

SISÄILMASTOSEMINAARI 2024

Messukeskus
12.3.2024



Sisäilmäyhdistys ry

SISÄILMASTOSEMINAARI 2024

12.3.2024

Toimittajat:

Mervi Ahola
Anna Merikari

Sisäilmäyhdistys ry

Puheenjohtaja prof. Risto Kosonen
Toiminnanjohtaja DI Mervi Ahola

Sisäilmästoseminaarin ohjausryhmä 2024:

Mervi Ahola

Ulla Haverinen-Shaughnessy

Kati Huttunen

Anne Hyvärinen

Paavo Kero

Hanna Keränen

Anne Korpi

Hannu Koskela

Risto Kosonen

Katri Leino

Tero Marttila

Sami Niemi

Pertti Pasanen

Juha Pekkanen

Anna-Mari Pessi

Anna Saarinen

Heidi Salonen

Piia Sormunen

Jorma Säteri

Marianna Tuomainen

Katja Tähtinen

Tuula Vasankari

Kirsi Villberg

Aki Vuokko

Mika Vuolle

Leif Wirtanen

Sisäilmäyhdistys Raportti 42

SISÄILMASTOSEMINAARI 2024

Mervi Ahola ja Anna Merikari (toim.)

Artikkeleiden sisällöstä vastaavat kirjoittajat, eikä niitä ole vertaisarvioitu.

SIY Sisäilmatieto Oy

ISSN 1237-1866

ISBN 978-952-5236-55-2

Painopaikka Grano Oy, Vantaa

ESIPUHE

Suomen sisäilmaväki kohtaa jälleen nyt 39. kerran järjestettävässä Sisäilmastoseminaarissa, joka on Suomen suurin sisäilma-alan tapahtuma. Seminaarin ohjelma on jälleen kattava kuvaus siitä, mitä Suomen sisäilmakentällä on tutkittu ja minkälaisia toimia sisäilma-asioiden parantamiseksi on tehty. Yksi merkittävistä toimista on vuonna 2018 käynnistetty Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen kansallinen sisäilmaohjelma, joka on nyt puolella välissä. Ohjelma järjestää väliarviointiseminaarin Sisäilmastoseminaarin jälkeisenä päivänä.

Sisäilma-asiat ovat hyvin moninainen kokonaisuus, ja niihin heijastuvat myös työympäristön muut tekijät. Erilaisia työympäristöjen tutkimuksia esitellään seminaarissa usean esityksen verran. Sisäilma-asioihin liittyen esitellään myös useita oppaita, joiden avulla tavoitellaan parempaa sisäilmaa tai ratkotaan ongelmia.

Rakennetulla ympäristöllä on iso merkitys ihmisen hyvinvointiin monella tavalla. Lisäksi vaikutukset ympäristöön ovat merkittäviä, ja onkin hyvä, että samalla kun rakennamme viihtyisiä, toimivia ja hyvinvointia tukevia sisäympäristöjä, mietitään myös ilmastovaikutuksia ja ympäristökuormaa. Ilmastonmuutoksen aiheuttamilla sään ääri-ilmiöllä onkin suora vaikutus myös sisäympäristöön. Uusissa rakennuksissa ja rakennusten perusparannuksissa näihin pystytään varautumaan, mutta rakennuskanta uusiutuu hitaasti. Vähähiilisyystavoitteita ja rakennusmateriaalien kiertotaloutta onkin edistetty kovaa vauhtia. Nämä tavoitteet eivät kuitenkaan saisi olla niin tärkeitä, että ne menisivät sisäympäristölle asetettavien tavoitteiden edelle.

Sisäympäristötavoitteiden asetannassa Sisäilmayhdistyksessä 1995 laadittu Sisäilmastoluokitus on vakiinnuttanut paikkansa ja sitä on sen jälkeen kehitetty yhteistyössä Rakennustietosäätiön kanssa. RTS:n yliasiamies Markku Hedman tulee pitämään avauspuheenvuoron. Avaus-sessiossa käsitellään sisäilmaan liittyvää oireilua ja sairastumista sekä terveyshuolia kahden esityksen verran. Lisäksi Avaus-sessiossa jaetaan järjestyksessään 4. Pro Sisäilma -tunnustus. Pro Sisäilma -tunnustus on Sisäilmayhdistys ry:n myöntämä elämäntyöpalkinto poikkeuksellisen omistautuneesta työstä paremman sisäilman puolesta. Tunnustuksella halutaan kunnioittaa saajan pitkää ja vaikuttavaa uraa sisäilma-alalla. Valinnassa kiinnitetään huomiota pitkäjänteiseen, systemaattiseen ja intohimoiseen työhön sisäilma-asioiden parissa.

Tänä vuonna järjestetään viime vuoden tapaan iltatilaisuus, jossa on jälleen asiaa viestinnän merkityksestä. Mr. Body Language Niko Visuri avaa osallistujien silmät ja mielet katsomaan uudella tavalla ympäristöä ja kanssaihmiä. Hän auttaa havaitsemaan ja hyödyntämään kehonkielen viestintää omassa toiminnassa niin työssä kuin vapaa-ajallakin, niin lähikontakteissa kuin myös etäyhteyksissä, joissa viestinnän haasteet erityisesti korostuvat.

Kiitos seminaarin mahdollistamisesta pääsponsorillemme Saint-Gobain Finland Weberille ja näytteilleasettajillemme sekä yli 200 kannattajajäsenellemme, joista moni on tukenut työtämme paremman sisäilman puolesta vuosikymmeniä. Kiitos myös sosiaali- ja terveystieteille tuesta.

Maaliskuussa 2024

Mervi Ahola
toiminnanjohtaja, Sisäilmayhdistys ry

SISÄLLYSLUETTELO

Esipuhe	3
Avaus	11
Muutokset sisäilmaan liittyvässä oireilussa, terveyshuolessa sekä käsityksissä vuosien 2018 ja 2022 välillä <i>Juha Pekkanen, Sanna Selinheimo, Kati Huttunen, Vuokko Härmä, Anniina Salmela ja Einar Eidstø</i>	13
Sisäilmaan liittyvän oireilun ja sairastumisen diagnosointi, hoito ja kuntoutus: Konsensusuusositus pähkinäkuoressa <i>Kati Huttunen, Tuomas Sorto, Jorma Komulainen, Sirkku Pikkujämsä ja Taneli Puumalainen</i>	19
Ajankohtaista sisäilma-alalla	25
Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma <i>Anne Hyvärinen, Elisa Lautala, Kaisa Jalkanen, Kati Huttunen, Sanna Lappalainen, Elina Tulenheimo-Eklund, Aki Vuokko, Kristiina Kulha, Tuula Vasankari, Juha Pekkanen ja Anniina Salmela</i>	27
VOC-sisäilmanäytteiden pitoisuustasojen tulkinta ja haasteet. Paljonko on paljon? <i>Arja Asikainen ja Hanna Marttila</i>	33
Kuntien näkemys sisäilmatilanteesta <i>Kaisa Jalkanen, Anniina Salmela, Kaisa Mäntynen ja Anne Hyvärinen</i>	39
Kira-alan toimijoiden näkemyksiä rakennusosien uudelleenkäytölle sisäympäristöissä <i>Arto Toorikka ja Katja Tähtinen</i>	43
Kuntien sisäilmakysely 2023 <i>Anniina Salmela, Kaisa Jalkanen, Kaisa Mäntynen, Mikko Simpanen ja Anne Hyvärinen</i>	49
Erilaiset työympäristöt	55
Monipaikkaisen työn vaikutus sisäilmastokokemukseen <i>Kasper Fabritius ja Anne Korpi</i>	57
Muutto koppikonttorista monitilatoimistoon - mitattu vs. koettu sisäympäristö <i>Arttu Sivula, Jenni Radun, Johann Laukka, Reijo Alakoivu, Henna Maula ja Valtteri Hongisto</i>	63
Julkisorganisaation kokemukset muutosta 70 % pienempään joustavaan monitilatoimistoon <i>Valtteri Hongisto, Arttu Sivula, Johann Laukka, Reijo Alakoivu, Henna Maula ja Jenni Radun</i>	69

Yhteiskäyttöiset työtilat ja sisäympäristökokemukset sote-sektorilla <i>Pia Sirola, Sara Malve-Ahlroth, Suvi Hirvonen, Annu Haapakangas ja Kari Reijula</i>	75
Työympäristötyytyväisyys perinteisissä ja joustavissa kouluissa <i>Jenni Radun, Kaisa Ahonen, Marjaana Veermans, Sanna Rantanen ja Valtteri Hongisto</i>	81
Rakennusten kansainvälisten hyvinvointiluokitusten sisäympäristökriteerit suomalaisessa kontekstissa <i>Sara Malve-Ahlroth</i>	87
Ilmanvaihto ja ilmanpuhdistimet	93
Ilmanvaihdon ilmavirtojen merkitys luokkahuoneen olosuhteille <i>Sakari Uusitalo, Jussi-Pekka Juvela, Antti Mäkinen ja Sampo Saari</i>	95
Kattava tarpeenmukaisten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnanvarmistus hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden edellytyksenä <i>Panu Mustakallio, Simo Kilpeläinen ja Risto Kosonen</i>	101
Koulujen ja päiväkotien koneellisen ilmanvaihdon yöaikaisen pysäyttämisen vaikutus sisäilman laatuun <i>Tuomas Raunima, Joonas Ketko, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	107
Ilmanvaihdon äänen häiritsevyys riippuu paitsi sen voimakkuudesta myös spektrimuodosta <i>Antti Kuusinen ja Valtteri Hongisto</i>	113
Ilmanpuhdistimien vaikutus epäpuhtauksiin sekä koettuihin olosuhteisiin ja oireisiin kouluissa – HiMikko-hankkeen tuloksia <i>Miina Juntunen, Martin Täubel, Tarja Yli-Tuomi, Pekka Taimisto, Kaisa Jalkanen, Taina Siponen, Anne Hyvärinen ja Hanna Leppänen</i>	119
Ilmanpuhdistimien vaikutus hengitystieinfektioihin <i>Ilpo Kulmala, Inga Ehder-Gahm, Aimo Taipale, Piia Sormunen, Anni Luoto, Ville Vartiainen, Enni Sanmark ja Arto Säämänen</i>	125
Airborne transmission in a meeting room with mixing and displacement ventilation methods <i>Weixin Zhao, Sami Lestinen, Simo Kilpeläinen and Risto Kosonen</i>	131
Infektioriskimallin muuttujien analyysi CO ₂ -mittausten avulla <i>Sampo Saari, Antti Mäkinen, Sakari Uusitalo ja Jussi-Pekka Juvela</i>	137
Ilmanpuhdistimien energiankulutus – tapaustutkimus kahdessa päiväkodissa <i>Arto Säämänen, Inga Ehder-Gahm, Anni Luoto, Piia Sormunen ja Ilpo Kulmala</i>	143

Mikrobit ja rakenteiden kosteustekninen toimivuus	149
Rajoittaako typensaanti homeen pitkäkestoista kasvua kosteassa selluloosaperäisessä materiaalissa? <i>Maria A. Andersson</i>	151
Mikrobikasvuston määrä ja kosteusvaurioindikaattorilajisto sisäilmaongelma- ja verrokkirakennuksissa suoraviljelynäytteissä <i>Vuokko Lappalainen, Vesa Koskinen, Milla Rantanen, Janita Törnroos ja Timo Murtoniemi</i>	157
Savipintojen sisäilmavaikutukset ja mikrobiologia <i>Miia Pitkäranta</i>	163
Sisälämpötilan laskun vaikutus homeriskiinkin puurunkoisten pientalojen yläpohjarakenteissa <i>Eero Saleva ja Iina Maso</i>	169
Rakennusten ulkovaipparakenteiden kosteusturvallisuus muuttuvassa ilmastossa <i>Ilkka Valovirta, Tuomas Raunima ja Juha Vinha</i>	175
Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta BY76 <i>Sami Niemi ja Tarja Merikallio</i>	181
Effect of cleaning method and ventilation rate on chemical and microbiological exposure in one university classroom <i>Emmanuelle Castagnoli, Elli Anttila, Raimo Mikkola and Heidi Salonen</i>	187
Tensidin ja veden vaikutus homeitiöiden itämiseen erilaisten sisätilamateriaalien pinnoilla <i>Maria A. Andersson, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola ja Heidi Salonen</i>	193
Lämpöolosuhteet ja energiatehokkuus	199
How convective local cooling devices influence local thermal response of elderly people <i>Minzhou Chen, Velashjerdi Farahani Azin, Kosonen Risto and Kilpeläinen Simo</i>	201
Yksilölliset tekijät, vaatetus ja lämpöviihtyvyys toimistotyössä lämmitys- ja jäähdytyskaudella <i>Henna Maula, Jenni Radun, Arttu Sivula ja Valtteri Hongisto</i>	207
Lämpöolosuhteiden kytketty virtauslaskenta <i>Antti Mikkonen</i>	213
Energiankulutus, sisäympäristön laatu ja asukkaiden käyttäytyminen energiaparanuskohteissa <i>Santeri Schroderus, Elmeri Sorsa, Pentti Kuurola, Filip Fedorik, Virpi Leivo, Minna Kempe ja Ulla Haverinen-Shaughnessy</i>	219
Operatiivisen lämpötilan mittauksia toimistorakennuksessa <i>Sami Lestinen ja Lari Eskola</i>	225

Hiukkaset ja haitta-aineet	231
Rakennusmateriaalien sisältämien PAH-yhdisteiden vaikutus sisäilman laatuun <i>Jarno Komulainen, Miia Pitkäranta, Pauli Sekki, Paula Wuokko ja Jevgeni Parshintsev</i>	233
Asbestin käyttö rakennuksissa, nykytilan kartoitus <i>Timo Turunen, Leif Wirtanen ja Jukka Lahdensivu</i>	239
EU decision on the lowering of the occupational exposure limit of asbestos fibres – effects on sampling and analysis of fibres <i>Jussi Lyyränen</i>	245
Miten kuituongelma ratkaistiin soveltamisohjeen päivityksellä? <i>Vesa Koskinen, Vuokko Lappalainen, Timo Murtoniemi, Suvi Kajanen ja Milla Rantanen</i>	251
Teollisten mineraalikuitujen määrät julkisissa rakennuksissa eivät ole vähentyneet <i>Vesa Koskinen, Vuokko Lappalainen ja Timo Murtoniemi</i>	257
Työntekijöiden altistuminen sisäilman radonille <i>Katja Kojo, Tuukka Turtiainen, Olli Holmgren ja Päivi Kurttio</i>	263
Mitattu ja koettu sisäilmaston laatu	269
Suomalaisten koulurakennusten kunto ja sisäilmasto <i>Camilla Vornanen, Katja Tähtinen, Tuomas Alapieti, Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Juha Vinha, Paavo Kero, Heikki Miettinen, Mikko Simpanen ja Heidi Salonen</i>	271
Sisäilmaston laatu suomalaisissa uimahallirakennuksissa <i>Stefanos Liappas, Camilla Vornanen, Raimo Mikkola ja Heidi Salonen</i>	277
Sisäliikuntatilojen koettu ja mitattu sisäympäristön laatu <i>Marko Hyttinen, Linda Luostarinen, Isla Hahl ja Pertti Pasanen</i>	283
Community based monitoring of indoor environments <i>Anna-Kaisa Viitanen, Alonso Espinosa Mireles de Villafranca, Jonathon Taylor</i>	289
Tietomallipohjainen viitekehys sisäilman laatuun ja sisäilmastoon liittyvän tiedon käsittelyyn - tapaustutkimus suomalaisessa päiväkodissa <i>Hannu Liedes, Thuzar Win Shwe, Pentti Kuurola, Heikki Kaikkonen, Santeri Schroderus, Filip Fedorik ja Ulla Haverinen-Shaughnessy</i>	295

Oppaita ja ohjeita	301
Opas tilaajalle sisäilmasto-ongelman ratkaisemiseen <i>Pietarinen Veli-Matti, Turunen Timo ja Wirtanen Leif</i>	303
Sisäilmasto-ongelman ratkaiseminen, sopimusasioita -opas <i>Simo Kinnunen, Kiia Miettunen, Kalevi Setälä, Jonna Järvinen, Kai Mettälä, Sami Koskela ja Susanna Turkia</i>	309
Uudet Terve talo -RT-kortit <i>Leif Wirtanen, Timo Turunen ja Magnus Stagnäs</i>	315
Opas puhtausluokan P1-mukaiseen rakennuttamiseen ja valvontaan <i>Juha Takkunen</i>	321
Ohjeita koulutyöhön sisäilmatilanteessa <i>Anniina Salmela, Kaisa Jalkanen ja Anne Hyvärinen</i>	327

AVAUS

MUUTOKSET SISÄILMAAN LIITTYVÄSSÄ OIREILUSSA, TERVEYSHUOLESSA SEKÄ KÄSITYKSISSÄ VUOSIEN 2018 JA 2022 VÄLILLÄ

Juha Pekkanen^{1,2}, Sanna Selinheimo³, Kati Huttunen², Vuokko Härämä², Anniina Salmela² ja Einar Eidstø¹

¹Kansanterveystieteen osasto, Helsingin yliopisto

²Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

³Työterveyslaitos

TIIVISTELMÄ

Kansallisen sisäilma- ja terveys -ohjelmassa 2018–2028 toteutettiin osana ohjelman arviointia väestökyselyt 25–64-vuotiaille suomalaisille vuosina 2018 ja 2022.

Tulosten perusteella sisäilmaan liittyvät oireet työpaikalla vähenivät, tyytyväisyys sisäilmaan parani ja erityisesti huoli sisäilman terveysvaikutuksista väheni vuosien 2018 ja 2022 välillä. Myös tiedot sisäilman terveysvaikutuksista paranivat hiukan. Muutokset olivat jonkun verran voimakkaampia naisilla, enemmän koulutetuilla, sosiaaliseen mediaan vähemmän luottavilla ja lievemmin oireilevilla.

Ohjelman vaikutuksia on vaikea erottaa muista selittäivistä tekijöistä, mutta tulokset antavat viitettä siitä, että paikallisten ja kansallisten tahojen tehostunut toiminta on osaltaan vaikuttanut havaittuihin myönteisiin muutoksiin sisäilmatilanteessa.

JOHDANTO

Viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana Suomessa on panostettu paljon sisäilman laadun parantamiseen, erityisesti rakennusten home- ja kosteusvaurioiden tunnistamiseen ja korjaamiseen /1,2/. Vaikka useimpien sisäilman epäpuhtauksien pitoisuudet ovat Suomessa alhaisemmat kuin muualla Euroopassa /3/, sisäilmaan tai rakennukseen liittyvä oireilu /4,5/ ja huolestuneisuus sisäilman terveysvaikutuksista /6,7/ ovat kuitenkin yleisiä. Sisäilmaan liittyviä asioita on käsitelty mediassa paljon /8/, ja väärinkäsitykset sisäilmaan liittyvistä terveysriskeistä ovat yleisiä väestössä /9/. Sisäilmaan liittyvien oireiden yksilön terveyteen ja hyvinvointiin kohdistuvien haittojen lisäksi /10/ huono sisäilman laatu aiheuttaa myös huomattavan taloudellisen taakan yhteiskunnalle muun muassa tuottavuuden alenemisen kautta /11/.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos käynnisti keväällä 2017 Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelman 2018–2028 /1,2/ valmistelun yhdessä useiden sidosryhmien ja yhteistyökumppaneiden, kuten Työterveyslaitoksen, kanssa. Ohjelman suunnittelu syksyllä 2017 ja keväällä 2018 koostui useista työtapaamisista ja työpajoista, laajoista suunnittelukokouksista ja sidosryhmien kuulemisista, jotka pohjautuivat käytettyyn loogisen viitekehyksen (logical framework approach) menetelmään. Lisäksi kirjoitettiin useita katsauksia.

Sisäilma ja terveys -ohjelman päätavoitteena on vähentää sisäilmaan liittyvää oireilua sekä lisätä tyytyväisyyttä sisäilman laatuun. Jo ohjelman suunnitteluvaiheessa havaittiin, että pelkkä sisäilman häiritsevien tekijöiden vähentäminen ei riitä, vaan tarvitaan

muutakin toimia /1,2/. Ohjelman tavoitteet oli tarkoitus saavuttaa toimilla neljällä osa-alueella: tiedottaminen suurelle yleisölle (1), rakennusten sisäilmaan liittyvien ongelmien hallinta (2), sisäympäristöstä oireilevien ja sisäympäristöstä haittaa kokevien hoidon sekä toiminta- ja työkyvyn parantaminen (3) sekä toimijoiden koulutus ja osaamisen vahvistaminen sisäympäristöön liittyvissä asioissa (4). Ensisijaisen tavoitteen toteutumista ja toimia seurataan ennalta määrätyillä mittareilla. Pää tavoitteessa sekä alueilla 1 ja 2 etenemistä seurataan pääosin kyselytutkimuksilla, kun taas alueilla 3 ja 4 edistymistä seurataan tulosindikaattoreilla eli sitä varten suunniteltujen toimien toteutumisella /1,2/.

