



TAITO
-työelämäkirjat

Toim. Eija Raussi-Lehto & Elina Ala-Nikkola

Kohti älykästä ilmanvaihtoa

Näkökulmia ja ratkaisuja
parempaan sisäilmaan

Metropolia Ammattikorkeakoulun julkaisusarja

Toim.

Eija Raussi-Lehto

Elina Ala-Nikkola

Kohti älykästä ilmanvaihtoa

Näkökulmia ja ratkaisuja
parempaan sisäilmaan

Metropolia ammattikorkeakoulun julkaisusarja
TAITO-TYÖELÄMÄKIRJAT 14 · 2018



© Tekijät ja Metropolia Ammattikorkeakoulu

Kustantaja / Julkaisija
Metropolia Ammattikorkeakoulu 2018

Taitto
Ronja Nurmi, Valovirta Design

Kansikuva
Heidi Ukkonen

Sisäsivujen kuvat ja kuviot
Sivu 32: Abdulla Ibrahim ja Jean-Michel Crepel
Sivu 36: Tony Lam
Sivu 37: Ari Rajamäki
Sivu 39: Jarmo Tuppurainen

ISBN 978-952-328-046-5 (pdf)
ISSN 1799-6007 (pdf)

www.metropolia.fi/julkaisut

SISÄLLYS

Tekijät

Esipuhe	3
----------------------	----------

Eija Raussi-Lehto, Päivi Haho ja Janni Koski

Sisäilman laatuun vaikuttavat monet ulkoiset tekijät	8
Sopiva lämpöaste ja lämmön vaihtuvuus terveyden tukena	8
Hiilidioksidin määrän vaikutus terveyteen ja säätely ilmanvaihdon avulla.....	9
Suhteellisen kosteuden nousu altistaa terveyshaitoille	10
Negatiivinen sähköinen varaus edistää terveyttä.....	11
Altistuminen ilmansaasteiden hiukkasille haittaa terveyttä.....	12
Lopuksi	13

Eija Raussi-Lehto, Päivi Haho ja Janni Koski

Huonon ja hyvän sisäilman merkityksiä eri ikäryhmissä	17
Lapsilla huonon sisäilman riskit ovat suurimmat	17
Sisäilma kodeissa	19
Sisäilma kouluissa	21
Sisäilman merkitys aikuisille	22
Oikeanlainen ilmanvaihto hyvän asumisen tukena.....	23
Sisäilman vaikutukset työympäristöissä	24
Sisäilman vaikutukset vanhuksiin.....	25

Jarmo Tuppurainen

AirSens - Älykästä ilmanvaihtoa avuksi sisäilmaongelmiin	31
AirSens-projektin työvaiheet.....	32
Työpaketti 1: Markkinatutkimus	33
Työpaketti 2: Käyttäjätutkimus	34
Työpaketti 3: Autonomiset mittaus- ja ohjausmenetelmät....	35
Työpaketti 4: Konseptin toteutettavuus	38
Työpaketti 5: Proton valmistelu	39

Työpaketti 6: Proof of Concept	40
Työpaketti 7: Kaupallistamissuunnitelma	41
AirSens-projektin yhteenveto	42

Eija Raussi-Lehto, Janni Koski ja Jarmo Tuppurainen

Epäterveellisestä sisäilmasta kohti terveellisempää asumista?	43
Kokemuksia vihreiden rakennusten hyödyistä.....	43
Terveellisen asumisen tulevaisuus	45
Tiivistelmä.....	49
Summary.....	50
Kirjoittajat	51

ESIPUHE

Ihmiset viettävät ison osan ajastaan sisätiloissa: kotona, työpaikoilla, kouluissa, päiväkodeissa ja harrastuksissa. Sisäilmaa hengitetäänkin päivittäin tuhansia litroja ja huono sisäilma vaikuttaa monin tavoin terveyteen. Tämä artikkelikokoelma luo monipuolisen katsauksen hyvän sisäilman merkitykseen yksilöille ja yhteiskunnalle. Se pureutuu sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin ja sen terveysvaikutuksiin erilaisille ikäryhmille. Kokoelma tuo esiin, miten sisäilmaongelmia on vuosien saatossa ratkottu. Lisäksi luodaan katsaus uudenlaiseen, sisäilmaongelmien ratkaisemiseen kehitettyyn AirSens-teknologiaan sekä sen liiketoimintamahdollisuuksiin.

On arvioitu, että yksi ihminen hengittää n. 3400 l ilmaa joka päivä. Epämukavuutta ja hengitysvaikeuksia ilmenee, kun ilmankosteus, lämpötila ja ilmanliike ovat suositeltujen rajojen ulkopuolella. Ilmanvaihdon suositellaan olevan (ASHRAE Standards) noin 8 l/s, joka vastaa noin 15 kuutiojalkaa minuutissa per henkilö. (Massawe & Vasut 2013.)

Ihmiset viettävät suurimman osan ajastaan, jopa 90 % sisätiloissa, varsinkin kotona (Massawe & Vasut 2013; Karottki ym. 2014; Rosenbaum ym. 2015; Allen ym. 2015; Chen ym. 2015; Pacheco ym. 2015; Soppa ym. 2014; Lin ym. 2013; Engvall ym. 2010; Kovesi & Dales 2009; Adan ym. 2007; Wu ym. 2007). Siksi sisäilman laadun arviointi on tärkeää (Karottki ym. 2014). Sisäilman epäpuhtauksilla on jopa ulkoilmaa suurempi vaikutus terveyteen: sisäilman epäpuhtauspitoisuudet saattavat olla suurempia kuin ulkoilman pitoisuudet (Adan ym. 2007; Massawe & Vasut 2013; Karottki ym. 2014; Allen ym. 2015). Suuri osa ihmisistä ei olekaan tietoisia siitä, että sisäilman laatu saattaa olla huonompi kuin ulkoilman laatu ja että sillä on terveydellistä merkitystä (Massawe & Vasut 2013).

Sisäilman laadun parantaminen onkin erittäin tärkeää terveyden edistämisen kannalta (Adan ym. 2007; Nishimura ym. 2015; Liu ym. 2008). Asuminen (ja sisäilma muissa arjessa paljon käytettävissä sisätiloissa) vaikuttaa terveyteen sekä välillisesti että suoraan: tutkimusnäyttö viittaa siihen, että sisäilman epäpuhtaudet vaikuttavat ihmisen terveyteen ja aiheuttavat merkittäviä kansanterveydellisiä riskejä (Breyse ym.2015; Narain 2012; Wu ym. 2007). Epäpuhtaalla sisäilmalla tiedetään olevan yhteyksiä astmaan, allergioihin, COPD (=keuhkohtaumatauti, Chronic Obstructive Pulmonary Disease), sydän- ja verisuonitauteihin ja keuhkosyöpään (Asikainen ym. 2016). Astma ja allergiat ovat lisääntyneet useimmissa maissa viime vuosikymmeninä (Annesi-Maesano ym.2013). Altistuminen sisätilojen allergee-

neille on tärkeä tekijä astman kehittämisessä (Sandel ym. 2014).

Tieto sisäilman merkityksestä terveydelle johti Metropolia Ammattikorkeakoulussa toteutettuun AirSens-projektiin vuosina 2016—2017. Projektissa tutkittiin mahdollisuutta synnyttää uusi liiketoimintakonsepti, jonka keskiössä on älykkään ilmanvaihdon mahdollistava anturointi- ja automaattioratkaisu. Tekesin rahoittaman projektin tausta-aineistona olivat Metropolia Ammattikorkeakoulun aiemmin toteuttaman Terveellinen Rakennus -projektin tulokset ja teknologia.

AirSens-hankkeen innostamana syntyi tämä laajasti sisäilman merkityksiä eri näkökulmista esittelevä artikkelikokoelma. Artikkelit antavat tietoa sisäilman laadun merkityksestä ja sen vaikutuksista terveyteen sekä ongelmien ennaltaehkäisystä. Se toimii apuna arjessa sisäilmaongelmiin liittyviä kysymyksiä ratkoviille ammattilaisille sekä päättäjille. Ammattilaisten lisäksi myös asiaan perehtymättömät lukijat voivat julkaisun avulla päästä sisäilmakysymysten ja -ratkaisujen äärelle.

Julkaisu koostuu neljästä artikkelista. Ensimmäisessä artikkelissa Eija Raussi-Lehto, Päivi Haho ja Janni Koski esittelevät erilaisia sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä niiden merkitystä terveydelle. Toisessa artikkelissa tarkastellaan sisäilman merkitystä eri ikäryhmien näkökulmasta. Erityisiä riskiryhmiä ovat lapset ja vanhukset, vaikkakin sisäilman vaikutukset voivat kohdistua mihin tahansa ikäluokkaan. Kolmannessa artikkelissa Jarmo Tuppurainen esittelee sisäilmaongelmien ennaltaehkäisemiseen kehitetyn AirSens-järjestelmän, avaa sen toimintamekanismeja sekä AirSensin liiketoimintakonspetoinnin vaiheita. Neljäs artikkeli tuo tietoa sisäilmaongelmiin liittyvistä ratkaisuista ja näkökulmista tulevaisuuteen.

Toivomme tämän julkaisun olevan yksi askel kohti parempaa ilmaa, jota hengittää!

Helsingissä 30.1.2018

Tekijät

LÄHTEET:

- Adan OC, Ng-A-Tham J, Hanke W, Sigsgaard T, van den Hazel P, Wu F. In search of a common European approach to a healthy indoor environment. *Environ Health Perspect.* 2007 Jun;115(6):983-8.
- Allen JG, MacNaughton P, Laurent JG, Flanigan SS, Eitland ES, Spengler JD. Green Buildings and Health. *Curr Environ Health Rep.* 2015 Sep;2(3):250-8.
- Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S, SINPHONIE Group. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 2013;16(8):491-550.
- Asikainen A, Carrer P, Kephelopoulos S, Fernandes Ede O, Wargocki P, Hänninen O. Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). *Environ Health.* 2016 Mar 8;15 Suppl 1:35
- Breyse J, Dixon SL, Jacobs DE, Lopez J, Weber W. Self-reported health outcomes associated with green-renovated public housing among primarily elderly residents. *J Public Health Manag Pract.* 2015 Jul-Aug;21(4):355-67.
- Chen R, Zhao A, Chen H, Zhao Z, Cai J, Wang C, Yang C, Li H, Xu X, Ha S, Li T, Kan H. Cardiopulmonary benefits of reducing indoor particles of outdoor origin: a randomized, double-blind crossover trial of air purifiers. *J Am Coll Cardiol.* 2015 Jun 2;65(21):2279-87
- Engvall K, Hult M, Corner R, Lampa E, Norbäck D, Emenius G. A new multiple regression model to identify multi-family houses with a high prevalence of sick building symptoms "SBS", within the healthy sustainable house study in Stockholm (3H). *Int Arch Occup Environ Health.* 2010 Jan;83(1):85-94.

- Karottki DG, Bekö G, Clausen G, Madsen AM, Andersen ZJ, Massling A, Ketzel M, Ellermann T, Lund R, Sigsgaard T, Møller P, Loft S. Cardiovascular and lung function in relation to outdoor and indoor exposure to fine and ultrafine particulate matter in middle-aged subjects. *Environ Int.* 2014 Dec;73:372-81.
- Kovesi TA, Dales RE. Effects of the indoor environment on the fraction of exhaled nitric oxide in school-aged children. *Can Respir J.* 2009 May-Jun;16(3):e18-23.
- Lin LY, Chuang HC, Liu IJ, Chen HW, Chuang KJ. Reducing indoor air pollution by air conditioning is associated with improvements in cardiovascular health among the general population. *Sci Total Environ.* 2013 Oct 1;463-464:176-81.
- Liu W, Lian Z, Liu Y. Heart rate variability at different thermal comfort levels. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Jun;103(3):361-6.
- Massawe E, Vasut L. Promoting healthy school environments: a step-by-step framework to improve indoor air quality in Tangipahoa Parish, Louisiana. *J Environ Health.* 2013 Sep;76(2):22-30.
- Narain JP. The challenge of health & environment: profiling risks & strategic priorities for now & the future. *Indian J Med Res.* 2012 Aug;136(2):185-91.
- Nishimura Y, Takahashi K, Mase A, Kotani M, Ami K, Maeda M, Shirahama T, Lee S, Matsuzaki H, Kumagai-Takei N, Yoshitome K, Otsuki T. Enhancement of NK Cell Cytotoxicity Induced by Long-Term Living in Negatively Charged-Particle Dominant Indoor Air-Conditions. *PLoS One.* 2015 Jul 14;10(7)
- Pacheco JA, Pacheco CM, Lewis C, Williams C, Barnes C, Rosenwasser L, Choi WS, Daley CM. Ensuring healthy American Indian generations for tomorrow through safe and healthy indoor environments. *Int J Environ Res Public Health.* 2015 Mar 4;12(3):2810-22.

- Rosenbaum RK, Meijer A, Demou E, Hellweg S, Jolliet O, Lam NL, Margni M, McKone TE. Indoor Air Pollutant Exposure for Life Cycle Assessment: Regional Health Impact Factors for Households. *Environ Sci Technol*. 2015 Nov 3;49(21):12823-31.
- Sandel M, Murphy JS, Dixon SL, Adgate JL, Chew GL, Dorevitch S, Jacobs DE. A side-by-side comparison of three allergen sampling methods in settled house dust. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2014 Nov;24(6):650-6.
- Soppa VJ, Schins RP, Hennig F, Hellack B, Quass U, Kaminski H, Kuhlbusch TA, Hoffmann B, Weinmayr G. Respiratory effects of fine and ultrafine particles from indoor sources--a randomized sham-controlled exposure study of healthy volunteers. *Int J Environ Res Public Health*. 2014 Jul 4;11(7):6871-89.
- Wu F, Jacobs D, Mitchell C, Miller D, Karol MH. Improving indoor environmental quality for public health: impediments and policy recommendations. *Environ Health Perspect*. 2007 Jun;115(6):953-7.

Eija Raussi-Lehto, Päivi Haho ja Janni Koski

SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT MONET ULKOISET TEKIJÄT

Sisäilmaan vaikuttavat erilaiset ulkoiset tekijät, kuten lämpötila ja sen säätely, ilman hiilidioksidipitoisuus, rakennuksen sisällä olevan suhteellisen kosteuden määrä, sähköisesti varautuneet ilmaionit sekä hiukkasten pitoisuus sisätiloissa. Tässä artikkelissa tarkastellaan sitä, miten nämä viisi tekijää vaikuttavat terveyteen ja miten esimerkiksi rakennusten ilmanvaihdon järjestelyillä voidaan näihin tekijöihin vaikuttaa.

SOPIVA LÄMPÖASTE JA LÄMMÖN VAIHTUVUUS TERVEYDEN TUKENA

Ihmiset ovat hyvin herkkiä lämpötiloille: luontaista ja aktiivista lämmön-säätelykykyä ohjaa autonominen (tahdosta riippumaton) hermosto (Song 2014; Zhu ym. 2016; Liu ym. 2008). Jo 500 000 vuotta ihmiskunta on sopeutunut ympäristöön, jossa lämpötila ja kosteus vaihtelevat päivisin ja öisin (Zhu ym. 2016).

Jos kuitenkin ihminen oleilee tietyissä sisätilojen lämpötiloissa pitkiä aikoja, hänelle muodostuu krooninen kokemus sisälämpötilasta. Tällainen vakaa lämpötilansäätö voi johtaa ihmisen luontaisen lämpörasituksen torjumiseen, mikä heikentää termistä sopeutumiskykyä ja fysiologista mukautumista muutoksiin. Mahdollisuus hallita ympäristön lämpöä parantaa lämmöntunnetta ja lämpömukavuutta (Zhou 2014). Siten vakaa sisälämpötila ei tulisikaan olla perimmäinen tavoite, vaan dynaaminen lämpöympäristö saattaa jopa soveltua ihmiskehelle parhaiten (Zhu ym. 2016). Esimerkiksi Songin (2014) mukaan, terveellinen ympäristö on sellainen, jossa ilman lämpötila ei säily vakiona vaan vaihtelee. Ihmisen lämpöviihtyvyys määritellään kansainvälisesti: “mieli, jossa ihminen on tyytyväinen termiseen ympäristöönsä”. Lämpöviihtyvyyden saavuttamisen painopiste on lämmityksessä, ilmanvaihdossa, ilmastoinnissa ja jäähdytyksessä. (Liu ym. 2008.)

