin 331ppm ilmanvaihtolämmityksen kohteessa. Talviajan keskiarvo pitoisuus painovoimaisessa ilmanvaihdon kohteissa oli 795ppm, koneellisissa 667ppm ja ilmanvaihtolämmityksissä 516ppm. Kesäajan keskiarvo painovoimaisessa ilmanvaihdon kohteissa oli 724ppm, koneellisissa 521ppm ja ilmanvaihtolämmityksissä 534ppm.

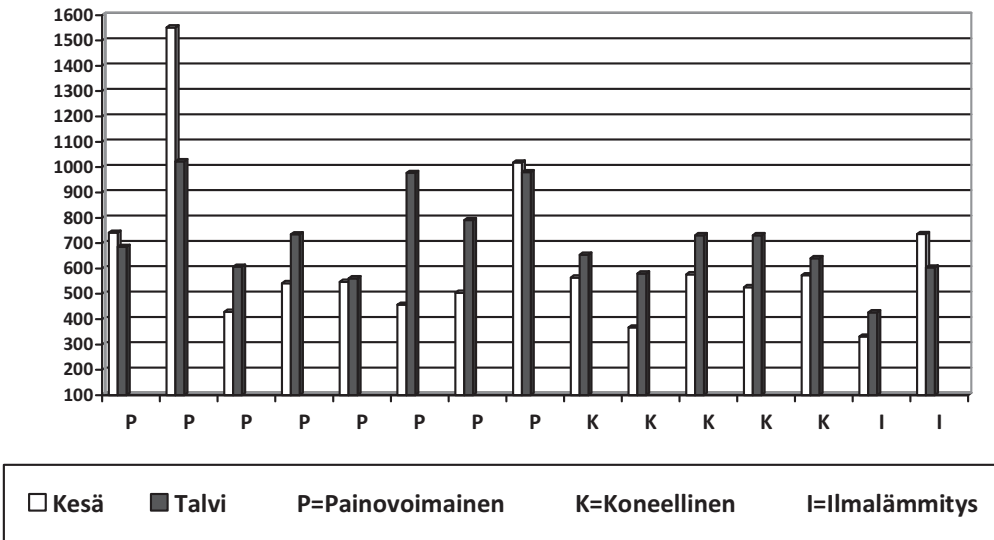
Yhdessä asunnossa jossa oli painovoimainen ilmanvaihto, hiilidioksidi ei ollut terveydensuojelulain edellyttämällä tasolla 1500ppm. Pitoisuus oli useamman tunnin kohteessa 2000ppm ja vähän ylikin. Tyydyttävänä pidetty pitoisuus 1200ppm ylittyi myös kahdessa painovoimaisessa ilmanvaihdon kohteessa ja pitoisuus oli niissäkin useita tunteja yli 1200ppm. Kuvissa 8.-11. on hiilidioksidipitoisuuksien tulokset.

## Hiilidioksidi

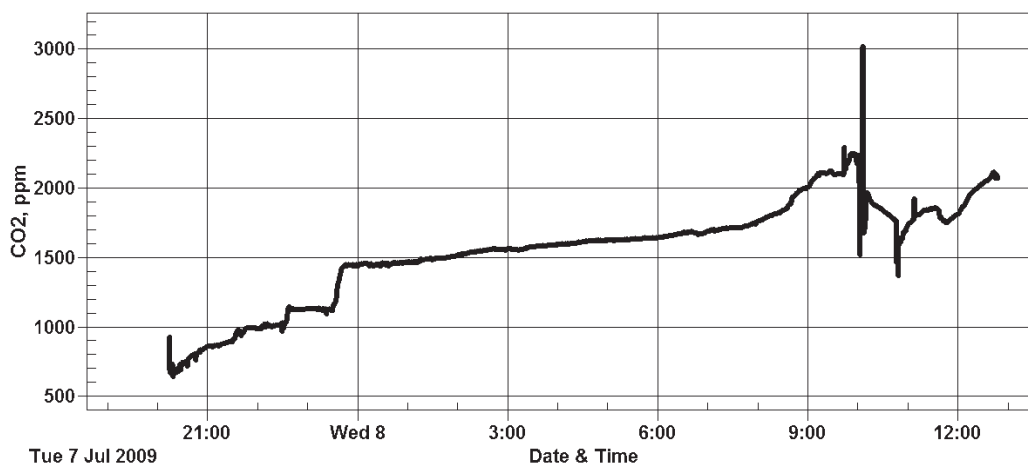


Kuva 8. CO<sub>2</sub> pitoisuudet (ppm) kesän ja talven yhdistettynä keskiarvona.

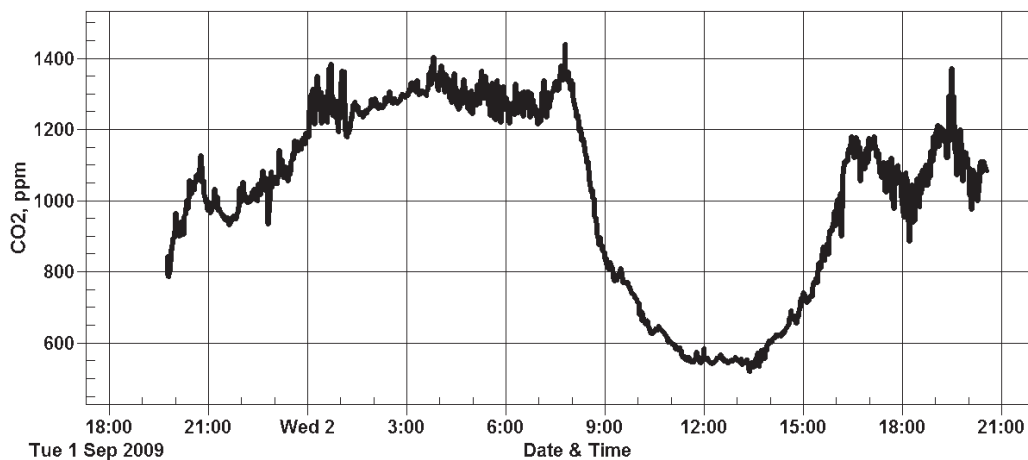
## Hiilidioksidi CO<sub>2</sub>, ppm



Kuva 9. CO<sub>2</sub> pitoisuudet (ppm) kesän ja talven yhdistettynä keskiarvona kohteittain.



Kuva 10. Hiilidioksidipitoisuuden (ppm) vaihtelu painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa.

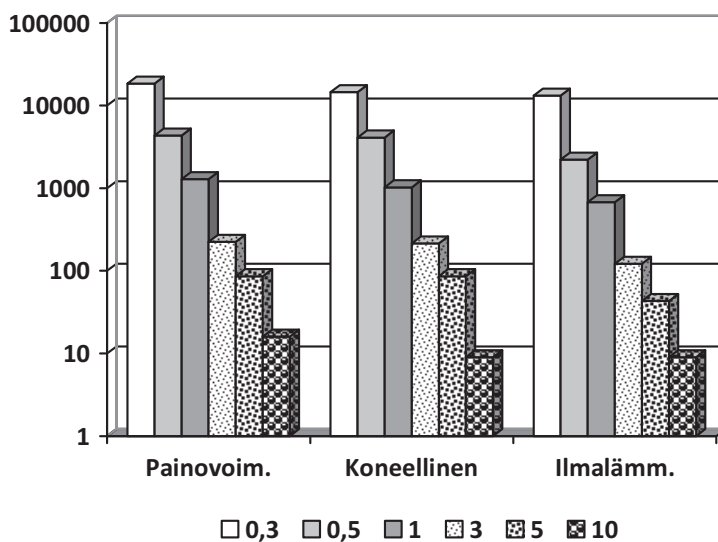


Kuva 11. Hiilidioksidipitoisuuden (ppm) vuorokausivaihtelu painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa.