Tässä julkaisussa raportoidaan tuloksia Kansallisista sisäilmakartoituksista, jotka tehtiin ohjelman alussa vuonna 2018 ja toistettiin vuonna 2022, osana ohjelman väliarviointia. Ensisijaisesti raportoidaan muutoksia ohjelman indikaattoreissa (oireet, havaittu sisäilman laatu), väestön näkemyksissä kuntien sisäilmaan liittyvistä toimista sekä tiedoissa sisäilman terveysvaikutuksista, jotka liittyvät pääasiassa ohjelman alueisiin 1 ja 2.

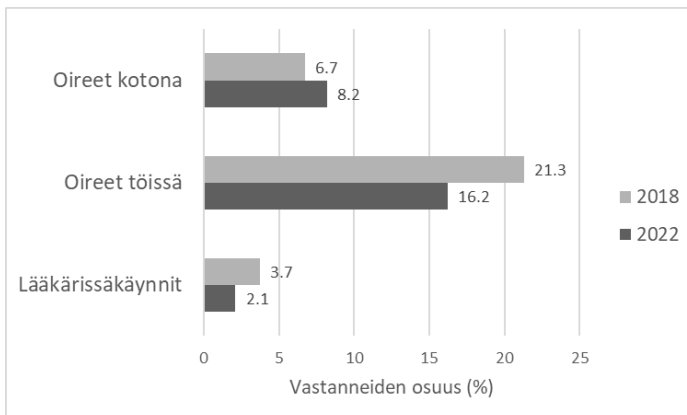
MENETELMÄT

Kansalliset sisäilmakartoitukset toteutettiin vuosina 2018 ja 2022, jolloin kyselylomake lähetettiin postitse ja sähköisesti 4997 ja 5000 Manner-Suomessa asuvalle 25-64 vuotiaalle henkilölle, joista 1797 (36 %) ja 1616 (32 %) henkilöä vastasi kyselyyn.

Tutkimuspopulaatioiden välisiä eroja vuosien 2018 ja 2022 välillä testattiin tilastollisesti käyttämällä binomiaalista ja multinomiaalista logistista regressiota. Kaikki analyysit vakioitiin iän, sukupuolen ja koulutuksen mukaan. Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM SPSS 28.0 -tilasto-ohjelmalla (SPSS, Illinois, Chicago, IL).

TULOKSET

Sisäilmaan liittyvien oireiden määrä väheni selvästi työpaikoilla, mutta ei muuttunut kotona (kuva 1). Lääkärisäkäynnit sisäilman takia vähenivät lähes puoleen.



Kuva 1. Kodin ja työpaikan sisäilmasta viimeisen 12 kuukauden aikana saatujen oireiden yleisyys sekä lääkärin tutkimuksessa tai hoidossa olemisen yleisyys 12 viime kuukauden aikana oireilun tai sairastelun takia, jonka on epäilty johtuvan pääasiassa huonosta sisäilmasta.

Myös tyytyväisyys sisäilman laatuun parani hiukan työpaikoilla, mutta ei kotona. Vuonna 2018 työpaikan sisäilman laatua piti hyvänä 58 % ja vuonna 2022 66 % vastaajista ($p=0,002$). Vastaavasti kodin sisäilman laatua piti hyvänä 84 % vastaajista vuonna 2018 ja 85 % vuonna 2022.

Viitteitä tilanteen paranemisesta saatiin laajemminkin (taulukko 1). Erityisen voimakkaasti muuttui yleinen suhtautuminen sisäilman terveysvaikutuksiin. Yhä harvempi oli erittäin huolestunut sisäilman terveysvaikutuksista Suomessa, halusi enemmän rahaa sisäilmaongelmien hoitoon tai koki, että sisäilmaongelmista aiheutuvia terveyshaittoja vähätellään.

Taulukko 1. Valikoituja tuloksien muutoksesta väestön käsityksissä ja tiedoissa koskien sisäilmaa ja sen terveysvaikutuksista. Kansallinen sisäilmakartoitus 2018 ja 2022.

	2018	2022	
Samaa mieltä alla olevista väitteistä:	%	%	p-arvo
Oman kuntani viranomaiset eivät ota sisäilmaongelmia riittävän vakavasti.	34,4	24,4	<0.001
Kuntani pitäisi laittaa enemmän rahaa sisäilmaongelmien hoitamiseen, vaikka se olisi pois muista palveluista.	50,8	34,4	<0.001
Sisäilmaongelmista aiheutuvia terveyshaittoja vähätellään Suomessa.	62,6	47,5	<0.001
Lähipiirissäni on keskusteltu paljon sisäilmaongelmista.	43,5	27,9	<0.001
Olen erittäin huolestunut sisäilman terveysvaikutuksista Suomessa.	45,8	26,8	<0.001
Tyytyväinen oman kunnan toimintaan sisäilma-asioissa	28,4	28,9	ns
Tyytyväinen oman kunnan toimintaan erityisesti seuraavissa sisäilmaan liittyvissä asioissa:			
Rakentamisen laatu ja kunnossapito	23,5	32,7	<0.001
Koulujen sisäilmaongelmien ratkaiseminen	25,5	31,5	<0.001
Sisäilma-asioista tiedottaminen	20,5	22,3	ns
Kunnan terveystarkastajien tekemät asuntotarkastukset	12,3	15,8	0,002
Niiden osuus, jotka olivat seuraavista väitteistä samaa/eri mieltä			
Sisäilman epäpuhtauksien arvioinnin tulee perustua ensisijaisesti rakennuksen tutkimiseen ja muihin mittauksiin, ei niinkään käyttäjien oireiluun (samaa mieltä)	43,7	48,2	<0.001
Vähäinenkin kosteusvaurio on niin haitallinen terveydelle, että asiaan on puututtava välittömästi (eri mieltä)	16,9	21,2	<0.001
Pelkkä huolestuminen sisäilman laadusta voi tuottaa sisäilmaoireilun kaltaista oireilua (samaa mieltä)	31,6	36,7	<0.001
Herkkyydestä saada oireita sisäilmasta voi parantua (samaa mieltä)	15,7	17,5	0,029

Sen sijaan kysymykset koskien tyytyväisyyttä oman kunnan toimintaan sisäilma-asioissa tuottivat ristiriitaisen tuloksen. Yleinen tyytyväisyys ei lisääntynyt, mutta kysyttäessä neljää eri osa-aluetta, tyytyväisyys lisääntyi kaikilla paitsi yhdellä osa-alueella (taulukko 1).

Väestön käsityksissä ja tiedoissa koskien sisäilman terveysvaikutuksia havaittiin jonkin verran paranemista. Kaikissa esitetyssä 11 väitteessä havaittiin muutosta kohti käsityksiä, jotka vastaavat tutkittua tietoa /9/. Muutokset olivat kuitenkin pienempiä kuin yleisessä suhtautumisessa sisäilman terveysvaikutuksiin (taulukko 1).

Joitain tilastollisesti vähintään lähes merkitseviä ($p<0,1$) eroja havaittiin muutosten suhteellisissa suuruuksissa eri alaryhmien välillä. Naisilla ja korkeakoulututkinnon suorittaneilla oli yleensä suurempia muutoksia tarkastelluissa muuttujissa kuin miehillä

ja niillä, joilla ei ole korkeakoulututkintoa. Sen sijaan sosiaaliseen mediaan paljon luottavilla ja vaikeammista oireista kärsivillä muutokset olivat yleensä pienempiä kuin sosiaaliseen mediaan vähemmän luottavilla ja lievemmistä oireista kärsivillä.

POHDINTA

Tulosten mukaan monissa sisäilman terveysvaikutuksiin liittyvissä mittareissa on tapahtunut muutosta parempaan suuntaan viimeisen neljän-viiden vuoden aikana. Sisäilmaan liitetty oireilu, lääkärikäynnit, tyytymättömyys ja huoli vähenivät. Lisäksi väestön käsitykset ja tiedot sisäilman terveysvaikutuksista lähenivät jonkin verran tutkittua tietoa.

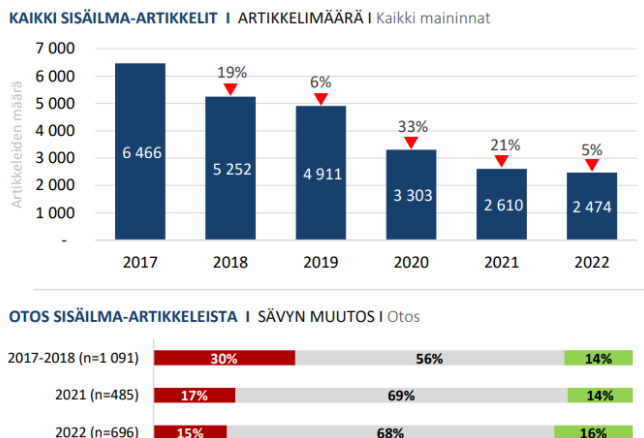
Havaittuihin muutoksiin on todennäköisesti hyvin monia syitä, kuten keväällä 2020 alkanut koronapandemia, joka on johtanut etätyön lisääntymiseen. On kuitenkin mahdollista, että tilanteen rauhoittumiseen on vaikuttanut myös sisäilmaongelmien vähentämiseksi tehty työ sekä paikallisesti että kansallisesti.

Kunnat ovat panostaneet viime vuosina voimakkaasti omistamiensa rakennusten sisäilman laatuun ja ongelmien määrä on saatu laskuun /12/. Kunnat ovat investoineet muun muassa kiinteistökannan uudistamiseen ja peruskorjauksiin. Erityisesti koulu- ja päiväkotirakennuksia on korvattu uudisrakennuksilla alle 20 000 asukkaan kunnissa. Selkeiden sisäilmaprosessien kehittämisen ja käyttöönoton sekä pitkäjänteisen työn paremman sisäilman hyväksi nähdään tuoneen myös tulosta. Lisäksi nopeaa reagoitua sisäilmaan liittyviin ilmoituksiin ja lisäresursseja sisäilmatyöhön on pidetty merkittävänä.

Terveystieteiden toimintaa on helpottanut vuonna 2017 julkaistu Käypä hoito -suositus koskien kosteusvaurioista oireilevaa potilasta /13/. Vuonna 2018 käynnistyi valtioneuvoston Terveet tilat 2028-ohjelma (tilatjaterveys.fi), jonka tavoitteena on tervehdyttää julkinen kiinteistökanta ja vakiinnuttaa julkiseen kiinteistönpitoon sisäilmaongelmia ennaltaehkäisevä toimintatapa. Myös rakentamisen lainsäädäntöä ja ohjeistusta on parannettu. Vuonna 2018 aloitti myös Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen koordinoima Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma 2018–2028(thl.fi/sisailmaohjelma), jonka toimintaa kuvattiin johdannossa.

Sisäilmaan liittyvään oireiluun ja koettuun sisäilman laatuun liittyvät paitsi sisäilman epäpuhtaudet, monet muutkin asiat, kuten sisäympäristön viihtyisyys, omat voimavarat ja stressin määrä /5, 14, 15/ sekä käsitykset sisäilman haitallisuudesta /16/. Etätyön lisääntyminen on myös voinut vähentää työpaikalla koettuja oireita, mutta etätyöllä on todennäköisesti vähemmän vaikutusta käsityksiin sisäilman haitallisuudesta.

Sen sijaan tiedotusvälineillä on osoitettu olevan merkittävä vaikutus huoleen terveysvaikutuksista, joita ympäristöaltisteiden oletetaan aiheuttavan /17/. Sisäilmaan kohdistuva uutisointi on Suomessa vähentynyt viimeisen 5–6 vuoden aikana ja uutisoinnin sävy on muuttunut neutraalimmaksi (kuva 2). Uutisten väheneminen ja muuttuminen neutraalimmaksi onkin hyvin mahdollisesti yksi tekijä muutosten takana, joka osaltaan välittää ongelmatilanteiden vähenemisen, lisääntyneen tiedottamisen, ohjeiden ja koulutuksen vaikutusta.



Kuva 2. Sisäilmaan liittyvien uutisten määrä ja sävy tiedotusvälineissä vuosina 2017–2022 /8/.

LÄHDELUETTELO

1. Lampi J ja Pekkanen J. Terve ihminen terveissä tiloissa: Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma 2018–2028. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Raportti 8/2018.
2. Lampi, J., A. Hyvarinen, M. Erhola, T. Haahtela, K. Haukipuro, U. Haverinen-Shaughnessy, K. Jalkanen, K. Karvala, S. Lappalainen, K. Reijula, H. Ramo, M. Sainio, A. Salmela, M. Salminen, T. Vasankari, and J. Pekkanen. 2020. 'Healthy people in healthy premises: the Finnish Indoor Air and Health Programme 2018-2028', Clin Transl Allergy, 10: 4.
3. Haverinen-Shaughnessy U, Leppänen H, Salmela A, Hyvärinen A. Altistuminen sisäympäristössä– yleisyys Suomessa ja Pohjoismaissa. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL), Työpaperi 20/2020
4. Pekkanen J, Karvonen A, Jousilahti P, Laatikainen T. Sisäilmaoireet. Terve Suomi-tutkimuksen tuloksia. Haettu 7.12. 2023 osoitteesta: https://repo.thl.fi/sites/tervesuomi/ilmioraportit_2023/sisailmaoireet.html
5. Eidstø E, Selinheimo S, Lampi J, Salmela A, Pekkanen J. The continuum of severity of functional impairment due to indoor air symptoms: prevalence and determinants, *J Occup Environ Med*: 2023;65(9):717-724
6. Nissila, JJ, K. Savelieva, J. Lampi, S. Ung-Lanki, M. Elovainio, and J. Pekkanen. 2019. 'Parental worry about indoor air quality and student symptom reporting in primary schools with or without indoor air quality problems', *Indoor Air*, 29: 865-73.
7. Selinheimo, S., J. Lampi, and J. Pekkanen. 2021. 'Parent's self-reported indoor environment-related symptoms and health worry increase symptom reports among their children at school-Study in two independent populations', *Indoor Air*, 31: 1298-307.

8. Meltwater. (2023). Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma 2018–2028: Medianäkyvyyden analyysi vuosina 2017–2022. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Haettu 29.9.2023 osoitteesta: <https://thl.fi/fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimukset-ja-hankkeet/kansallinen-sisailma-ja-terveys-ohjelma-2018-2028/ohjelman-tuotokset>.
9. Pekkanen, Juha, Anniina Salmela, Anne Hyvärinen, Anne M Karvonen, Hanna Leppänen, Tuula Vasankari, Aki Vuokko, Kaisa Wallenius, and Kati Huttunen. 2023. 'Faktantarkistusta: sisäilma ja terveys', Duodecim, 139: 31-37.
10. Selinheimo, S., A. Vuokko, C. Hublin, H. Jarnefelt, K. Karvala, M. Sainio, H. Suojalehto, J. Suvisaari, and T. Paunio. 2019. 'Health-related quality among life of employees with persistent nonspecific indoor-air-associated health complaints', J Psychosom Res, 122: 112-20.
11. Al Horr, Yousef, Mohammed Arif, Amit Kaushik, Ahmed Mazroei, Martha Katafygiotou, and Esam Elsarrag. 2016. 'Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature', Building and environment, 105: 369-89.
12. Salmela A, Mäntynen K. 2023. Kuntakiinteistöjen sisäilman laatu – kuinka tilanne on kehittynyt viime vuosina? Ympäristö ja terveys -lehti, 5/2023.
13. Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas. (2017). Käypä hoito -suositus. Suomalaisen lääkäriseuran Duodecimin asettama työryhmä
14. Sakellaris I, Saraga D, Mandin C, ym. Association of subjective health symptoms with indoor air quality in European office buildings: The OFFICAIR project. Indoor Air 2021; 31:426–39.
15. Viljoen M, Thomas BL. Low-grade systemic inflammation and the workplace. Work 2021;69(3):903-915.
16. Louhiala P, Pekkanen J, Elovainio M, ym. Nosebon monet kasvot. Duodecim 2020; 136:1333–8.
17. Witthöft M, Freitag I. Nussbaum C. Brascher AK, Jasper F, Bailer J, Rubin GJ. On the origin of worries about modern health hazards: Experimental evidence for a conjoint influence of media reports and personality traits Psychol Health 2018;33: 361-80

SISÄILMAAN LIITTYVÄN OIREILUN JA SAIRASTUMISEN DIAGNOSOINTI, HOITO JA KUNTOUTUS: KONSESSUSSUOSITUS PÄHKINÄNKUORESSA

Kati Huttunen^{1,2}, Tuomas Sorto^{1,3}, Jorma Komulainen⁴, Sirkku Pikkujämsä¹ ja Taneli Puumalainen¹

¹Sosiaali- ja terveysministeriö

²Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

³Pirte

⁴Suomalainen Lääkäriseura Duodecim

TIIVISTELMÄ

Sosiaali- ja terveysministeriön asettama työryhmä on laatinut sisäilmaan liittyvän oireilun ja sairastumisen hoitosuosituksen. Suosituksessa on päivitetty vuonna 2007 julkaistun Majvik 2 -suosituksen sisältöä, ja laajennettu suositus kattamaan kosteus- ja mikrobivaurioiden lisäksi myös muita oireiluun vaikuttavia kemiallisia, fysikaalisia ja psykososiaalisia tekijöitä. Konsensus suositus koostuu työryhmän määrittelemiin ydinkysymyksiin liittyvästä taustatekstistä ja kunkin ydinkysymyksen olennaisimmat kohdat tiivistävistä lähtökohta- ja suosituslauseista. Suosituksissa nousi esille erityisesti systemaattisen sisäympäristön kunnossapidon, kuuntelevan kohtaamisen, toimivan perusterveydenhuollon ja moniammatillisen yhteistyön merkitys oireilun ehkäisyssä ja hoidossa.

TAUSTAA

Suomi on monessa suhteessa edelläkävijä ilmanlaadun suhteen, sillä ulkoilman laatu on Suomessa maailmanlaajuisestikin erinomaista /1/ ja huonokuntoisissa asunnoissa elävän väestön osuus pienin Euroopassa /2/. Suomessa on panostettu sisäilmatutkimukseen ja ohjeistukseen jo vuosikymmeniä, minkä ansiosta sisäilman laatu Suomessa on yleisesti ottaen hyvällä tasolla. Sisäilman merkitys terveyden kannalta myös tiedostetaan hyvin, sillä sisäilmaongelmat ovat olleet paljon esillä julkisuudessa. Suomessa raportoidaan kuitenkin sisäilmaan liittyviä oireita useammin, mitä sisäilman laadun perusteella voisi olettaa /3/.

Ensimmäinen kokoelma sisäilmaan liittyvien oireiden hoitosuosituksia julkaistiin jo yli 25 vuotta sitten Majvikissa pidetyn seminaarin jälkeen /4/. Vuonna 2007 suositusta päivitettiin /5/, ja vuonna 2016 julkaistiin lisäksi ensimmäinen sisäilmaan liittyvä Käypä hoito –suositus /6/. Kaikissa näissä suosituksissa keskityttiin nimenomaan kosteus- ja homevaurioituneisiin rakennuksiin liittyvään oireiluun, mutta tutkimustiedon kertyessä on alettu ymmärtää, että monitahoista ongelmaa tulisi lähestyä kokonaisvaltaisemmalla tavalla, ottaen huomioon muitakin samanaikaisesti tilanteeseen vaikuttavia tekijöitä.

Vuonna 2022 eduskunta osoitti sosiaali- ja terveysministeriölle määrärahan sisäilmaan liittyvän oireilun ja sairastumisen hoitosuositusten päivittämiseen ajantasaisen tutkimustiedon perusteella. Työryhmän toimeksiannossa pyydettiin keskittymään yleisimpiin sisäilma-altisteisiin ja niihin liittyviin tärkeimpiin sairauksiin ja

oireityyppeihin nimenomaan suomalaisissa olosuhteissa. Suositusten toivottiin ottavan kantaa erityisesti pitkittyneeseen, toimintakykyä haittaavaan oireiluun rakennuksissa, monitekijäisyyteen sekä altistustekijöiden lisäksi vaikuttaviin muihin riskitekijöihin.

Rakennusten kunnon tutkimiseen liittyvät aiheet, sosiaalietuudet ja työelämän sopimus- ja lainsäädäntöön liittyvät kysymykset rajattiin toimeksiannon ulkopuolelle, mutta suosituksen toivottiin ottavan huomioon, kuinka sosiaaliturvan palvelut ja etuudet tukevat sisäilmasta oireilevien hoitoa ja kuntoutusta.

Työn tavoitteena oli muodostaa uusimpaan tutkimustietoon perustuva, kattava hoitosuositus yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa. Suosituksen kohderyhmänä on terveydenhuollon ammattilaiset, mutta suositukseen pyrittiin kokoamaan näkökulmia ja taustamateriaalia, joista olisi hyötyä myös muille kuin terveydenhuollossa työskenteleville.

MENETELMÄT

Työryhmän muodostaminen ja tiedonhaku

Sosiaali- ja terveysministeriö pyysi työryhmän jäsenistä esityksiä sisäilman terveysvaikutuksiin liittyvää tutkimusta tekevilta yliopistoilta ja asiantuntijalaitoksilta, lääkärilyhdistyksiltä sekä potilasjärjestöiltä. Työryhmään nimettiin 19 varsinaista jäsentä, kaksi asiantuntijajäsentä sekä kirjoitusryhmä, johon kuului puheenjohtaja, kaksi varapuheenjohtajaa sekä kaksi asiantuntijasihteeriä.