Tutkimuksissa on todettu eroja eri maiden välillä siinä, miten lämpö-

viihtyvyyttä pyritään saavuttamaan. Esimerkiksi tanskalaisten on todettu olevan tyytyväisiä vakioilmavirtaan, kun taas kiinalaisten (jotka altistuvat kuumuudelle enemmän) on todettu olevan tyytyväisempiä vaihtuvaan, dynaamiseen ilmavirtaan. Dynaamisella lämpöviihtyvyyden ohjauksella voidaan parantaa lämpöviihtyvyyttä. Luonnollinen tuuli (tasainen ilmavirta) on edullinen vain lämpimissä olosuhteissa, sen sijaan vaihtuvalla ilmavirtauksella on voimakkaampi viilentävä vaikutus ihmiskehoon. (Zhu ym. 2016.) Lämpötilasäädellyn ilmavirran on todettu myös parantavan atooppisen astmaatikon oireita (Gore ym. 2015).

Myös sisäilman lämpöasteiden määrällä on todettu olevan merkitystä terveydelle. Sillä on vaikutusta esimerkiksi sydämen sykkeeseen ja veren virtausnopeuteen. Matalan (LF) ja korkean (HF) taajuuskannan suhdetta on mahdollista käyttää indeksinä arvioitaessa ihmisen termistä mukavuutta. (Liu ym. 2008.) Ilmastointijärjestelmät laskevat erittäin korkeaa veren virtausta ja estävät haitallista angiogeneesiä (eli verisuonten uudismuodostusta). Veren virtausnopeus ei ole vakio, vaan vaihtelee välillä 15-40 TPU. Talvikaudella veren virtausnopeus laskee ja sitä ei voida nostaa edes kunnon talvivaatteilla. Ihon lämpötilan ja verenvirtauksen nopeutta voidaan käyttää arvioitaessa terveellistä olotilaa. Kuuma ympäristö aiheuttaa verenvirtausnopeuden kiihtymistä, jolloin happea kuljetetaan soluihin nopeammin. Korkea happi indusoi oksidatiivista stressiä (eli epätasapaino solujen hapetus-pelkistystilassa) ja hormonien toimintahäiriöitä. (Song 2014.)

Songin (2014) tutkimuksen mukaan, ympäristön lämpötilan ollessa alle 17 celsiusta se on liian alhainen ja verenvirtausnopeus vähenee. Lämmitysjärjestelmillä saadaan lisättyä ihmisen mikroverenkiertoa kylmällä ilmalla. Toisaalta taas liiallinen kuumuus indusoi ihon vanhenemista. Krooninen tai liiallinen altistuminen lämmölle lisää happea soluihin ja aiheuttaa oksidatiivista stressiä ja jopa DNA vaurioita. Songin tutkimuksessa verenvirtaus lisääntyi suhteellisesti ilman lämpötilan noustessa, mikä on haitallista ihmisen terveydelle. (Song 2014.)

HIILIDIOKSIDIN MÄÄRÄN VAIKUTUS TERVEYTEEN JA SÄÄTELY ILMANVAIHDON AVULLA

Ilmanvaihto on sisäilman oleellinen tekijä, koska sen avulla voidaan poistaa epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon suunnittelussa on pitkään käytetty hiilidioksidiarvoja, koska ihmiset ovat sisäympäristön hiilidioksidin ensisijainen lähde. Sisäilman hiilidioksidipitoisuudet riippuvat henkilöiden lukumäärästä ja heidän toimintansa aktiivisuudesta. Ihmiset ovat myös lämmön,

kosteuden, hajujen ja muiden biopäästöjen lähteitä. Nämä tekijät voivat vaikuttaa koettuun sisäilman laatuun. (Sharpe ym. 2015.)

Jos ilmanvaihto on huono, hiilidioksidipitoisuudet nousevat (Annesi-Maesano ym. 2013). Hiilidioksidipitoisuuksia voidaan pitää huonoina, jos hiilidioksiditasot ovat yli 1000 ppm, jolloin se on osoitus huonosta sisäilman laadusta. CIBSE- ja ASHRAE-standardien suositukset ilmanvaihtoon ovat noin 1000 ppm ja 8l/s/hlö (noin 30m²/h/hlö). Yleisissä tiloissa, kuten toimistoissa ja kouluissa, 1000 ppm hiilidioksiditaso on riittävä. Tieteellisen kirjallisuuden mukaan alle 900 ppm tasolla olevat hiilidioksidipitoisuudet suojaavat terveyshaitoilta. ASHRAE-standardi tukee alle 1000 ppm hiilidioksidisuositusta oleskelutiloissa ja makuuhuoneissa. Toisaalta korealaisessa tutkimuksessa raportoitiin, että jos hiilidioksidipitoisuus on alhainen (564 ppm), se aiheuttaa hengityksen vinkunaa lapsilla, joilla on astma. (Sharpe ym. 2015.) Suomessa sisäilman hiilidioksidipitoisuus saa olla korkeintaan 1150 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (Valvira 2016).

Tutkimuksissa, joissa asuntoihin asennettiin uusi koneellinen ilmanvaihto ja joissa hiilidioksidipitoisuus oli 982 ppm:n vuotuisella keskimääräisellä tasolla, saatiin aikuisten yleinen terveys paranemaan ja merkittävää parannusta astmaan ja astman oireisiin. Näissä tutkimuksissa lisäksi energian käyttö saatiin laskemaan 45 %:a vuoden aikana. (Breyse ym. 2011.) Sen sijaan tutkimuksessa, jossa tutkittiin painovoimaista ilmanvaihtoa asunnoissa, joissa oli vain ajoittaisia apupuhaltimia märkätiloissa ja keittiössä, keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli 1520 ppm (Sharpe ym. 2015) eli huomattavasti suositustasoja korkeampi. Siten näiden tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että painovoimainen ilmanvaihto on sisäilman hiilidioksidipitoisuuden kannalta huonompi vaihtoehto koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna.

SUHTEELLISEN KOSTEUDEN NOUSU ALTISTAA TERVEYSHAITOILLE

Suhteellinen kosteus mittaa ilman vesihöyryn määrää ja riippuu ilman lämpötilasta (Massawe & Vasut 2013). Sisäilman liiallinen kosteus ja riittämätön ilmanvaihto voi aiheuttaa hometta, torakka- ja jyrnsijäongelmia sekä pölypunkkien ilmaantumista ja se altistaa ylähengitystieoireille, yskälle ja astmaatikoilla astmaoireiden herkistymiselle ja pahenemiselle (Wu ym. 2007; Frisk ym. 2007; Holme ym. 2010; Hernberg ym. 2014). Ympäri maailmaa tutkijat ovat raportoineet talojen kosteusongelmien aiheuttavan ter-

veysongelmia, kuten hengitystieoireita, astmaa ja allergiaa. Muita kosteuteen yhdistettyjä oireita ovat: väsymys, päänsärky, limakalvojen ärsytys ja hengitystieinfektiot. (Holme ym. 2010.) Homeelle altistuminen on yleinen ja maailmanlaajuinen terveysongelma. Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa 20 %:ssa asunnoista on merkkejä kosteudesta (Hernberg ym. 2014).

Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan kodeista, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, 24,2 %:sta löytyi hometta. Kodit, joissa oli mekaaninen ulosotto, 14.6 %:ssa oli hometta ja kodit, joissa oli tulo- ja poistoilmanohjaus, hometta löytyi 7.7 %:sta. (Holme ym. 2010). Siten sisäilman suhteellisen kosteuden ongelmia aiheuttaa todennäköisesti pelkästään luonnolliseen eli painovoimaiseen ilmanvaihtoon perustuva järjestelmä. Kosteus tuottaa kondensaatiota, homeen kasvua ja kotipölypunkkien kolonisaatiota. (Sharpe ym. 2015.)

Tutkittaessa sisäympäristön epäpuhtauksiin liittyviä vaikutuksia astmaattikoille ja terveille todettiin, että korkealla suhteellisella kosteudella oli suurin merkitys allergeenien korkeille tasoille kodeissa. Astmaa sairastavien kodeissa suhteellisen kosteuden keskiarvo oli 69 %, kun taas terveiden kodeissa 49,4 %. Keskimääräinen ilman lämpötila oli myös korkeampi sairastuneiden kodeissa kuin terveillä. (Feng ym. 2012.)

NEGATIIVINEN SÄHKÖINEN VARAUS EDISTÄÄ TERVEYTTÄ

Sähköisesti varautuneet ilmaionit vaikuttavat autonomiseen hermostoon. Eräässä kokeellisessa kaksoissokkoutetussa poikkileikkaustutkimuksessa altistettiin osa koehenkilöistä negatiiviseen ionikonsentraatioon (ionipitoisuuteen) ja osa vielä korkeammin negatiiviseen ionikonsentraatioon. Tutkimuksessa todettiin, että kognitiivinen suorituskykytesti (sanallinen-, päättely- ja havaintonopeus) suoritettiin paremmin, jos huoneessa oli suurempi negatiivinen ionipitoisuus. (Wallner ym. 2015.)

Negatiivisesti varautunut ilma voi lisätä NK-solujen (engl. natural killer cells) aktiivisuutta ja tämä puolestaan voi vähentää syöpäsairauksia ja vakavia tartuntatauteja, viruksia ja bakteereja. Negatiivisesti varautunut ilma voi siis edistää ihmisen terveyttä ja parantaa immuniteettia ja ehkäistä näin tulehduksia. Negatiivisesti varautuneiden hiukkasten hallitseman sisäilman olosuhteet indusoivat immuunistimulaatiota ja edistävät näin terveyttä. (Nishimura ym. 2015.) Siten sisäilman parantamisessa tulisi pyrkiä negatiivisesti varautuneiden hiukkasten hallitseman sisäilman lisäämiseen.

ALTISTUMINEN ILMANSAASTEIDEN HIUKKASILLE HAITTA TERVEYTTÄ

Altistuminen ilmansaasteiden hiukkaspitoisuuksille on osoitettu olevan sydäntautien ja kuolleisuuden riskitekijä. Hiukkaset aiheuttavat keuhkojen systeemisen tulehduksen aktivoimalla verisuonten endoteelin ja muuttamalla verisuonten toimintaa. (Pope ym. 2011). Allergeeneille altistuminen sisätiloissa on tärkeä tekijä myös astman kehittymiselle (Sandel ym. 2014). Sisäilman bioaerosoleilla on negatiivista vaikutusta keuhkojen toimintaan, systeemisen tulehduksen markkereihin ja diabetekseen (Karotki ym. 2014).

Sisäilman puhdistaminen tuokin selkeää hyötyä ainakin terveiden aikuisten tulehdus- ja trombogeenisiin biomarkkereihin, myös verenpaineen ja uloshengityksen typpipitoisuuden laskuun sekä keuhkojen toimintaan ja verisuonten supistumiseen (Chen ym. 2015). Altistuminen pienhiukkasille sisätiloissa on suuri ongelma etenkin Kiinassa, jossa PM 2.5 hiukkasten arvo on korkeimpia koko maailmassa. Onkin arvioitu, että 1.2 miljoonaa kuolemantapausta esiintyy tämän vuoksi vuosittain. PM 2.5 hiukkaset voivat pahentaa sydänoireita ja ne on myös yhdistetty COPD:hen, sydämen vajaatoimintaan, rytmihäiriöihin, sydänpysähdyksiin ja aivohalvauksiin. Lisäksi PM 2.5 hiukkaset vaikuttavat keuhkojen toimintaan, aiheuttavat oksidatiivista stressiä, lisääntyntä valtimoverenpainetta, endoteelien toimintahäiriöitä ja sydämen muuttunutta autonomista toimintaa. (Chen ym. 2015.)

LOPUKSI

- ◆ Sisäilman terveyteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus, sähköinen varaus ja hiukkasten määrä.
- ◆ Lämpötilan vaihtelevuus ja sopiva taso edistävät terveyttä muun muassa vaikuttamalla sydämen sykkeeseen ja verenvirtaukseen. Lämpötilan säätöön voidaan vaikuttaa lämmityksen, ilmanvaihdon, ilmastoinnin ja jäähdytyksen avulla.
- ◆ Ihmiset tuottavat hengittäessään hiilidioksidia, joten sitä kulkeutuu luonnollisesti kaikkiin sisätiloihin. Sisäilman matalampi hiilidioksidipitoisuus edistää terveyttä ja siksi ilmanvaihdon suunnittelussa käytetäänkin apuna hiilidioksidimittauksia.
- ◆ Sisäilman liiallinen kosteus altistaa rakennukset homeelle ja sitä kautta syntyville terveysoireille, kuten esimerkiksi hengitysoireille, astmalle ja allergioille.
- ◆ Negatiivisesti varautuneiden hiukkasten hallitsema sisäilma edistää terveyttä.
- ◆ Altistuminen ilmansaasteiden hiukkaspitoisuuksille on myös sydäntautien ja kuolleisuuden riskitekijä.
- ◆ Sisäilmaan vaikuttaviin tekijöihin voidaan vaikuttaa erityisesti ilmanvaihtoa parantamalla sekä lämmityksen avulla. Siten asumisessa ja rakentamisessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota näiden tekijöiden hyvään suunnitteluun.

LÄHTEET

- Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S, SINPHONIE Group. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2013;16(8):491-550.
- Breyse J, Jacobs DE, Weber W, Dixon S, Kawecki C, Aceti S, Lopez J. Health outcomes and green renovation of affordable housing. *Public Health Rep*. 2011 May-Jun;126 Suppl 1:64-75.
- Chen R, Zhao A, Chen H, Zhao Z, Cai J, Wang C, Yang C, Li H, Xu X, Ha S, Li T, Kan H. Cardiopulmonary benefits of reducing indoor particles of outdoor origin: a randomized, double-blind crossover trial of air purifiers. *J Am Coll Cardiol*. 2015 Jun 2;65(21):2279-87.
- Feng M, Yang B, Zhuang YJ, Yanagi U, Cheng XJ. A study on indoor environment contaminants related to dust mite in dwellings of allergic asthma patients and of healthy subjects. *Biosci Trends*. 2012 Feb;6(1):7-9.
- Frisk M, Magnuson A, Kiviloog J, Ivarsson AB, Kamwendo K. Increased occurrence of respiratory symptoms is associated with indoor climate risk indicators - a cross-sectional study in a Swedish population. *Respir Med*. 2007 Sep;101(9):2031-5.
- Gore RB, Boyle RJ, Gore C, Custovic A, Hanna H, Svensson P, Warner JO. Effect of a novel temperature-controlled laminar airflow device on personal breathing zone aeroallergen exposure. *Indoor Air*. 2015 Feb;25(1):36-44.
- Hernberg S, Sripaiboonkij P, Quansah R, Jaakkola JJ, Jaakkola MS. Indoor molds and lung function in healthy adults. *Respir Med*. 2014 May;108(5):677-84.
- Holme J, Hägerhed-Engman L, Mattsson J, Sundell J, Bornehag CG. Culturable mold in indoor air and its association with

- moisture-related problems and asthma and allergy among Swedish children. *Indoor Air*. 2010 Aug;20(4):329-40.
- Karottki DG, Bekö G, Clausen G, Madsen AM, Andersen ZJ, Massling A, Ketzler M, Ellermann T, Lund R, Sigsgaard T, Møller P, Loft S. Cardiovascular and lung function in relation to outdoor and indoor exposure to fine and ultrafine particulate matter in middle-aged subjects. *Environ Int*. 2014 Dec;73:372-81.
- Liu W, Lian Z, Liu Y. Heart rate variability at different thermal comfort levels. *Eur J Appl Physiol*. 2008 Jun;103(3):361-6.
- Massawe E, Vasut L. Promoting healthy school environments: a step-by-step framework to improve indoor air quality in Tangipahoa Parish, Louisiana. *J Environ Health*. 2013 Sep;76(2):22-30.
- Nishimura Y, Takahashi K, Mase A, Kotani M, Ami K, Maeda M, Shirahama T, Lee S, Matsuzaki H, Kumagai-Takei N, Yoshitome K, Otsuki T. Enhancement of NK Cell Cytotoxicity Induced by Long-Term Living in Negatively Charged-Particle Dominant Indoor Air-Conditions. *PLoS One*. 2015 Jul 14;10(7)
- Pope CA 3rd, Hansen JC, Kuprov R, Sanders MD, Anderson MN, Eatough DJ. Vascular function and short-term exposure to fine particulate air pollution. *J Air Waste Manag Assoc*. 2011 Aug;61(8):858-63.
- Sandel M, Murphy JS, Dixon SL, Adgate JL, Chew GL, Dorevitch S, Jacobs DE. A side-by-side comparison of three allergen sampling methods in settled house dust. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2014 Nov;24(6):650-6.
- Sharpe T, Farren P, Howieson S, Tuohy P, McQuillan J. Occupant Interactions and Effectiveness of Natural Ventilation Strategies in Contemporary New Housing in Scotland, UK. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Jul 21;12(7):8480-97.
- Song GS. Influence of indoor and outdoor temperatures on the fingertip blood flow rate. *Appl Ergon*. 2014 Jul;45(4):1048-55.
- Valvira. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen lupa- ja valvontavirasto. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa I.