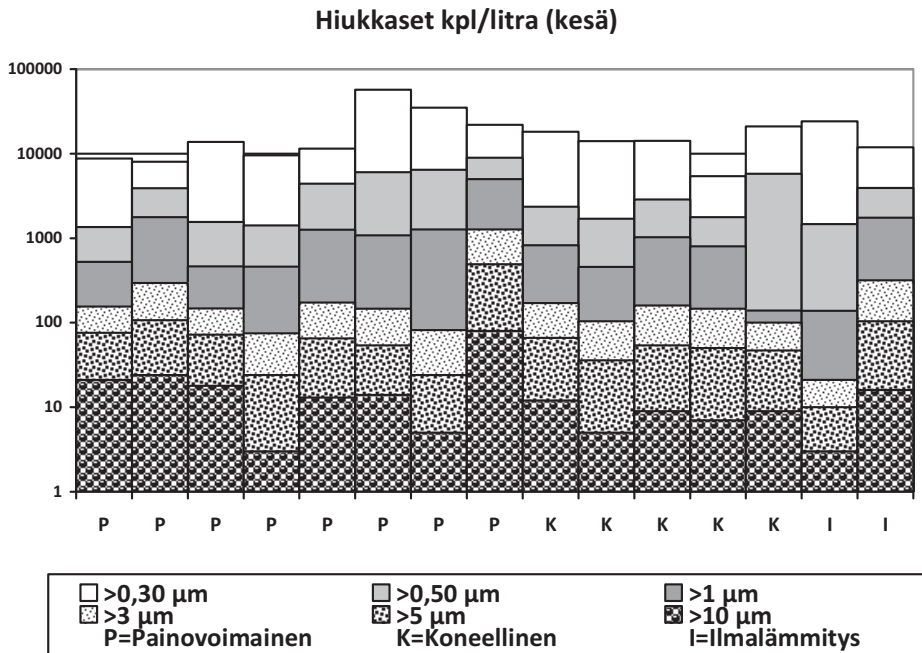
#### 4.4 HIUKKASET

Hiukkaspitoisuudet olivat koneellisissa ilmanvaihdon kohteissa keskimäärin pienempiä lukumääräisesti kuin painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa, kuitenkin asuntokohtaisia eroja oli ilmanvaihtotavasta riippumatta. Merkittäviä eroja ei kui-

tenkaan ollut. Tutkituista kohteista on laskettu myös IO- suhde. Kohteissa on mitattu hiukkaspitoisuudet ulkoilmasta aina ennen ja jälkeen mittauksien. Tämä sen takia että voidaan päätellä ulkoilmapitoisuuksien vaikutus sisäilman pitoisuuksiin ja voidaan laskea rakennuksen ilmanvaihdon suodatuksen vaikutus. Hiukkasmittauksien tuloksia on kuvissa 12.-14.

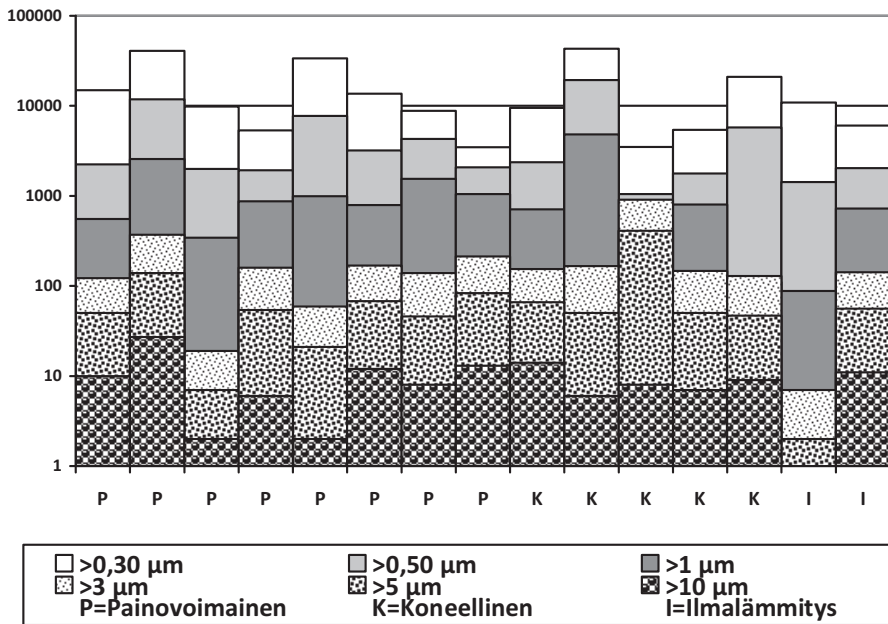


Kuva 12. Hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 μm...>10 μm kesän ja talven yhteisenä keskiarvona eri ilmanvaihtotavan kohteissa.



Kuva 13. Kesäajan hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm eri ilmanvaihtotavan kohteissa.

## Hiukkaset kpl/litra (talvi)



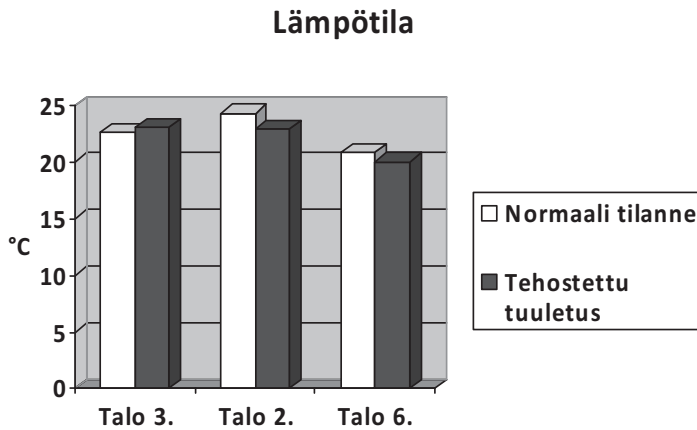
Kuva 14. Talviajan hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 µm...>10 µm eri ilmanvaihtotavan kohteissa.

## 4.5 TEHOSTETTU TUULETUS

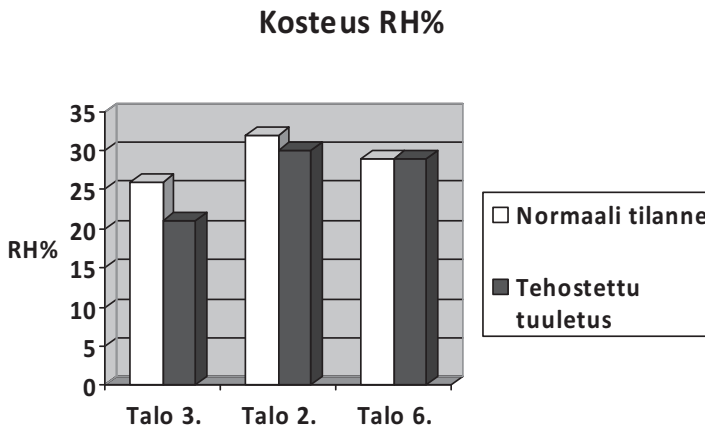
Kuvissa 15.-21. on mittaustulokset tehostetun tuuletuksen ja ilmanpuhdistimien käytön jälkeen. Tutkitut kohteet olivat kolme painovoimaisen ilmanvaihdon asuntoja. Tutkimuksen perusteella erityisesti pienhiukkaspitoisuudet vähenevät tällä toimenpiteellä. Mittaustuloksista havaitaan tehostetun tuuletuksen nostavan hetkellisesti sisäilman hiukkaspitoisuuksia. Hiukkaspitoisuudet kuitenkin laskevat nopeasti tehokkaan ilmanpuhdistimen ansiosta. Ilmanpuhdistimen soveltuvuus ja teho tutkituissa kohteissa oli hyvä. Hiilidioksidipitoisuudet laskevat noin 100 ppm, kun huomioitava on se että (talo 3.) tulokset ovat asunnossa jossa oli yksi asukas.

Vertailun vuoksi on laskettu hiukkaspitoisuuksista talviajan mittauksista koneellisen ilmanvaihdon asuntojen keskiarvopitoisuudet ja näiden tutkittujen kolmen paino-

voimaisen ilmanvaihdon asuntojen keskiarvot (joissa on tehostettu ilmanvaihtoa ja käytetty ilmanpuhdistinta) ja muiden painovoimaisien ilmanvaihtojen keskiarvot.