Kirjoittajaryhmä teki laajan kirjallisuushaun sisäilmaan ja terveyteen liittyen käyttäen esimerkiksi hakusanoja oireet, sairaudet, hengitystiesairaudet, hengitystieoireet, astma, hengityksen vinkuminen, yskä, nuha, herkistyminen, allergia, allerginen alveoliitti, syöpä, reuma, niveltulehdus, autoimmuunisairaudet, väsymys, pahoinvointi, päänsärky ja äänen käheys. Sisäilmaa ja terveyttä yleisesti koskevan kirjallisuushaun tuloksena löytyneet artikkelit ryhmiteltiin aiheittain, ja niitä hyödynnettiin suosituksen taustamateriaaliksi tarkoitetun narratiivisen kirjallisuuskatsauksen aineistona.

Kirjallisuudesta rajattiin pois Suomen olosuhteissa epätyypilliset altisteet ja olosuhteet, kuten esimerkiksi sisätilassa käytettyjen kiinteiden polttoaineiden päästöt sekä trooppisiin alueisiin liittyvät tutkimukset. Kirjallisuudesta karsittiin myös tutkimukset niiden sairauksien hoitomenetelmistä, joiden hoitokäytännöt ovat jo vakiintuneet; esimerkiksi keuhkosityövän hoitoon on jo oma kansallinen hoitosuosituksensa. Sisäilman välityksellä leviävien, mutta ei suoraan rakennuksiin liittyvien infektioautien (esim. COVID-19) hoito jätettiin myös suosituksen ulkopuolelle.

Sisäilmaan liittyvän oireilun ja ympäristöherkkyyden hoitomenetelmiin liittyen kirjallisuuskatsaus tehtiin systemaattisesti, ja haun tulokset koottiin taulukkoon. Hoitomenetelmiä haettiin liittyen termeihin sairas talo –oireyhtymä, monikemikaaliherkkyys, kosteus- ja homeherkkyys -oireyhtymä, ympäristöherkkyys, ympäristösairaus. Systemaattiseen katsaukseen otettiin mukaan sisäilmaan liittyvän oireilun ja monikemikaaliherkkyyden hoitomenetelmiä koskevat artikkelit, eli esimerkiksi sähköherkkyyden hoitomenetelmiä koskevat artikkelit karsittiin pois.

Hoitomenetelmiin liittyvää kirjallisuutta haettiin lisäksi toiminnallisten häiriöiden, lääketieteellisesti selittämättömien oireiden, neuroherkistymisen, ympäristöherkkyyden ja mykotoksikoosin hoitoon liittyen. Tästä kirjallisuudesta ei tehty systemaattista

kirjallisuuskatsausta, mutta keskeisiä katsausartikkeleita koottiin taulukkoon ja hyödynnettiin taustatekstin kokoamisessa.

Kirjallisuuskatsauksen lisäksi eri aiheiden asiantuntijoita haastateltiin sekä pyydettiin kommentoimaan taustatekstin luonnoksia esimerkiksi liittyen nykyisiin käytäntöihin, katvealueisiin ja parannusehdotuksiin.

Konsensusprosessi ja ydinkysymykset

Työryhmä noudatti työskentelyssään Suomalaisen Lääkäriseura Duodecimin käyttämää konsensus-suositusprosessia, jossa pyritään huolelliseen taustoittamiseen, kysymysten systemaattiseen käsittelyyn ja konsensuksen löytämiseen myös aiheisiin, joista työryhmä ei ole yksimielinen /7/. Prosessin alkaessa työryhmä valitsi ydinkysymykset, joihin liittyen kirjoittajaryhmä kokosi tausta-aineistoa ja ehdotti suosituslauseita. Työryhmän äänestyksen ja keskustelun perusteella ehdotus suosituslauseesta joko hylättiin, hyväksyttiin tai muotoiltiin uudestaan. Suositukseen otettiin mukaan vain lausekkeet, jotka vähintään 75 % työryhmästä hyväksyi. Suosituslauseiden lopullisia sanamuotoja työstettiin vielä kokouksissa, ja usein ehdotettuihin lauseisiin tehtiin vielä merkittäviäkin muutoksia työryhmän keskustelun perusteella.

Lopullinen lista ydinkysymyksistä sisälsi kahdeksan kohtaa:

1. Mitkä ovat Suomessa tärkeimmät sisäilmaoireisiin liittyvät tekijät?
2. Mitkä ovat tärkeimmät sisäilmaan liittyvät oireityypit, sairaudet ja vaikutukset toimintakykyyn?
3. Kuinka sisäilmaan liittyviä terveyshaittoja ehkäistään?
4. Miten sisäilmaan liittyvää oireilua selvitetään ja diagnosoidaan?
5. Kuinka sisäilmasta oireilevia hoidetaan ja kuntoutetaan?
6. Miten sisäilmasta oireilevien toiminta- ja työkykyä arvioidaan ja tuetaan?
7. Kuinka terveydenhuollossa otetaan huomioon erityisryhmät, kuten lapset ja nuoret?
8. Miten sisäilmasta oireilevien sosiaali- ja terveydenhuoltoa tulisi jatkossa kehittää?

SUOSITUS

Suosituksen läpileikkaavat teemat

Hoitosuositus koostuu neljästä lähtökohtalauseesta ja 52 suosituslauseesta, jotka perustuvat ydinkysymyksiin liittyvästä kirjallisuudesta koostettuun taustatekstiin.

Läpileikkaavina teemoina useissa suosituslauseissa nousi esille ongelmien ennaltaehkäisy, potilaan kohtaaminen, moniammatillinen yhteistyö ja eri tekijöiden kokonaisvaltainen huomioiminen:

- Laadukkaaseen sisäilmaan kannattaa panostaa, koska se vaikuttaa myönteisesti terveydentilan lisäksi viihtyvyyteen, oppimiseen ja työn tuottavuuteen. Sisäilmaan liittyvää oireilua voidaan ennaltaehkäistä ja vähentää huolehtimalla systemaattisesti sisäympäristön kunnosta, korjaamalla havaitut puutteet ripeästi ja viestimällä avoimesti.

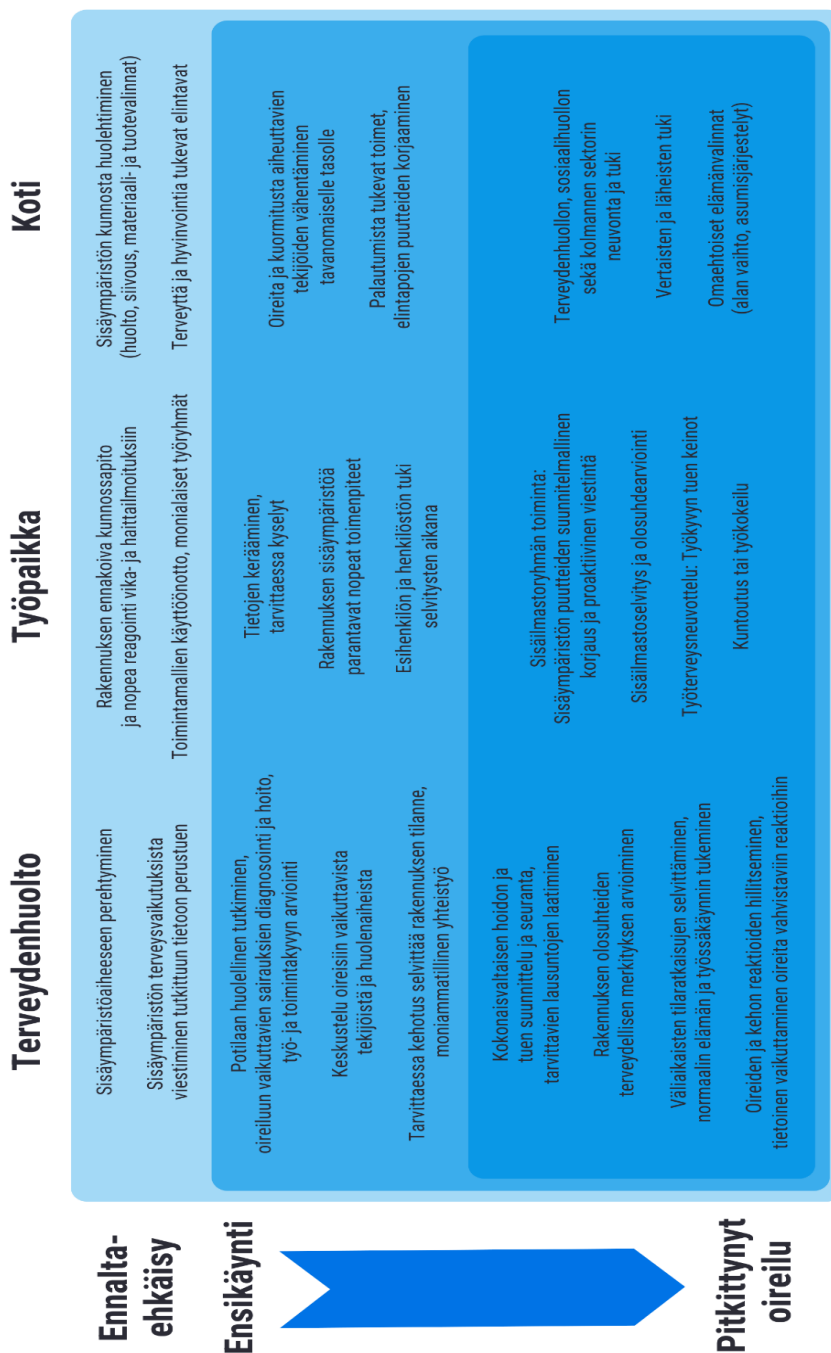
- Sisäilmasta oireilevaa potilasta on tärkeää kuunnella ja tutkia huolellisesti sekä hoitaa hoitosuosituksen mukaisesti, ensisijaisesti terveydenhuollon perustasolla.
- Sisäilmasta oireilevan potilaan tutkimiseen ja hoitoon voidaan tarvita monialaista yhteistyötä. Perusterveydenhuollon, työterveyshuollon ja opiskeluterveydenhuollon osaamista sekä yhteistyötä erikoissairaanhoidon ja ympäristöterveydenhuollon kanssa on siksi tärkeää kehittää johdonmukaisesti.
- Sisäilmasta oireilevan ihmisen tilanteeseen vaikuttavat sisäympäristön haittatekijöiden lisäksi monet yksilöön ja yhteisöön liittyvät tekijät, jotka on huomioitava kokonaisuutena. Väestön tautitaakan kannalta merkittävimpiä kroonisten sairauksien riskiä lisääviä sisäympäristön altisteita ovat radon, pienhiukkaset, passiivinen tupakointi ja kosteusvauriot.
- Sisäilmaan liittyvät oireet ovat yleisiä sekä valtaosin lieviä ja ohimeneviä. Joillakin potilailla oireet voivat kuitenkin pitkittyä ja heikentää merkittävästi elämänlaatua ja toimintakykyä.
- Pitkittyneestikin oireilevia potilaita pystytään auttamaan, mutta varsinkin kuntoutusmenetelmistä tarvitaan vielä lisää tietoa. Onnistuneen kuntoutumisen perusta on kuunteleva kohtaaminen, toimiva hoitosuhde ja yksilöllinen tuki.

Rajoitukset ja puutteet

Sisäilmaan liittyen on julkaistu viime vuosikymmenien aikana yli parituhatta tieteellistä artikkelia, kansallista ohjeistusta ja raporttia, joten systemaattinen katsaus kirjallisuudesta ilman tarkempaa rajausta ei ollut mahdollista toteuttaa työryhmän aikataulun puitteissa. Narratiivista kirjallisuuskatsausta painotettiin uudempiin julkaisuihin, katsausartikkeleihin ja Suomea koskeviin raportteihin, jotta laaja aihealue saatiin kuitenkin käsiteltyä edustavasti. Sisäilmaoireilun hoitomenetelmiä koskeva kirjallisuushaku tehtiin systemaattisesti, eli nimenomaan hoitoa koskevat julkaisut on otettu suositusten valmistelussa huomioon kattavasti.

Konsensusprosessin mukaisesti suosituslauseita on työstetty edustamaan mahdollisimman hyvin koko ryhmälle hyväksyttäviä sanamuotoja. Konsensuskseen pyrkiminen johtaa käytännössä siihen, että monet suosituslauseet ovat yleisluontoisia ja terveydenhuollon ammattilaisille usein ennestäänkin tuttuja. Itsestään selvienkin asioiden kirjaaminen suositukseen toimii kuitenkin hyvänä muistutuksena ja koosteena asiantuntijoille, sekä ymmärrettävänä informaatiopakettina kansalaisille.

Pitkittyneen sisäilmaoireilun hoitomenetelmistä ja syntymekanismeista ei ole vielä saatavilla tarpeeksi tutkimusnäyttöä vahvojen suositusten tai hoitolinjausten muodostamiseen. Hoitosuosituksiin pystyttiin kuitenkin sisällyttämään toimintaohjeita ja ehdotuksia hoitomenetelmistä perustuen samankaltaisten oireyhtymien hoidosta kertyneeseen tutkimustietoon ja oireilevia potilaita hoitaneiden lääkäreiden kliiniseen kokemukseen vuosien ajalta.



Kuva 1. Terveystuhoon, työpaikan ja muiden tahojen toimia sisäilmasta oireilevan potilaan tukemiseksi. Taulukon keinoista voidaan valita potilaan yksilölliseen tilanteeseen sopivia kokonaisuuksia, alkaen ennaltaehkäisevistä ja kevyemmistä tukitoimista.

Esimerkkejä suositelluista tukitoimista

Oireilevaa potilasta voidaan tukea niin terveydenhuollon, työpaikan, sosiaalihuollon kuin kolmannen sektorinkin toimesta. Kaikkien toimenpiteiden perustana on oireilun ennaltaehkäisy rakennusten kunnossapidon, viestinnän, koulutuksen, toimintamallien käyttöönoton ja terveyttä tukevien valintojen avulla. Oireilevan potilaan huolellisen tutkimisen ja oireiluun vaikuttavien sairauksien hoidon ohella tukemiseen valitaan sopivia kokonaisuuksia, alkaen kevyemmistä tukitoimista ja soveltaen yksilöllisen tilanteen mukaan (Kuva 1).

YHTEENVETO

Konsensusprosessin avulla ristiriitaisiakin mielipiteitä herättävästä aiheesta pystyttiin muodostamaan tutkimus- ja asiantuntijatietoon perustuva hoitosuositus, jossa on otettu huomioon eri sidosryhmien näkökantoja mahdollisimman laajalti. Sisäilmaan liittyvän oireilun hoito edellyttää kokonaisvaltaisempaa, biopsykososiaalista lähestymistapaa, jossa otetaan huomioon ongelmatilanteisiin liittyvät biologiset, psykologiset ja sosiaaliset tekijät. Suosituksissa nousi esille erityisesti systemaattisen sisäympäristön kunnossapidon, kuuntelevan kohtaamisen, toimivan perusterveydenhuollon ja moniammatillisen yhteistyön merkitys oireilun ehkäisyssä ja hoidossa.

KIITOKSET

Lämmin kiitos työryhmän jäsenille ja suositusta kommentoineille asiantuntijoille. Suosituksen tekemistä ovat rahoittaneet eduskunta ja Terveet tilat 2028 –ohjelma.

LÄHDELUETTELO

1. WHO 2022. WHO Air quality database, update 2022. (viitattu 10.1.2024) <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database/2022>.
2. Eurostat. 2020. *EU statistics on income and living conditions (SILC) -survey*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/housing-2023>
3. Lampi J., Hyvärinen A., Erhola M., ym. 2020. Healthy people in healthy premises: the Finnish Indoor Air and Health Programme 2018–2028. *Clinical and Translational Allergy* 10, 4.
4. Elg P., Forss P., Haahtela T. ym. 1998 Majvikin suositus: kosteusvauriomikrobien aiheuttamien oireiden selvittely. *Suomen Lääkärilehti* 98. s. 2149 - 55.
5. Alenius H., Haahtela T., Hakulinen A. ym. 2007 Majvik II: kosteusvauriomikrobeihin liittyvien oireiden selvittely. *Suomen Lääkärilehti* 62. s. 654 - 64.
6. Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2016 (viitattu 4.1.2024). Saatavilla internetissä: www.kaypahoito.fi
7. Huttunen K., Sorto T, Komulainen J., ym. 2023 Sisäilmaan liittyvän oireilun ja sairastumisen diagnosointi, hoito ja kuntoutus: kuinka konsensusuusi suositus tehdään? Sisäilmastoseminaari 2023, SIY raportti.

AJANKOHTAISTA SISÄILMA-ALALLA

KANSALLINEN SISÄILMA JA TERVEYS -OHJELMA

Anne Hyvärinen¹, Elisa Lautala¹, Kaisa Jalkanen¹, Kati Huttunen¹, Sanna Lappalainen², Elina Tulenheimo-Eklund², Aki Vuokko², Kristiina Kulha², Tuula Vasankari^{3,4}, Juha Pekkanen^{1,5} ja Anniina Salmela¹

¹Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

²Työterveyslaitos

³Keuhkosairauksien asiantuntijajärjestö Filha ry

⁴Turun yliopisto

⁵Helsingin yliopisto

TIIVISTELMÄ

Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma käynnistyi vuonna 2018. Ohjelmassa on sen alusta asti painotettu ihmisen terveyttä ja hyvinvointia, sisäilmahaittojen ehkäisyä sekä oireilevien kokonaisvaltaista hoitoa ja tukea. Ohjelman tähänastisen toimintakauden aikana on tuotettu ja jaettu laajasti tietoa neljällä ohjelman osa-alueella sisäilmatilanteiden ratkaisun tueksi sekä panostettu yhteistyöhön sisäilma aihealueella.

JOHDANTO

Kymmenvuotinen Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma käynnistyi vuonna 2018. Ohjelmassa on sen alusta asti painotettu ihmisen terveyttä ja hyvinvointia, sisäilmahaittojen ehkäisyä sekä oireilevien kokonaisvaltaista hoitoa ja tukea. Ohjelma koostuu neljästä osa-alueesta, joiden tavoitteena on lisätä ymmärrystä sisäympäristöjen terveys- ja hyvinvointivaikutuksista, kehittää sisäympäristöön liittyvien ongelmien hallintaa, parantaa sisäympäristöissä oireilevien ja sairaiden hoitoa sekä työ- ja toimintakykyä sekä vahvistaa ammattilaisten osaamista sisäympäristöasioissa. Ohjelman toimintakauden aikana on tuotettu laajasti tietoa ja materiaalia neljällä ohjelman osa-alueella sisäilmatilanteiden ratkaisun tueksi.

Vuonna 2022 ohjelman ensimmäinen vaihe tuli päätökseen ja käynnistettiin ohjelman väliarviointi, jolla pyritään arvioimaan muutosta Suomen sisäilmatilanteessa (Kuva 1). Ohjelman toimenpiteitä ja niiden vaikutuksia tarkastellaan 13.3.2024 järjestettävässä Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman väliarviointiseminaarissa. Ohjelman väliarvioinnin tulokset tulevat ohjaamaan Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman toimenpiteitä hyvän sisäympäristön puolesta seuraavan viiden vuoden ajan.



Lähde: THL 2018

Kuva 1. Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman kymmenvuotinen aikataulu.

Tähän artikkeliin on poimittu Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman toimia kuluneelta vuodelta sekä esimerkkejä tuotoksista kuluneelta viideltä vuodelta.

SISÄILMA-ASIOIDEN NYKYTILAA SUOMESSA SELVITETTIIN KYSELYILLÄ

Vuosien 2022 ja 2023 vaihteessa uusittiin kansalaisille suunnattu Kansallinen sisäilmakartoitus. Kysely lähetettiin 5 000:lle satunnaisesti valitulle Suomessa asuvalle henkilölle. Kyselyn avulla selvitettiin kansalaisten käsityksiä sisäympäristöihin liittyvistä terveysriskeistä sekä heidän kokemuksiaan sisäilman laadusta kodeissa ja työpaikoilla. Vastaava kysely toteutettiin vuonna 2018 /1/.

Myös kuntien kiinteistöjen sisäilmatilanne kartoitettiin kyselyllä yhteistyössä Kuntaliiton kanssa. Kysely lähetettiin kaikkiin Manner-Suomen kuntiin /2/. Vastaava kysely toteutettiin vuonna 2019 SisäNyt-hankkeessa /3/.

Kyselyiden tulosten perusteella sisäilma-asioissa on tapahtunut kohentumista. Väestön luottamus sisäilma asioiden hoitoon on lisääntynyt, terveyshuoli on vähentynyt ja oireilu työpaikoilla on vähentynyt /4/. Kunnat ovat puolestaan panostaneet muun muassa kiinteistökannan uudistamiseen ja peruskorjauksiin. Sisäilmatilanne on kunnissa kohentunut erityisesti kouluissa ja päiväkodeissa /2,5/

OHJELMA TUOTTI MATERIAALEJA ERI ALOJEN AMMATTILAISTEN TUEKSI

Ohjelmassa julkaistiin päivitetty ohje kouluille sisäilmatilanteisiin. Ohjeistukseen on lisätty tietoa siitä, kuinka oppilaita voidaan tukea tilanteessa, jossa sisäilmaan liitetty haitta koskee oppilasryhmää tai yksittäistä oppilasta /6/.