Asumisterveysasetus § 1-10. Ohje 8/2016. Dnro
2731/06.10.01/2016. 23.3.2016 (päivitetty 25.4.2016)

Wallner P, Kundi M, Panny M, Tappler P, Hutter HP. Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Nov 10;12(11):14301-11.

Wu F, Jacobs D, Mitchell C, Miller D, Karol MH. Improving indoor environmental quality for public health: impediments and policy recommendations. *Environ Health Perspect*. 2007 Jun;115(6):953-7.

Zhou X, Ouyang Q, Zhu Y, Feng C, Zhang X. Experimental study of the influence of anticipated control on human thermal sensation and thermal comfort. *Indoor Air*. 2014 Apr;24(2):171-7.

Zhu Y, Ouyang Q, Cao B, Zhou X, Yu J. Dynamic thermal environment and thermal comfort. *Indoor Air*. 2016 Feb;26(1):125-37.

Eija Raussi-Lehto, Päivi Haho ja Janni Koski

HUONON JA HYVÄN SISÄILMAN MERKITYKSIÄ ERI IKÄRYHMISSÄ

Sisäilman vaikutukset vaihtelevat eri ikäryhmien välillä. Tässä artikkelissa tarkastellaan sisäilman terveysvaikutuksia eri ikäryhmien (lapset, aikuiset, vanhuksat) näkökulmasta sekä kotiympäristöissä että työpaikoilla ja kouluissa.

Eriyistä riskiryhmää huonolle sisäilmalle ovat lapset, joilla moni asia on vielä kehitysvaiheessa ja siten potentiaalinen herkkyys huonon sisäilman vaikutuksille on suuri. Myös aikuisten terveyteen ja esimerkiksi työssä jaksamiseen sisäilmalla on merkitystä. Aikuisväestöä tarkasteltaessa sisäilman epäpuhtaudet saattavat olla vielä suurempi riski vanhuksille johtuen heidän pidentyneestä altistumisesta, muuttuneesta fysiologiasta ja siitä, että sisätiloista poistuminen voi olla hankalaa.

Huono sisäilman laatu aiheuttaa väsymystä, masennusta, ahdistusta ja hengityselinsairauksia. Paremmalla ilmanlaadulla on puolestaan positiivinen merkitys unen laatuun. (Allen ym. 2015.) Parannettaessa asuntojen turvallisuutta ja terveellisyyttä parannetaan kansanterveyttä, jolloin saadaan terveydenhuollon kustannuksia ja sosiaalipalveluiden kustannuksia pienennettyä (Brown ym. 2010).

LAPSILLA HUONON SISÄILMAN RISKIT OVAT SUURIMMAT

Lapsilla on ainutlaatuisia fysiologisia ja kognitiivisia ominaisuuksia, jotka tekevät heistä erityisen haavoittuvaisia ympäristön epäpuhtauksille (Barnes ym. 2010). Lasten elinjärjestelmät ovat vielä kehittymässä eivätkä he pysty käsittelemään epäpuhtauksia aikuisten tavalla elimistössään (Barret 2010).

Lasten immuunijärjestelmä ja hengityselimet ovat vielä kypsymässä (Weitzman ym. 2013; Herr ym. 2012). He hengittävät kaksi kertaa enemmän kuin aikuiset ja heidän ihonsa läpi imeytyy kolme kertaa enemmän epäpuhtauksia kuin aikuisilla (Wu ym. 2007; Weitzman ym. 2013; Barnes ym. 2010; Barrett 2010). Eri anatomiset esteet eivät ole vielä vakiintuneet,

mikä mahdollistaa epäpuhtaille aineille helpomman sisäänkäynnin ja voi näin vaikuttaa lasten elimiin ja kehittymiseen (Annesi-Maesano ym. 2013). Lapsen kyky puhdistaa kehon myrkyjä on heikempi kuin aikuisen, koska lasten keho on vasta kypsyvässä (Barnes ym. 2010). Lapset ovat myös alttiimpia ilmansaasteille, koska he ovat fyysisesti aktiivisempia ja enemmän kosketuksessa lattiapintoihin, ja heidän sormet käyvät myös useasti suussa (Annesi-Maesano ym. 2013; Weitzman ym. 2013; Barnes ym. 2010).

Sisäilman epäpuhtaudet voivat hidastaa lasten kehitystä ja pahentaa erilaisia sairauksia ja oireita, kuten allergioita, astmaa, infektioita ja limakalvojen ärsytystä. Ne voivat vaikuttaa myös keskushermostoon ja niillä voi olla psykologisia vaikutuksia. (Barnes ym. 2010.)

Erityisesti alle yksivuotiaat ovat haavoittuvaisia sisäilman huonolle laadulle, koska heidän pinta-alan ja massan suhde on suurempi kuin aikuisilla, mikä aiheuttaa suuremman lämmönsiirron vartalon ja ympäristön välillä. Lasten lämmönsäätelyjärjestelmä ei ole vielä täysin kehittynyt ja heidän nopeampi aineenvaihduntansa voi nostaa lämpötilasensitiivisyyttä. (Weitzman ym. 2013.)

Sisäilman vaikutukset lapsen terveyteen voivat alkaa jo raskausaikana. Tarkasteltaessa sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä lämpötilan, hiilidioksidin, ilmankosteuden, ilmanpaineen ja pienhiukkasten vaikutuksia terveyteen voidaan todeta, että jo raskauden aikainen altistuminen epäpuhtauksille korreloi synnynnäisiin epämuodostumiin. Raskaana olevan äidin altistuminen huonoon sisäilmaan tupakoinnin ja hiilen polton vuoksi on yhteydessä suurentuneeseen riskiin vastasyntyneen hermostoputken defektiin. Hermostoputken defektit (anenkefalia, selkärankahalkio, enkefalosele) ovat yleisimpiä synnynnäisiä epämuodostumia ja ne johtuvat hermostoputken epäonnistuneesta sulkeutumisesta sikiöaikana. Äideillä, joiden istukoista löydettiin PAH-yhdisteitä (polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä) esiintyi lisääntynyt riski hermostoputken defektille. Eräässä tutkimuksessa tutkijat löysivät korrelaation äidin altistumisesta epäpuhtauksille ja istukan PAH-yhdisteiden pitoisuuksille. (Wang ym. 2014.)

Lapset viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa, kolmasosan ajataan päiväkodeissa ja kouluissa (Karottki ym. 2014; Pacheco ym. 2015; Adan ym. 2007; Weitzman ym. 2013; Barnes ym. 2010; Massawe & Vasut 2013; Annesi-Maesano ym. 2013). Koti ja lähiympäristö ovat tärkeimmät ympäristöt, joissa lapsi viettää ensimmäiset vuotensa ja siten altistuminen sisäilman epäpuhtauksille tapahtuukin erityisesti kotona, koulussa ja päivähoidossa (Weitzman ym. 2013).

Epämukavuutta ja hengitysvaikeuksia sisätiloissa ilmenee silloin, kun ilmankosteus, lämpötila ja ilman liike ovat hyväksytyjen tasojen ulkopuolella. Huono ilmanlaatu voi johtaa merkittävään allergioiden, astman ja muiden hengityselinsairauksien kasvuun, millä on myös suora vaikutus

koulumenestykseen (Massawe & Vasut 2013). Huono ilmanvaihto aiheuttaa lasten limakalvojen ärsytystä, vähentynyttä keskittymiskykyä, huimausta, kutiavaa ja ärtynyttä ihoa, silmien kutinaa, niskakipua, kurkkukipua, nuhaa ja nenän tukkoisuutta (Annesi-Maesano ym. 2013). Sisäilman laatu vaikuttaa lasten oppimiseen, käyttäytymiseen ja terveyteen (Weitzman ym. 2013; Barnes ym. 2010; Khan 2011). Valitettavasti liian moni lapsi kärsii epäterveellisestä päiväkodin ja koulun sisäilmasta, joka altistaa negatiivisille terveysvaikutuksille (Barrett 2010).

SISÄILMA KODEISSA

Tutkimuksissa, joissa on parannettu kodin ilmanvaihtoa, vähennetty kosteutta, hometta ja tuholaisia, on saatu ilman hiilidioksidipitoisuus yhdessä vuodessa laskemaan keskimääräisesti tasolle 982 ppm ja energian käyttöä vähenemään 45 %:a. Muutosten jälkeen lasten yleinen terveys on saatu paranemaan, astmaan ja astman oireisiin on saatu myös merkittäviä parannuksia. (Breyse ym. 2011.) Interventiotutkimuksissa, jossa tehtiin kohdennettuja toimenpiteitä koteihin, kuten kuivausta ja ilmansuodattimien asennuksia, astman ja allergian aiheuttamat lasten terveyshaitat vähenivät ja hengitysvaikeudet helpottuivat (Johnson ym. 2009). Tutkimuksessa, jossa hiilidioksidipitoisuus saatiin laskettua 928 ppm vuositasolle, lasten ja aikuisten terveydentila parani ja sinuiitteja ja keuhkoputkentulehduksia todettiin vähemmän (Allen ym. 2015).

Hyvällä ilmanvaihdolla ja lämmityksellä onkin tärkeä rooli epäpuhauksien poistossa ja siten ilmanlaadun ja terveyden parantamisessa (Annesi-Maesano ym. 2013). Kun kotiin tehdään uusi lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmä, tutkimusnäytön mukaan asuntoihin saadaan parempi sisäilman laatu, vähemmän kosteutta ja alhaisempi hiilidioksidipitoisuuden taso. Myös ilmanvirtausnopeus saadaan kasvamaan ja rakennuksen energiankäyttö vähenemään (ks. myös sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä esittelevä edellinen artikkeli). (Pacheco ym. 2015.)

Allergiset sairaudet, varsinkin astma ovat terveysongelmia maailmanlaajuisesti (Feng ym. 2012). Lasten kohdalla esimerkiksi astmaa ja sen oireita on saatu vähenemään ilmanvaihtoa parantavien remonttien jälkeen (Pacheco ym. 2015; Annesi-Maesano ym. 2013). Sisäilman olosuhteet vaikuttavat allergisiin sairauksiin, astman pahenemiseen sekä allergiaan hermistymiseen (Holme ym. 2010). Allerginen astma on sairaus, johon liittyy pitkäaikaista hoitoa ja korkeat kustannukset (Feng ym. 2012). Tutkimuksessa, jossa arvioitiin sisäympäristötekijöiden vaikutusta lasten astmaan ja

atooppiseen ihottumaan, todettiin, että herkistyneillä (IgE+) oli alhaisempi ilmanvaihto kotona kuin heillä, jotka eivät olleet herkistyneet. Alhainen ilmanvaihto johtaa kohonneisiin tasoihin tiettyjä allergeeneja, jotka saattavat aiheuttaa allergiaa ja allergisten sairauksien kehittymistä (Callese ym. 2014). Monivuotinen altistuminen ilma-allergeeneille pahentaa astmaa (Gore ym. 2015).

Monet tutkimukset ympäri maailmaa ovat raportoineet, että kosteusongelmat taloissa aiheuttavat terveysongelmia, kuten hengitysoireita, astmaa ja allergiaa sekä aikuisilla että lapsilla. Myös muita oireita on raportoitu, kuten päänsärkyä, limakalvojen ärsytystä ja hengitystieinfektioita. (Holme ym. 2010.) Tutkimuksessa, jossa selvitettiin pölypunkki-allergeenien vaikutuksia terveisiin ja allergisiin lapsiin huomattiin, että suhteellisella kosteu-della asunnoissa oli suurin vaikutus allergeenien korkealle tasolle. Samassa tutkimuksessa todettiin myös, että keskimääräinen ilman lämpötila oli alhaisempi taloissa, joissa asui sairas kuin taloissa, joissa asui terve (Feng ym. 2012). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa todettiin, että kodeissa, joissa on luonnollinen ilmastointi 24.2 %:sta löytyi hometta, kodeissa, joissa on mekaaninen ilman ulosotto hometta oli 14.6 %:a ja kodeissa, joissa on tulo- ja poistoilmaohjaus hometta oli 7.7 %:a (Holme ym. 2010). Sisäilman tuuletuksella ja kosteu-della onkin merkittävä vaikutus lasten terveyden ja kehittymisen kannalta. Liiallinen kosteus kotona tukee homeen kasvua ja tarjoaa suotuisan ympäristön pölypunkeille, torakoille ja jyräjöille. Lisään-tyneellä ilmankosteudella sisätiloissa on myös yhteys hengityselinsairauk-siin. (Weitzman ym. 2013.)

Kotien ilmanvaihtoa parantamalla saadaan myös kosteutta laskettua. Huonoissa ilmanvaihto-olosuhteissa elävillä lapsilla on suuri riski kehit-tää hengitystieinfektioita ja sairastua pidempiaikaisiin sairauksiin. Hyvän ilmanvaihdon omaavissa kodeissa on 15 % pienempi todennäköisyys sai-rastua esimerkiksi keuhkoputkentulehdukseen. (Weitzman ym. 2013.)

Liian korkea lämpötila voi myös aiheuttaa lapsille elektrolyyttihäiriöitä ja munuaisten vajaatoimintaa. Lasten ripulitautien sairastavuus kasvaa noin 7,8-8 % per celsiusaste lämpötilan noustessa yli normaalin tason. Lukui-sat muut infektiot ovat myös yleisempiä, kun lämpötila nousee. Myös ast-maoireiden on todettu pahenevan ilman lämpötilan noustessa. (Weitzman ym. 2013.) Tutkimus, jossa vertailtiin koneellista lämmitystä ja kuumave-sikiertolämmitystä sähköiseen lattialämmitykseen, huomattiin sähköiseen lattialämmitykseen liittyvän merkittävä uloshengityksen typpioksidipitoi-suuden kasvu terveillä lapsilla ja lisäksi 50 % kasvu allergisilla lapsilla (Kove-si & Dales 2009).

Poikkileikkaustutkimuksessa, jossa tutkittiin altistumista sisä- ja ulkoil-man hiukkasiin, todettiin lasten keuhkosairauksien olevan yhteydessä sisä-tilojen pienhiukkasiin (Wu ym. 2007).

SISÄILMA KOULUISSA

Ilmanvaihdon ja koululaisten suoritusten välillä on korrelaatiota: mitä parempi ilmanvaihto sitä paremmat suoritukset. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että huono sisäilman laatu voi vaikuttaa lasten terveyteen, erityisesti astmaan, hengityselinterveyteen, koululäsnäoloon ja koulumenestykseen. Allergisille henkilöille näyttäisi olevan huonosta sisäilman laadusta vielä muita suurempi riski oireisiin. (Massawe & Vasut 2013; Annesi-Maesano ym. 2013.)

Tutkimuksessa, jossa mitattiin hiilidioksidin vaikutusta koululaisiin, todettiin, että sisäilman korkea hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, väsymystä ja keskittymiskyvyn puutetta. Hiilidioksidin on todettu vaikuttavan myös hengityselinsairauksiin ja allergioihin, se aiheuttaa astmaa, atopiaa ja vaikuttaa keuhkojen toimintaan. Korkea hiilidioksidipitoisuus kouluissa aiheuttaa myös poissaoloja. Koulujen suuret hiilidioksidipitoisuudet korreloivat alentuneeseen nenän avoimuuteen ja korkeille hiilidioksiditasoille altistuminen liittyi lapsilla öiseen yskään. Kun tutkimuksessa mitattiin koulujen sisäilmapitoisuuksia, todettiin, että VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet), bakteerit ja homearvot olivat korkeammat kouluissa, joissa oli huono ilmanvaihto. VOC-yhdisteiden on todettu tuottavan maksa- ja munuaisvaurioita. (Annesi-Maesano ym. 2013.) Herkkien lasten astmaa voivat pahentaa myös ihmiset, jotka siirtävät kissoista tulevia allergeeneja kouluun (Gore ym. 2015).