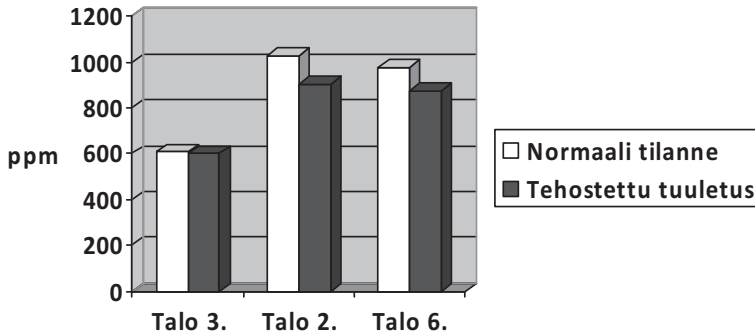


Kuva 15. Sisäilman lämpötila (°C) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

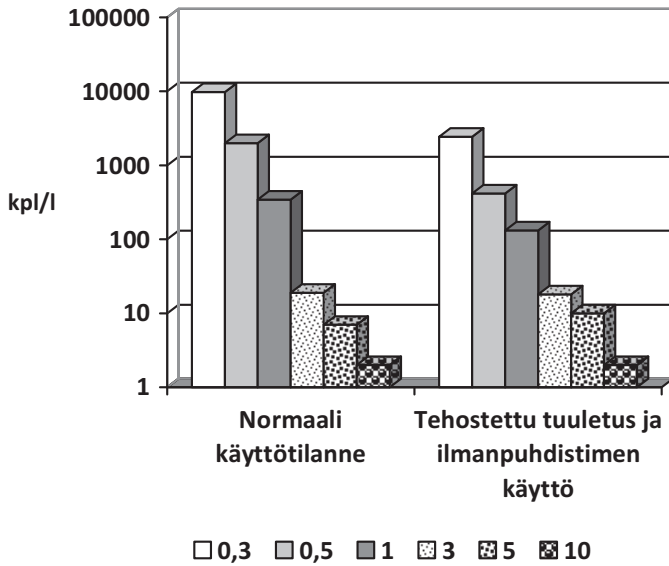


Kuva 16. Sisäilman suhteellinen kosteus (RH,%) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

## Hiilidioksidi

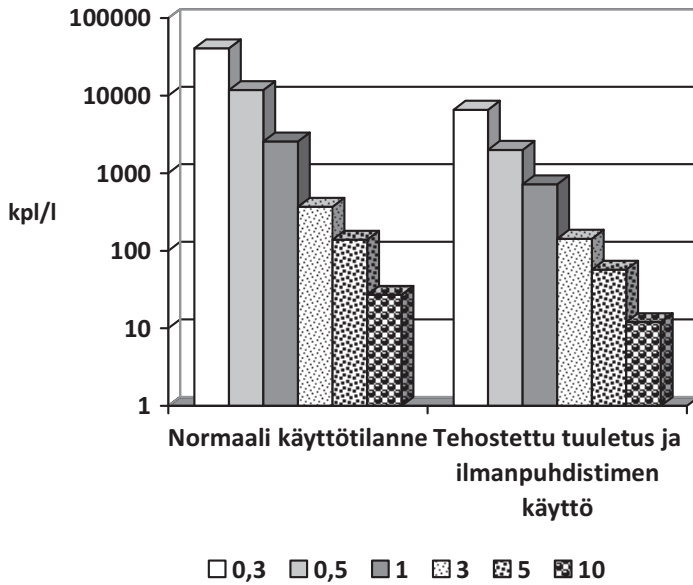


Kuva 17. Sisäilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus (ppm) kolmessa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

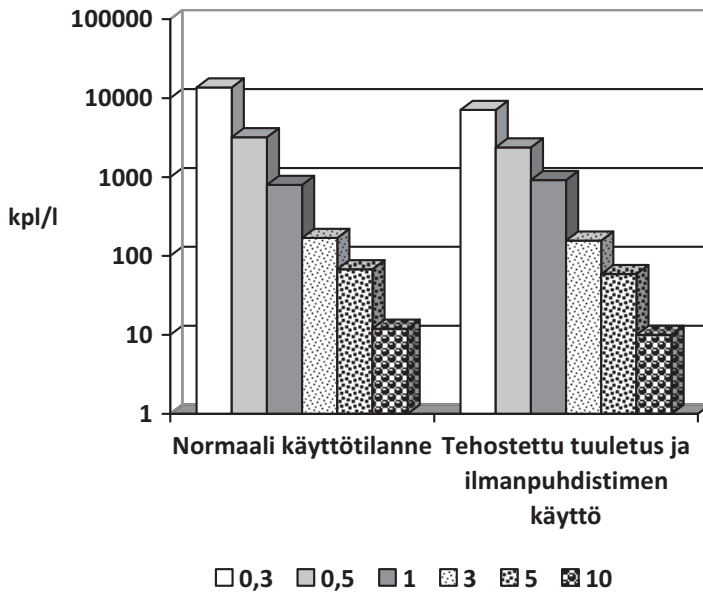


Kuva 18. Sisäilman hiukaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 μm...>10 μm. Talo 3. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

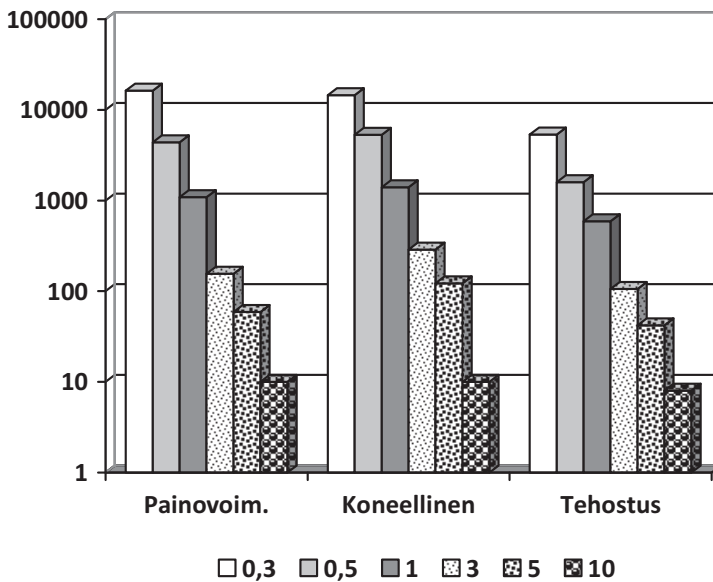




Kuva 19. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 μm...>10 μm. Talo 2. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.



Kuva 20. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 μm...>10 μm. Talo 6. Painovoimainen ilmanvaihto. Tehostettu tuuletus ja ilmanpuhdistimen käyttö talviaikana.

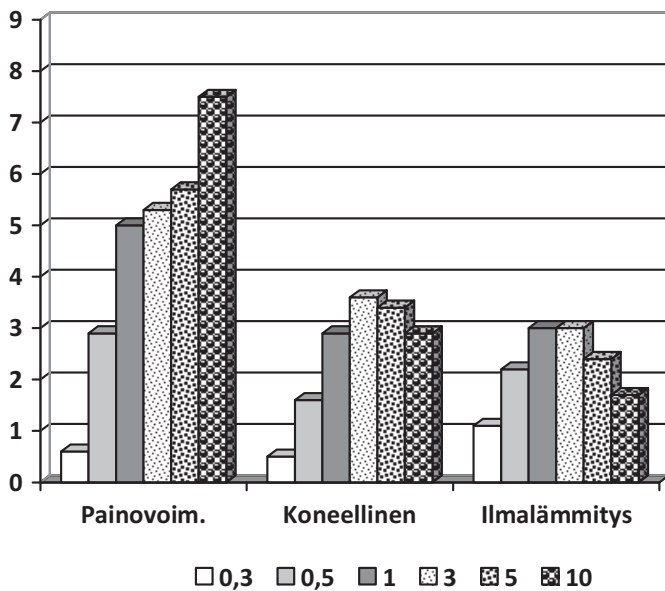


Kuva 21. Sisäilman hiukkaspitoisuudet (kpl/dm<sup>3</sup>) eri kokoluokissa 0,3 μm...>10 μm talviajalta. Tehostettu tuuletus 3 painovoimaista ja normaalitoiminta 5 painovoimaista sekä koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät.