Lisäksi julkaistiin ohje päiväkotien johtajille siitä, mitä päiväkodin sisäilmaan liitetyn haitan selvittämisen eri vaiheissa yleisimmin tapahtuu ja mikä on päiväkodin johtajan rooli /7/. Ohjeessa käydään myös lyhyesti läpi tartuntatautien torjunta päiväkodeissa.

Yhteistyössä työpaikkojen edustajien kanssa on kehitetty työkyvyn tuen toimintamalli sisäilmatilanteisiin sekä ohjeet mallin käyttöönottoon työpaikoilla julkaistiin tänä syksynä /8/. Työkykyasioita tulisi käsitellä työpaikan sisäilmatilanteissa samalla tavoin kuin muissakin työkyvyn tuen tilanteissa.

Ammattikorkeakouluille suunnattu sisäilma-aiheinen sähköinen oppimateriaali koottiin, pilotoitiin ja julkaistiin hoitotyön opiskelijoiden (sairaanhoitaja- ja terveydenhoitajaopiskelijat) opetukseen.

OHJELMASSA JULKAISTIIN SELVITYKSET SISÄYMPÄRISTÖN SVOC-YHDISTEISTÄ JA PIENHIUKKASISTA

Suomalaisten altistumista puolihaihtuville orgaanisille yhdisteille (SVOC) selvitettiin laajassa aineistopohjaisessa katsauksessa /9/. SVOC-yhdisteisiin lukeutuu laaja kirjo kemikaaleja, joita käytetään erilaisissa kuluttajatuotteissa ja materiaaleissa mm. pintakäsittelyaineina, pehmentiminä ja palonsuoja-aineina. Katsauksen mukaan suomalaisten altistuminen SVOC-yhdisteille on pääasiassa hyväksyttävällä tasolla, mutta säännöllinen väestöseuranta on tarpeen.

Lisäksi ohjelmassa tarkasteltiin suomalaiskotien hiukkaspitoisuuksia eri tutkimushankkeissa tehtyjen mittausten pohjalta /10/. Ulkoilman hiukkasmaiset

ilmansaasteet ovat merkittävä ympäristöterveydellinen ongelma, ja hiukkasia kulkeutuu myös sisätiloihin. Sisäilman hiukkaslähteitä ovat myös muun muassa puunpoltto, tupakointi ja ruuanlaitto. Selvityksen mukaan Suomessa sisäilman hiukkaspitoisuudet ovat valtaosin alle nykyisen asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen.

OHJELMAN NYKYTILA JA JATKO

Kuluneen viiden vuoden aikana ohjelmassa on tuotettu valtava määrä materiaalia sisäilmatilanteiden ratkaisun ja ihmisten tueksi. Ohjeita on tehty aina kotitalouksista terveydenhuoltoon ja työpaikoille. Esimerkiksi työpaikoille osoitetut ohjeet Sisäilmastaselvitys ja olosuhtearviointi /11/ ja Terveydellisen merkityksen arviointi /12/ sisäilmatilanteissa on päivitetty sekä osaksi työpaikkojen työkykyjohtamista on tuotu työkyvyn tuen malli sisäilmatilanteisiin /8/. Terveysdenhuollon asiantuntijaryhmä on antanut kannanottoja ajankohtaisista sisäilmaan ja terveyteen liittyvistä aiheista /13/. Kouluille ja päiväkodeille on laadittu muun muassa toimintamalli sisäilmatilanteiden hallinnan tueksi /14/ ja Ohjeistus koulutyöhön sisäilmatilanteessa /6/. Erityisesti yksityishenkilöille ja asuntoihin on esimerkiksi Kosteus- ja mikrobivauriokorjausten jälkeinen siivous ja irtaimiston puhdistus -ohje /15/ sekä Toimintamalli asunnon sisäilmaa heikentävien tilanteiden hoitamiseen /16/. Myös energiansäästökysymykset asumisterveyden yhteydessä ovat olleet osa ohjelmaa /17/.

Koulutuksia on pidetty niin viranomaisille, terveydenhuollolle kuin työpaikoille. Terveysdenhuollolle on julkaistu koulutuskokonaisuus, joka perehdyttää terveydenhuollon ammattilaisen sisäilmaan liitettyyn oireiluun TerveyskyläPro:n verkkokurssilla. Entisiä sairaanhoitopiirejä on kierretty aktiivisesti ja tuotu osaksi koulutusta myös sisäilmateemat. Päivitä tietosi sisäilmasta! -webinaareilla on tavoitettu laaja joukko työpaikkojen ja työterveyden toimijoita sekä viranomaisia vuosien varrella. Työpaikan esihenkilöille ja työntekijöille on koottu Sisäilma työpaikalla -oppimateriaali /18/. Opetus- ja sosiaali- ja terveysalan liittoja sekä työmarkkinakeskusjärjestöjen edustajia on tavattu ajankohtaisten asioiden äärellä.

Ohjelmassa on myös julkaistu tutkittua tietoa muun muassa mineraalikuiduista toimistotyöympäristöissä työtiloissa, niiden esiintymisestä, altistumisen arvioinnista, terveysvaikutuksista ja päästöjen hallinnasta /19/ ja haihtuvista orgaanisista (VOC) /20–21/ sekä kodeissa, mikrobikasvuston selvittämiseen käytettävistä menetelmistä kosteusvauriokohteissa /22/ sekä kosteusvaurioindikaattorimikrobien roolista mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista sisäilmatilanteista /23/. Ohjelmassa on koottu tietoa myös väistö- ja erityispuhtaiden tilojen käytöstä työpaikkojen sisäilmasto-ongelmatilanteissa ja sisäilmasto- ja tilaratkaisuihin liittyvien toimintatapojen nykytilasta /24/ sekä hyvinvointiin vaikuttavista kuormitus- ja voimavaratekijöistä toimistoympäristössä /25/.

Ohjelma tulee tuottamaan edelleen ohjeistuksia ja tutkittua tietoa muun muassa kansalaisten, työpaikkojen, terveydenhuollon ja hyvinvointialueiden työn tueksi. Toimintaa suunnataan väliarvioinnin perusteella. Yksi selvä painopiste on ohjelmassa tuotettujen materiaalien ja toimien aktiivinen jalkauttaminen eri viestintäkanavissa ja kouluttamalla. Seuraavan viiden vuoden aikana tullaan myös huomioimaan kestävyys osana ohjelmaa sekä vaikuttamaan terveydensuojelulain kokonaisuudistukseen.

KIITOKSET

Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma haluaa kiittää niitä lukuisia tahoja, jotka ovat osallistumalla ohjelman sidosryhmätyöhön mahdollistaneet ohjelman toiminnan.

LÄHDELUETTELO

1. Kansallinen sisäilmakartoitus 2018 ja 2022. www.thl.fi/sisailmaohjelma.
2. Salmela ym. (2023) Kuntien sisäilmatilanne 2023. THL työpäperi 2024.
3. Salmela ym. (2019) Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä (SisäNyt). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:59.
4. Pekkanen ym. (2023) Muutokset sisäilmaan liittyvässä oireilussa, terveyshuolessa sekä käsityksissä vuosien 2018 ja 2022 välillä. Sisäilmayhdistyksen raportti 42.
5. Salmela A. ja Mäntynen K. (2023) Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma - hyvän sisäympäristön puolesta. Ympäristö ja terveys -lehti, 5/2023.
6. Salmela A, ym (2023) Ohjeistus koulutyöhön sisäilmatilanteessa. THL, Tutkimuksesta tiiviisti: 2023_033.
7. Salmela A, ym (2023) Ohje päiväkodin johtajille sisäilmatilanteeseen. THL, Tutkimuksesta tiiviisti: 2023_009.
8. Työterveyslaitos (2023) Työkyvyn tuki sisäilmatilanteissa. <https://www.ttl.fi/teemat/tyohyvinvointi-ja-tyokyky/sisailma/tyokyvyn-tuki-sisailmatilanteissa>.
9. Wallenius K, ym. (2023) Sisäympäristöissä esiintyvät puolihihihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC). Väestön altistuminen ja terveysriskit. Työterveyslaitos 2023.
10. Yli-Tuomi T, ym. (2023) Katsaus sisätilojen PM2.5- ja PM10-hiukkasista. THL, Työpäperi 2023_022.
11. Isokääntä P, ym. (2022) Sisäilmastaselvitys ja olosuhdearviointi: Ohje työpaikkojen sisäilmastaselvityksiä ja olosuhdearviointeja tekeville. Työterveyslaitos, Tietoa työstä.
12. Reijula K, ym. (2022) Terveystellisen merkityksen arviointi sisäilmatilanteissa. Työterveyslaitos, Tietoa työstä.
13. Terveystenhuollon asiantuntijaryhmä kannanotot 2020 ja 2021: Sisäilmasairaus-termin käyttölle ei ole lääketieteellisiä perusteita ja Sisäympäristöissä oireilevien siirto erityispuhtaisiin tiloihin – riskit ja selvitystarpeet. www.thl.fi/sisailmaohjelma.
14. Jalkanen K, ym. (2022) Sisäilmatilanteen selvitysprosessi koulussa ja päiväkodissa. THL, Tutkimuksesta tiiviisti: 2021_032.
15. Juntunen M, ym. (2021) Ohje asuntojen kosteus- ja mikrobivauriokorjausten jälkeiseen siivoukseen ja irtaimiston puhdistamiseen. THL, Tutkimuksesta tiiviisti: 2021_069. 19.
16. Jalkanen K, ym. (2022) Toimintamalli sisäilmatilanteiden hoitamiseen asunnoissa. THL, Tutkimuksesta tiiviisti: 2022_044.

17. Salmela A (2022) Huomioi energiasäästötoimien vaikutus asumisterveyteen. THL, Tiedä ja toimi.
18. Työterveyslaitos (2022) Sisäilma työpaikalla -oppimateriaali. <https://www.ttl.fi/oppimateriaalit/sisailma-tyopaikalla>.
19. Tuomi T, ym. (2020) Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa: Esiintyminen, altistumisen arviointi, terveysvaikutukset ja päästöjen hallinta. Työterveyslaitos, 2020.
20. Wallenius K, ym. (2021) Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä: Päästölähteet, mittausmenetelmät, pitoisuustasot ja terveysvaikutukset. Työterveyslaitos 2021.
21. Juntunen M, ym. (2022) Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa: Pitoisuustasot, yleisimmät yhdisteet ja terveysvaikutukset. THL, Työpaperi: 2022_005.
22. Leppänen H, ym. (2022) Mikrobikasvuston selvittämiseen käytettävät menetelmät kosteusvauriokohteissa: kirjallisuuskatsaus. THL, Työpaperi: 2022_056.
23. Viljamaa A, ym. (2022) Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista: aineistokatsaus. THL, Työpaperi: 2022_053.
24. Lappalainen S, ym. (2020) Väistö- ja erityispuhtaiden tilojen käyttö työpaikkojen sisäilmasto-ongelmatilanteissa: sisäilmasto- ja tilaratkaisuihin liittyvien toimintatapojen nykytilanne. Työterveyslaitos 2020.
25. Wallenius K, ym. (2023) Hyvinvointia ja työn sujumista tukevat sisäympäristötekijät toimistossa. Työterveyslaitos 2023.

VOC-SISÄILMANÄYTTEIDEN PITOISUUSTASOJEN TULKINTA JA HAASTEET. PALJONKO ON PALJON?

Arja Asikainen ja Hanna Marttila

Labroc Oy

TIIVISTELMÄ

Tutkimusaineisto koostui n. 1200 laboratoriossamme analysoidun VOC-ilmanäytteen tuloksista. Aineisto jaoteltiin kohteen/ilmanvaihdon mukaisesti neljään eri ryhmään: 1) toimistot/julkkiset rakennukset koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, 2) asunnot koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, 3) asunnot koneellisella poistoilmanvaihdolla ja 4) asunnot painovoimaisella ilmanvaihdolla. Aineistosta laskettujen TVOC-pitoisuuksien vertaaminen vastaavista aineistoista laskettuihin tunnuslukuihin osoitti, että tällaisen tutkimusaineiston käyttäminen yleisien viitearvojen luomiseen sisältää sekä aineistoihin että laskentamenetelmiin liittyviä eroja, jotka haastavat tulosten tulkintaa. Tulosten perusteella ilmanvaihdon vaikutus tulisi huomioida asuntojen osalta etsittäessä vastausta tavanomaisista pitoisuustasoista.

JOHDANTO

VOC-yhdisteitä (Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet) esiintyy hyvin yleisesti sisäilmassa vaihtelevina pitoisuuksina. VOC-yhdisteiden kirjo sisäilmassa on tavallisesti laaja, koska yhdisteiden lähteitä on elinympäristössämme kaikkialla. Sisäympäristöissä yleisimpiä lähteitä ovat erityisesti rakennusmateriaalit, maalit ja muut pintakäsittelyaineet, puhdistus- ja siivousaineet, kosmetiikka, huonekalut, tekstiilit ja ihmisen toiminta. Lisäksi liikenne ja teollisuus aiheuttavat VOC-päästöjä, jotka voivat ilmanvaihdon mukana kulkeutuvat sisätiloihin. /1,2/. Lähteiden monimuotoisuuden seurauksena sisäilmassa voi esiintyä satoja eri VOC-yhdisteitä ja niiden pitoisuudet voivat vaihdella kohteiden välillä huomattavasti.

VOC-sisäilmanäytteiden tulosten tulkintaa mutkistaa erityisesti mahdollisten lähteiden laaja kirjo sekä VOC-yhdisteiden analytiikkaan liittyvien menetelmien vaihtelevat yksityiskohdat. Työterveyslaitos on julkaissut yhteenvetoja heillä analysoitujen näytteiden pohjalta ja näiden yhteenvetojen tuloksia on hyödynnetty erilaisten viitearvojen /3/ ja Asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen /4/ määrittelyssä. Kyseisiä viitearvoja ja toimenpiderajoja käytetään tällä hetkellä myös muiden VOC-näytteitä analysoivien laboratoriorien tulosten tulkinnassa mutta mahdolliset erot näytteiden analytiikassa tuovat tähän vertailuun oman epävarmuutensa. Selkein yksittäinen haaste vertailtaessa yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia on tulosten laskennassa käytettävä menetelmä, joka voi perustua tolueenivasteeseen tai yhdisteen omaan vasteeseen. Näillä kahdella menetelmällä saatu pitoisuus voi olla yhdisteestä riippuen hyvin erilainen, ja tästä syystä omalla vasteella laskettuja viitearvoja ei voi suoraan verrata tolueenivasteella laskettuun tulokseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda yhteenveto laboratoriomme VOC-sisäilmanäytteiden tolueenivasteella lasketuista tuloksista. Tuloksia verrataan soveltuvilta osin Työterveyslaitoksen aineistoon perustuviin tuloksiin. Vertailulla

pyritään laajentamaan vastausta ”Paljonko on paljon VOC-yhdisteitä sisäilmanäytteissä” – kysymykseen ja pohtimaan analytiikan aiheuttamia haasteita tulosten tulkintaan ja vertailtavuuteen. Tämän lisäksi pohditaan ilmanvaihdotekniikan vaikutusta VOC-yhdisteiden esiintymiseen asuinrakennuksissa.

MATERIAALI JA MENETELMÄT

VOC-ilmanäytteiden analyysimenetelmä

Tutkimuksessa käytetyn aineiston VOC-ilmanäytteiden näytteenotto ja analysointi perustui ISO16000-5:2007 /5/ ja ISO16000-6:2021 /6/ standardeihin. Näytteet kerättiin Tenax-TA termodesorptioputkiin, jotka analysoitiin kaasukromatografilaitteistolla, johon oli yhdistetty massaselektiivinen detektori (TD-GC-MS). Yhdisteet tunnistettiin puhdasaineiden retentioaikojen sekä kirjastohaun perusteella (kirjasto nist02.L). TVOC-pitoisuus (Total Volatile Organic Compounds, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus) laskettiin summaamalla kaikki tolueenivasteella saadut pitoisuudet yhdisteille, jotka elutoituvat n-Heksaanin ja n-Heksadekaanin välillä ko. yhdisteet mukaan lukien. TVOC-pitoisuuteen sisältyy myös TXIB (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyyraatti), joka eluoituu käytetyllä kolonnilla ennen n-Heksadekaania. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet laskettiin tolueeniekvivalenttina. Tästä aiheutuva haaste vertailtavuuteen Työterveyslaitoksen aineistojen kanssa tuodaan esille tulosten käsittelyn yhteydessä.

Tutkimusaineisto

Aineisto koostui laboratorioomme syyskuu 2021 – elokuu 2023 välillä tulleista VOC-sisäilmanäytteistä. Näytteet jaoteltiin näytteenottokohteiden perusteella neljään ryhmää: 1) toimistot/julkiset rakennukset koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, 2) asunnot koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, 3) asunnot koneellisella poistoilmanvaihdolla ja 4) asunnot painovoimaisella ilmanvaihdolla. Ryhmä 1 sisälsi toimistot, koulut, päiväkodit, hoitolaitokset, hoivakodit, kirjastot, kaupat, kirkot, nuorisotilat ja vastaavat. Ryhmät 2–4 sisälsivät omakotitaloja, rivitaloja ja kerrostaloasuntoja.

Aineistosta karsittiin pois sellaiset näytteet, jotka oli otettu epätavanomaisesti verrattuna sisäilmanäytteiden näytteenotto-ohjeeseen. Tällaisia näytteitä olivat ilmanvaihtokanavista ja lattianrajasta otetut näytteet sekä ns. viiltoimittausnäytteet, joissa ilmanäyte oli otettu lattiamateriaaliin tehdystä viilloista tai lattiarakenteiden välistä. Aineistosta jätettiin pois myös huomattavan korkean pitoisuuden näytteet, joiden näytteenottotilana oli tavanomaisesta sisäympäristöstä poikkeava tila, kuten erillinen varasto, autotalli tai öljykattilatila. Lisäksi puhtaasti tuotanto- tai tehdastilaksi luokiteltavat kohteet jätettiin aineiston ulkopuolelle.

Aineistosta laskettiin tunnuslukuina TVOC-pitoisuudelle ja kolmellekymmenelle yleisimmin esiintyvälle tunnistetulle yhdisteelle pitoisuuksien ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) aritmeettinen keskiarvo, mediaani, P90 arvo sekä maksimiarvo. Yksittäisille yhdisteille laskettiin myös esiintymisprosentit. Aineistoon liittyy yksi selkeä vinoumaa aiheuttava tekijä, joka on pyritty huomioimaan tuloksia tulkittaessa. Yksittäisten yhdisteiden tunnuslukuja laskettaessa aineistossa ei ole ollut mukana $<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuudet. Tämä luonnollisesti vinouttaa tässä esitettyjä tunnuslukuja ylöspäin, lukuun ottamatta esiintymisprosenttia, jonka vinouma on alaspäin. Vinouman suuruutta ei voitu aineiston puutteiden vuoksi arvioida, mutta se voi olla merkittäväkin.

TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Näytemäärät ja yleisimmin esiintyvät yhdisteet

Toimistojen/julkisten rakennusten ryhmä 1 sisälsi selvästi enemmän näytteitä kuin ryhmät 2–4 (asunnot) (Taulukko 1). Myös tunnistettujen yhdisteiden lukumäärässä oli ryhmien välillä eroja siten, että toimistoista ja julkisista rakennuksista (ryhmä 1) on tunnistettu VOC-yhdisteitä selvästi laajemmalla kirjolla kuin asunnoista (ryhmä 2–4). Tämä ero selittyy toimistoissa ja julkisissa rakennuksissa mahdollisesti olevilla erityisillä VOC-yhdisteiden lähteillä, kuten erilaisilla laitteilla ja toiminnoilla, joita ei asuinympäristöissä vastaavasti ole.

Taulukko 1. Ryhmien näytemäärät (N), kussakin ryhmässä yli 1 µg/m³ pitoisuudessa esiintyvien tunnistettujen yhdisteiden lukumäärä sekä yleisimmin (vähintään 10 %:ssa näytteistä) yli 1 µg/m³ pitoisuudella esiintyvien tunnistettujen yhdisteiden lukumäärä.

	N	Yhdiste lkm yli 1 µg/m³	Yleisesti esiintyvät yhdisteet lkm
Ryhmä 1 (toimistot/julkiset rakennukset)	872	239	18
Ryhmä 2 (asunnot, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto)	164	145	44
Ryhmä 3 (asunnot, koneellinen poistoilmanvaihto)	76	144	44
Ryhmä 4 (asunnot, painovoimainen ilmanvaihto)	119	194	61

Ryhmän 1 näytteistä esiintymisprosenttiltaan yleisimpiä olivat Nonanaali (67 %), Dekanaali (47 %), alfa-Pineeni (41 %), Bentsaldehydi (39 %), Tolueeni (37 %) Dekametyylisyklopentasiloksaani (34 %) ja 2-Etyyli-1-heksanoli (26 %). Asunnoissa (ryhmät 2–4) puolestaan yleisimmin, vähintään 60 %:ssa näytteistä, esiintyviä yhdisteitä olivat Nonanaali, alfa-Pineeni, Dekanaali, Heksanaali, 3-Kareeni, Limoneeni, Dekametyylisyklopentasiloksaani ja Tolueeni. Ryhmien 1–4 yleisimmin esiintyvät yhdisteet tunnuslukuineen on tilanpuutteen vuoksi taulukoitu nettisivulle /7/.