Suhteellinen kosteus, joka mittaa vesihöyryn määrän ilmassa riippuu ilman lämpötilasta. Ilman lämpötila vaikuttaa mukavuuteen ja sisäilma voi tuntua tukkoiselta. Tämä voi aiheuttaa väsymystä luokkahuoneessa ja sen kautta huonoa suorituskykyä. (Massawe & Vasut 2013.) Koululaisia tutkittaessa lämpötilan nousulla katsottiin olevan merkitystä hengästymiseen päiväsaikana ja sillä katsottiin olevan merkitystä myös hengityselinsairauksista johtuviin poissaoloihin. Suhteellisen kosteuden noustessa 10 %:a astman todettiin lisääntyvän. (Annesi-Maesano ym. 2013.)

Huono ilmanlaatu kouluissa on kuitenkin yleistä ja se vaikuttaa haitallisesti suorituskykyyn, läsnäoloon ja sillä on negatiivisia vaikutuksia terveyteen (Annesi-Maesano ym. 2013). Siten vähentämällä kouluista astman aiheuttajia ja parantamalla ilmanlaatua, lasten terveyttä ja koulumenestystä voidaan saada paranemaan (). Esimerkiksi koululaisten matemaattiset testit suoritettiin tutkimuksen mukaan paremmin, kun ilmanvaihto oli laadukkaampi. (Massawe & Vasut 2013; Annesi-Maesano ym. 2013.) Huonoon sisäilman laatuun vaikuttavat siis suhteellinen kosteus, huono lämpötila ja riittämätön ilmanliike.

SISÄILMAN MERKITYS AIKUISILLE

Aikuisen näkökulmasta sisätiloissa on sekä biologisia että kemiallisia haittoja (Wu ym. 2007). Ilman vaikutukset ulottuvat nenän sivuonteloihin, keuhkoihin, aivoihin, sydämeen, umpirauhasiin ja immuunijärjestelmään (Kilburn 2009). Sisäilman epäpuhtauksiin altistumiseen liittyy myös kardiovaskulaarisia vaikutuksia. Siten vähentämällä sisäilman epäpuhtauksia sydämen terveys paranee. (Lin ym. 2013.)

Tutkittaessa sisäilman laadun parantamisen vaikutusta ihmisen sydämen terveyteen, ikkunoiden sulkemisella ja ilmastoinnin käynnistämällä on todettu yhteys sydämen terveyden parantamiseen. Sisäilman epäpuhtaudet liittyivät tulehduksiin, oksidatiiviseen stressiin, veren hyytymiseen ja autonomisen hermoston häiriöihin. Myös terveiden nuorten aikuisten sisäilman pienhiukkasille altistumiseen liittyy kohonnut verenpaine ja sydämen kohonnut lyöntitiheys. Maailman terveysjärjestö WHO on määrittellyt sisäilman epäpuhtaudet sydän- ja verisuonitautien kahdeksanneksi riskitekijäksi. (Lin ym. 2013.) Sisäilman epäpuhtauksiin liittyy erilaisia eriäviä terveysvaikutuksia, jotka vaihtelevat hengitysoireista keuhkosityöpään ja kuolemaan (Schram-Bijkerk ym. 2013).

Ihmiset altistuvat kotitalouksien ilmansaasteille, jotka puolestaan altistavat keuhkokuumeelle ja tuberkuloosille. Puolet maailman väestöstä altistuu biomassapolttoaineiden savulle. Savuallistumiseen liittyy kroonisia keuhkosairauksia ja sydänkuolemia sekä heikentynyttä vastustuskykyä. (Rylance ym. 2015.)

On myös tutkimustuloksia, joissa aikuisten, erityisesti naisten tuntiessa homeen hajua, sillä on yhteyttä alentuneisiin spirometriatutkimustuloksiin (Hernberg ym. 2014). Astman kehittymiseen ja pahenemiseen on yhdistetty sisäilman eläinpöly, home, kosteus, torakat ja tupakansavu (Adan ym. 2007).

OIKEANLAINEN ILMANVAIHTO HYVÄN ASUMISEN TUKENA

On olemassa useita tekijöitä, joilla voidaan vaikuttaa asukkaiden hyvinvointiin joko suoraan tai välillisesti. Tällaisia tekijöitä ovat lämmitys-, ilmanvaihto -ja ilmastointijärjestelmät. Sisäilman epäpuhtaudet eivät ole uusi ongelma (Loftness ym. 2007). Terve koti -interventiotutkimuksessa mukana olleiden kotien ilmastointi kunnostettiin ja asukkaat koulutettiin. Tutkimuksessa todettiin, että intervention jälkeen perheiden pystyvyys ja elämänlaatu lisääntyivät merkittävästi ja myös tietämys astman aiheuttajista lisääntyi. (Polivka ym. 2011.) On näyttöä myös siitä, että kerrostaloasuntojen remontointi siten, että niihin asennettiin uusi lämmitysjärjestelmä ja ilmanvaihtojärjestelmä, vaikutti aikuisten terveyden paranemiseen ja heillä ilmeni vähemmän keuhkoputkentulehduksia, astmaa, sinuiittia ja hypertensiota kuin aiemmin. Asuntojen remontointi voikin johtaa parempaan henkiseen ja fyysiseen hyvinvointiin. (Breyse ym. 2015.)

Eräässä tutkimuksessa tutkittiin sisäilman terveysvaikutuksia kolmella eri skenaariolla. Kun ensimmäisessä skenaariossa etsittiin optimaalinen ilmanvaihto terveysperustaisesti, tulokseksi saatiin 20 %:a pienempi sairaustaakka. Toisessa skenaariossa optimoituun ilmanvaihtoon yhdistettiin suodatus kontrolloimaan sisätilojen epäpuhtauksien pitoisuutta, jolloin tulokseksi saatiin 38 %:a pienempi sairaustaakka. Kolmannessa skenaariossa optimoidun ilmanvaihdon lisäksi sisäilman lähteitä ohjattiin ilmanvaihdon vaatimusten mukaisesti, jolloin saatiin jopa 44 %:a pienempi sairaustaakka. (Asikainen ym. 2016.)

Tutkimukset osoittavat, että painovoimaisella ilmanvaihdolla ei välttämättä saada haluttua tasoa ilmanvaihtoon. Vaikka tuuletusaukot olisivatkin, ne eivät varmista riittävää terveellistä sisäilmaa. Vanhusten näkökulmasta tuuletusaukot saattavat usein olla myös ylettymättömissä paikoissa. (Sharpe ym. 2015.)

SISÄILMAN VAIKUTUKSET TYÖYMPÄRISTÖISSÄ

Toimistojen ilmanvaihto-olosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi työntekijöiden terveyteen ja tehokkuuteen (Brightman ym. 2008). Kansainväliset tutkimukset osoittavat, että kullekin työntekijälle yksilöllinen lämpötilan säätö lisää tuottavuutta ja vähentää SBS-oireita (Sick Building Syndrome) ja poissaoloja. Parannukset sisätilojen ilmanvaihdossa, lämmityksessä ja jäähdytysmenetelmissä vähentäisivät monia haitallisia oireita ja sairauksia. (Loftness ym. 2007.)

Työhuonetyyppisessä työympäristössä tehdyssä tutkimuksessa todettiin, että kun koettua ilmanlaatua parannettiin, sillä oli vaikutus terveyteen. Tuottavuus parani ja tulehduksia, infektioita, astmaa, allergioita ja lyhyen aikavälin sairauspoissaoloja esiintyi vähemmän. (Asikainen ym. 2016.) On myös todettu, että parempi ilmanvaihto parantaa aikuisten päätöksentekoa. Korkeampaan ilmanvaihtoon liittyi myös parantunut koettu ilmanlaatu. (Maddalena ym. 2015.) Vahvaa näyttöä on myös siitä, että rakennusten hyvällä ilmanvaihdolla voidaan estää tarttuvien tautien kuten tuhkarokon, tuberkuloosin, vesirokon ja isorokon leviämistä. Korkeamman ilmanvaihdon toimistoissa (25l/s per henkilö) on esitetty olevan vähemmän työntekijöiden SBS-oireita. Tulehdukset, hengitystieinfektiot, astmaoireet ja sairauspoissaolot lisääntyvät, jos ilmanvaihto on vähäistä. (Asikainen ym. 2016.)

On myös havaittu merkittävää koetun sisäilman huonontumista silloin, kun hiilidioksidipitoisuus nousi 3000 ppm muiden sisäilmaan vaikuttavien tekijöiden pysyessä vakioina. Samaisen tutkimuksen mukaan havaittiin merkittävä huonontuminen aikuisten päätöksentekokyvyssä. Tutkimuksessa, jossa koehenkilöt altistettiin kahteen kertaan neljän tunnin ajaksi matalalle ilmanvaihdolle ja korkealle ilmanvaihdolle todettiin, että korkeassa ilmanvaihdossa silmäoireet laskivat. Matalassa ilmanvaihdossa kognitiiviset toiminnot ja päätöksentekokyky huonontuivat. Toisessa tutkimuksessa saatiin samankaltaisia tuloksia: matala ilmanvaihto laski suorituskykyä, oikolukua, valppautta, keskittymiskykyä, lisäsi päänsärkyä ja väsymystä. (Maddalena ym. 2015.) Kansainväliset tapaustutkimukset osoittavat, että korkea ilmanvaihto vähentää keuhkosairauksia 9-20 %. (Loftness ym. 2007.)

SISÄILMAN VAIKUTUKSET VANHUKSIIN

Ihmiset viettävät ajastaan 80–90 % sisätiloissa. Vähentyneen aktiivisuutensa takia vanhukset viettävät vielä enemmän aikaa sisätiloissa ja altistuvat näin vielä muuta väestöä enemmän sisäilman epäpuhtauksille. (Bentayeb ym. 2013.) Vanhusten määrä myös kasvaa, mikä aiheuttaa terveydenhuollon kustannuksia. Panostamalla terveisiin asuin- ja muihin ympäristöihin voidaan vaikuttaa vanhusten terveydentilaan ja laskea terveydenhuollon kustannuksia. (Breyse ym. 2015.)

Asentamalla uusia lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiä vanhusten koteihin, on voitu parantaa vanhusten fyysistä yleiskuntoa sekä henkistä hyvinvointia. Tutkimusten mukaan näin remontoituissa asunnoissa mitattiin parempi sisäilmanlaatu kuin ennen remonttia. Hiilidioksidipitoisuudet olivat merkittävästi pienemmät, homeen ja ummehtuneen hajua todettiin vähemmän, myös kosteutta oli vähemmän. Ilman virtausnopeus kasvoi. Lisäksi rakennusten energian käyttö väheni 44 %:a ja asukkaiden mielenterveys parani. Toisessa samankaltaisessa tutkimuksessa todettiin, että vanhusten kurkun ärsytys, yskä ja väsymys vähenivät ja myös kuolleisuus saatiin laskemaan vanhainkodissa. (Breyse ym. 2015.)

Tutkittaessa hiukkaspäästöjen vaikutuksia vanhusten sydämen toimintaan ja plasmiaan, todettiin, että PM 2.5 korotukseen liittyi verenpaineen nousua, sykkeen nousua, oksidatiivista stressiä sekä olkavarren valtimon halkaisijan pienemistä. Päivittäisellä altistumisella hiukkaspäästöille saattaa olla haitallisia vaikutuksia sydämen toimintaan. Vanhukset voivat olla alttiimpia hiukkaspäästöihin liittyviin sydän- ja verisuonitauteihin kuin muu väestö yleensä. (Liu ym. 2009.) Pienhiukkasten biologisen vaikutusmekanismin uskotaan liittyvän keuhkotulehdukseen, sydämen automiseen toimintaan, endoteelin toimintahäiriöön ja oksidatiiviseen stressiin. (Bräuner ym. 2008.)

Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa mitattiin sisäilman hiukkaspäästöjen vaikutusta vanhusten mikroverisuoniston toimintaan ja todettiin, että hiukkasille altistumiseen liittyy sydän- ja verisuonitapahtumien riski sekä mahdollisesti endoteelin toimintahäiriö. Tutkimuksessa todettiin, että suodattamalla hiukkasia 48 h ajan se parantaa mikroverisuonien toimintaa. Tämä voi olla käyttökelpoinen tapa vähentää sydänsairauksia. Sisäilman suodatuksella saatiin 8,1 % parannus mikroverisuonien toimintaan. Lyhytaikaiseen ja krooniseen altistumiseen pienhiukkasille liittyy lisääntynyt sairastavuus ja kuolleisuus. (Bräuner ym. 2008.)

Aineistoa huonon sisäilmanlaadun vaikutuksista vanhuksille on kuitenkin vielä verrattain vähän. Tutkimuksissa johdonmukainen yhteys

esiintyy COPD:n ja tupakan savun välillä. Kliinisiä sairauksia, jotka vaikuttavat vanhuksiin on sydän- ja verisuonitaudit ja syöpä. (Bentayeb ym. 2013.)

Väestön sisäilman pilaantumisen terveysvaikutukset ovat hyvin dokumentoituja ja useat tutkimukset ovat osoittaneet sisäilman pilaantumisen lisäävän COPD:tä, akuuttien hengityselinten oireita, atooppista herkistymistä, keuhkoputkien yliherkkyyttä, hengityselinten syöpää, tartuntatauteja ja ärsytystä. Hengityselinsairaudet saattavat altistaa vanhukset sisäilman epäpuhtauksien korkeammalle riskille. (Bentayeb ym. 2013.)

Tutkittaessa 61–82 -vuotiailla kosteuden ja homeen vaikutuksia löydettiin yhteys vatsakipuihin, krooniseen yskään ja hengenahdistukseen. Vanhuksilla on osoitettu olevan myös yhteyttä kotieläinten, tupakansavun (kotona) ja astman välillä. Syy-yhteyksien määrittäminen erityisesti vanhuksilla on hankalaa, koska altistumistietoja ei ole riittävästi ilmanlaatua koskevasta elinikäisestä altistumisesta. Vanhuksilla saattaa olla suurempi riski kärsiä sisäilman saastumisesta aiheutuvista sairauksista, koska altistumisaika on muuta väestöä pidempi. (Bentayeb ym. 2013.)

On myös esitetty, että vanhusten muuttunut fysiologia ja toksikokinetiikka, esim. vähentynyt munuaispuhdistus tekisi vanhukset herkemiksi sisäilman pilaantumisen vaikutuksille johtuen vähentyneestä kapasiteetista. Myös haihtuvat orgaaniset yhdisteet saattavat heikentää vanhusten keuhkofunktiota lisäämällä oksidatiivista stressiä. (Bentayeb ym. 2013.)

LÄHTEET

- Adan OC, Ng-A-Tham J, Hanke W, Sigsgaard T, van den Hazel P, Wu F. In search of a common European approach to a healthy indoor environment. *Environ Health Perspect*. 2007 Jun;115(6):983-8.
- Allen JG, MacNaughton P, Laurent JG, Flanigan SS, Eitland ES, Spengler JD. Green Buildings and Health. *Curr Environ Health Rep*. 2015 Sep;2(3):250-8.
- Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S, SINPHONIE Group. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2013;16(8):491-550.
- Asikainen A, Carrer P, Kephelopoulos S, Fernandes Ede O, Wargoeki P, Hänninen O. Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). *Environ Health*. 2016 Mar 8;15 Suppl 1:35
- Barnes G, Fisher B, Postma J, Harnish K, Butterfield P, Hill W. Incorporating environmental health into nursing practice: a case study on indoor air quality. *Pediatr Nurs*. 2010 Jan-Feb;36(1):33-9, 52; quiz 40.
- Barrett CL. How to achieve healthy school environments. *NASN Sch Nurse*. 2010 Mar;25(2):82-5.
- Bentayeb M1, Simoni M, Norback D, Baldacci S, Maio S, Viegi G, Annesi-Maesano I. Indoor air pollution and respiratory health in the elderly. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2013;48(14):1783-9.
- Breyse J, Dixon SL, Jacobs DE, Lopez J, Weber W. Self-reported health outcomes associated with green-renovated public housing among primarily elderly residents. *J Public Health Manag Pract*. 2015 Jul-Aug;21(4):355-67.