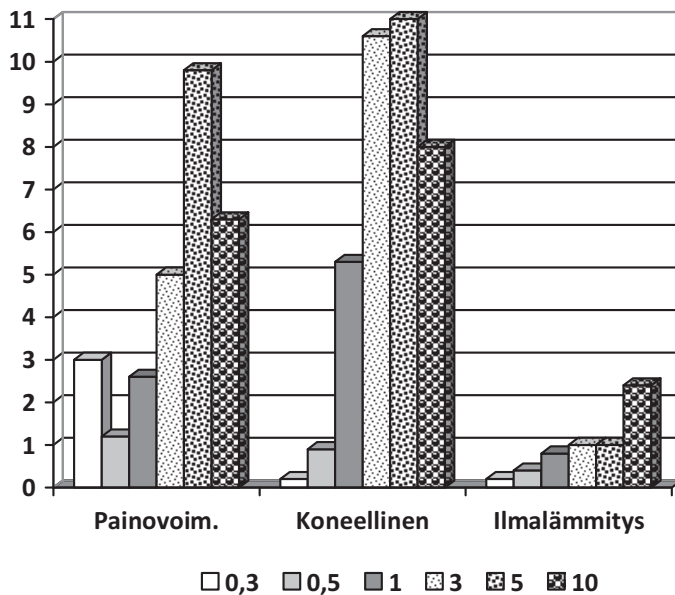
#### 4.6 HIUKKASTEN IO-SUHDE

I=indoor on sisäilma ja O=outdoor on ulkoilma. IO- suhde lasketaan seuraavalla tavalla: sisällä oleva hiukkaspitoisuus jaetaan ulkoilman vastaavalla hiukkaspitoisuudella. Jos IO- suhde on 1, on ulkoilmassa ja sisäilmassa sama määrä hiukkasia.

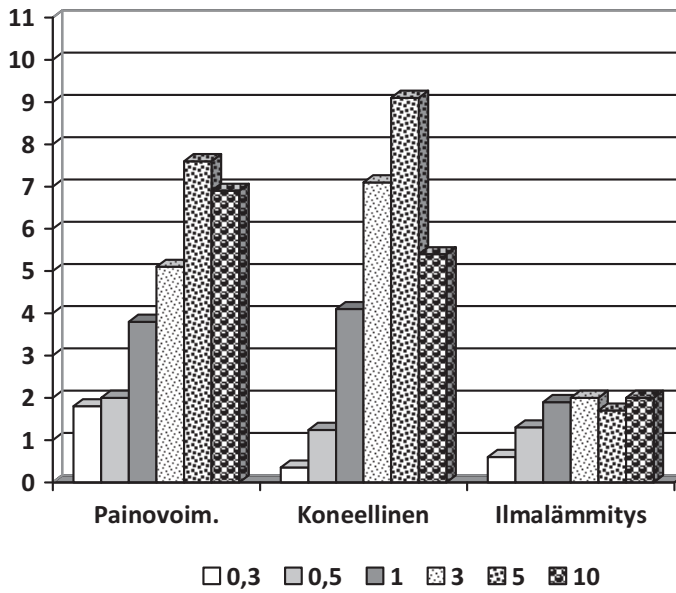
IO- suhteen ollessa alle 1 on sisäilmassa vähemmän hiukkasia kuin ulkoilmassa. Jos IO-suhde on suurempi kuin 1, on sisäilmassa hiukkasia enemmän kuin ulkoilmassa. Jokaisesta kohteesta on laskettu IO- suhde, siten että talvi ja kesäajan mittauksien hiukkaspitoisuudet on huomioitu keskiarvona ja verrattu pitoisuuksia ulkoilman hiukkaspitoisuuksien keskiarvoon kohteittain. Kuvissa 22-25. on esitetty IO- suhteitten tulokset.



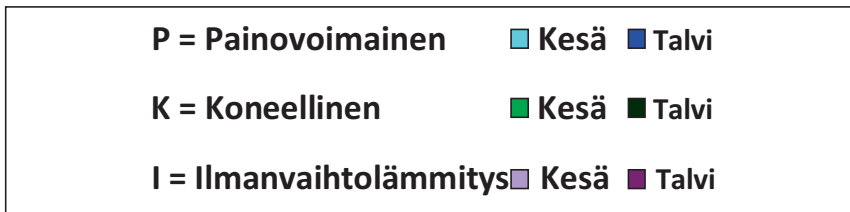
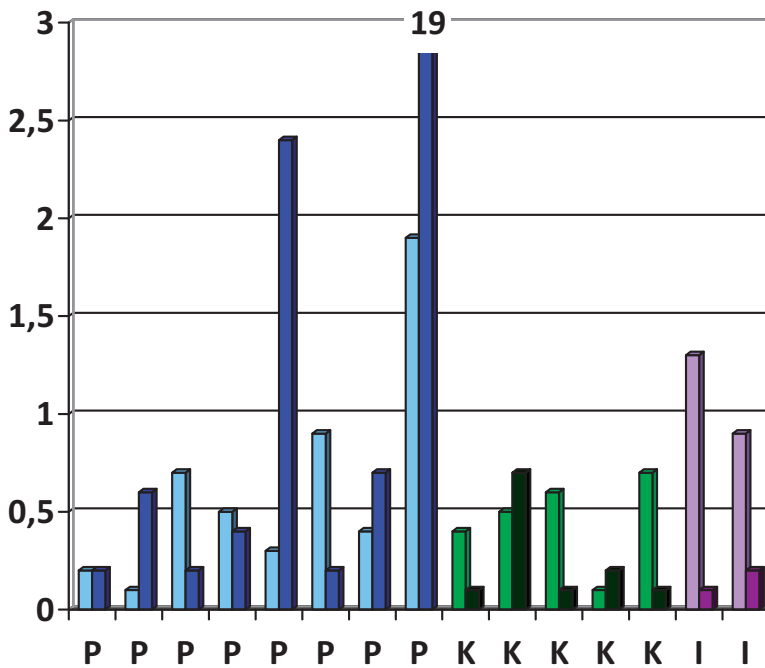
Kuva 22. Kesäajan IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3  $\mu\text{m}$ ...>10  $\mu\text{m}$ ) kohteissa, joissa oli joko painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) ilmanvaihto tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).



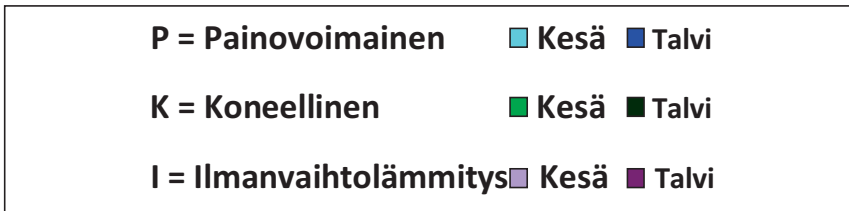
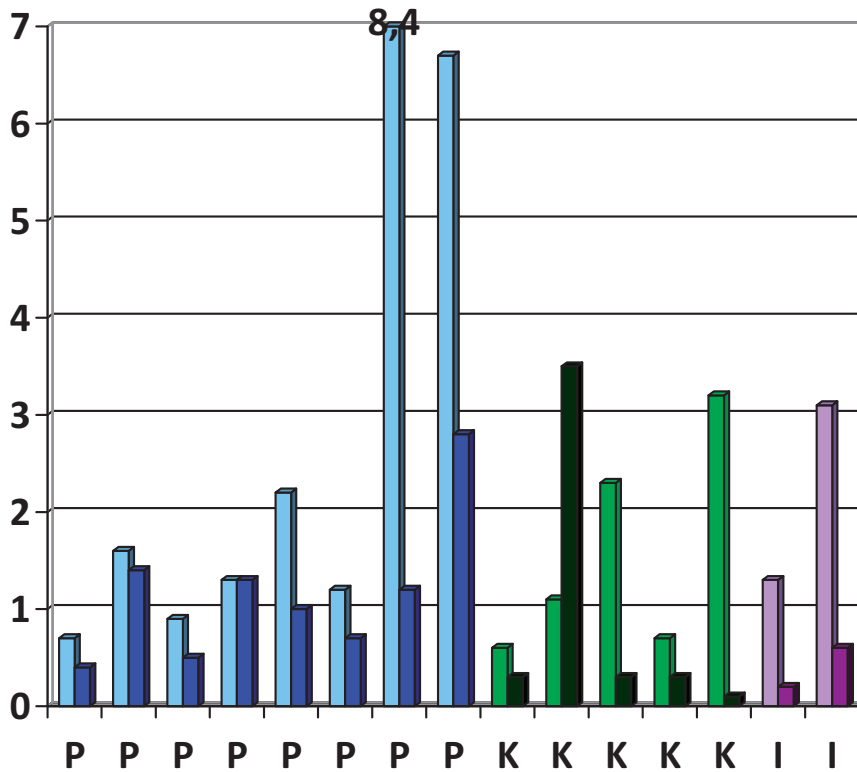
Kuva 23. Talviajan IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3  $\mu\text{m}$ ...>10  $\mu\text{m}$ ) kohteissa, joissa oli joko painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) ilmanvaihto tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).