Yleisesti esiintyvien VOC-yhdisteiden laajempi kirjo asunnoissa verrattuna toimistoihin ja julkisiin rakennuksiin liittyyneen pääasiassa päästölähteiden monimuotoisuuteen asuinympäristöissä sekä ilmanvaihdon tehokkuuteen. Toimistot ja julkiset rakennukset on yleensä sisustettu asuntoja yksinkertaisemmin ja niissä olevat päästölähteet voivat vaihdella rakennusten välillä käyttötarkoituksen mukaan huomattavasti enemmän kuin asunnoissa olevat lähteet. Tämän seurauksena toimistoissa ja julkisissa rakennuksissa voi esiintyä lukumäärällisesti enemmän erilaisia VOC-yhdisteitä, mutta ne eivät esiinny yleisesti vaan pikemmin yksittäisissä kohteissa. Lisäksi ilmanvaihto on yleisesti toimistoissa ja julkisissa rakennuksissa tehokkaampaa kuin asuinrakennuksissa poistaen tehokkaasti erityisesti matalina pitoisuuksina esiintyviä VOC-yhdistettä.

TVOC-pitoisuudet

Tässä aineistossa TVOC-pitoisuuksissa on huomattavia eroja ryhmien välillä. Ryhmän 1 (toimistot/julkiset rakennukset) TVOC-pitoisuus on selkeästi alhaisempi kuin asuinrakennusten (Taulukko 2). Tosin ryhmässä 1 on tässä aineistossa kaikista suurin TVOC:n maksimipitoisuus 2500 µg/m³.

Taulukko 2. TVOC-pitoisuuden tunnusluvut ryhmille 1–4. GM = geometrinen keskiarvo, MIN = alin TVOC-pitoisuus, MAX = korkein TVOC-pitoisuus, P90 = pitoisuus, jonka alle jää 90 % aineiston näytteistä, MD = Mediaani, yleisimmin esiintyvä pitoisuus. Pitoisuudet on laskettu tolueenivasteella yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	GM $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MIN $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MAX $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MD $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ryhmä 1 (toimistot/julkiset rakennukset)	33	3	2500	120	29
Ryhmä 2 (asunnot, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto)	108	10	1200	347	100
Ryhmä 3 (asunnot, koneellinen poistoilmanvaihto)	132	25	780	470	150
Ryhmä 4 (asunnot, painovoimainen ilmanvaihto)	171	10	1800	680	190

Ryhmien 2–4 välillä olevat erot TVOC-pitoisuuksissa selittyvät suurelta osin ilmanvaihdon tehokkuudella. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetuissa asunnoissa (ryhmä 4) VOC-pitoisuudet voivat nousta huomattavasti korkeammaksi kuin asunnoissa, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto (ryhmät 2–3). Ilmanvaihtotekniikan lisäksi VOC-pitoisuuksiin voi vaikuttaa myös näytteenottokohteina olevien asuntojen tekninen kunto. Painovoimainen ilmanvaihto on yleisesti käytössä vanhemmassa rakennuskannassa, jossa rakenteelliset vauriot esimerkiksi lattiarakenteissa voivat osaltaan lisätä joidenkin VOC-yhdisteiden päästöjä sisäilmaan /8/.

Aineiston TVOC-pitoisuus sisältää kaikki määrittämissä ylittävät pitoisuudet. Ryhmä 1 vastaa rakennustyypeiltään melko hyvin Työterveyslaitoksen toimistotyyppisten rakennusten yhteenvedossa käytettyä aineistoa, josta on laskettu toimistotyyppisille rakennuksille TVOC tunnusluvuksi geometrinen keskiarvo $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja P90-arvo $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /1/. Työterveyslaitoksen julkaisussa käytetyn aineiston geometrinen keskiarvo ja mediaani olivat hyvin lähellä tämän aineiston arvoja ja vastaavasti P90 pitoisuus oli hieman matalampi kuin tämän tutkimuksen aineistossa (Taulukko 2).

Vastaavasti Työterveyslaitoksen asuinrakennusten aineistosta tehdyssä yhteenvedossa TVOC-pitoisuuden geometrinen keskiarvo oli $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mediaani $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja P90-arvo $370 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /2/. Kyseinen aineisto ei erittelee asuntoja ilmanvaihtotekniikan perusteella, ja tasoltaan tunnusluvut ovat lähimpänä tämän aineiston ryhmän 2 (asunnot mekaanisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla) tunnuslukuja (Taulukko 2).

Koska TVOC-pitoisuus on laskettu sisältäen kaikki määrittämissä ylittävät pitoisuudet, ei aiemmin mainittu, nimettyjen yhdisteiden tunnuslukuihin vaikuttava vinouma vaikuta TVOC-pitoisuuteen. TVOC-pitoisuuden tunnuslukujen erot selittyvät siis eroilla käytetyissä aineistoissa.

Yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet asunnoissa

Aineistomme ryhmissä 2–4 (asunnot eri ilmanvaihtotekniikoilla) oli eroja sekä yleisesti esiintyvissä (esiintyy vähintään 10 %:ssa näytteistä) tunnistetuissa yhdisteissä, että niiden pitoisuuksissa. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat keskimäärin korkeampia ryhmässä 4 (asunnot painovoimaisella ilmanvaihdolla) kuin ryhmissä 2 ja 3 (Taulukko 3). Ryhmän 3 tuloksia ei esitellä taulukkomuodossa tässä julkaisussa.

Taulukko 3. Tunnusluvut ryhmän 2 (asunnot koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla) 30:lle yleisimmin yli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuudessa esiintyvälle tunnistetulle yhdisteelle sekä vastaavat luvut ryhmän 4 (asunnot painovoimaisella ilmanvaihdoilla) aineistolle. % = prosenttiosuus näytteistä, jossa yhdiste on havaittu, GM = geometrinen keskiarvo, P90 = pitoisuus, jonka alle jää 90% aineiston näytteistä. Pitoisuudet on laskettu tolueenivasteella yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	R2	R4	R2	R4	R2	R4
	%	%	GM $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GM $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1-Butanoli	32	42	2	3	4	9
1-Pentanoli	23	33	2	3	4	6
2-Etyyli-1-heksanoli	57	63	2	4	9	12
3-Kareeni	75	80	7	6	84	24
6-Metyyli-5-hepten-2-oni	18	36	2	2	3	5
alfa-Pineeni	90	92	10	9	76	35
Asetofenoni	15	15	1	2	2	2
Bentsaldehydi	60	68	2	3	4	9
beta-Pineeni	27	17	3	3	16	7
Dekametyylisyklopentasiloksaani	61	73	4	7	34	74
Dekanaali	79	87	4	5	8	11
Dimetoksidimetyylisilaani	15	16	2	2	4	3
Dodekametyylisykloheksasiloksaani	23	34	2	3	4	6
Etyylibentseeni	16	29	2	2	8	8
Heksaanihappo	16	35	3	6	5	14
Heksadekaani	15	25	2	2	3	3
Heksametyylisyklotrisiloksaani	24	31	2	2	3	4
Heksanaali	79	81	4	7	17	28
Isobutanoli	18	12	2	3	3	5
Limoneeni	63	73	4	6	29	22
Mentoli	13	29	2	3	4	7
m-Ksyleeni	33	49	2	3	5	9
Nonanaali	95	94	5	8	12	18
o-Ksyleeni	19	39	2	2	4	9
Oktametyylisyklotetrasiloksaani	23	42	2	3	10	6
Oktanaali	47	75	2	3	4	5
Pentanaali	30	44	2	3	6	8
Styreeni	25	18	4	1	18	3
Tolueeni	60	71	2	3	7	11
TXIB	34	43	2	5	9	22

Yksittäisten yhdisteiden osalta tämän tutkimuksen tunnuslukujen vertaaminen Työterveyslaitoksen aineistosta laskettujen tunnuslukujen kanssa ei ole perusteltua pitoisuuslaskennassa käytettyjen ja aineistossa olevien erojen takia /2/. Tässä tutkimuksessa esitetyt pitoisuudet on laskettu tolueenivasteella, jolloin niitä voi verrata ainoastaan tolueenivasteella laskettuihin pitoisuuksiin. Työterveyslaitoksen pitoisuudet ovat pääosin laskettu yhdisteiden omalla vasteella, josta voi aiheutua yhdistekohtaisesti suuriakin eroja. Lisäksi tämän tutkimuksen tunnuslukuihin vaikuttaa jo aiemmin mainittu vinouma alle $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksien puuttumisesta.

POHDINTA

Kysymykseen Paljonko on paljon? voidaan tämän aineiston perusteella antaa ainakin seuraavat vastaukset: 1) Tunnuslukujen laskennassa käytettävät aineistot ovat pääsääntöisesti lähtöisin poikkeavista tilanteista (korjausrakentaminen tai vaurio/oireiluepäily). Tunnuslukujen perusteella ei siis oikeastaan saada laskettua viitearvoja, joiden ylittyminen aiheuttaisi epäilyn jostakin poikkeavasta VOC-lähteestä tai ilmanvaihdon puutteellisuudesta. Ennemminkin tällaisesta aineistosta lasketun viitearvon ylittyminen kertoo siitä, että kyseisen näytteen pitoisuus on korkea jo lähtökohtaisesti poikkeavista kohteista otettujen näytteiden joukossa. Tästä syystä myös viitearvon alle jäävä pitoisuus voi kertoa tilanteen poikkeavan normaalitilanteesta. 2) TVOC-pitoisuuden kohdalla tulkintaan vaikuttaa eniten näytteenottokohde (toimisto vai asunto) sekä kohteessa oleva ilmanvaihto. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetussa asunnossa voidaan huomattavasti korkeammat TVOC-pitoisuudet tulkita tavanomaisiksi verrattuna koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustettuun asuntoon. 3) Tarkkoja viitearvoja on vaikea määritellä siten, että ne olisivat suoraan käytettävissä eri analyysilaboratorioissa tutkituille näytteille. Tämänkin aineiston perusteella lasketut tunnusluvut kuvaavat laskennassa käytettävää aineistoa ja laboratoriossamme analysoituja näytteitä. Myös laskennassa käytettävän aineiston kattavuus ja kohdetietojen luotettavuus vaikuttavat saatujen tunnuslukujen käyttökelpoisuuteen. Tässä tutkimuksessa laskettuja tunnuslukuja voi käyttää suuntaa antavina pitoisuuksina Labroc Oy:ssä analysoiduille näytteille näytteenottokohteen ominaisuudet ja mittausepävarmuus huomioiden.

LÄHDELUETTELO

1. Wallenius ym. 2021. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyyppisissä työympäristöissä. Päästölähteet, mittausmenetelmät, pitoisuustasot ja terveysvaikutukset. Työterveyslaitos. ISBN 978-952-261-957-0
2. Juntunen ym. 2022. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa. Pitoisuustasot, yleisimmät yhdisteet ja terveysvaikutukset. THL Työpaperi 5/2022. ISBN 978-952-343-809-5, ISSN 2323-363X, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-809-5>
3. Hovi ym. 2021. Toimistotyyppisten työpaikkojen sisäilman VOC-pitoisuuksien kartoitus ja viitearvojen päivitys. Sisäilmayhdistys ry, Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. SIY Raportti 39. s. 297–302.
4. Asumisterveysasetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsingissä 23.4.2015.
5. SFS-EN ISO 16000:5:2007. Indoor air. Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs).
6. SFS-EN ISO 16000-6:2021. Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID.)
7. Labroc Oy 2024. <https://labroc.fi/voc-ilmanaytteiden-tunnuslukuja>
8. Ympäristöministeriö 2022. Muovimatolla päällystetyt betonilattiat. Vauriot, korjaustarpeen arviointi ja korjaaminen. Helsinki 2022.

KUNTIEN NÄKEMYS SISÄILMATILANTEESTA

Kaisa Jalkanen¹, Anniina Salmela¹, Kaisa Mäntynen² ja Anne Hyvärinen¹

¹Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

²Suomen Kuntaliitto ry

TIIVISTELMÄ

THL ja Kuntaliitto toteuttivat kyselyn kuntien sisäilmatilanteesta kesällä 2023. Kyselyssä selvitettiin kuntien omaa näkemystä sisäilmatilanteen nykytilasta, sen kehittymisestä sekä tulevaisuuden näkymistä. Vastausten mukaan sisäilmatilanne kunnissa on yleisesti parantunut ja kunnat ovat jopa pystyneet ennaltaehkäisemään tilanteiden kriisiytymistä. Esimerkiksi viestinnän sekä nopean reagoinnin merkitys sisäilmatilanteiden ennaltaehkäisyssä ovat nousseet tärkeämmiksi verrattuna aiempaan. Kyselyn tulosten mukaan toimia tulisi kohdistaa ennakoivaan kiinteistönhoitoon, säännölliseen tarkistustoimintaan sekä kunnossapidon suunnitteluun, jotta tulevaisuudessa sisäympäristöt tukisivat hyvinvointia entistä paremmin.

KUNTIEN SISÄILMAKYSELY 2023

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) lähestyi yhdessä Suomen Kuntaliitto ry:n kanssa kaikkia Manner-Suomen kuntia sähköisellä kyselyllä keväällä 2023. Kysely lähetettiin kuntien kirjaamoihin ja se pyydettiin ohjaamaan toimitiloista ja sisäilmasioista vastaavalle taholle. Kyselyllä selvitettiin Manner-Suomen kuntien sisäilmatilanteen, toimintatapojen ja kehityskohteiden lisäksi myös kuntien näkemystä sisäilmatilanteen nykytilasta, sen kehittymisestä sekä tulevaisuuden näkymistä. /1/

Kyselyyn vastasi kaikkiaan 23 % Manner-Suomen kunnista (68 kuntaa). Vastanneiden kuntien alueella asuu noin 42 % väestöstä, ja maantieteellisesti vastauksia saatiin melko tasaisesti aina eteläisestä Suomesta pohjoiseen asti. Vastauksia saatiin lukumääräisesti eniten pienistä kunnista (48 kuntaa) mutta suurimpien kuntien (yli 100 000, 50 001–100 000 ja 20 001–50 000 asukasta) suhteellinen osuus oli lievästi yliedustettuna.

TULOKSIA

Valtaosan mielestä kunnan yleinen sisäilmatilanne on parantunut

Kyselyssä pyydettiin vastaajia arvioimaan sisäilmatilanteeseen liittyvien väittämien paikkansapitävyyttä omassa kunnassa viimeistä viittä vuotta ajatellen (Kuva 1). Tulosten perusteella vastaajien mielestä kunnan yleinen sisäilmatilanne on parantunut (82 % samaa mieltä). Erityisesti oman henkilökohtaisen osaamisen sisäilmatilanteiden hallitsemiseksi katsottiin lisääntyneen (90 % samaa mieltä) ja myös ohjeistusta sisäilmatilanteisiin todettiin olevan paremmin saatavilla (87 % samaa mieltä). Vastausten perusteella kunnat ovat jopa pystyneet ennaltaehkäisemään tilanteiden kriisiytymistä (81 % samaa mieltä).

Kuntakokoluokittain tarkasteltaessa erityisesti isommissa kunnissa oltiin useammin samaa mieltä siitä, että rehtorien ja päiväkodin johtajien osaaminen on lisääntynyt, työnantaja on mahdollistanut lisäkoulutuksen entistä paremmin ja koulutustilaisuudet

ovat lisänneet osaamista. Isoissa kunnissa oli myös päästy pienempiä kuntia useammin ennakoivaan kiinteistönpitoon. Pienissä kunnissa opiskeluhoolto/kouluterveydenhuolto on vastausten perusteella mukana koulujen sisäilmatilanteiden selvittämisessä harvemmin kuin suuremmissa kunnissa tai kaupungeissa.

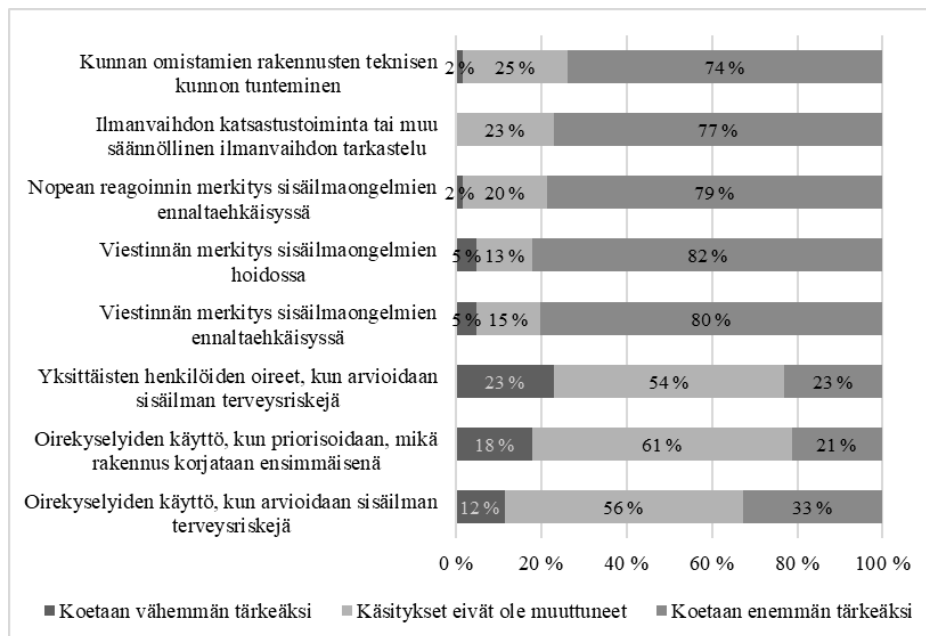


Kuva 1. Arvio kuntien sisäilmatilanteisiin liittyvien väittämien paikkansapitävyydestä viimeistä viittä vuotta ajatellen.

Viestinnän merkitys sisäilma-asioiden ennaltaehkäisyssä ja hoitamisessa koetaan tärkeämmäksi

Kyselyssä pyydettiin vastaajia arvioimaan, miten käsitykset erilaisiin sisäilmatilanteita koskeviin asioihin ovat muuttuneet viimeisen viiden vuoden aikana. Viestinnän merkitys sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyssä ja hoitamisessa sekä nopean reagoinnin merkitys sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyssä ovat nousseet. Myös kunnan omistamien rakennusten kunnan tuntemisen ja ilmanvaihdon katsastustoiminnan merkitys koetaan tärkeämmäksi. Yksittäisten henkilöiden oireiden merkitys terveysriskien arvioinnissa

sekä oirekyselyjen merkitys priorisoinnissa ja terveysriskien arvioinnissa ei ollut enemmistön mielestä muuttunut viimeisten viiden vuoden aikana. (Kuva 2)



Kuva 2. Kuntien arvio miten käsitykset erilaisiin sisäilmatilanteita koskeviin asioihin ovat muuttuneet viimeisen viiden vuoden aikana.

Kuntakokoluokittain tarkasteltuna vastauksissa oli joitakin eroja. Oirekyselyiden käytön merkitys terveysriskejä arvioitaessa tai korjattavien rakennusten priorisoinnissa oli vähentynyt suurimmassa kuntakokoluokassa (yli 100 000 asukasta), samoin kuin yksittäisten henkilöiden oireiden merkitys sisäilman terveysriskejä arvioitaessa. Muissa kuntakokoluokissa edellä mainittujen asioiden merkitys ei ole enemmistön mielestä muuttunut viimeisten viiden vuoden aikana. Ilmanvaihdon katsastustoiminnan tai muun säännöllisen ilmanvaihdon tarkastelun merkitys oli valtaosan mielestä kasvanut kaikissa kuntakokoluokissa lukuun ottamatta pienintä kuntakokoluokkaa (alle 5000 asukasta), jossa merkitys ei ollut muuttunut.

Ennakoivaan kiinteistönpitoon tulisi panostaa tulevana vuosina

Kuntien näkemyksen mukaan seuraavan viiden vuoden aikana sisäilman hyvän laadun varmistamiseksi toimia tulisi kohdistaa mm. ennakoivaan kiinteistönhoitoon, kiinteistöjen säännölliseen tarkastustoimintaan ja kunnossapidon suunnitteluun. Myös kiinteistöstrategia, pitkäntähtäimen suunnitelma (PTS) ja palveluverkkosuunnitelmat mainittiin usein toimina, joihin tulisi panostaa hyvän sisäilman laadun varmistamiseksi. Lisäksi ilmanvaihdon kunnossapitoon tai katsastustoimintaan liittyvät toimenpiteet sekä sisäilman laadun mittaukset tai olosuhdeseuranta saivat huomiota vastauksissa.

Kysyttäessä toimista, jotka vaikuttavat sisäilmatilanteen kehittymiseen seuraavan 5–10 vuoden aikana, nousi vastauksista esiin useimmiten vanhoista kiinteistöistä luopuminen ja uudisrakentaminen, käytettävissä olevat taloudelliset resurssit ja kuntien

säästöpainet sekä tietotaidon lisääntyminen mutta myös ennakoivan kiinteistönpidon malli.