- Breyse J, Jacobs DE, Weber W, Dixon S, Kawecki C, Aceti S, Lopez J. Health outcomes and green renovation of affordable housing. *Public Health Rep.* 2011 May-Jun;126 Suppl 1:64-75.
- Brightman HS, Milton DK, Wypij D, Burge HA, Spengler JD. Evaluating building-related symptoms using the US EPA BASE study results. *Indoor Air.* 2008 Aug;18(4):335-45.
- Brown MJ, Ammon M, Grevatt P. Federal agency support for healthy homes. *J Public Health Manag Pract.* 2010 Sep-Oct;16(5 Suppl):S90-3.
- Bräuner EV, Forchhammer L, Møller P, Barregard L, Gunnarsen L, Afshari A, Wählin P, Glasius M, Dragsted LO, Basu S, Raaschou-Nielsen O, Loft S. Indoor particles affect vascular function in the aged: an air filtration-based intervention study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008 Feb 15;177(4):419-25.
- Callesen M, Bekö G, Weschler CJ, Sigsgaard T, Jensen TK, Clausen G, Toftum J, Norberg LA, Høst A. Associations between selected allergens, phthalates, nicotine, polycyclic aromatic hydrocarbons, and bedroom ventilation and clinically confirmed asthma, rhinoconjunctivitis, and atopic dermatitis in preschool children. *Indoor Air.* 2014 Apr;24(2):136-47.
- Feng M, Yang B, Zhuang YJ, Yanagi U, Cheng XJ. A study on indoor environment contaminants related to dust mite in dwellings of allergic asthma patients and of healthy subjects. *Biosci Trends.* 2012 Feb;6(1):7-9.
- Gore RB, Boyle RJ, Gore C, Custovic A, Hanna H, Svensson P, Warner JO. Effect of a novel temperature-controlled laminar airflow device on personal breathing zone aeroallergen exposure. *Indoor Air.* 2015 Feb;25(1):36-44.
- Hernberg S, Stripaiboonkij P, Quansah R, Jaakkola JJ, Jaakkola MS. Indoor molds and lung function in healthy adults. *Respir Med.* 2014 May;108(5):677-84.
- Herr M, Just J, Nikasinovic L, Foucault C, Le Marec AM, Giordanella JP, Momas JI. Influence of host and environmental factors on wheezing severity in infants: findings from the PARIS birth cohort.

- Clin Exp Allergy. 2012 Feb;42(2):275-83.
Holme J, Hägerhed-Engman L, Mattsson J, Sundell J, Bornehag CG. Culturable mold in indoor air and its association with moisture-related problems and asthma and allergy among Swedish children. *Indoor Air*. 2010 Aug;20(4):329-40.
- Johnson L, Ciaccio C, Barnes CS, Kennedy K, Forrest E, Gard LC, Pacheco F, Dowling P, Portnoy JM. Low-cost interventions improve indoor air quality and children's health. *Allergy Asthma Proc*. 2009 Jul-Aug;30(4):377-85.
- Karottki DG, Bekö G, Clausen G, Madsen AM, Andersen ZJ, Massling A, Ketzler M, Ellermann T, Lund R, Sigsgaard T, Møller P, Loft S. Cardiovascular and lung function in relation to outdoor and indoor exposure to fine and ultrafine particulate matter in middle-aged subjects. *Environ Int*. 2014 Dec;73:372-81.
- Khan F. Oklahoma Healthy Homes initiative. *Public Health Rep*. 2011 May-Jun;126 Suppl 1:27-33. Erratum in: *Public Health Rep*. 2011 Sep-Oct;126(5):624.
- Kilburn KH. Towards healthy homes. *Toxicol Ind Health*. 2009 Oct-Nov;25(9-10):737-40.
- Kovesi TA, Dales RE. Effects of the indoor environment on the fraction of exhaled nitric oxide in school-aged children. *Can Respir J*. 2009 May-Jun;16(3):e18-23.
- Lin LY, Chuang HC, Liu IJ, Chen HW, Chuang KJ. Reducing indoor air pollution by air conditioning is associated with improvements in cardiovascular health among the general population. *Sci Total Environ*. 2013 Oct 1;463-464:176-81.
- Liu L, Ruddy T, Dalipaj M, Poon R, Szyszkowicz M, You H, Dales RE, Wheeler AJ. Effects of indoor, outdoor, and personal exposure to particulate air pollution on cardiovascular physiology and systemic mediators in seniors. *J Occup Environ Med*. 2009 Sep;51(9):1088-98.
- Loftness V, Hakkinen B, Adan O, Nevalainen A. Elements that contribute to healthy building design. *Environ Health Perspect*. 2007 Jun;115(6):965-70.

- Maddalena R, Mendell MJ, Eliseeva K, Chan WR, Sullivan DP, Russell M, Satish U, Fisk WJ. Effects of ventilation rate per person and per floor area on perceived air quality, sick building syndrome symptoms, and decision-making. *Indoor Air*. 2015 Aug;25(4):362-70.
- Massawe E, Vasut L. Promoting healthy school environments: a step-by-step framework to improve indoor air quality in Tangipahoa Parish, Louisiana. *J Environ Health*. 2013 Sep;76(2):22-30.
- Pacheco JA, Pacheco CM, Lewis C, Williams C, Barnes C, Rosenwasser L, Choi WS, Daley CM. Ensuring healthy American Indian generations for tomorrow through safe and healthy indoor environments. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Mar 4;12(3):2810-22.
- Polivka BJ, Chaudry RV, Crawford J, Bouton P, Sweet L. Impact of an urban healthy homes intervention. *J Environ Health*. 2011 May;73(9):16-20.
- Rylance J, Fullerton DG, Scriven J, Aljurayyan AN, Mzinza D, Barrett S, Wright AK, Wootton DG, Glennie SJ, Baple K, Knott A, Mortimer K, Russell DG, Heyderman RS, Gordon SB. Household air pollution causes dose-dependent inflammation and altered phagocytosis in human macrophages. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2015 May;52(5):584-93.
- Schram-Bijkerk D, van Kempen EE, Knol AB. The burden of disease related to indoor air in the Netherlands: do different methods lead to different results? *Occup Environ Med*. 2013 Feb;70(2):126-32.
- Sharpe T, Farren P, Howieson S, Tuohy P, McQuillan J. Occupant Interactions and Effectiveness of Natural Ventilation Strategies in Contemporary New Housing in Scotland, UK. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 Jul 21;12(7):8480-97.
- Wang L, Li Z, Jin L, Li K, Yuan Y, Fu Y, Zhang Y, Ye R, Ren A. Indoor air pollution and neural tube defects: effect modification by maternal genes. *Epidemiology*. 2014 Sep;25(5):658-65.
- Weitzman M, Baten A, Rosenthal DG, Hoshino R, Tohn E, Jacobs DE. Housing and child health.
- Wu F, Jacobs D, Mitchell C, Miller D, Karol MH. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2013 Sep;43(8):187-224.

Jarmo Tuppurainen

AIRSENS – ÄLYKÄSTÄ ILMANVAIHTOA AVUKSI SISÄILMAONGELMIIN

AirSens-tekniikalla voidaan ennaltaehkäistä sisäilmasta syntyviä terveysongelmia. Tässä artikkelissa esitellään Metropolia Ammattikorkeakoulun vuosina 2016 (elokuu)—2017 (kesäkuu) toteuttaman AirSens-projektin vaiheet sekä tulokset. Projekti oli Tekesin rahoittama TUTL-hanke, missä tutkittiin mahdollisuutta synnyttää uusi liiketoimintakonsepti, jonka keskiössä on älykkään ilmanvaihdon mahdollistava anturointi- ja automaatoratkaisu. Tausta-aineistona olivat aiemmin toteutetun Terveellinen Rakennus -projektin tulokset ja teknologia.

AirSens-projektissa todennettiin älykkäästi tarpeenmukaisesti toimiva ilmanvaihtokonsepti käytännössä ja selvitettiin konseptin kaupallista hyödynnettävyyttä ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon terveellisyysnäkökohtia. Konseptin toimivuus todennettiin kehittämällä langaton ja tarpeenmukaisesti säätävä poistoilmaventtiili ja pilvipalveluohjelmisto säätöalgoritmeineen sekä käyttöliittymät eri käyttäjäryhmille. Konseptia testattiin aidoissa käyttöympäristöissä.

Tällä hetkellä ilmanvaihtojärjestelmissä on mahdollista käyttää hiilidioksidin, kosteuden ja lämpötilan määrään pohjautuvia säätöratkaisuja. Niissä hyödynnetään taloautomaatiosta saatavaa anturitietoa. Yleisin toimistoissa ja asuinrakennuksissa käytetty tapa on aikaohjatusti ohjata ilmanvaihtoa pois oletetun käyttötarpeen mukaan. Tässä menettelytavassa ongelmana on se, että nykypäivänä ihmisten elämänrytmit poikkeavat oleellisesti toisistaan eikä keskimääräisyyteen perustuva ohjaus toimi.

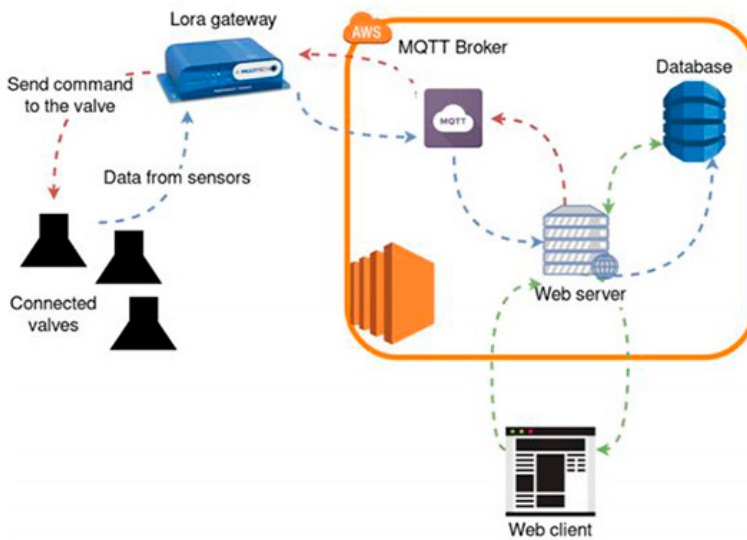
Yleensä yksittäisten tilojen säätö pohjautuu mitoitukseen, koska reaaliaikaisen tilakohtaisen säädön mahdollistavien elementtien toteutuksesta ja asennuksesta syntyy nykyteknologialla merkittäviä kustannuksia. Ilmanvaihdon täysi sammuttaminen esimerkiksi oppilaitoskiinteistössä pidemmäksi ajaksi altistaa sen myös homekasvustoille ja sitä kautta sisäilmaongelmien aiheuttajaksi.

AirSens on Metropoliaassa kehitetty älykkään ilmanvaihdon konsepti, jonka keskeisenä elementtinä on älykäs poistoilmaventtiili. Venttiilissä on anturointi, joka mittaa huoneilmassa olevan hiilidioksidin, suhteellisen ilman kosteuden, lämpötilan ja ilmanpaineen. Venttiilit lähettävät mittaustiedot pilvipalvelimeen, joka määrittää kunkin venttiilin optimaalisen avautuman

siten, että ilmaa vaihdetaan tiloista tarkoituksenmukaisesti, tehokkaasti eikä turhaan. Koettu sisäilmanlaatu paranee samalla kun ilmanvaihdon kustannukset pienenevät merkittävästi.

AirSens-älyventtiilit on suunniteltu hinnaltaan edullisiksi, täysin langattomiksi ja niiden asentaminen vanhojen venttiilien tilalle on nopeaa ja helppoa.

Venttiilien keräämästä datasta on mahdollista saada monenlaista tietoa rakennuksen käytöstä ja kunnosta. Kuvio 1. visualisoi AirSens-järjestelmän periaatekuvaa.



Kuvio 1. AirSens-järjestelmän periaatekuva

AIRSENS-PROJEKTIN TYÖVAIHEET

AirSens-projekti toteutettiin seitsemänä työpakettina (WP =work packet 1-7), jotka olivat markkinatutkimus, käyttäjätutkimus, autonomiset mittaus- ja ohjausmenetelmät, konseptin toteutettavuus, proton valmistelu, proof of concept ja kaupallistamissuunnitelma.taustiedot pilvipalvelimeen, joka määrittää kunkin venttiilin optimaalisen avautuman siten, että ilmaa vaihdetaan tiloista tarkoituksenmukaisesti, tehokkaasti eikä turhaan. Koettu sisäilmanlaatu paranee samalla kun ilmanvaihdon kustannukset pienenevät merkittävästi.

AirSens-älyventtiilit on suunniteltu hinnaltaan edullisiksi, täysin langattomiksi ja niiden asentaminen vanhojen venttiilien tilalle on nopeaa ja helppoa.

TYÖPAKETTI 1: MARKKINATUTKIMUS

Kohderyhmähaastatteluisa kartoitettiin laajasti alan eri tahojen näkemyksiä ja tarpeita AirSens-tyyppiselle tarpeenmukaiselle ilmanvaihtokonseptille. Kohderyhmähaastattelujen pohjalta voitiin todeta trendi, että tarvetta ja kysyntää on siirtymä mitoituspohjaisesta ilmanvaihdosta tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon ja uudisrakentamisen kohdalla näin on osin jo tapahtunutkin.

Toinen trendi on yhtenäiskulttuurin vähentyminen, jolloin eri ihmiset toimivat erilaisten tapakulttuurien ja asumistottumusten mukaan. Työsikäyviin ja seniorien päivärytmit ovat erilaiset asunto-osakeyhtiöissä ja nuorten ja keski-ikäisten työaika vaihtelee liukumien, työmatkojen ja etäpäivien vaikutuksesta.

Kokouksetilat kuormittavat epätasaisesti työpaikoilla ja samaan aikaan monen työhuone on tyhjillään asiakaskäynnin, kokouksen tai etäpäivän tähden. Mihinkään näihin poikkeamiin mitoituspohjainen ilmanvaihto ei pysty mukautumaan ja tuottamaan kustannussäästöjä tai parempia sisäilmaolosuhteita.

Kolmas trendi on rakennusten vaipparakenteiden tiivistäminen niin uudisrakennuksissa kuin peruskorjauksissa, jolloin oikean ilmamäärän käyttö korostuu. Aikaisemmin ilmavuodot tasasivat paine-eroja, mutta nyt pitää säätää tarkemmin niin lämpötilaa kuin ilmamääriä sekä talvella että kesällä. Ilmavuodot lisäävät energian kulutusta, joten niiden hallinta on jatkossakin merkityksellistä.

Kohderyhmäkartoituksen jälkeen projektissa tehtiin toiminnanvapaus markkinoilla -analyysi, minkä tuloksissa korostui kokonaisten HVAC-järjestelmien (Heat, Ventilation, Air Conditioning) patenttihakemukset. Sen sijaan langaton, vähävirtainen Add-On tyyppinen AirSens-venttiili on poikkeava ratkaisu. HVAC-alueella on ollut aktiviteettia jo viimeiset 20 vuotta, joten monet keksinnöt ovat "vapaata riistaa". Internet of Things (IoT) alueella korostuu Etelä-Korealaisen Samsungin aktiivisuus: se on oivaltanut, että kodinkoneet ja rakennuksen ohjausjärjestelmät voidaan kytkeä isoksi langattomaksi kokonaisuudeksi, jolloin huolto ja ylläpito helpottuvat.