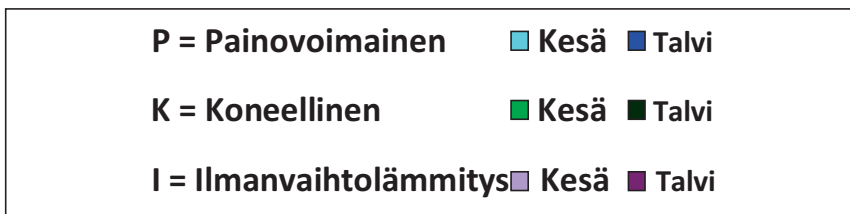
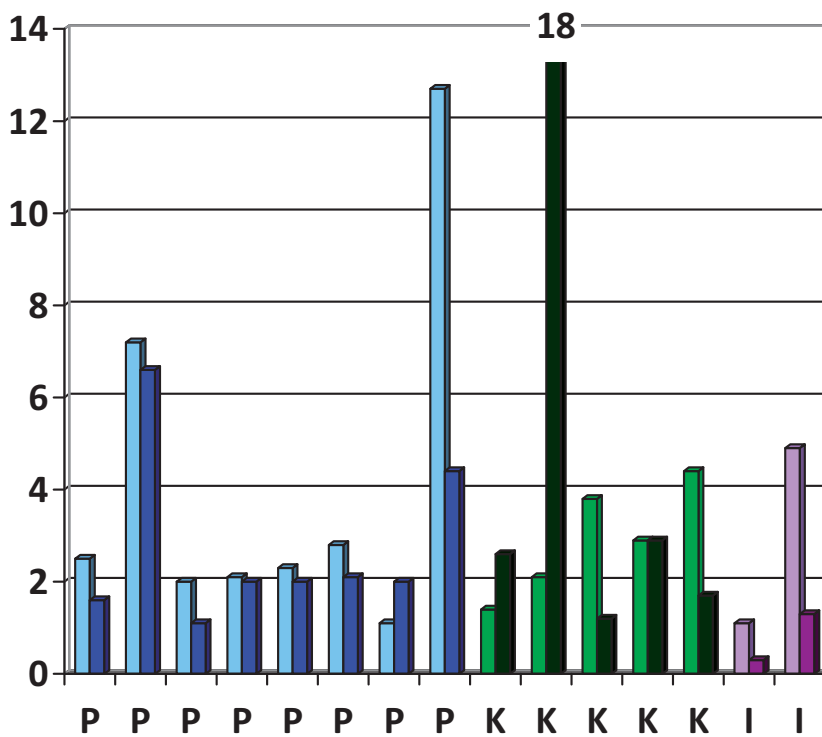
Kuva 24. Kesän ja talven IO- suhteiden keskiarvot eri hiukkaskokoluokissa (0,3 μm...>10 μm) kohteissa, joiden ilmanvaihtojärjestelmä oli: painovoimainen (8 kpl), koneellinen tulo- ja poisto (5 kpl) tai ilmanvaihtolämmitys (2 kpl).



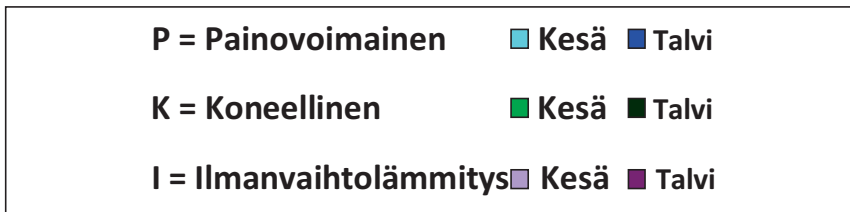
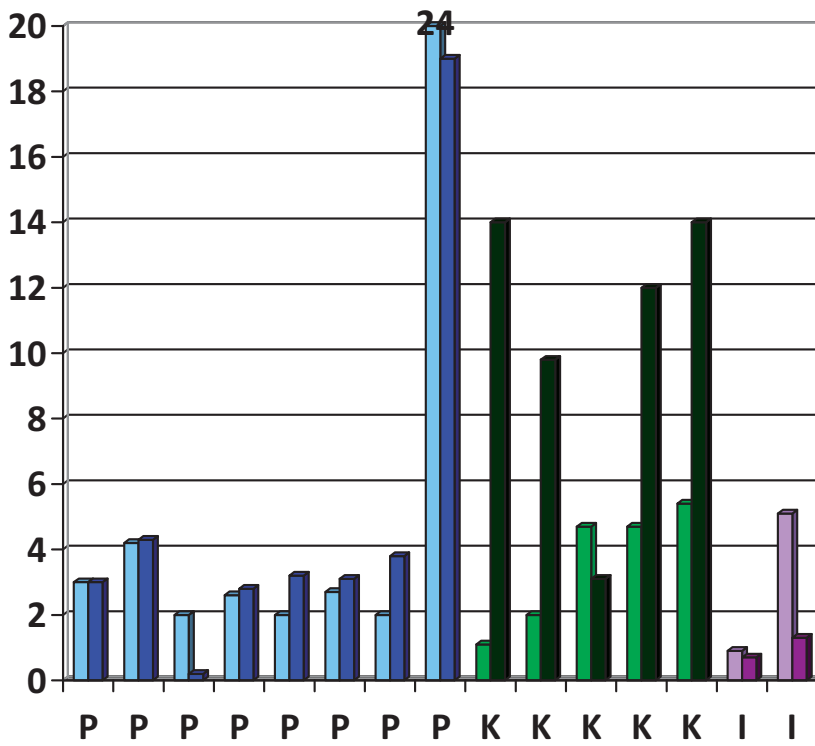
Kuva 25a. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >0,3 $\mu$ m hiukkasilla.



Kuva 25b. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >0,5µm hiukkasilla.