YHTEENVETO

Kuntien sisäilmakyselyn 2023 mukaan valtaosa vastanneista kokee sisäilmatilanteen yleisesti parantuneen omassa kunnassa. Positiivista on myös se, että oman henkilökohtaisen osaamisen sisäilmatilanteiden hallitsemiseksi katsottiin lisääntyneen ja ohjeistusta sisäilmatilanteisiin todettiin olevan paremmin saatavilla. Erityisesti isommissa kunnissa koettiin, että on päästy jopa ennakoivaan kiinteistönpitoon. Viestinnän merkitys sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyssä ja hoitamisessa sekä nopean reagoinnin merkitys sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyssä koettiin entistä tärkeämmiksi. Myös kunnan omistamien rakennusten kunnan tuntemisen ja ilmanvaihdon katsastustoiminnan merkitys koetaan tärkeämmäksi nykyisin. Seuraavan viiden vuoden aikana sisäilman hyvän laadun varmistamiseksi toimia tulisi kyselyvastausten mukaan kohdistaa mm. ennakoivaan kiinteistönhoitoon, säännölliseen tarkastustoimintaan ja kunnossapidon suunnitteluun. Seuraavan 5–10 vuoden aikana sisäilmatilanteen kehittymiseen koettiin kuitenkin vaikuttavan useimmiten vanhoista kiinteistöistä luopuminen ja uudisrakentaminen sekä käytettävissä olevat taloudelliset resurssit, mutta myös ennakoivan kiinteistönpidon malli.

KIITOKSET

Tämä selvitys on tehty osana Kansallista sisäilma ja terveys -ohjelmaa. THL ja Kuntaliitto haluavat kiittää niitä kuntia, jotka ovat mahdollistaneet tämän selvityksen vastaamalla heille lähetettyyn kyselyyn kuntien sisäilmatilanteesta vuonna 2023.

LÄHDELUETTELO

1. Salmela A. ym. (2024) Katsaus kuntien sisäilmatilanteeseen – Kuntien sisäilmakysely 2023. THL, Työpaperi 4/2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-408-255-6>

KIRA-ALAN TOIMIJOIDEN NÄKEMYKSIÄ RAKENNUSOSIEN UUELLEENKÄYTÖLLE SISÄYMPÄRISTÖISSÄ

Arto Toorikka¹ ja Katja Tähtinen^{2,3}

¹AFRY Rakennusfysiikka

²Rakennustietosäätiö RTS sr.

³Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen ja luontokadon seurauksena rakennusosien uudelleenkäyttöä kohtaan on vahvasti kasvavaa kiinnostusta. Lainsäädäntö ohjaa rakentamista vähähiiliseksi ja kannustaa yhä enemmän materiaalien uudelleenkäyttöön. Kirjallisuuden perusteella uudelleenkäytön esteiksi on tunnistettu kokemukset uudelleenkäytön riskeistä, jotka liittyvät materiaalien kelpoisuuden ja soveltuvuuden selvittämiseen ja todentamiseen sekä terveellisyys- ja turvallisuusseikkoihin. Tässä artikkelissa esitetään tulokset rakennusalan toimijoille toteutetusta kyselystä, jossa selvitettiin alan asiantuntijoiden näkemyksiä *rakennusosien uudelleenkäytölle sisäympäristöissä*. Artikkelin sisältö ja johtopäätökset pohjautuvat kyselyn ja kirjallisuuden ohella käynnissä olevassa UURAKET-hankkeessa koottuun tietoon.

RAKENNUSOSIEN SOVELTUVUUS UUELLEENKÄYTTÖÖN

Olemassa olevista rakennuksista irrotettavien rakennusosien soveltuvuus uudelleenkäyttöön riippuu materiaalien kunnosta, irrotuksen jälkeisistä teknisistä ominaisuuksista ja suoritustasoista sekä suunnitellun käyttökohteen vaatimuksista. Uudelleenkäytettäviksi tulevien rakennusosien tiedot ja niiden dokumentaatio ovat usein puutteellista tai sitä ei ole, mikä vaikeuttaa rakennusosissa käytettyjen materiaalien ja raaka-aineiden sekä muiden ominaisuuksien arviointia. Käytettyjen rakennusosien alkuperäiseen verrattava suoritustaso ja ominaisuudet ovat voineet heikentyä ajan saatossa, käytössä ja mahdollisesta käytön aikaisen rasituksen takia, sekä niissä voi esiintyä materiaaleihin kertyneitä haitta-aineita, vaarallisia aineita, epäpuhtauksia ja hajuja. /1, 2, 3, 4/.

Aikaisemmissa selvityksissä on tunnistettu potentiaalisia uudelleenkäytettäviä rakennusosia, kuten tiilet, teräs, kemiallisesti käsittelemätön sahatarava ja betonielementit /1, 4, 5/. Nämä eivät ole olemassa olevan tiedon perusteella sisällä erityisen ongelmallisia raaka-aineita sisäympäristöjen turvallisuuden tai terveellisyyden näkökulmasta /3/. Aikaisemmissa selvityksissä on tunnistettu uudelleenkäytettävien rakennusosien käytön reunaehtoja ja mahdollisuuksia olemassa olevien ohjeiden, standardien ja sertifiointien soveltamisessa sekä kansallisen lainsäädännön puitteissa /3, 4/.

Rakennusosien uudelleenkäyttöä sekä siihen liittyvän markkinan syntymistä hidastaa uudelleenkäytettävien rakennusosien kelpoisuuden ja soveltuvuuden selvittämisen sekä suunnittelun yhdenmukaisten ja yhtenäisten menettelyiden sekä ohjeiden puutteet. Laajassa systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa /2/ tunnistettiin uudelleenkäytön suurimmat esteet, jotka liittyivät kokemukseen uudelleenkäytön sisältävistä riskeistä, materiaalien ominaisuuksien ja kelpoisuuden selvittämiseen sekä terveellisyys- ja

turvallisuusseikkoihin. Tutkimuksen mukaan markkinoita edistäisi uudelleenkäytettävien rakennusosien arvioinnin, testauksen, ohjeiden, standardien ja sertifiointien kehittäminen. /2/

Kansainvälisiä, yhteiseurooppalaisia tai suomalaisia standardeja, sertifiointeja tai yleisiä ohjeistuksia uudelleenkäytön suhteen ei ole (vielä) laadittu. Joitain kansallisia, osin epävirallisia, menettelyitä on kuitenkin käytössä. Esimerkiksi syyskuussa 2023 julkaistussa saksalaisessa DIN spesifikaatiossa esitetään menettely rakennusosien uudelleenkäyttöpotentiaalin arviointiin ja dokumentointiin /6/. Myös Helsingin kaupungin kiertotalousklusteri on kehittänyt työkalua helpottamaan uudelleen käytettävien rakennustuotteiden kelpoisuuden osoittamista /7/.

Uudelleenkäytettävien materiaalien terveellisyys ja turvallisuus

Keskeisimpänä haasteena uudelleenkäytölle on, että rakennusosista on saatavissa vain rajatusti tuotekohtaista tietoa ja käytänteet sekä ohjeistukset materiaalien ominaisuuksien ja soveltuvuuden selvittämiseen ja todentamiseen ovat puutteellisia.

Euroopan kemikaaliviraston kemikaalien arviointi- ja lupaprosesseissa arvioidaan uusien aineiden vaarallisuutta ihmiselle ja luonnolle. Lisäksi uuden tiedon perusteella joidenkin aiemmin sallittujen aineiden käyttö on jouduttu kieltämään tai käyttöä rajoittamaan /8/. Vaikka tuotteiden sisältämistä kemikaaleista olisi tietoa tuotantovaiheessa, kemikaalitieto säilyy tai siirtyy tuotteen mukana huonosti rakennuksen ja rakennusmateriaalien elinkaaren muissa vaiheissa /2/. Uusien rakennustuotteiden koostumusta säädellään kemikaalilainsäädännön avulla tuotteiden valmistusvaiheessa. Sen sijaan uudelleenkäytettävien rakennusosien osalta niiden valmistuksen aikaisia tietoja ei välttämättä löydy, valmistusajankohtana on voitu käyttää jo nyt kiellettyjä aineita ja toisaalta materiaaleihin on voinut kertyä haitta-aineita, epäpuhtauksia ja hajuja materiaalin elinkaaren eri vaiheissa ja erilaisten toimintojen (rakentaminen, pinnoittaminen, vaurioituminen, imeytyminen jne.) kautta.

Turvallisen rakennusosien ja materiaalien uudelleenkäytön tavoite on, että materiaalien ja tuotteiden riskit ihmisille ja ympäristölle tunnetaan ja ne ovat ennakoitavissa sekä hallittavissa koko rakennuksen elinkaaren ajan. Ennakointi on huomattavasti resurssitehokkaampaa kuin rakennusten tutkiminen, korjaaminen ja haitallisten materiaalien poisto jälkikäteen (vrt. esim. asbesti, kosteus- ja homevauriot).

Uudelleenkäytön kelpoisuuden selvittämisen ja dokumentoinnin työkaluissa ja ohjeissa edellytetään haitallisten ja vaarallisten aineiden selvittämistä, mutta tähän ei osoiteta tarkkoja menettelyjä /6, 7/. Suomessa on käytössä yleisesti hyväksyttyjä ohjeistuksia esimerkiksi haitta-ainetutkimusten sekä kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten toteuttamiseen. Nämä ohjeistukset eivät kuitenkaan ole suoraan sovellettavissa uudelleenkäytettävien rakennusosien sisäilmariskien määrittämiseen, koska tätä näkökulmaa ei ole huomioitu ohjeistuksia laadittaessa. Myöskään olemassa olevat lait ja määräykset eivät pääosin tunnista rakennusosien uudelleenkäyttöön kytkeytyviä sisäilmariskejä.

Erityisesti materiaaleissa käytettyjen raaka-aineiden, materiaaleihin kertyneiden haitta-aineiden ja epäpuhtauksien sekä hajujen arvioinnin, tutkimisen ja testaamisen menetelmien määrittelemisen ja testitulosten tulkintaa tulee kehittää /3/.

Uudelleenkäytettävien rakennusosien vaikutus sisäilmaan ja -ympäristöön tulee ottaa

huomioon tarvittavin osin myös rakenteiden ja ilmanvaihdon suunnitteluratkaisuissa sekä rakennuksen käytön, seurannan, huollon ja korjaamisen aikana.

KYSELYTUTKIMUS

Kyselytutkimus toteutettiin Microsoft Forms-alustalla marras-joulukuussa 2023. Kyselyyn johtavaa linkkiä jaettiin rakennus- ja kiinteistöalan toimijoille sähköisesti. Vastaaminen oli mahdollista kaikille, joilla oli linkki käytössä. Vastaaminen tapahtui anonyymisti. Kyselyssä oli kuitenkin mahdollisuus jättää sähköpostiosoite, jos halusi saada tietoa tulosten julkistamisesta. Vastaajia oli yhteensä 121. Kyselyn alussa kuvattiin kyselyn tavoitteet ja uudelleenkäyttö terminä. Kysely koostui yhteensä 13 kysymyksestä, joista osa sisälsi useita alakohtia. 11 ensimmäistä kysymystä olivat pakollisia ja kysymykset 12–13 vapaaehtoisia. Alla on esitetty nostoja kysymyksistä ja vastauksista:

Taulukko 1. Kyselyn kysymykset 1–2 (taustatiedot) ja vastausten prosentuaalinen jakauma (N=121).

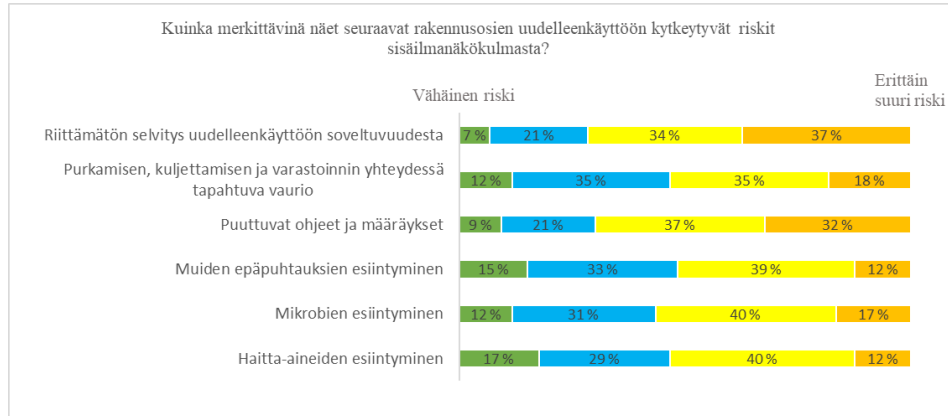
Kysymys	Vastaus	%-osuus
1. Pääasiallinen työtehtävä	Rakennusterveysasiantuntija, sisäilma-asiantuntija tai vastaava	45 %
	Kiertotalouden ja rakennusosien uudelleenkäytön asiantuntija	13 %
	Muut yhteensä	42 %
2. Kokemus rakennusosien uudelleenkäytöstä	Työskennellyt useissa hankkeissa, joissa tehty uudelleenkäyttöä	16 %
	Ollut mukana hankkeissa, joissa selvitetty uudelleenkäyttöä	40 %
	Kiinnostunut, mutta ei käytännön kokemusta	32 %
	Ei kokemusta tai juurikaan tietämystä	12 %

Kysymyksistä 1 ja 2 voidaan tehdä seuraavia koonteja: 54 vastaajaa ilmoitti pääasialliseksi työtehtäväkseen rakennusterveysasiantuntija tai vastaava. Näistä 30 (56 %) ilmoitti ettei heillä ole kokemusta tai juurikaan tietämystä uudelleenkäytöstä ja 4 (7 %) oli työskennellyt useissa uudelleenkäytön hankkeissa.

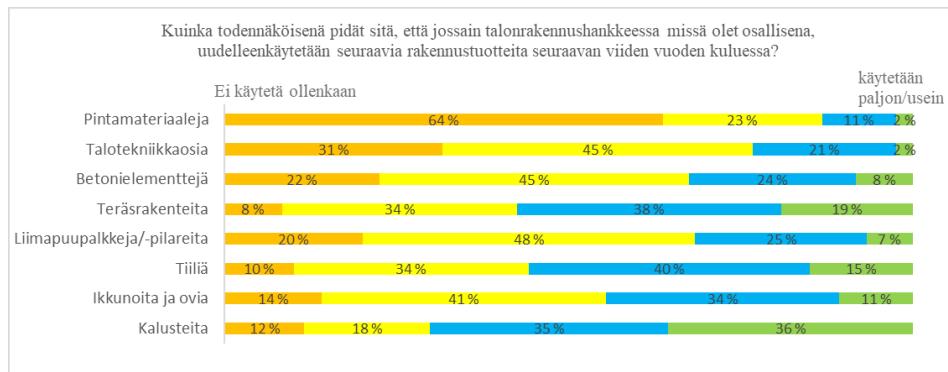


Kuvio 1. Kyselyn kysymys 4 ja vastausten prosentuaalinen jakauma.

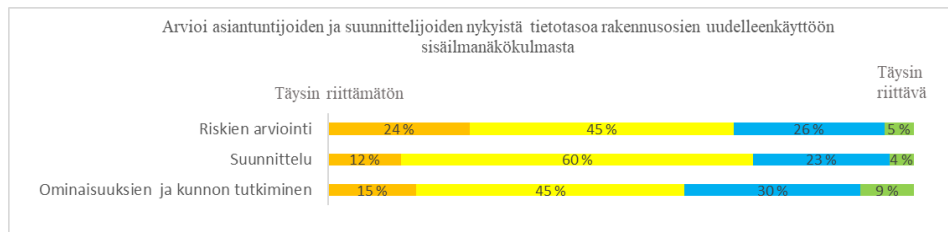
Kysymyksen 4 sanallisissa vastauksissa (n=17) toistuivat seuraavat teemat: Hyväksymiskriteerit (tms.) puuttuvat (n=3), ohjeistukset ja tieto ovat vajavaisia (n=3), riskit ovat materiaali- ja kohdekohtaisia (n=3).



Kuvio 2. Kyselyn kysymys 5 ja vastausten prosentuaalinen jakauma.



Kuvio 3. Kyselyn kysymys 6 ja vastausten prosentuaalinen jakauma.



Kuvio 4. Kyselyn kysymys 7 ja vastausten prosentuaalinen jakauma.

Taulukko 2. Kyselyn kysymykset 8–11 ja vastausten prosentuaalinen jakauma.

Kysymys	Kyllä	Ei	EOS
8. Pitäisikö mielestäsi uudelleenkäytettävien rakennusosien tutkimiseen ja testaamiseen olla ohjeistusta sisäilmanäkökulmasta?	92 %	3 %	5 %
9. Pitäisikö mielestäsi uudelleenkäytettävien rakennusosien käytön suunnittelemiseen olla ohjeistusta sisäilmanäkökulmasta?	93 %	3 %	3 %
10. Onko mielestäsi uudelleenkäytettävistä rakennusosista ja niiden mahdollisista sisäilmavaikutuksista riittävästi tietoa siten, että niiden käyttö olisi turvallista rakentamisessa?	64 %	13 %	23 %
11. Pidätkö uudelleenkäytössä riskinä tai esteenä sitä, että tuotteiden käyttö sisäympäristöissä voi aiheuttaa pelkoja tuotteiden turvallisuudesta tilojen käyttäjille?	77 %	10 %	13 %

Kysymyksessä 12 (n=46) (vapaaehtoinen) kysyttiin muita asioita, mitä vastaaja haluaa tuoda esiin. Useissa vastauksissa toistuivat seuraavat teemat: a) kritiikki kyselyn sisällöstä: kysely on osin johdatteleva (n=2), pelkoja ja riskejä korostetaan tai kysely on niiden suhteen provosoiva (n=3); b) aihepiiri on vielä tuore ja tietoa tarvitaan lisää riskien hallitsemiseksi (n=3); c) pelkoja pitää suitsia tiedolla (n=3).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Asiantuntijoiden arvioissa korostuu, että rakennusosien uudelleenkäyttö ja sen huomioiminen rakennushankkeissa on kasvamassa. Tutkimukseen osallistuneiden asiantuntijoiden arvion mukaan uudelleenkäyttö tulee tulevaisuudessa lisääntymään heidän omassa työssään ja erityisesti tietyissä tuoteryhmissä, kuten kalusteet, ovet ja ikkunat, teräsrakenteet sekä tiilet.

Kuitenkin noin 70 % kyselyyn vastanneista asiantuntijoista oli sitä mieltä, että uudelleenkäyttöön liittyy suuria tai melko suuria riskejä sisäilman laadun näkökulmasta. Tähän liittyi huoli siitä, että uudelleenkäytettävissä materiaaleissa saattaa olla vaarallisia tai kiellettyjä aineita, tai ne voivat sisältää muita epäpuhtauksia, sekä siihen, että tällä hetkellä ei ole olemassa selkeitä toimintamalleja, ohjeita tai määräyksiä, joiden avulla voitaisiin varmistaa uudelleenkäytettävien materiaalien terveellisyys ja turvallisuus. Yli 90 % vastaajista näki tärkeäksi, että rakennusosien uudelleenkäyttöön tulisi olla ohjeistusta materiaalien tutkimisen ja suunnittelun sisäilmanäkökulmasta.

On syytä huomata, että tämä esiin tullut huoli ei ole uusi, ja se on todettu useissa tutkimuksissa ja kirjallisuuskatsauksessa /2, 4/. Tämä korostaa tarvetta kehittää selkeämpiä ja yhtenäisempiä ohjeita ja toimintamalleja, jotka mahdollistavat uudelleenkäytettävien materiaalien turvallisen ja luotettavan käytön rakentamisessa. Vastausten perusteella asiantuntijat tarvitsevat myös tietoa ja osaamisen vahvistamista uudelleenkäytettävien rakennusosien ominaisuuksien ja kunnon tutkimiseen, riskien arviointiin ja suunnitteluun sisäilmanäkökulmasta.

Ohjeistuksen ja alan yhteisten käytäntöjen lisäksi myös viranomaistoiminta ja säädöskehikko edellyttävät kehittämistä, jotta uudelleenkäyttö mahdollistuisi laaja-alaisesti. EU:n rakennustuoteasetuksen päivitys tuonee tähän ratkaisuja, mutta vasta pidemmällä aikajänteellä. Tämän artikkelin kirjoittamisen hetkellä arvioitu rakennustuotteiden uuden sääntelyn siirtymisaika on noin 15 vuotta ja se tulisi voimaan vuonna 2039 /9/.

Kun rakennusmateriaalien kiertotalouden ratkaisut yleistyvät, tulemme varmasti kohtaamaan haasteita, joista erityisesti terveellisyteen ja turvallisuuteen liittyvät riskit tulee tunnistaa ja arvioida. Tutkimukseen ja kokemukseen pohjautuvan tiedon avulla voidaan kehittää riskien tunnistamiseen ja hallintaan soveltuvat ratkaisut, joilla mahdollistetaan esimerkiksi uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden turvallinen käyttö jatkossa. Riskien ohittaminen kiireessäkään ei ole kestävää, tämä on yleensä osoittautunut pidemmällä ajanjaksolla vähiten kestäväksi.