TYÖPAKETTI 2: KÄYTTÄJÄTUTKIMUS

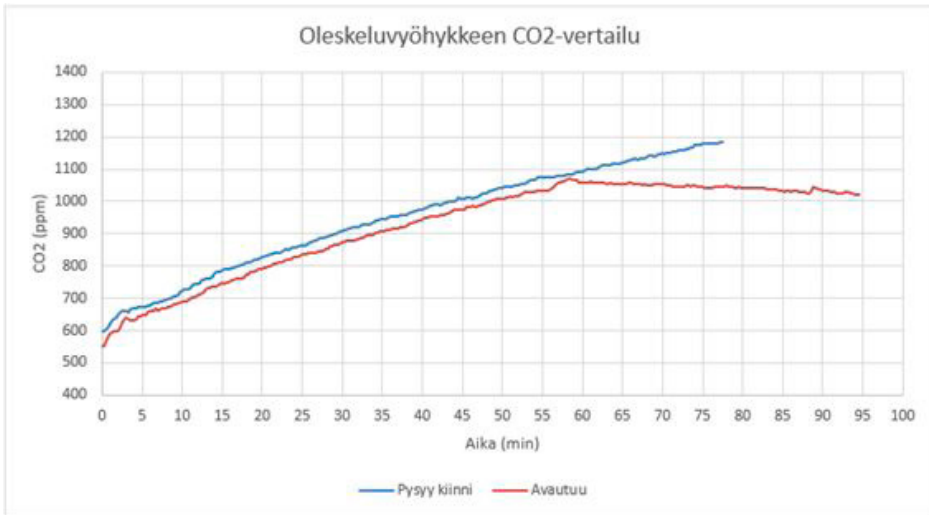
Toisessa työpaketissa kartoitettiin AirSens-konseptille sopivat fyysiset käyttöympäristöt sekä konseptin suunnittelun käyttäjälähtöiset ja toiminnalliset lähtökohdat.

Haastattelujen perusteella asuinkerrostalo näyttäytyi houkuttelevimpana kohteena AirSens-tyyppiselle ratkaisulle. Kerrostalossa asukkaiden päivärhythmit ovat erilaiset riippuen perheen koosta, iästä, tapakulttuurista ja työssäkäynnin aikatauluista. Sisäilman ja kosteuden hallinta kylpyhuoneessa korostuu ja tarpeenmukainen ilmanvaihto painottuu kosteuden poistoon, hajujen poistoon ja vetoisuuden hallintaan. Koska henkilökuorma huoneistossa voi vaihdella huomattavasti eri vuorokauden aikoina ja eri päivien välillä, vain mittauspohjainen ja reaaliaikaisesti säätävä järjestelmä kykenee sisäilman laadun parantamiseen ja yhtäaikaisesti myös kustannussäästöihin.

Mitattavista suureista korostuvat lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot, mitkä vaikuttavat eniten sisäilmaston koettuun miellyttävyyteen ja vetoisuuden tuntuun. Muut suureet, kuten TVOC-pitoisuus ja rikkivety jäävät pienemmälle merkitykselle. Hiilidioksidipitoisuuden vähentäminen edellyttää huoneistossa riittävää korvausilman saantia, koska hiilidioksidipitoinen ilma sekoittuu puhtaaseen raittiseen ilmaan helpommin ilmapvirtausten kautta.

Metropolia Ammattikorkeakoulun innovaatioprojektissa tutkittiin hiilidioksidiohjatun poistoilmaventtiilin toimintaa ja hyötyjä, kun se asennetaan jälkikäteen osaksi ilmanvaihtojärjestelmää. Rakennettu koelaitteisto simuloi 70 -luvun asuinkerrostalon koneellisen poiston poistoilmakanavistoa. Koelaitteiston kanavisto suunniteltiin vuoden 1978 rakentamismääräyskokoelman poistoilmamäärien mukaisesti.

Simulointikokeissa todettiin kahden huonetilan välillä oleva hiilidioksidiohjatun korvausilmaventtiilin olevan suhteellisen tehoton laskemaan huoneen hiilidioksidipitoisuutta pelkän diffuusion vaikutuksesta - tarvitaan selkeä ilmapvirtaus (Kuvio 2). Sen sijaan venttiilin toimiessa ns. tehostavana poistoilmakanavassa, se toimi hyvin ja tarkoituksenmukaisesti. Simuloinnin perusteella on koko rakennuksen ilmanvaihdon tasapainon ja toimivuuden kannalta välttämätöntä, että AirSens-järjestelmää käytettäessä ilmanvaihtokone on vakiopaineohjattu.



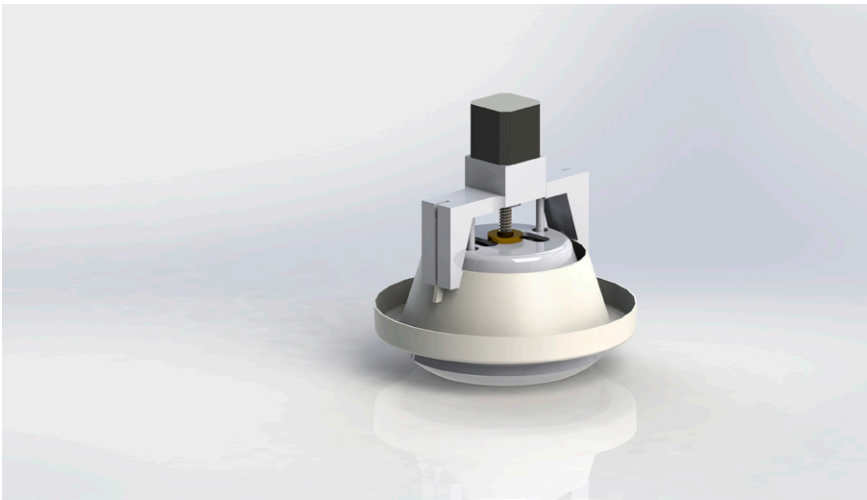
Kuvio 2. AirSens-venttiin vaikutus huoneilman hiilidioksidipitoisuuteen

TYÖPAKETTI 3: AUTONOMISET MITTAUS- JA OHJAUSMENETELMÄT

Kolmannessa työpaketissa tutkittiin AirSens-konseptiin parhaiten soveltuvia energian harvestointimenetelmiä ja vähävirtaisia ilmanmittausteknologioita. Tavoitteena oli löytää ratkaisut, joilla langaton venttiili- ja anturointiyksikkö pystyttäisiin toteuttamaan usean vuoden huoltovälillä.

AirSensin kannalta oli tärkeää saada selkeä yleiskuva sisäilman laadusta, sekä ilmanvaihtojärjestelmän toiminnasta. Merkittäviä suureita, joita laitteiston tuli pystyä mittaamaan, olivat täten lämpötila, kosteus, ilmanpaine ja hiilidioksidipitoisuus. Hiilidioksidimittaus on näistä hankalin toteuttaa, mutta selkein indikaattori sisäilman ”kemiallisesta” laadusta toimisto- ja asuinrakennuksissa, joissa sisäilmaa normaalilanteessa kuormittaa vain niissä oleskelevat ihmiset. Hankalaksi mittauksen tekee tyypillisten hiilidioksidianturien suuri virrankulutus, mikä autonomisessa langattomassa yksikössä on merkittävin rajoittava tekijä. Tutkimuksessa löydettiin yksi infrapunamittaukseen perustuva CO₂-sensori, jonka virrankulutus pysyy sellaisissa rajoissa, että se soveltuu AirSens-konseptiin. Muut mainitut suureet ovat helposti mitattavissa muuhun laitteistoon verrattuna mitättömällä virrankulutuksella.

Hiiildioksidianturiakin merkittävämpi energiankulutus syntyy venttiilin liikuttamisesta sähkömoottorin avulla. Projektissa päädyttiin ratkaisuun jossa moottori liikuttaa kierretangon päässä olevaa säätökartiota (Kuva 1). Ratkaisu on visuaalisesti ja toiminnaltaan samankaltainen kuten tavanomaisessa poistoilmalautasventtiilissä ja yksinkertainen toteuttaa. Tutkimuksessa vertailtiin erilaisia moottoreita ja mekaanisia ratkaisuja ja optimoitiin moottorihjauksen ajoituksia minimaalisen energiankulutuksen saavuttamiseksi.

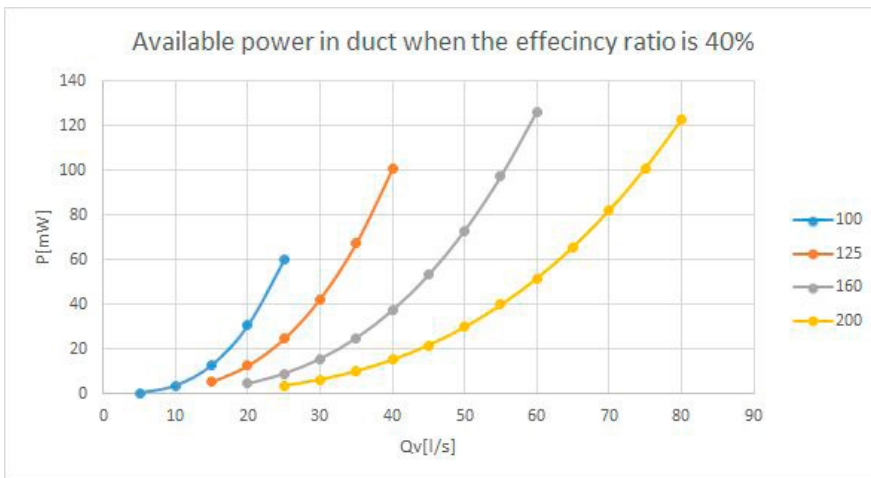


Kuva 1. AirSens älyventtiili. Virtauksensäätökartio näkyy keskellä.

Langaton yhteys venttiiliyksiköiden ja AirSens-pilvipalvelun välillä toteutettiin LoRa -teknologialla. LoRa (Long Range) on langaton tiedonsiirtoverkko, jonka etuna on vähävirtaisuus ja pitkä kantama. LoRa tarjoaa hyvän kantavuuden ja alhaisen virrankulutuksen etenkin pienillä datamäärillä soveltuen täten erittäin hyvin AirSensiin. Radiosignaalin hyvä kantavuus mahdollistaa koko rakennuksen kattamisen yhtä Internetiin kytkettyä yhdyskäytävää käyttäen. Tämä yhdyskäytävä on ainoa verkkovirtaan kytkettävä komponentti Airsens-järjestelmässä. Anturien mittausdatan käsittely ja venttiilien ohjaus tapahtuu kokonaan AirSens- pilvipalvelussa. LoRa tietysti on vain yksi tapa toteuttaa tiedonsiirto, joten jatkokehityksessä on syytä olla avoin muillekin vaihtoehdoille kuten esimerkiksi NB-IoT. Digita

on laajentamassa LoRa verkkoaan koko maan kattavaksi, mikä poistaa rakennuskohtaisen gatewayn tarpeen.

Virrankulutuksen lisäksi työpaketin toinen päätutkimuskohde oli energian harvestointi (Kuvio 3). Tavoitteena oli saada venttiilyksiköt toimimaan ilman ulkoista virransyöttöä mahdollistaen riittävän pitkän, useiden vuosien huoltovälin. Hyvin pian todettiin, että ainoa sisätiloissa jatkuvasti tarjolla oleva energianlähde, josta edes teoriassa voisi saada kerättyä riittävästi energiaa, oli tuulivoima, käytännössä siis venttiilyksikköön integroitu minituu-
liturbiini. Koska markkinoilta ei löytynyt sopivaa valmista ratkaisua, yritettiin sellainen rakentaa projektin puitteissa. Useiden prototyyppien jälkeen päästiin lähelle tavoitetta, mutta vain hyvin huonosti venttiiliin soveltuvia komponentteja käyttämällä. Lisäksi ilmavirtauksen täytyi olla jatkuvasti suhteellisen voimakas, jotta energiaa saataisiin kerättyä tarpeeksi. Pienelle ilmavirtaukselle säädetty venttiili ei täten pysty pitämään itseään virroissa. Kuppallista tuotetta ajatellen myös tuuliturbiinin aiheuttama lisämelu ja liikkuva mekaaninen rakenne nähtiin ongelmallisena. Lopputuloksena todettiin, että kustannustehokkain tapa on käyttää venttiileissä alkaliparistoja ja vaihtaa ne muutaman vuoden välein.



Kuvio 3. Ilmavirrasta harvestoitava energia erikokoisissa kanavissa

TYÖPAKETTI 4: KONSEPTIN TOTEUTETTAVUUS

Neljännessä työpaketissa tutkittiin teknologiaratkaisun soveltuvuutta konseptin toteuttamiseen.

Ilmanvaihto on keskeinen sisäilman laatuun vaikuttava tekijä. Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiahäviöistä kasvaa merkittävästi energiatehokkuuden parantuessa. Tässä työpaketissa selvitettiin millaisia ilmanvaihdon ilmamäärien suosituksia on ja millaiset ovat ilmamäärien käytönaikaiset energiataloudelliset vaikutukset kolmessa erikoisessa kohteessa, kun ilmanvaihdon määrä on 6 l/s/hlö sekä ilmanvaihtoa ohjataan tarpeenmukaisesti ja verrataan näitä kun ilmanvaihtokerroin olisi jatkuvasi 0,5 1/h. Laskelmissa tutkittiin kolmea erikokoista ilmanvaihtokonetta, jotka mitoituksellisesti täyttävät näiden rakennuksen nykyiset RMK D2 määräykset. Laskelmissa vertaillaan sekä puhaltimien vaatimaa sähköenergiaa että tuloilman lämmitysenergiaa sekä näiden kustannuksia.

Analysoitavien asuntojen asukkaiden henkilömäärä oli 4 henkilöä ja kerrostalo on 5 000 m² ja siinä on asukkaita 100 henkilöä. Rakennuksissa huonekorkeus on 2,5 m ja huoneiden koko on 20 m². Sisälämpötila on 21 °C. Rakennukset sijaitsevat Helsingissä. Pintamateriaalit ovat M1 luokiteltuja. Ihmisen aiheuttaman kosteuden poistoon käytetään vertailuissa läsnäolopäivinä 2 tuntia (klo 7 ja 20) tehostettuna 30 % yli 0,5 1/h.

Energiankulutuksen osalta voidaan saada säästöjä jopa yli 30 % matalaenergiatalon energiankulutuksessa, kun ilmanvaihtoa ohjataan tarpeenmukaisesti. Suuremmat säästöt saadaan luonnollisesti vain koneellisella poistolla varustetuissa kohteissa. Se, että onko tarpeenmukaisen ilmanvaihdon määrä asukkaiden läsnä ollessa 4 l/s/hlö, ei ole energiankulutuksen tai vuosikustannusmielessä kovinkaan merkitsevä, 2 l/s suurempi tarpeenmukainen tuloilmavirta nostaa ilmanvaihdon energiankulutusta pari % -yksikköä. Suurimmat säästöt syntyvät tilavuudeltaan isoimmista rakennuksissa. Koska on viitteitä, että 6 l/s/hlö ja sitä suuremmat tuloilmavirrat ovat viihtyisyyden ja tuottavuuden kannalta suositeltavia, kunhan estetään tehokkaasti ulkoilman epäpuhtauksien sisälle pääsy, ei tämän analyysin perusteella ole kannattavaa energian kulutuksen perusteella lähteä ainakaan pienentämään RMK D2, 6 l/s/hlö tuloilmavirrasta, mutta ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus olisi tultava pakolliseksi uusissa rakennuksissa ja olemassa olevia varsinkin vain koneellisella poistolla varustettuja kohteita tulisi ohjata tarpeenmukaiseen ohjaukseen.

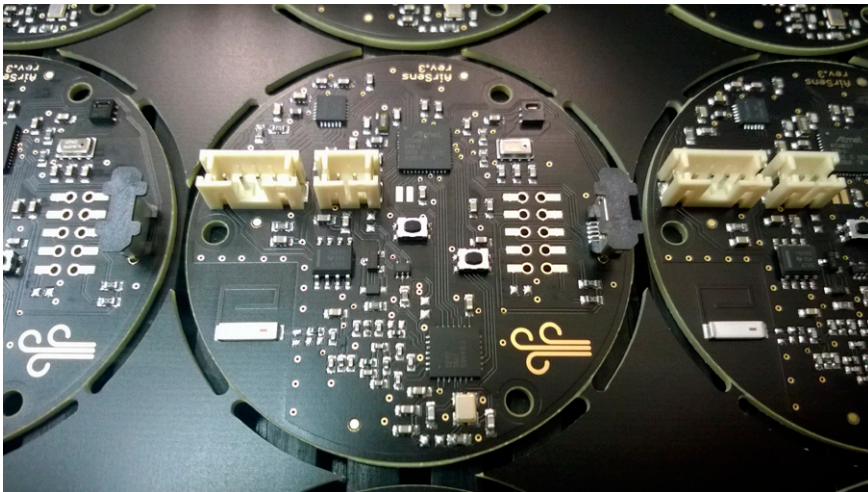
Hyvin pienet ilmavirrat ovat herkkiä esim. tuulen aiheuttamille häiriöille sekä ne vähentävät tuloilman huuhteluvaikutusta tilojen eri osissa. Lisäksi liian pieneksi suunniteltu järjestelmä aiheuttaa myös meluhaittoja etenkin tehostustilanteessa.