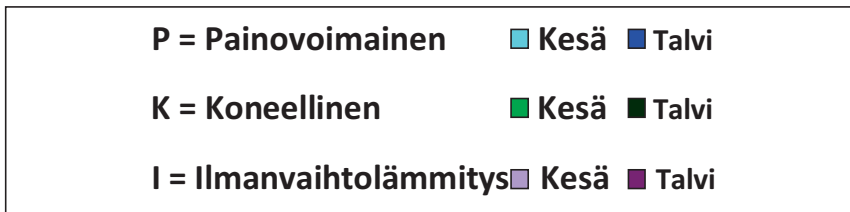
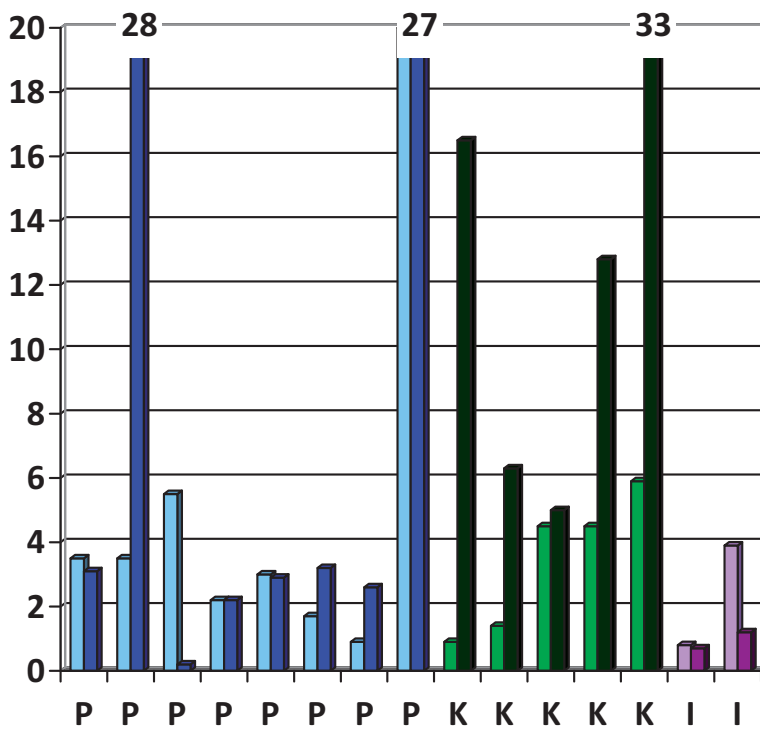


Kuva 25c. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >1µm hiukkasilla.

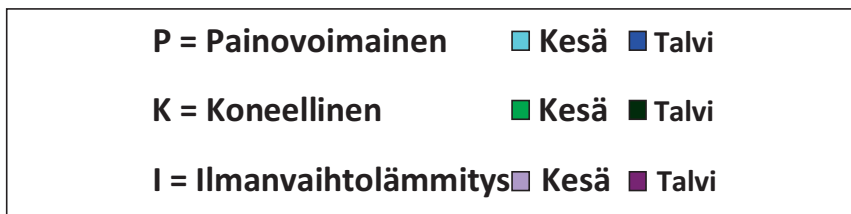
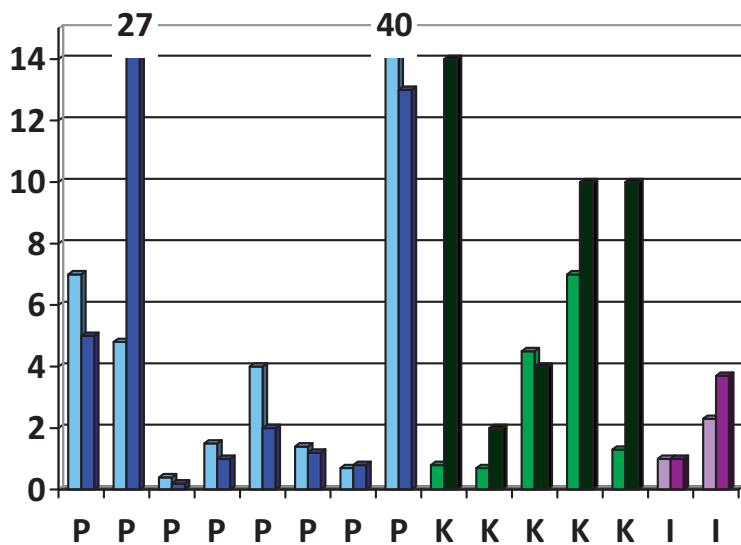


Kuva 25d. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >3µm hiukkasilla.





Kuva 25e. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >5 µm hiukkasilla.



Kuva 25f. IO- suhteet eriteltynä kohteittain >10 $\mu$ m hiukkasilla.

## 5. Johtopäätökset

### **Lämpötila:**

Lämpötilamittauksista suurimpia asuntokohtaisia eroja löytyi painovoimaisista kohteista. Mittauksissa lämpötilat vaihtelivat painovoimaisissa kohteissa talvella 20°C-24,3°C välillä. Havainnot ja haastattelut kohteissa viittasivat siihen, että muutamissa asunnoissa lämpötilan nostamisella on pyritty vähentämään vetohaittoja. Kuvan 4. painovoimaisen ilmanvaihdon kohteessa talven lämpötila oli keskiarvona 20 °C ja hetkittäin lämpötila oli alhainen, alle 19°C.

Kesäajan lämpötilat olivat korkeampia koneellisen ilmanvaihdon kohteissa, vaikka voisi kuvitella ilmanvaihdon poistavan kesäajalla lämmintä ja kosteaa ilmaa rakennuksesta. Ulkolämpötilalla oli kuitenkin hieman merkitystä sisäilman lämpötilaan kesällä. Koneellisen ilmanvaihdon kohteissa joissa erityisesti oli lämmin sisäilma kesällä, oli suuria ikkunapinta-aloja mikä auringon lämmittäessä vaikuttaa sisälämpötilaan. Tutkittujen kohteiden lämpötilamittaustiedoista havaitaan myös että, sisäilman lämpötila lähtee laskemaan illalla, kun ulkoilman lämpötila laskee ja vastaavasti lämpötila sisällä alkaa heti nousta, kun aurinko alkaa aamulla lämmittämään (kuva 3). Painovoimaisissa ilmanvaihtokohteissa sisälämpötila laskee illalla ilman jäähtyesä hitaammin, pienempien iv-kertoimien takia.

Kesällä lämpimän ulkoilman sisään tuonti, joko painovoimaisesti tai koneellisesti, ei alentanut paljon kohteiden sisäilman lämpötilaa, koska jäähdytystä ei koneellisen ilmanvaihdon kohteissa ollut. Vaikutusta lämpötilaan on myös koneellisten ilmanvaihtojen iv-järjestelmien puutteellisilla toiminnoilla. Jokaisessa koneellisessa ilmanvaihdossa oli puutteita. Ilmavirrat piti tasapainottaa ja säätää kaikissa koneellisissa kohteissa. Säätojen jälkeisiä mittauksia ei ole vielä tehty.

### **Suhteellinen kosteus:**

Sisäilman suhteellinen kosteus ei keskimäärin merkittävästi eronnut painovoimaisen ilmanvaihdon ja koneellisen ilmanvaihdon kohteissa. Kahdessa painovoimaisessa kohteessa oli kesäajan kosteus keskiarvona kuitenkin melko korkea RH 57% ja kosteus oli kohteissa useita tunteja 60-66% välillä. Tämä kuvastaa sitä että painovoimaisissa kohteissa sisäilman kosteus saattaa herkemmin nousta korkeammalle. Ilmanvaihtojärjestelmien puutteellisilla toiminnoilla on merkitystä sisäilman kosteuteen kesällä koneellisissa ilmanvaihdon kohteissa. Kahdessa ilmanvaihtolämmitys kohteessa sisäilma oli hieman kuivaa talvella (RH 17-21%). Tämä johtunee siitä, että kyseisessä järjestelmässä liikutetaan ja lämmitetään suuria ilmamääriä, mikä kuivattaa sisäilmaa.

### **Hiilidioksidi:**

Tutkimuksessa suurimmat erot koneellisen ilmanvaihdon ja painovoimaisen ilmanvaihdon välillä olivat hiilidioksidipitoisuuksissa. Painovoimaisen ilmanvaihdon kolmessa kohteessa CO<sub>2</sub> pitoisuudet kasvoivat korkeiksi melko pian, kun asunnoissa oleskeltiin. Kahden painovoimaisen kohteen CO<sub>2</sub> pitoisuudet ylittivät STM 2003:1 tyydyttävänä pidettävän ohjearvon 1200ppm ja yhden painovoimaisen kohteen CO<sub>2</sub> pitoisuus ylitti terveydensuojelulain edellyttämän tason 1500ppm. Näissä kolmessa painovoimaisissa kohteissa joissa CO<sub>2</sub> pitoisuudet olivat korkeat, oli asunnoissa enemmän asukkaita kuin muissa kohteissa ja suhteellinen ilmatilavuus yhtä asukasta kohti oli pienempi kuin muissa painovoimaisissa kohteissa. Kaikissa painovoimaisissa ilmanvaihtokohteissa poistoilma johdettiin ulos samalla tekniikalla ja korvausilma otettiin rakennuksen vaipan läpi, eikä erillisiä korvausilmaventtiileitä ollut. Oleellisesti hiilidioksidi pitoisuuteen vaikuttaa etenkin painovoimaisissa kohteissa, asunnossa olevien ihmisten määrä ja korvausilman saanti. Yleisesti tilanne on se, ettei makuuhuoneisiin eikä muihinkaan tiloihin johdeta korvausilmaa hallitusti, vaan korvausilma tulee rakennuksen vaipan läpi. Lisäksi muita tekijöitä, jotka vaikuttavat

pitoisuuksiin ovat rakennuksen tiiviys, rakennuksen ilmatilavuus, makuuhuoneiden ovien kiinni pitäminen etenkin, kun siellä oleskellaan ja asunnon tuulettaminen. Jo pelkällä asunnon tuulettamisella kaksi kertaa päivässä noin 10-15min kerrallaan saadaan pienennettyä pitoisuuksia. Asunnon liiallista tuulettamista tulee kuitenkin välttää energiataloudellisista syistä etenkin talvella. Koneellisen ilmanvaihdon ja ilmanvaihtolämmitysjärjestelmien kohteissa ei missään tilanteissa ollut korkeita CO<sub>2</sub> pitoisuuksia.