Rakennustietosäätiön johtamassa UURAKET-hankkeessa kootaan ja tuotetaan tietoa rakennusosien uudelleenkäytön kelpoisuuden ja soveltuvuuden selvittämisestä sekä rakennesuunnittelusta ja tehdään mm. aineistoanalyysi rakennusosien epäpuhtauksista ja niiden mahdollisista vaikutuksista sisäilmaan. Hankkeesta julkaistaan ilmainen opas RTS-julkaisusarjassa vuonna 2025. Artikkelin kirjoittajat ovat osallisina UURAKET-hankkeessa. Suomessa ja kansainvälisesti on käynnissä myös muita hankkeita, mitkä sivuavat uudelleenkäytön sisäilmanäkökulmia.

LÄHDELUETTELO

1. Hopkinson P., Chen H-M., Zhou K. 2018. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability 172(3): 119–128.
2. Rakhshan K., Morel J-C, Alaka H, Charef R. 2020. Components reuse in the building sector – A systematic review. Waste management & Research 2020. Vol. 38(4) 347-370. Components reuse in the building sector – A systematic review.
3. Zhu Y., Lonka H., Tähtinen K. ym. 2022. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin terveellisyden ja turvallisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:15.
4. Nordby A.S. 2019. Barriers and opportunities to reuse of building materials in the Norwegian construction sector. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 225 012061. .
5. Rhadil p., Talja A., Wahlström M., Huuhka S., Lahdensivu J., Pikkuvirta J. 2014. Re-use of structural elements: Environmentally efficient recovery of building components. VTT Technology: 200. VTT Technical Research Centre of Finland.
6. DIN SPEC 91484:2023-09 Procedure To Record Building Materials As A Base To Evaluate The Potential For A High-Quality Reutilization Prior To Demolition And Renovation Work (Pre-Demolition Audit).
7. Koponen, A. 2023. Rakennustuotteiden uudelleenkäytön määrittelyt, Versio 1.0. (1.9.2023). Saatavissa: <https://testbed.hel.fi/kiertotalous/kirjasto/>
8. ECHA (2019). Mapping the chemical universe to address substances of concern Integrated Regulatory Strategy Annual Report.
9. Rakennustuoteasetuksesta alustava sopu. Ympäristöministeriön tiedote. Julkaisujankohda 14.12.2023 15.39. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakennustuoteasetuksesta-alustava-sopu>

KUNTIEN SISÄILMAKYSELY 2023

Anniina Salmela¹, Kaisa Jalkanen¹, Kaisa Mäntynen², Mikko Simpanen² ja Anne Hyvärinen¹

¹Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Kuopio

²Suomen Kuntaliitto ry

TIIVISTELMÄ

Kuntien toimintatapoja kiinteistönhallinnassa sekä sisäympäristöasioissa on pyritty viime vuosien aikana kehittämään valtakunnallisissa hankkeissa. Kuntien panostus omistamiensa rakennusten sisäilman laatuun onkin lisääntynyt viimeisen 5 vuoden aikana, eritoten koulu- ja päiväkotirakennuksissa. Kunnat arvioivat, että tänä päivänä merkittävät sisäilmaongelmat ovat vähentyneet heidän omistuksessaan olevassa kiinteistökannassa. Nyt vuonna 2023 toistettu kuntakiinteistöjen sisäilmakysely kuntien toimitiloista ja sisäilmasta vastaaville tahoille ennakoi, että kuntien kiinteistökannan hallinta on parantunut.

JOHDANTO

Useissa selvityshankkeissa on todettu viimeisen vuosikymmenen aikana, että kunnat tarvitsevat tukea sisäilmatilanteen parantamiseksi sekä tietoa toimintatavoista ja päätöksenteosta kiinteistökannan hallinnassa ja sisäilmaongelmien hoitamisessa /1–4/.

Suomen noin 300 kunnassa on erilaisia sisäympäristöön liittyviä tarpeita liittyen muun muassa kuntien omien strategioiden, väestönkehityksen ja talouden näkökulmiin. Kunnille onkin kehitetty ohjeistuksia sisäympäristötilanteisiin, jotka keräävät yhteen hyviä käytäntöjä kuntien toimintatapojen tukemiseksi aina kiinteistönomistajan näkökulmasta koulujen opiskeluhooltoon.

Rakennusten sisäympäristötilanteen kokonaisvaltainen hallinta edellyttää työkaluja ja käytäntöjä rakennusten ylläpitoon ja ongelmien ratkaisemiseen. Tietoa ja tukea on tuotettu useissa selvityshankkeissa /mm. 1–4/ ja kansallisissa ohjelmissa /mm. 5–6/.

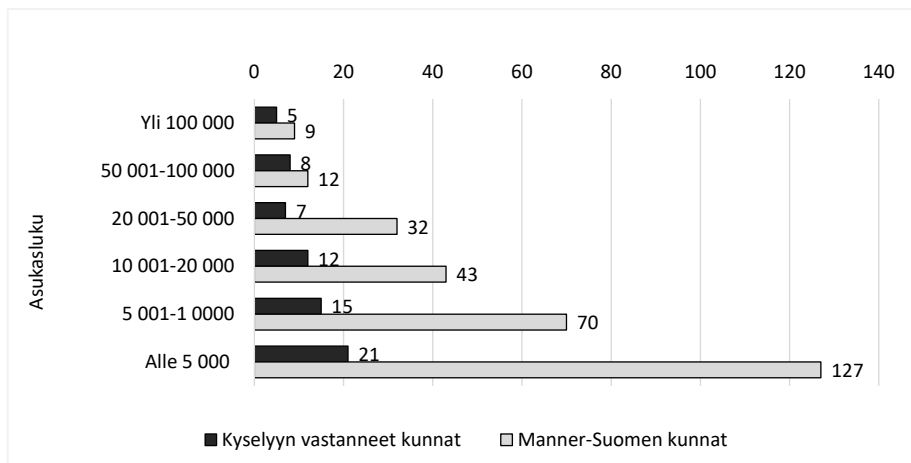
Kuntien toiminta on pysynyt vakiintuneena pitkään. Kunnat tuottavat lakisääteisiä palveluita ja hoitavat näihin palveluihin liittyvää rakennuskantaa kuten oppilaitos- ja päiväkotirakennuksia. Kiinteistöjen omistajuus on vaihdellut aina tilojen vuokrauksesta kuntakonserneihin. Nyt tilanne kuntien kiinteistökannassa on kuitenkin muuttumassa. Yksi merkittävä muutostekijä on hyvinvointialueiden aloittaminen vuoden 2023 alussa, jonka myötä terveydenhuollon, erikoissairaanhoidon, sosiaalitoimen ja pelastustoimen käytössä olevat kunnan omistamat toimitilat siirtyivät vuokrasopimuksen nojalla hyvinvointialueen hallintaan.

Tämän julkaisun tavoitteena on kuvata muutosta kuntien sisäilmatilanteessa viimeisen viiden vuoden aikana.

MENETELMÄT

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) lähestyi yhdessä Suomen Kuntaliitto ry:n kanssa kaikkia Manner-Suomen kuntia sähköisellä kyselyllä keväällä 2023 /7/. Kysely

lähetettiin kuntien kirjaamoihin ja se pyydettiin ohjaamaan toimitiloista ja sisäilma-asioista vastaavalle taholle. Kyselyllä selvitettiin kuntien tämänhetkistä sisäilmatilannetta, toimintatapoja ja kehityskohteita sekä tulevaisuuden näkymiä sisäilmatilanteisiin liittyen. Kyselyyn vastasi kaikkiaan 23 % Manner-Suomen kunnista (68 kuntaa) (Kuva 1). Vastauksia saatiin lukumääräisesti eniten pienistä, alle 10 000 asukkaan, kunnista (48 kuntaa).



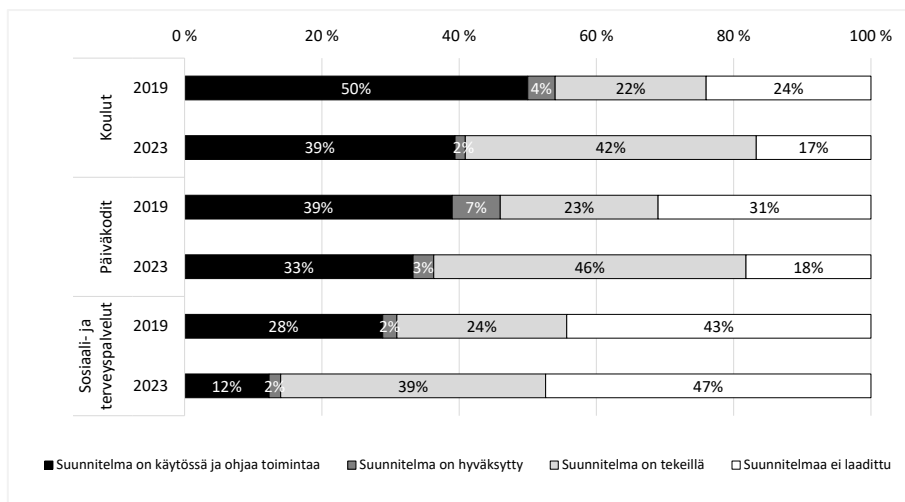
Kuva 1. Kuntien sisäilmäkyselyyn 2023 vastanneiden Manner-Suomen kuntien kuntakokojakauma.

Nyt toteutetun selvityksen tuloksia verrattiin sopivilta osin vuosina 2017 ja 2019 julkaistuihin Avater (2) ja SisäNyt (4) -kyselyiden tuloksiin.

TULOKSET

Kuntien vuoden 2023 sisäilmäkyselyn vastaajista yli 80 % ilmoitti sisäilma-asioiden olevan osa kunnan strategiaa. Useimmiten sisäilma-asiat oli huomioitu kiinteistöstrategiassa tai toimitilaohjelmassa. Tilanne oli vastaava vuonna 2019. Kun verrataan tuloksia niiden 33 kunnan osalta, jotka vastasivat sekä SisäNyt-kyselyyn vuonna 2019 että Kuntien sisäilmäkyselyyn 2023, on sisäilma-asioiden ottaminen huomioon strategiassa lisääntynyt.

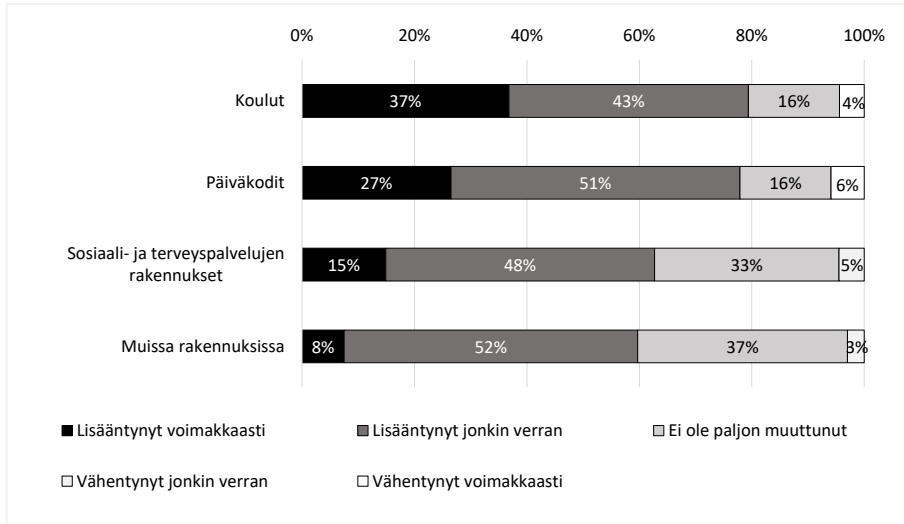
Yhä useammin palveluverkkosuunnitelmien tekeminen on käynnistetty kunnissa ja toimintatavan voidaan katsoa olevan laajemmin käytössä (Kuva 2). Tällä hetkellä suurin muutos vuoteen 2019 on tapahtunut palveluverkkosuunnitelmien laadinnassa; yhä useammassa kunnassa kouluja ja päiväkotia koskevien palveluverkkosuunnitelmien laadinta on käynnistetty. Palveluverkkosuunnitelmat on otettu myös suoraan ohjaamaan toimintaa hyväksynnän jälkeen.



Kuva 2. Palveluverkkosuunnitelmien laadinta vuosina 2019 ja 2023.

Kunnat omistavat useimmiten tilansa itse kunnan omassa taseessa ja tilojen vuokrauksen ulkopuoliselta taholta tai tilojen leasing -järjestelyt ovat harvinaisempia. Arvioitaessa omistajuuden kehitystä kunnissa, tilojen omistamisen omassa taseessa nähdään vähentyvän tulevaisuudessa. Samaan aikaan tilojen vuokraus ulkopuoliselta taholta ja leasing-järjestelyt lisääntyvät, joskaan ei yhtä paljon kuin vuonna 2019. Valtaosalla tilojen omistajuuden arvioidaan kuitenkin pysyvän tulevaisuudessa muuttumattomana pois lukien omistamisen omassa taseessa. Hyvinvointialueiden aloittamisen myötä on kuntien sosiaali-, terveys- ja pelastustoimen rakennusten omistajuuteen tullut muutoksia, jotka vaikuttavat kuntien rakennuskantaan tulevaisuudessa.

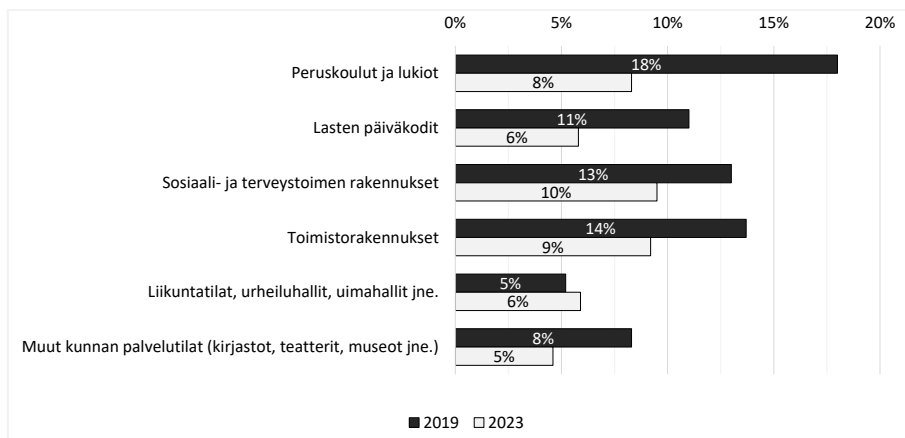
Kuntien panostus omistamien rakennustensa sisäilman laatuun on lisääntynyt viimeisen viiden vuoden aikana (Kuva 3). Vastaajista 84 % arvioi, että tehdyt toimet kunnissa ovat vähentäneet ongelmia. Kyselyn perusteella yhä useammin sisäilmatilanteet pystytään ennaltaehkäisemään vuonna 2023, kun vielä vuonna 2017 Avater-kyselyssä ongelmien nähtiin osassa kunnissa pahenevan ja vain akuuttien ongelmien hoitamisen olevan mahdollista.



Kuva 3. Kuntien panostus rakennustensa sisäilman laatuun vuonna 2023.

Merkittävimmät toimet, jolla kunnissa nähdään olleen vaikutusta sisäilmatilanteen kohenemiseen, liittyivät kiinteistökannan uudistamiseen, peruskorjauksiin ja ilmanvaihdollisiin toimiin. Ilmanvaihtokoneiden säännöllisellä huollolla ja kanavien puhdistuksella sekä ilmamäärien säädöillä on saatu sisäilmalaatua parannettua. Selkeiden sisäilmaprosessin kehittämisen ja käyttöönoton sekä pitkäjänteisen työn paremman sisäilman hyväksi nähdään tuoneen tulosta. Myös nopeaa reagointia sisäilmaan liittyviin ilmoituksiin ja lisäresursseja sisäilmatyöhön pidettiin merkittävinä. Muutos sisäilmatilanteen kohenemisessa voidaan huomata myös, kun katsotaan merkittävien sisäilmaongelmien yleisyyttä kiinteistökannan neliömäärästä.

Kyselyn perusteella merkittäviä sisäilmaongelmia esiintyy kuntien omistamissa peruskouluissa ja lukioissa 8 %; päiväkodeissa 6 %; sosiaali- ja terveystoimen rakennuksissa, jotka edelleen kuntien omistuksessa, 10 %; toimistorakennuksissa 9 %; liikuntatiloissa, urheiluhalleissa, uimahalleissa jne. 6 % ja muissa kunnan palvelutiloissa (kirjastot, teatterit, museot jne.) 5 % rakennustyyppien kokonaisneliömäärästä. Vuoteen 2019 verrattuna etenkin peruskouluissa ja lukioissa ovat merkittävät sisäilmaongelmat neliömäärällisesti vähentyneet huomattavasti (Kuva 4). Myös päiväkodeissa ja toimistoissa tilanne on selkeästi parantunut. Liikuntatiloissa, urheiluhalleissa, uimahalleissa ja muissa vastaavissa tiloissa voidaan katsoa tilanteen olevan sama vuosien 2019 (5,2 %) ja 2023 (5,9 %) välillä. Tuloksissa on kuitenkin huomioitava alempi vastausprosentti vuoteen 2019 verrattuna ja yksittäisten vastausten hajonta.



Kuva 4. Merkittävien sisäilmaongelmien yleisyys rakennustyyppien kokonaisnелиömäärästä vuonna 2019 ja 2023.

Sisäilmaongelmien syyt liittyvät kyselyn perusteella keskimäärin yhä useammin olosuhteisiin, kuten ilmanvaihdon ongelmiin, tunkkaisuuteen (CO₂), painesuhteisiin (tekniset ongelmat) sekä lämpötilaan, ilman kuivuuteen tai kosteuteen sekä veto-ongelmiin. Siinä missä kosteus- ja homevauriot olivat vielä viisi vuotta sitten SisäNyt -kyselyssä toiseksi yleisin ongelma sisäympäristöissä, oli nyt olosuhteongelmat sen ohittaneet ja ero mineraali- ja villakuituihin ja kemiallisiin yhdisteisiin, kuten VOC, ammoniakki ja sisäilman muut kemialliset yhdisteet (PAH yms.) kaventunut.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kunnat arvioivat, että kiinteistökannan hallinta ja sisäilmatilanne kunnissa ovat parantuneet aiempaan verrattuna. Yhä useammalla kunnalla on toimintamalli sisäilmatilanteita varten ja sisäympäristöasiat on otettu osaksi kunnan strategiaa /5/. Aiemmin jo SisäNyt-hankkeessa todettiin, että mikäli sisäilma-asiat on nostettu kuntastrategiaan, on sisäilmatilanne paremmin hallinnassa /4/. Näissä kunnissa on myös tehty kattavammin palveluverkkosuunnitelmia sekä laadittu kirjallisesti kuvattu toimintamalli sisäilmaongelmien käsittelystä. Palveluverkkosuunnitelmat ovat olleet osa kuntia ohjaavaa toimintaa jo aiemminkin. Tällä hetkellä suurin muutos on tapahtunut palveluverkkosuunnitelmien laadinnassa; yhä useammassa kunnassa palveluverkkosuunnitelmien laadinta on käynnistetty.

Etenkin kouluissa ja päiväkodeissa panostus sisäilman laatuun on lisääntynyt voimakkaasti. Tämä näkyy myös tuloksissa, kun katsotaan kuntien arvioita sisäilma-asioiden nykytilasta. Tällä hetkellä sisäilmatilanteet pystytään ennaltaehkäisemään yhä useammin. Vielä vuonna 2017 ongelmien nähtiin osassa kunnissa pahenevan ja vain akuuttien ongelmien hoitaminen oli mahdollista /3/. Merkittävimmät toimet, jolla nähdään olleen vaikutusta sisäilmatilanteen kohenemiseen, liittyivät kiinteistökannan uudistamiseen, peruskorjauksiin ja ilmanvaihdollisiin toimiin.

Tarkasteltaessa kunnan omistamissa rakennuksissa esiintyvien merkittävien sisäilmaongelmien yleisyyttä, voidaan niiden todeta vähentyneen vuodesta 2019. Kuntien omistamissa ja käyttämissä rakennuksissa merkittäviä sisäilmaongelmia esiintyy vuoden 2023 kyselyn perusteella 5–10 % rakennusten kokonaisnелиömäärästä, kun taas vuonna 2019 niitä esiintyi vielä 5–18 % rakennusten kokonaisnелиömäärästä.

Yleisimmät syyt todettujen sisäilmaongelmien taustalla eivät ole juuri muuttuneet vuosien 2019 ja 2023 välillä. Yleisimmät syyt olivat ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat, tunkkaisuus ja painesuhteet (tekniset syyt).

Merkittävimmät haasteet sisäilma-asioiden suunnitelmalliselle hoitamiselle ovat edelleen rakennuskannan ikärakenne ja riittämättömät taloudelliset resurssit koskien uudis- ja korjausinvestointeja sekä ennakoivan ylläpidon tarpeita. Myöskään vuoden 2023 alusta voimaan astuneen hyvinvointialueuudistuksen vaikutuksia sosiaali- ja terveysalan kiinteistöihin ei pystytä vielä arvioimaan.

KIITOKSET

Tämä selvitys on tehty osana Kansallista sisäilma ja terveys -ohjelmaa. THL ja Kuntaliitto haluavat kiittää niitä kuntia, jotka ovat mahdollistaneet tämän selvityksen vastaamalla heille lähetettyyn kyselyyn kuntien sisäilmatilanteesta vuonna 2023.