Yksinkertaisimmillaan tarpeenmukainen ilmanvaihto toteutuu, kun ilmanvaihtokoneen varustaa pois/paikalla kytkimellä, aikaohjauksella sekä tehossäätimellä. Saatavissa on myös tarpeenmukaiseen ilmanvaihtokoneiden ohjaukseen tarkoitettuja esim. kosteus- ja hiilidioksidianturein.

Markkinoille on tulossa energiankulutuksen vähentämiseksi ja ilmanlaadun ylläpitämiseksi tilakohtaisia päätelaitteita, joita myös AirSens-projektissa kehitettiin. Nämä suorittavat sekä päätelaitteen säätöä sekä ilmanjakokanavistossa tapahtuvaa ilmavirran säätöä/ohjausta, jotta tarpeenmukaisuus toteutuisi ja tehostusta tapahtuisi siellä missä tarvitaan.

TYÖPAKETTI 5: PROTON VALMISTELU

Viidennessä työpaketissa kolmannen työpaketin pohjalta valitut tekniset ratkaisut toteutettiin käytännössä pilottia varten. Elektroniikkaa varten suunniteltiin ja kokoonpantiin oma piirilevy, joka sisältää kaikki anturit, moottorinohjauksen, virransyötön ja radion. Venttiilin mekaniikat suunniteltiin ja valmistettiin 3D-tulostimien avulla (Kuva 2). Projektissa kehitettiin AirSens-konseptin perustana oleva pilvipalvelu, sekä venttiiliyksikön sulautettu ohjelmisto.



Kuva 2. AirSens -venttiiliyksikön elektroniikka

Pilvipalveluna toimi projektin alkuvaiheessa IBM Bluemix lähinnä sen tarjoamien valmiiden rajapintojen vuoksi, jotka mahdollistivat alustavan prototyypin nopean kehityksen. Myöhemmin kun haluttiin siirtyä räätälöidymppään, useampaan osakokonaisuuteen hajoitettuun ratkaisuun, vaihdettiin IBM Bluemix pilvipalvelualusta Amazonin AWS:ään.

Ohjelmistoon luotiin kolme eri käyttöliittymää, jotka oli suunnattu eri käyttäjäryhmille:

- ◆ **Management.** Käyttöliittymä, jonka kautta voi säätää järjestelmän automaattisen säädön perustana olevat raja-arvot (esim. maksimilämpötila / hiilidioksidipitoisuus). Myös yksittäisten venttiilien suora ohjaus onnistuu tätä kautta. Käyttäjänä huoltoyhtiö, isännöinti.
- ◆ **User.** Tämän käyttöliittymän kautta käyttäjä (asukas) pystyy seuraamaan huoneistonsa ilmanlaatua, sekä säätämään huoneistokohtaisia parametreja kuten tavoitelämpötilaa tosin matalammalla prioriteetilla kuin ”management”. Loppukäyttäjän käyttöliittymänä on älypuhelinsovellus.
- ◆ **Statistical.** Tarjoaa tilastollisen näkymän ilmanvaihdon toiminnasta mukaan lukien yhteenvedon AirSensin tarjoamasta energiansäästöstä. Ei sisällä mahdollisuutta vaikuttaa järjestelmään toimintaan.

TYÖPAKETTI 6: PROOF OF CONCEPT

Pilottikohteeksi valittiin kerrostalokiinteistö. AirSens-järjestelmä asennettiin neljään erikokoiseen asuntoon, kahteen eri kerrokseen. Asunnot olivat 1h+kk, 1h+kk+s, 2h+kk+s ja 5h+k+s. Järjestelmässä oli poistoilmaventtiilit ja huonekohtaisia mittarasioita, joita sijoitettiin venttilittömiin huoneisiin. Yhteen huoneistoon sijoitettiin lisäksi LoRa gateway. Ennen asennuksia asukkaille jaettiin kattava esite pilotista ja sisäilman laadusta ja sen vaikutuksesta ihmisen hyvinvointiin.

Aluksi venttiilit säädettiin vastaamaan alkuperäisten venttiilien virtaamaa ja tallennettiin niiden keräämää anturidataa. Muutaman viikon päästä venttiilien aktiivinen säätäminen otettiin käyttöön. Venttiilien toimintaa seurattiin ja todettiin niiden toimivan tarkoituksenmukaisesti reagoiden sisäilmaston muutoksiin. Erityisen hyödylliseksi havaittiin reagointi kohonneeseen ilmankosteuteen kylpyhuoneissa suihkun ja saunomisen aikana.

Ennen pilottia ja pilotin aikana tehtiin teemoitettuja asukashaastatteluita. Haastatteluun osallistuneet olivat iältään 25-80 -vuotiaita. Haastatteluihin osallistuneet asukkaat eivät kokeneet mitään ongelmia ilmanvaihdon kanssa. Yksi asukkaista valitteli asunnon kylmää lämpötilaa mikä ei kuitenkaan liittynyt AirSens-järjestelmään. Asukkaat eivät kokeneet, että tuuletuksen tarve asunnossa tai kylpyhuoneen kuivatuksen aika olisi muuttunut mitenkään venttiilin asennusta ennen tai sen jälkeen. Voidaan siis olettaa, että jos ilmanvaihto ei ole pahasti pielessä eivät asukkaat siihen kiinnitä huomiota. He eivät myöskään kokeneet, mitään negatiivista venttiilin asentamisen jälkeen, joten tulosta voidaan pitää positiivisena.

Järjestelmä oli käytössä reilu kolme kuukautta. Järjestelmän poistamisen yhteydessä tehtiin vapaamuotoinen loppuhaastattelu, jossa kysyttiin kokemuksia AirSens-järjestelmästä loppukäyttäjän näkökulmasta ja näkemyksiä järjestelmän tulevaisuudesta.

Kaikien kaikkiaan yhdelläkään pilottiasukkaalla ei ollut mitään kielteistä sanottavaa AirSens-järjestelmästä. Puolet käyttäjistä piti AirSens-tyyppistä älykästä järjestelmää parempana kuin perinteistä kiinteää ilmanvaihtojärjestelyä. Toiselle puolikkaalle ei ilmanvaihdolla ollut merkitystä ja aihe yleensäkin oli heille yhdentekevä. Tosin ei heilläkään ollut mitään AirSens-järjestelmää vastaan.

Myönteisesti suhtautuvalle puolikkaalle merkityksellisiä asioita olivat energian säästö, ilmanlaadun paraneminen ja mahdollisuus vaikuttaa oman asunnon ilmanvaihtoon sekä mahdollisuus nähdä oman asunnon ilman laatuparametreja. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kustannussäästöinä AirSens-venttiili on erittäin hyvä tuote. Se ei aiheuta asukkaille mitään vaivaa, vaan päinvastoin parantaa sisäilmaa huomaamattomasti ja säästää kustannuksissa, mikä on tärkeä asia monelle kuluttajalle.

TYÖPAKETTI 7: KAUPALLISTAMISSUUNNITELMA

AirSensin kaupallistamiseksi tehtiin mahdollisesti perustettavan startup-yrityksen liiketoimintasuunnitelma ja kaupallistamisselvitys.

AIRSENS-PROJEKTIN YHTEENVETO

Teknisesti järjestelmä todettiin toimivaksi ja sillä on selvästi mahdollista yhtäaikaaisesti sekä parantaa sisäilman laatua, että vähentää merkittävästi ilmanvaihdosta syntyviä kustannuksia. AirSens-tyyppiselle järjestelmälle on selkeästi kysyntää, mutta epävarmuutta potentiaalisten kaupallisten hyödyntäjien kohdalla aiheuttaa uuden teknologian aiheuttama riski luotettavuuden ja kestävyys-suhteen. Sinänsä riskiä pienentää mahdollisuus palata entiseen järjestelmään erittäin halvalla, eli vain vaihtamalla AirSens-venttiilien tilalle perinteiset peltiventtiilit. Projektin puitteissa ei pystytty todentamaan AirSens-venttiilin pitkäaikaisuutta, koska venttiilien mekaaninen rakenne oli prototyyppi ja aikarajoituksen vuoksi venttiilit olivat testikohteessa vain muutaman kuukauden.

Varsinaisen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon lisäksi on syytä selvittää tarkemmin anturien tuottaman datan hyödyntämismahdollisuuksia tuottamaan uudenlaista liiketoimintaa.

Älykkään poistoilmansäädön lisäksi järjestelmään olisi hyödyllistä myöhemmässä vaiheessa kytkeä myös tuloilman säätö, mikä mahdollistaa ilmapurtojen vieläkin tarkemman hallinnan.

Projektissa työskenteli henkilöitä Suomesta, USA:sta, Ranskasta, Irakista, Kiinasta ja Saksasta.

Eija Raussi-Lehto, Janni Koski & Jarmo Tuppurainen

EPÄTERVEELLEISESTÄ SISÄILMASTA KOHTI TERVEELLISEMPÄÄ ASUMISTA?

Tässä artikkelissa luodaan katsaus asumiseen liittyvien sisäilmaongelmien ratkaisemisen historiaan niin Suomessa kuin Euroopassakin sekä sisäilmaltaan paremmista “vihreistä asunnoista” saatuihin käyttökokemuksiin.

KOKEMUKSIA VIHREIDEN RAKENNUSTEN HYÖDYISTÄ

Ensimmäisen kerran sairaan talon syndroomaa (SBS) kuvattiin 1970-luvulla (Brightman ym. 2008). SBS aiheuttaa erilaisia iho- ja limakalvo oireita, päänsärkyä, väsymystä, ärtyneisyyttä ja astmaa (Engvall ym. 2010; Nishimura ym. 2015). WHO määrittelee sairaan talon syndrooman sairaudeksi, jossa ihmiset kärsivät sairauden oireista tai huonovointisuudesta ilman selvää syytä. Oireet voimistuvat ihmisen viettäessä aikaa kyseisessä paikassa. (Brightman ym. 2008.) Huono sisäilman laatu vaikuttaa psyko-neuro-endokriino-immuuni tilaan ja aiheuttaa SBS oireita. Lisäksi monet mikro-organismit sisäympäristöissä aiheuttavat ihmisille infektoita ja allergiaa. Terveellisempää sisäilmaa pyritään saamaan säätelämällä sisäilman olosuhteita. (Nishimura ym. 2015.) WHO pan-Euroopan tutkimuksen mukaan 10 % ihmisistä on tyytymättömiä yleiseen sisäilman laatuun (Adan ym. 2007).

Tutkimukset osoittavat, että asunnoissa, joissa oli parannettu tuuletusta, energiatehokkuutta sekä kosteushallintaa vaikuttaa lasten yleisen terveydentilan merkittävään paranemiseen erityisesti astmaatikkolapsilla (Jacobs ym. 2015). Terve koti -interventiotutkimus, jossa koteihin tehtiin henkilökohtainen toimintasuunnitelma ja kodin kunnostus, sai aikaan sen, että intervention jälkeen astmaoireet lapsilla helpottuivat, koulusta poissaolot vähenivät, vanhempien hukatut työpäivät lasten sairastelun vuoksi vähenivät, myös päivystyskäynnit sairaalassa vähenivät. Lasten terveys parani merkittävästi ja astman vaikeusaste laski, jolloin oire lääkkeitä jouduttiin käyttämään vähemmän. (Polivka ym. 2011.)

Epäonnistuminen sisäilmariskien hallitsemisessa tuo valtavat taloudelliset seuraukset terveydenhuoltoon, menetetyissä työpäivissä ja ihmisten henkilökohtaisissa kustannuksissa. Näin ollen kustannukset, jotka parantavat ihmisten terveyttä ja hyvinvointia ja terveempää sisäympäristöä, ei tulisi nähdä liiketoiminnan kuormituksena, vaan tulisi punnita erityisesti siitä saatavat hyödyt. (Loftness ym. 2007.) Kun parannetaan asuntojen turvallisuutta ja terveellisuyttä, parannetaan samalla kansanterveyttä, jolloin saadaan terveydenhuollon kustannuksia laskemaan (Brown ym. 2010). Puhuttaessa ”vihreistä asunnoista”, niihin liittyvä keskeinen piirre on parempi tuuletus- ja energiatehokkuus sekä parempi kosteudenhallinta (Jacobs ym. 2015). Vihreässä rakentamisessa pyritään hillitsemään hiilidioksidipäästöjä ja laskemaan energiankulutusta. Näissä rakennuksissa, joissa on lisääntynyt ilman suodatus, parempi energiatehokkuus ja alhaisemmat hiilidioksiditasot, on tutkimusten mukaan vähemmän raportteja yskästä ja niska-hartiasärystä sekä enemmän tyytyväisyyttä ilmanvaihtoon ja -laatuun kuin tavanomaisissa asunnoissa. Ilman kosteutta ja tunkkaisuutta on myös vähemmän ja ihmisten fyysinen hyvinvointi on todettu paremmaksi. Rakennuksista raportoitii vähemmän astmaa ja muita hengityselinsairauksia, vähemmän masennusta ja stressiä, sekä työpoissaoloja. (Allen ym. 2015.)

Uusiin vihreisiin asuntoihin muuttaneet itse ovat ilmoittaneet fyysisen ja psyykkisen terveyden parantuneen merkittävästi. Astman vakavuus itsearvioinnilla kerrottiin helpottuneen ja unihäiriöt parantuneen merkittävästi, samoin kuin surun, hermostuneisuuden ja levottomuuden, heinänuhan, päänsärkyjen, sinuiittien, anginan ja hengityselin allergioiden. (Jacobs ym. 2015.) Asukkaat olivat myös tyytyväisiä ilman laatuun. ”Vihreän rakennuksen työpaikkoihin” liitetään myös vähemmän työpoissaoloja, astmaa ja muita hengitysoireita; myös masennus ja stressi ovat vähäisempiä. Näissä rakennuksissa todettiin myös vähemmän tuholaisia ja PM 2.5 hiukkasia. Työntekijöiden tuottavuuden on todettu kasvavan ja työntekijöiden vaihtuvuuden pienenevän. (Allen ym. 2015.)

”Vihreällä sairaalalla” 10 ja 3 vuoden havainnoinnissa on saatu esiin 19 % lasku kuolleisuudessa, työntekijöiden tyytyväisyyden nousu, hoidon laadun paraneminen ja verenkiertoon liittyvien infektioiden lasku 70 %. Useilla indikaattoreilla on lisäksi mitattu paremmat terveystulokset: vähemmän hengitysoireita, vähemmän poissaoloja, työntekijät ovat tuottavampia ja työntekijöiden vaihtuvuus on pienempää. Vaikkakin tutkimukset ”Vihreistä rakennuksista” ovat tapaustutkimuksia ja näytekooot ovat pieniä, on esitetty viitteitä myös alhaisemmasta VOC-yhdisteiden tasosta, formaldehydistä, allergeenitasoista, ETS hiilidioksidista ja PMstä. (Allen ym. 2015.)

TERVEELLISEN ASUMISEN TULEVAISUUS

Euroopassa ei ole suuntaviivoja, miten rakennusten ilmanvaihto tulisi hoitaa, jotta se vähentäisi asukkaiden terveysriskejä, silloin kun he ovat alttiita sisäilman epäpuhtauksille (Asikainen ym. 2016). Tärkeää on koulutus ja tiedotus sisäilman laadun terveysriskeistä ja sille tulisikin antaa enemmän tunnustusta koko Euroopassa (Wu ym. 2007; Adan ym. 2007). Suoraa tieteellistä näyttöä ilmanvaihdon ja terveyden välillä on melko rajallisesti (Asikainen ym. 2016). Tekijät, jotka vaikuttavat huonoon sisäilmaan, on suhteellinen kosteus, huoneen lämpötila ja riittämätön ilman liike (Mas-sawe & Vasut 2013).