### **Hiukkaset ja IO-suhde:**

Tutkittujen kohteiden ulkoilman hiukkaspitoisuudet eivät olleet kovin suuria. Keskiarvona kaikista hiukkasmittauksista eri vuodenajat huomioiden, koneellisen ilmanvaihdon kohteissa oli hiukkasia lukumääräisesti hiukan vähemmän sisäilmassa kuin painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa. Asuntokohtaisia eroja on kuitenkin ilmanvaihtotyyppistä riippumatta runsaasti. IO- suhteissa koneellisen ilmanvaihdon kohteissa hiukkasten suhde ulkoilmaan oli pienempi 0,3 µm, 0,5 µm ja 10 µm hiukkaskokoluokissa, kun taas painovoimaisten ilmanvaihtokohteiden IO- suhde oli pienempi 1µm, 3µm ja 5µm hiukkaskokoluokissa. Tämän tutkimuksen perusteella koneellisen ilmanvaihdon käytöllä ei saatu merkittävää hiukkaspitoisuuksia pienentävää vaikutusta verrattaessa painovoimaisiin kohteisiin. Sisäilman hiukkaspitoisuudet voisivat olla pienempiä koneellisen ilmanvaihdon kohteissa, jos ilmanvaihtojärjestelmät olisi säädetty oikein ja huollettu säännöllisesti. Tämän tutkimuksen asunnoissa kaikkiin koneellisiin ilmanvaihtojärjestelmiin jouduttiin suorittamaan erilaisia huolto- ja puhdistustöitä, sekä ilmanvaihdon säätöä ja tasapainotusta. Painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa voidaan hiukkasia vähentää sisäilmasta merkittävästi - etenkin pienempiä hiukkasia, käyttämällä ilmanpuhdistinta (kuvat 18.-21.). Huomioitavaa on, ettei mikä tahansa ilmanpuhdistin aina toimi kohteissa halutulla tavalla.

## 6. Yhteenveto

Tutkimukseen päätarkoitus oli selvittää sisäilman laatua painovoimaisen ilmanvaihdon ja nykyaikaisen koneellisen ilmanvaihdon kohteissa. Tämän tutkimuksen mukaan uudemmissa koneellisella ilmanvaihdolla kohteissa ei saavutettu kovin paljoa parempaa sisäilmanlaatua näiden tutkittujen parametrien lämpötilan, kosteuden, hiilidioksidin ja hiukkasten osalta. Merkittävin hyöty koneellisen ilmanvaihdon käytöllä oli hiilidioksidipitoisuuksien parempaan hallintaan, mikä havaittiin koneellisella ilmanvaihdolla varustettujen kohteiden alhaisempina CO<sub>2</sub> pitoisuuksina. Erot painovoimaiseen ilmanvaihtoon eivät kuitenkaan olleet kovin suuria, sillä asuntokohteissa tarkasteluissa myös painovoimaisista ilmanvaihtokohteista löytyi hyvän sisäilman omaavia kohteita. Merkillepantavaa tutkimuksessa oli myös koneellisten ilmanvaihtojen kesäajan korkeammat sisäilman lämpötilat kuin painovoimaisissa kohteissa. Painovoimaisien ilmanvaihtotapojen sisäilmanlaatu saattaa kuitenkin huomattavasti herkemmin olla hallitsematonta.

Tutkimuksen kohteina olleet koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät olivat kaikki puutteellisesti toimivia, mikä tietysti näissä mittauksissa näkyy huonontavana tekijänä. Mittauksia ei tehty aikarajoitusten takia niin, että olisi saatu mukaan vielä uudet mittaukset koneellisista ilmanvaihtokohteista sitten, kun niissä olisi kaikki huollot ja säädöt asianmukaisesti kunnossa. Todennäköisesti sisäilmanlaatu paranee vielä kaikilta osin koneellisen ilmanvaihdon kohteissa näiden toimenpiteiden jälkeen ja eroa painovoimaiseen ilmanvaihtoon saadaan vielä lisää koneellisen ilmanvaihdon hyväksi. Myös painovoimaisissa ilmanvaihtokohteissa saadaan helposti parannettua sisäilmanlaatua, kun korvausilmaa johdetaan oikeaoppisesti oleskeluvyöhykkeelle ja poistohormeja on riittävästi. Myös pelkkä asunnon pieni tuuletuskin jo auttaa. Tutkittujen kohteiden asukkaat olivat täysin tietämättömiä ilmanvaihdon tarpeesta ja

merkityksestä siellä asuville henkilöille. Myöskään ilmanvaihtojärjestelmien huoltamista ei ollut tiedostettu tutkituissa kohteissa.

Tavallinen syy ilmanvaihdossa esiintyviin puutteisiin on laitteiden ja järjestelmien virheellinen käyttö tai huollon laiminlyöminen. Usein oikean käytön ja huollon merkitystä ei ymmärretä tai suoritusta ei osata. Mitä monimutkaisemmista laitteista ja järjestelmistä on kyse, sitä todennäköisemmin on puutteita käytössä ja huollossa. Järjestelmien oikea käyttö ja toimivuus edellyttävät asukkaiden riittävää perehdyttämistä ja motivoimista. (Heikkinen ym., 1987).

Nykyisin järjestelmien oikeaan käyttöön, toimivuuteen ja merkitykseen pitäisi ohjeistaa sekä motivoida asukkaita ja ilmanvaihtojärjestelmien asentajia. Käytännössä sisäilmanlaatu ei ole itsestään selvyys uusissakaan koneellisissa ilmanvaihtokohteissa. Uusissa kohteissa sisäilman laatu ei välttämättä ole aina yhtään parempi kuin vanhoissa kohteissa, jos koneellisen ilmanvaihdon säädöt ovat tekemättä, laitetta pidetään pienellä puhallusteholla, suodattimia ei vaihdeta riittävän usein eikä ilmanvaihtokonetta ja koko järjestelmää puhdisteta kokonaisuudessaan säännöllisesti. Monesti nämä tässä tutkitut sisäilmanlaadun perustekijät jäävät vähälle huomiolle, vaikka niihin kohtuullisen helposti voidaan vaikuttaa ja oletetaan, että järjestelmä toimii riittävän hyvin. Kuitenkin asumisviihtyvyyteen niillä on merkitystä. Selvää on kuitenkin se että koneellinen ilmanvaihto oikein käytettynä ja huollettuna tuottaa parempaa sisäilmaa asuntoihin, kuin painovoimainen ilmanvaihto.

## 7. Lähdeluettelo

1. Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1, Sosiaali- ja terveysministeriö.Oy Edita Ab. Helsinki 2003.
2. Asumisterveysopas. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö- ja Terveys –lehti, Pori 2008.
3. Heikkinen J., Korkala T., Luoma M., Salomaa H. Ilmanvaihtojärjestelmien virhetoiminnot ja häiriöalttius. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 737. 1987
4. Jantunen M., Komulainen H., Nevalainen A., Tuomisto J., Venäläinen R., Viiluksela M. Selvitys elinympäristön kemikaaliriskeistä. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B 11/2005.
5. Seppänen O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 1996.
6. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003.
7. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010.
8. Terveysturvallisuuslaki 763/1994



Liite 1. Kesän ja talven mittaustulokset keskiarvona.

Sisäilmamittauksien tulokset									
Painovoim	°C	Rh%	Co2	Hiukkaset kpl/litra					
				>0,30 µm	>0,50 µm	>1 µm	>3 µm	>5 µm	>10 µm
Talo1	22,9	37	713	11820	1795	540	139	63	16
Talo2	23	41	1287	24475	7845	2175	332	123	26
Talo3	23	31	518	11800	1770	404	84	40	10
Talo4	23,5	43	639	7445	1670	666	118	39	5
Talo5	23	39	554	22550	6080	1127	116	43	8
Talo6	21,5	43	717	35400	4605	937	158	61	13
Talo7	23,7	37	648	21950	5375	1410	111	35	7
Talo8	23,2	44	999	12680	5527	3025	741	287	47
<b>Keskiarvo</b>	<b>23</b>	<b>39</b>	<b>759</b>	<b>18515</b>	<b>4333</b>	<b>1286</b>	<b>225</b>	<b>86</b>	<b>17</b>
Koneellinen									
	°C	Rh%	Co2	>0,30 µm	>0,50 µm	>1 µm	>3 µm	>5 µm	>10 µm
Talo9	23,3	40	609	13790	2360	790	163	66	13
Talo10	24,6	33	474	28550	10550	2639	135	43	6
Talo11	23,4	36	654	8850	1965	722	535	232	9
Talo12	23,9	43	629	9555	2365	787	140	51	9
Talo13	23,4	38	607	11925	3278	206	101	40	9
<b>Keskiarvo</b>	<b>23,7</b>	<b>38</b>	<b>595</b>	<b>14534</b>	<b>4104</b>	<b>1029</b>	<b>215</b>	<b>86</b>	<b>9</b>
Ilmalämmi									
	°C	Rh%	Co2	>0,30 µm	>0,50 µm	>1 µm	>3 µm	>5 µm	>10 µm
Talo14	23,1	34	379	17500	1450	113	14	6	2
Talo15	22,6	35	670	8965	2980	1238	230	80	14
<b>Keskiarvo</b>	<b>22,9</b>	<b>34,5</b>	<b>525</b>	<b>13232</b>	<b>2215</b>	<b>676</b>	<b>122</b>	<b>43</b>	<b>8</b>
Kaikkien keskiarvo									
	°C	Rh%	Co2	>0,30 µm	>0,50 µm	>1 µm	>3 µm	>5 µm	>10 µm
<b>Kaikkien keskiarvo</b>	<b>23,2</b>	<b>38</b>	<b>665</b>	<b>17307</b>	<b>3904</b>	<b>1098</b>	<b>204</b>	<b>79</b>	<b>13</b>



Liite 3. Asuntojen IO- suhteet.

Hiukkaset kpl/litra																										
<b>Io-suhteet</b>																										
Painovi- mainen	Kesä >0,30µm		Talvi		Kesä >0,50µm		Talvi		Kesä >1 µm		Talvi		Kesä >3 µm		Talvi		Kesä >5 µm		Talvi		Kesä >10 µm		Talvi			
Talo1	0,2	0,2	0,7	0,4	2,5	1,6	3	3	3,5	3,1	7	5														
Talo2	0,1	0,6	1,6	1,4	7,2	6,6	4,2	4,3	3,5	27,8	4,8	27														
Talo3	0,7	0,2	0,9	0,5	2	1,1	2	0,2	5,5	0,2	0,4	0,2														
Talo4	0,5	0,4	1,3	1,3	2,1	2	2,6	2,8	2,2	2,2	1,5	1														
Talo5	0,3	2,4	2,2	1	2,3	2	2	3,2	3	2,9	4	2														
Talo6	0,9	0,2	1,2	0,7	2,8	2,1	2,7	3,1	1,7	3,2	1,4	1,2														
Talo7	0,4	0,7	8,4	1,2	8	1,1	2	3,8	0,9	2,6	0,7	0,8														
Talo8	1,9	19	6,7	2,8	12,7	4,4	24	19	25	27	40	13														
<b>Keskiarvo</b>	<b>0,625</b>	<b>2,9625</b>	<b>2,875</b>	<b>1,1625</b>	<b>4,95</b>	<b>2,6125</b>	<b>5,3125</b>	<b>4,925</b>	<b>5,6625</b>	<b>9,828571</b>	<b>7,475</b>	<b>6,275</b>														
<b>Talvi ja</b>																										
<b>Kesä yht.</b>	<b>1,79375</b>	<b>2,01875</b>	<b>3,78125</b>	<b>5,11875</b>	<b>7,606667</b>	<b>6,875</b>																				
<b>Koneel- linen</b>	Kesä >0,30µm		Talvi		Kesä >0,50µm		Talvi		Kesä >1 µm		Talvi		Kesä >3 µm		Talvi		Kesä >5 µm		Talvi		Kesä >10 µm		Talvi			
Talo9	0,4	0,1	0,6	0,3	1,4	2,6	1,1	14	0,9	16,5	0,8	14														
Talo10	0,5	0,7	1,1	3,5	2,1	18	2	9,8	1,4	6,3	0,7	2														
Talo11	0,6	0,1	2,3	0,3	3,8	1,2	4,7	3,1	4,5	5	4,5	4														
Talo12	0,1	0,2	0,7	0,3	2,9	2,9	4,7	12	4,5	12,8	7	10														
Talo13	0,7	0,1	3,2	0,1	4,4	1,7	5,4	14	5,9	33	1,3	10														
<b>Keskiarvo</b>	<b>0,46</b>	<b>0,24</b>	<b>1,58</b>	<b>0,9</b>	<b>2,92</b>	<b>5,28</b>	<b>3,58</b>	<b>10,58</b>	<b>3,44</b>	<b>14,72</b>	<b>2,86</b>	<b>8</b>														
<b>Talvi ja</b>																										
<b>Kesä yht.</b>	<b>0,35</b>	<b>1,24</b>	<b>4,1</b>	<b>7,08</b>	<b>9,08</b>	<b>5,43</b>																				

Ilma- lämmitys	Kesä >0,30µm	Talvi	Kesä >0,50µm	Talvi	Kesä >1 µm	Talvi	Kesä >3 µm	Talvi	Kesä >5 µm	Talvi	Kesä >10 µm	Talvi
		1,3		0,1		1,3		0,2		1,1		0,3
Talo14	0,9	0,2	3,1	0,6	4,9	1,3	5,1	1,3	3,9	1,2	2,3	3,7
Talo15	1,1	0,15	2,2	0,4	3	0,8	3	1	2,35	0,95	1,65	2,35
Keskiarvo												
Talvi ja Kesä yht.		0,625		1,3		1,9		2		1,65		2
Kaikkien keskiarvo	Kesä >0,30 µm	Talvi	Kesä >0,50 µm	Talvi	Kesä >1 µm	Talvi	Kesä >3 µm	Talvi	Kesä >5 µm	Talvi	Kesä >10 µm	Talvi
		0,649167		1,534813		2,330833		1,016063		3,948333		3,273688
Talvi ja Kesä keskiarvo yht.		1,09199		1,673448		3,61101		5,249885		7,092298		5,578667

**HENRI HURME**

*Sisäilman laadun vertailu  
painovoimaisen ja koneellisen  
ilmanvaihdon kohteissa*

Tutkimus käsittelee sisäilmanlaadusta hiukkasia, lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidia. Kohteena olivat omakotitalot. Tutkitut ilmanvaihtotyypit olivat painovoimainen ilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Tutkimuksessa selvitettiin painovoimaisen ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtotyyppien sisäilmanlaatua ja nykyaikaisen koneellisen ilmanvaihdon hyötyä sisäilmaan. Ohjeistusta hyvän sisäilmanlaadun saavuttamiseksi tarvitaan jatkossakin.



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*Aducate – Centre for Training  
and Development*

ADUCATE REPORTS AND BOOKS

ISBN 978-952-61-0053-1