Euroopassa on tehty tutkimusta keskeisistä sisäilman ominaisuuksista, jotka vaikuttavat ihmisen terveyteen. Sisäilman ominaisuudet voivat johtaa erilaisiin hengityselinsairauksiin, masennukseen ja ahdistukseen. (Adan ym. 2007). Tehokkain tapa vähentää terveysriskejä on valvoa sisäilman lähteitä ja valita sopivat ilmanvaihdot. Jos sisäilman lähteitä ei voida poistaa tai niiden päästöjä ei voida rajoittaa hyväksytylle tasolle, on ilmanvaihtoa lisättävä poistamaan jäljelle jääneet epäpuhtaudet. Näissä tapauksissa suodattamalla ulkoilmaa voidaan estää terveysriskien kasvua. (Asikainen ym. 2016.)

Toimiva ilmanvaihto on perusedellytys rakennuksen ja ihmisten terveydelle. Riittäväällä ilmanvaihdoilla pidetään esimerkiksi materiaalien päästöjen, hiilidioksidin ja vesihöyryn pitoisuudet ihmiselle ja rakennukselle terveellisellä tasolla. Ihminen hengittää kerrallaan noin 0.5 litraa ilmaa 12 - 15 kertaa minuutissa. Ihmisperäisistä hajuista aiheutuva ilmanvaihdon tarve on monikymmenkertainen edelliseen verrattuna. Raikkaan huoneilman ylläpito edellyttää noin 30 - 40 m³ /h raikasta ulkoilmaa henkilöä kohden.

Suomessa annettiin ensimmäisen kerran ohjearvoja asuntojen poistoilmavirtojen mitoittamiseksi rakentajan kalenterissa vuonna 1940. Vuoden 2003 ja 2013 D2:ssa hiilidioksidista todetaan vain, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 1200 ppm. Voimassa olevissa määräyksissä (D2 2012) asuntojen ilmanvaihto mitoitetetaan poistoilmavirtojen perusteella siten, että ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 1/h ja ulkoilmavirrat ovat vähintään ohjearvojen mukaisia.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteuttamiseksi on tarjolla monia eri mahdollisuuksia. Yksinkertaisimmat järjestelmät ja laitteet toteuttavat tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaatetta rakennustasoisesti tai vain yksittäisessä tilassa (säädettävä liesikupu keittiössä tai kosteusanturilla varustettu tehostava poistoilmaventtiili kylpyhuoneessa).

Järjestelmät monimutkaistuvat, kun halutaan hallita olosuhteita tai sisäilmastoa huonetasolla. Tähänkin tarkoitukseen markkinoilta löytyy useita laitetuottajia, jotka pystyvät tarjoamaan tarpeenmukaisen huonetasoisesti

säädettävän järjestelmäkokonaisuuden. Tällaisia järjestelmiä on Suomeen asennettu useita satoja viimeisen kymmenen vuoden kuluessa.

Lähtövalmiudessa uudisrakentamisen puolella järjestelmäkehitys kohdistunee langattomiin järjestelmiin. Myös sisäilmaston seuranta ja mittauksen hyödyntäminen järjestelmien ohjauksessa tulee lisääntymään.

Vanhoissa järjestelmissä korjaustoimet kohdistuvat energiatehokkuutta ja sisäilmastoa parantaviin korjauksiin, joilla järjestelmien elinaikaa voidaan pidentää ennen uusimista. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi lämmöntalteenottolaitteistojen lisääminen, puhaltimien ja puhallinmoottorien uusiminen, taajuusmuuttajien lisääminen tai ilmanvaihdon ohjauksen parantaminen (tarpeenmukaisuus).

Suomessa on tällä hetkellä paljon pelkän koneellisen poiston omaavaa asuintalokantaa, jotka on rakennettu 1960-luvulta osittain aina 2000-luvulle asti. Asukkaiden vaatimustason noustessa halutaan niissäkin entistä enemmän varmistua ilman laadusta kaikissa tilanteissa, jolloin ilmanvaihdon tehostamistarvetta halutaan ohjata yksilöllisesti; asunto- ja huonekohtaisesti. Toisaalta taas tietoisuus ilmastomuutoksesta ja yleinen ympäristötietoisuus lisäävät asukkaiden halua saada entistä energiatehokkaampia järjestelmiä.

Näin ollen koneellisen poiston omaavissa taloissa on selvää kysyntää järjestelmälle, jolla voidaan kustannustehokkaasti vastata yhtä aikaa laadullisen tason korotuksen sekä energiatehokkuuden tarpeeseen ja samalla varmistaa terveelliset sisäolosuhteet. Tämän julkaisun edellisessä artikkelissa Jarmo Tuppurainen esittelee AirSens-projektissa tehtyä työtä. AirSens mahdollistaa sisäilman laadun parantamisen kustannustehokkaasti; parantamalla asuntojen terveellisyyttä, parannetaan samalla kansanterveyttä, samalla voidaan vähentää merkittävästi ilmanvaihdosta syntyviä kustannuksia.

LÄHTEET

- Adan OC, Ng-A-Tham J, Hanke W, Sigsgaard T, van den Hazel P, Wu F. In search of a common European approach to a healthy indoor environment. *Environ Health Perspect.* 2007 Jun;115(6):983-8.
- Allen JG, MacNaughton P, Laurent JG, Flanigan SS, Eitland ES, Spengler JD. Green Buildings and Health. *Curr Environ Health Rep.* 2015 Sep;2(3):250-8.
- Asikainen A, Carrer P, Kephelopoulos S, Fernandes Ede O, Wargocki P, Hänninen O. Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). *Environ Health.* 2016 Mar 8;15 Suppl 1:35
- Brightman HS, Milton DK, Wypij D, Burge HA, Spengler JD. Evaluating building-related symptoms using the US EPA BASE study results. *Indoor Air.* 2008 Aug;18(4):335-45.
- Brown MJ, Ammon M, Grevatt P. Federal agency support for healthy homes. *J Public Health Manag Pract.* 2010 Sep-Oct;16(5 Suppl):S90-3.
- Engvall K, Hult M, Corner R, Lampa E, Norbäck D, Emenius G. A new multiple regression model to identify multi-family houses with a high prevalence of sick building symptoms "SBS", within the healthy sustainable house study in Stockholm (3H). *Int Arch Occup Environ Health.* 2010 Jan;83(1):85-94.
- Jacobs DE, Ahonen E, Dixon SL, Dorevitch S, Breyse J, Smith J, Evens A, Dobrez D, Isaacson M, Murphy C, Conroy L, Levavi P. Moving into green healthy housing. *J Public Health Manag Pract.* 2015 Jul-Aug;21(4):345-54.
- Loftness V, Hakkinen B, Adan O, Nevalainen A. Elements that contribute to healthy building design. *Environ Health Perspect.* 2007 Jun;115(6):965-70.

- Massawe E, Vasut L. Promoting healthy school environments: a step-by-step framework to improve indoor air quality in Tangipahoa Parish, Louisiana. *J Environ Health*. 2013 Sep;76(2):22-30.
- Nishimura Y, Takahashi K, Mase A, Kotani M, Ami K, Maeda M, Shirahama T, Lee S, Matsuzaki H, Kumagai-Takei N, Yoshitome K, Otsuki T. Enhancement of NK Cell Cytotoxicity Induced by Long-Term Living in Negatively Charged-Particle Dominant Indoor Air-Conditions. *PLoS One*. 2015 Jul 14;10(7)
- Polivka BJ, Chaudry RV, Crawford J, Bouton P, Sweet L. Impact of an urban healthy homes intervention. *J Environ Health*. 2011 May;73(9):16-20.
- Wu F, Jacobs D, Mitchell C, Miller D, Karol MH. Improving indoor environmental quality for public health: impediments and policy recommendations. *Environ Health Perspect*. 2007 Jun;115(6):953-7.

TIIVISTELMÄ

Tarkasteltaessa sisäilman laatuun vaikuttavista tekijöistä lämpötilan, hiilidioksidin, ilmankosteuden, ilmanpaineen ja pienhiukkasten vaikutuksia terveyteen voidaan todeta, että jo raskauden aikainen altistuminen epäpuhtauksille korreloi synnynnäisiin epämuodostumiin. Lapset ovat erityisen alttiita sisäilmaongelmien seurauksille, koska lasten fysiologiset järjestelmät ovat vasta kypsymässä täysimittaiseen toimintaan. Sisäilman epäpuhtaudet voivat hidastaa lasten kehitystä ja pahentaa erilaisia sairauksia kuten esimerkiksi allergioita, astmaa ja infektioita. Sisäilmaepäpuhtauksilla voi olla myös psykologisia- ja keskushermostovaikutuksia. Huono sisäilman laatu kouluympäristössä voi vaikuttaa lasten hengityselinterveyteen, koululäsnäoloon ja koulumenestykseen. Aikuisilla sisäilman epäpuhtauksiin altistumisen vaikutukset ulottuvat nenän sivuonteloihin, keuhkoihin, aivoihin, sydämeen, umpirauhasiin ja immuunijärjestelmään, myös kardiovaskulaarisia vaikutuksia on todettu. Sisäilman saastumisesta aiheutuvista vaikutuksista vanhuksilla syy-yhteyksien määrittäminen on hankalaa, koska altistumistietoja ei ole riittävästi ilmanlaatua koskevasta elinikäisestä altistumisesta. Vanhuksilla saattaa olla suurempi riski kärsiä huonosta sisäilmasta aiheutuvista sairauksista, koska altistumisaika on muuta väestöstä pidempi. Vähentyneen aktiivisuutensa takia vanhukset ovat erityisen alttiita huonon sisäilman vaikutuksille ja vanhusten muuttunut fysiologia voi tehdä heidät herkemiksi huonon sisäilman vaikutuksille.

Tiloissa, joissa on parannettu tuuletusta, energiatehokkuutta ja kosteudenhallintaa, terveysvaikutukset ovat merkittäviä kaikkien ikäryhmien keskuudessa. AirSens on Metropolia Ammattikorkeakoulussa kehitetty älykkään ilmanvaihdon konsepti, joka mahdollistaa sisäilman laadun parantamisen, jolloin paitsi parannetaan asuntojen terveellisyyttä ja välillisesti myös kansanterveyttä. AirSensin avulla voidaan vähentää myös merkittävästi ilmanvaihdosta syntyviä kustannuksia.

AirSensin keskeisenä elementtinä on älykäs poistoilmaventtiili. Ilmavirran liike-energiasta energiaa keräämällä toteutuu täysin langaton ilmavirran anturointi ja säätöelementti ilmanvaihdon tilakohtaisiin tulo- ja poistoilman venttiileihin. Älyventtiilien anturointi mittaa huoneilmassa olevan hiilidioksidin, suhteellisen ilmankosteuden, lämpötilan ja ilmanpaineen, lähettää mittaustiedot pilvipalvelimeen, joka määrittää kunkin venttiilin optimaalisen avautuman. Näin ilmaa voidaan vaihtaa tiloissa tarkoituksenmukaisesti, sisäilmanlaatu paranee ja ilmanvaihdon kustannukset pienenevät. Oppivan järjestelmän avulla älyventtiilit osaa- vat ennakoida rakennuksen ilmanvaihtotarpeita ottaen huomioon tilojen käyttäjien henkilökohtaisia tarpeita.

SUMMARY

TOWARDS SMART VENTILATION: THE SIGNIFICANCE AND SOLUTIONS OF INDOOR AIR QUALITY

When examining the factors affecting the quality of indoor air, such as temperature, carbon dioxide, humidity, air pressure and small particles, it seems that their impact on health is evident. Exposure to air impurities during pregnancy correlates with birth abnormality. Further, children are at risk because of their immature physiological systems. Indoor air pollutants may slow down children's development and aggravate diseases, such as allergies, asthma and infections. These air impurities can also bring about psychological changes and harm the central nervous system. Moreover, bad indoor air quality in school environment may have an impact on children's respiratory system, school attendance and low school performance. As for adults, exposure to indoor air pollutants may affect their sinuses, lungs, brain, heart, endocrine glands, their immune system, and cause cardiovascular problems. Consequently, it is more difficult to estimate the causal effects of polluted indoor air with the aged because no life-long data exist on their exposure. However, the aged may be at higher risk of suffering from diseases caused by bad indoor air due to a longer exposure time compared to the rest of the population. Older people face a greater risk of having a disease related to bad indoor air if they lead less active lives. Physiological changes may also make them more susceptible to it.

The health benefits of buildings with improved ventilation, energy efficiency and management of air humidity have proved significant in all age groups. AirSens introduces a concept of smart ventilation with elements such as smart exhaust air vents developed at Metropolia University of Applied Sciences. AirSens produces improvement on indoor air quality. This means healthier buildings and thus benefits the public health indirectly. Moreover, AirSens reduces costs on ventilation significantly.

By harvesting energy from the air flow, the ventilation system AirSens enables the implementation of wireless sensing and regulation of supply and exhaust vents in buildings. The sensors monitor air quality regarding levels of carbon dioxide, relative air humidity, temperature and air pressure as well as send the gathered data to a cloud server determining the optimized air flow for each vent. This ensures the appropriate ventilation in buildings, improved air quality and cost-effectiveness. Smart vents rely on a learning system increasing their capacity for self-regulation and the ability to anticipate the changing conditions by considering users' individual needs.

KIRJOITTAJAT

Päivi Haho

TkT, yliopettaja, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Electria

Jarmo Tuppurainen

insinööri, teknologiapäällikkö, Metropolia Ammattikorkeakoulu,
Electria

Eija Raussi-Lehto

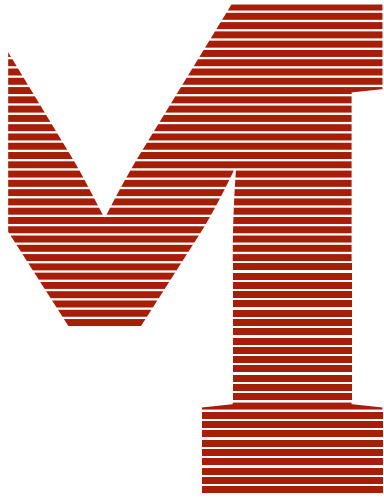
THM, kätilö, sairaanhoitaja, lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Terveyden edistämisen palvelut

Janni Koski

TtM, kätilö, sairaanhoitaja, HUS, Naistenklinikka

Elina Ala-Nikkola (toim.)

kulttuurituottaja YAMK, julkaisusuunnittelija, Metropolia
Ammattikorkeakoulu, TKI-palvelut



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

AirSens – kohti älykästä ilmanvaihtoa Näkökulmia ja ratkaisuja parempaan sisäilmaan

Sisäilman laatu on merkittävä jokapäiväinen asia, sillä ihmiset viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa. Se vaikuttaa terveyteen monella tavoin, erityisiä riskiryhmiä ovat lapset ja vanhukset. Sisäilmaa parantamalla voidaan vaikuttaa ihmisten terveyteen suoraan, mutta myös välillisesti terveydenhuollon ja sosiaali-palveluiden kustannusten pienentyessä.

Tämä artikkelikokoelma kokoaa yhteen tietoa sisäilmaan vaikuttavista tekijöistä ja sisäilman vaikutuksista terveyteen erilaisissa arjen ympäristöissä eri ikäryhmien näkökulmasta tarkasteltuna. Kokoelma tuo esiin näkökulmia ongelmien ennalta-ehkäisyyn. Julkaisu esittelee myös Metropolia Ammattikorkeakoulun toteuttaman AirSens-projektin, jossa tutkittiin mahdollisuutta synnyttää uusi liiketoimintakonsepti, jonka keskiössä on älykkään ilmanvaihdon mahdollistava anturointi- ja auto-maattioratkaisu.

Artikkelikokoelma toimii apuna arjessa sisäilmaongelmiin liittyviä kysymyksiä ratkoviille ammattilaisille sekä päättäjille. Ammattilaisten lisäksi myös asiaan perehtymättömät lukijat voivat julkaisun avulla päästä sisäilmakysymysten ja -ratkaisujen äärelle.

ISBN 978-952-328-045-8 (nid.)
ISBN 978-952-328-046-5 (pdf)

ISSN 1799-599X (nid.)
ISSN 1799-6007 (pdf)