LÄHDELUETTELO

1. Pekkola V. ym. (2011) Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Ympäristöministeriö
2. Hyvärinen A. ym. (2017) Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVA-TER) – Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2017:44.
3. Ung-Lanki S. Ym. (2017) Kuntien toimintatavat koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Työpaperi 11_2017.
4. Salmela ym. (2019) Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä (SisäNyt). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:59.
5. Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelma. www.thl.fi/sisailmaohjelma.
6. Terveet tilat 2028 -toimenpideohjelma. www.tilatjaterveys.fi.
7. Salmela A. ym. (2024) Katsaus kuntien sisäilmatilanteeseen – Kuntien sisäilmakysely 2023. THL, Työpaperi 4_2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-408-255-6>.

ERILAISET TYÖYMPÄRISTÖT

MONIPAIKKAISEN TYÖN VAIKUTUS SISÄILMASTOKOKEMUKSEEN

Kasper Fabritius ja Anne Korpi

Senaatti-kiinteistöt

TIIVISTELMÄ

Artikkelissa tarkastellaan monipaikkaisen työn yhteyttä yleiseen työtyytyväisyyteen sekä koettuun työpaikan sisäilman laatuun. Aineistona on käytetty valtion henkilöstön työtyytyväisyystutkimuksia ja Senaatin asiakastytytyväisyyskyselyjä vuosilta 2018–2022 sekä virastojen toimitilastrategioita. Valtion työntekijöiden yleinen työtyytyväisyys, tyytyväisyys työskentelytiloihin ja johtamiseen pandemian aikana ja sen jälkeen kasvoivat selkeästi, kun taas toimistotilojen käyttöasteet laskivat huomattavasti. Työtilatyytyväisyyden ja sisäilmatyytyväisyyden välillä oli positiivinen riippuvuus. Tyytyväisyys työpaikan sisäilmaan nousi työpaikalla vietetystä ajasta riippumatta. Jatkossa on päätettävä, onko työtiloissa vietetty aika huomioitava tiloihin liittyvien tyytyväisyyskyselyjen tuloksia tarkasteltaessa.

JOHDANTO JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Työnteon paradigmanmuutos siinä miten, milloin ja missä työtä tehdään

Covid-19-pandemia muutti tavan, millä toimistotyötä tehdään. Keväällä 2020 yli miljoona suomalaista siirtyi tekemään etätöitä /1/. Valtion 71 000 työntekijästä siirtyi 39 000 etätöihin.

Korporaatioille monipaikkainen työ on tuonut mukanaan monia etuja. Toimitiloja on pystytty vähentämään ja rekrytointialueita on pystytty laajentamaan, kun monipaikkainen työ on mahdollista teoriassa mistä tahansa. Asynkroninen työ on tuonut tehokkuutta moniin prosesseihin ja digitalisaatiossa on otettu harppaus eteenpäin /2-4/. Vuonna 2021 vahvistettiin valtionhallinnossa monipaikkaisuuden edistämisen linjaukset, joiden mukaan monipaikkainen ja paikkasidonnainen työ ovat valtiolla samanarvoisia /5/.

Voidaan puhua tietotyön transformaatiosta, jossa aikaisemmin pääsääntöisesti yhdestä toimipisteestä tehty työ on muuttunut kohti useasta eri paikasta tehtävää työtä. Valtion toimitilastrategiassa 2020-luvulla tapahtuvaa työnteon kehitystä kuvataan ekosysteeminä, jossa eri paikoista – yksityisistä paikoista kuten kotoa tai mökiltä, valtion yhteisistä työympäristöistä, tapahtumapaikoista tai kolmansista paikoista – tapahtuva työ muodostaa kokonaisuuden (Kuva 1) /6/. Valinta siitä, missä työtä tehdään, on enenevissä määrin työntekijän oma päätös. Kuitenkin vaikutukset työtyytyväisyyteen ovat ristiriitaisia /4,7,8/ ja tilanne on jopa lisännyt siirtymistä osa-aikatyöstä kokopäivätyöhön /9/.

Tässä artikkelissa pohditaan, onko monipaikkainen työnteke heijastunut Suomen valtionhallinnon työntekijöiden yleiseen työtyytyväisyyteen ja sisäilmakokemukseen.

Monipaikkaisen työn ekosysteemi valtiolla



Kuva 1. Monipaikkaisen työn ekosysteemi valtiolla /6/.

AINEISTO

Artikkeli pohjautuu kahden valtionhallinnon henkilöstölle vuosittain tehdyn kyselytutkimuksen tuloksiin, valtionhallinnon virastojen antamiin etätyömääräarvioihin sekä Senaatin toimistoissa toteuttamiin käyttöastemittauksiin:

- Valtion henkilöstöntyytyväisyystutkimus (VMBaro), jonka toteutuksesta vastaa valtion talous- ja henkilöstöhallinnon palvelukeskus Palkeet /10/. Arvioitavia **työtyytyväisyystekijöitä** ovat johtaminen; työn sisältö ja vaikuttamismahdollisuudet; palkkaus; osaaminen, oppiminen ja uudistuminen; työyhteisön toimintakulttuuri, työ- ja toimintaympäristö (jossa mm. työskentelytilat); vuorovaikutus ja viestintä sekä työnantajakuva ja arvot. Kyselyllä on varsin laaja peitto yli eri virastojen, ja vastausprosentit kyselyyn ovat olleet viime vuosina yli 70 % ja vastaajamäärä n. 50 000.
- Asiakastytytyväisyyskysely tyytyväisyydestä valtionhallinnon käyttämiin toimitiloihin ja siitä **sisäilmaan** kohdistuvan tyytyväisyyden kysymykset: tyytyväisyys sisätilojen vedottomuuteen, sisätilojen lämpötilaan ja tyytyväisyys sisäilman raikkauteen ja hajuttomuuteen. Kyselyn toteutuksesta vastaa Senaatti-kiinteistöt (vastaajamäärä n. 7000–9000).
- Etätö** **määrän** arvioinnissa hyödynnettiin valtionhallinnon virastojen vuosina 2020–2023 laatimia toimitilastrategian toimeenpanosuunnitelmia sekä erityisesti niissä olevia arvioita etätö määrästä tarkasteluhetkellä ja tulevaisuudessa.
- Valtionhallinnossa tehtiin lisäksi 140 **käyttöastemittausta** yli 30 hengen toimistoissa vuosina 2022 ja 2023 valtiovarainministeriön aloitteesta /11/. Näiden mittauksen pohjalta tarkennettiin etätöä tekevien määriä valtionhallinnossa.

TULOKSET

Etätyö

Etätyön määrää on arvioinut 52 virastoa. Valtionhallinnossa erityisesti toimistotyötä tekevistä henkilöstöstä siirtyi etätöihin v. 2020 arviolta 38 600 henkilöä, mikä on 54 % valtion työvoimasta (Taulukko 1). Hallinnollista työtä tekevien virastojen työntekijöistä peräti 87 % siirtyi etätöihin. Seuraavinakin vuosina etätyön määrä pysyi yli 30 000 htv:ssa. On huomattava, että esim. poliisin, rajavartiolaitoksen, tullin ja maanpuolustuksen kenttätöitä ei voi tehdä etänä.

Toimistotilojen käyttöastetta tarkasteltiin 140 läsnäolomittauksella. Vuonna 2022 tilojen käyttöastetulos oli syksyllä keskimäärin 25 % (vaihteluväli 5–75 %) ja keväällä 2023 keskimäärin 28 % (10–72 %) /11/, mikä vastaa vajaata puoleltoista päivän keskimääräistä läsnäoloa työpaikalla viikossa.

Ennen pandemiaa valtionhallinnossa etätyön määräksi on arvioitu n. 5000 htv (Taulukko 1), mikä vastaa toimistotyötä tekevien osalta noin puolta päivää etätyötä viikossa.

Taulukko 1. Etätyön määrä valtiolla.

	2018	2019	2020	2021	2022
Etätyö (htv)	5000	5000	38600	36000	34000

Valtionhallinnossa työtyytyväisyyden kehitys

VMBaro-kyselyn /10/ tuloksen mukaan kokonaisuutena työtyytyväisyys on kasvanut viimeisen viiden vuoden aikana (Taulukko 2). Merkille pantavaa on, että tyytyväisyys otti harppauksen ylöspäin ensimmäisenä pandemiavuonna 2020 ja on sen jälkeenkin pysynyt pandemiaa edeltävää tasoa korkeammalla.

Tyytyväisyys työskentelytiloihin otti myös harppauksen ylöspäin ensimmäisenä pandemiavuonna 2020 ja trendi on sen jälkeen edelleen ollut nouseva. Myös valtion työntekijöiden tyytyväisyys johtamiseen on pandemiavuosina kokonaisuutena hieman noussut.

Taulukko 2. Valtion työtyytyväisyyskyselyn tuloksia /10/. Asteikko 1 (täysin eri mieltä) – 5 (täysin samaa mieltä).

	2018	2019	2020	2021	2022
Tyytyväisyys johtamiseen	3,45	3,45	3,55	3,45	3,49
Tyytyväisyys tiloihin	3,52	3,49	3,57	3,66	3,73
Työtyytyväisyys kokonaisuutena	3,59	3,59	3,67	3,65	3,69

Tyytyväisyys työpaikan sisäilmaan

Valtion tiloihin ja palveluihin kohdistuvassa asiakastytytyväisyyskyselyssä tyytyväisyys sisäilmaan nousi edellistä vuotta enemmän vuonna 2020 ja nousu jatkui myös sen jälkeen seurantavuosina 2021 ja 2022 (Taulukko 3).

Asiakastytytyväisyyskyselyssä kysyttiin vuosina 2020–2022 vastaajien työpaikalla (toimistossa) viettämän työajan osuutta. Työpaikalla >50 % työajasta viettävien osuus

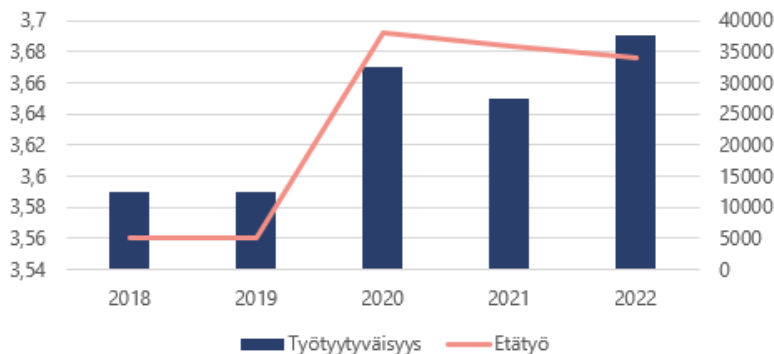
vastaajista oli 42 % v. 2020 ja nousi tästä seuraavina vuosina. Päin vastainen trendi oli niiden kyselyyn vastanneiden määrissä, jotka kävivät toimistolla vain satunnaisesti tai ei lainkaan: heidän osuutensa kaikista vastaajista oli ensimmäisenä seurantavuotena 41 % ja laski siitä 19 %:iin v. 2022. Kaikissa vastaajaluokissa sisäilmatyytyväisyys nousi tarkastelukautena, ja oli korkein siinä luokassa, joka kävi työpaikalla harvimmin.

Taulukko 3. Asiakastyytyväisyys, kolme sisäilmakysymystä (asteikko 1 (erittäin tyytymätön) – 5 (erittäin tyytyväinen). x=ennen pandemiavuotta työpaikalla katsottiin tässä olleen >50 % vastaajista.

Sisäilmatyytyväisyys	2018	2019	2020	2021	2022
Kaikki vastaajat	3,14	3,21	3,37	3,46	3,53
Työpaikalla >50 % työajasta olleet	3,14 ^x	3,21 ^x	3,28	3,38	3,40
Työpaikalla <50 % työajasta olleet	---	---	3,41	3,53	3,61
Satunnaisesti tai ei lainkaan työpaikalla	---	---	3,45	3,53	3,77

TULOSTEN TARKASTELUA

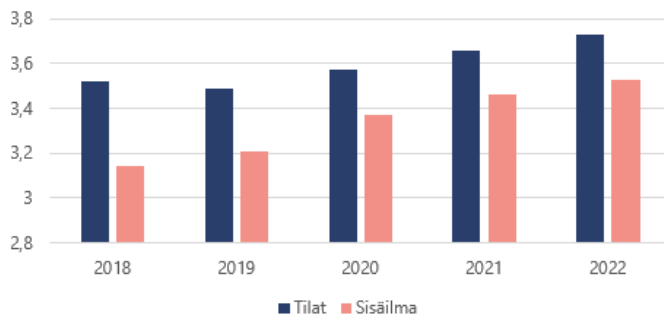
Valtion työntekijöiden yleisessä tyytyväisyydessä tapahtui iso harppaus ylöspäin vuosien 2019 ja 2020 välillä (Kuva 2). Tämä osui samaan ajankohtaan, jolloin etätöiden määrä yli 7-kertaistui pandemian myötä.



Kuva 2. Etätöiden määrä (henkilötöyövuosina) sekä työntekijöiden yleinen tyytyväisyys (asteikko 1–5) valtionhallinnossa.

Kun samalla tarkasteluvälillä vertaillaan tyytyväisyyttä valtion työskentelytiloihin ja tilojen sisäilmaan, voidaan todeta, että nämä ovat myös olleet noususuuntaisia niin ennen pandemiaa, sen aikana kuin sen jälkeenkin (Kuva 3).

Kyselyn ryhmätulosten perusteella näyttää siltä, että kun vastaaja on tyytyväinen työhönsä, hän on tyytyväinen myös tiloihin ja sisäilman laatuunkin. VMBaro-kyselyssä oli myös joukko muita tyytyväisyyden osatekijöitä mukana, ja niillä on oma vaikutuksensa kokonaistyytyväisyyteen. Tässä yhteenvedossa ei ole kuitenkaan ollut mahdollista tehdä tarkempaa analyysiä vastaajakohtaisesti eikä osatekijöittäin.



Kuva 3. Valtionhallinnon työntekijöiden tyytyväisyys tiloihin (asteikko 1–5) ja sisäilmaan (asteikko 1–5) vuosina 2018–2022.

Yleinen tyytyväisyys kuin myös tyytyväisyys sisäilmaan on kasvanut tarkastelujaksolla. Huomion arvoista on, että tyytyväisyys sisäilmaan on kasvanut sekä niiden joukossa, jotka tekevät työtä enemmän työpaikalla kuin myös niiden joukossa, jotka työskentelevät enemmän etänä.

Tyytyväisyyden tarkastelu monipaikkaisessa työssä

Näyttää vahvasti siltä, että Suomen valtionhallinnossa etätyö ja monipaikkainen työ on tullut jäädäkseen. Kasvanut valinnanvapaus siitä, missä ja milloin työtä tehdään, on lisännyt tyytyväisyyttä työhön, johtamiseen ja työtiloihin pandemia-aikana ja sen jälkeen. Samaan aikaan toimistotilojen käyttöasteet ovat pysyneet alhaisella tasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että työtiloja arvioidaan myös aiempaa lyhytkestoisemman tiloissa oleskelun pohjalta. Siitä huolimatta sisäilmatyytyväisyyden arvosanat ovat nousseet toimistossa vietettävän työajan pituudesta riippumatta. Vaikka yleinen tyytyväisyys hybridityöhön olisikin jonkin verran heijastunut sisäilmatyytyväisyyden vastauksiin, on todennäköistä, että satsaukset sisäilman laatuun valtion työpaikoilla kantavat hedelmää.

Kun toimistotila edustaa läsnäolomittausten mukaan vain reilua neljäsosaa työntekopaikasta, on syytä pohtia, miten muut työnteon paikat vaikuttavat monipaikkaisen työn työympäristökokemukseen. On tuskin tarkoituksenmukaista jatkossa mitata tyytyväisyyttä työympäristöön toimiston lisäksi työntekijöiden kotoa, mökiltä, hotellien auloista, liikennevälineistä, tapahtumapaikoista ja kahviloista. Epäselvää on se, mikä vaikutus etätyöpisteiden sisäilman laadulla on yleiseen koettuun tyytyväisyyteen: Sisäilman laatu ihmisten kotona, mökeillä, hotellien auloissa ja kahviloissa on tuskin ottanut teknisesti isoa harppausta korkeammalle viimeisen kahden–kolmen vuoden aikana. Toisaalta taas parempi mahdollisuus säätää yksilöllisesti etätyössä (yksityisissä paikoissa) valaistusta ja lämpötilaa lisännevät yleistä tyytyväisyyttä.

Tyytyväisyyttä työympäristöjen eri tekijöihin tulisikin jatkossa tarkastella holistisemmin huomioiden myös muita työntekijöiden tyytyväisyyteen vaikuttavia psykologisia tekijöitä. On myös päätettävä, onko (ja jos on, niin millä tavoin) työtiloissa vietetty aika huomioitava tiloihin liittyvien tyytyväisyyskyselyjen tuloksia tarkasteltaessa ja niistä johtopäätöksiä laadittaessa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Pandemian aikana ja sen jälkeen työelämän joustot, joita monipaikkainen työ on tuonut mukanaan, lisäsivät yleistä tyytyväisyyttä työhön, johtamiseen ja tiloihin. Samaan aikaan valtionhallinnossa myös tyytyväisyys työpaikan sisäilmaan jatkoi nousua. Tutkittaessa tyytyväisyyttä monipaikkaiseen työhön ja työympäristön ominaisuuksiin on jatkossa tarpeen määritellä, tarvitseeko työnteon eri paikkojen, niissä vietetyn ajan ja esim. psykologisten tekijöiden vaikutuksia arvioida erikseen.

LÄHDELUETTELO

1. Pansu P. 2020 Ylen kysely: Yli miljoona suomalaista siirtynyt etätöihin koronakriisin aikana – heistä noin puolet haluaa jatkaa etätöissä koronan jälkeenkin. <https://yle.fi/a/3-11291865>.
2. World economic forum. 2020 The future of jobs report. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/>.
3. Jones Lang LaSalle (JLL). 2023 The future of the central business district. <https://www.us.jll.com/en/trends-and-insights/research/the-future-of-the-central-business-district#form>.
4. Ranki S. 2023 HELP-katsaus: Työelämän muutosnäkymät. Työterveyslaitos. <https://www.julkari.fi/handle/10024/145859>.
5. Paatero S. ja Sarkio J. 2021 Monipaikkaisuuden edistäminen valtionhallinnossa. Päätos VN/962/2020-VM-53, 24.5.2021.
6. Valtiovarainministeriö. 2021 Ehdotus valtion toimitilastrategiaksi 2030. Valtiovarainministeriön julkaisuja 2021:66. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163718>.
7. Laß I., Vera-Toscano E. ja Wooden M. 2023 Working from home, COVID-19 and job satisfaction. IZA Institute of Labor Economics. Discussion Paper Series IZA DP No. 16019. <https://docs.iza.org/dp16019.pdf>.
8. Makridis C.A. ja Schloetzer J.D. 2022 Does working from home increase job satisfaction and retention? Harvard Business School www.hbs.edu/faculty/Shared%20Documents/conferences/2022-imo/Jason%20Schloetzer%20Paper.pdf.
9. Rosengren I. 2023 Rekordmånga kvinnor arbetar heltid. Svenska Dagbladet Näringsliv. 27.12.2023. <https://www.svd.se/a/4opMp6/rekordmanga-kvinnor-arbetar-heltid-stora-lonelyft>.
10. Valtion talous- ja henkilöstöhallinnon palvelukeskus Palkeet. 2018-2022 VMBaro henkilöstötyytyväisyystutkimuksen tulosten raporttikoosteet ja analyysiraportit. <https://www.palkeet.fi/palvelut/vmbaro-valtion-henkilostotutkimus/vmbaro-tulokset-valtiolla.html>.
11. Koskela M. ja Pusa T. 2023 The service and premises network of the central government of Finland. PuRE-net conference in Reykjavik 17.-19.9.2023, Session 2.

MUUTTO KOPPIKONTTORISTA MONITILATOIMISTOON – MITATTU VS. KOETTU SISÄYMPÄRISTÖ

Arttu Sivula, Jenni Radun, Johann Laukka, Reijo Alakoivu, Henna Maula ja Valtteri Hongisto

Turun ammattikorkeakoulu Oy, rakennettu ympäristö

TIIVISTELMÄ

Tutkimme sitä, miten 1–5 hengen tilavassa huonetoimistossa toiminut yritys koki muuton tilatehokkaaseen joustavaan monitilatoimistoon. Tutkimuksessa oli kolme kyselyä: ennen muuttoa sekä kahdesti muuton jälkeen. Toimistoissa tehtiin sisäympäristön ja tilaratkaisujen mittaukset. Sisäympäristön mitattu laatutaso parani äänieristyksen osalta. Suurin muutos tapahtui lattia-alassa (-47 %) ja työpistemäärässä (-34 %). Muuton jälkeen omia työpisteitä ei ollut kuin murto-osalla, päinvastoin kuin ennen muuttoa. Työympäristötyytyväisyys ja itse arvioitu työtehokkuus heikkenivät muuton jälkeen. Tyytymättömyys kasvoi ääniympäristön, tilan määrän, visuaalisen yksityisyyden osalta. Kun otetaan huomioon merkittävä tilan pienentyminen ja käyttökulttuurin täyskäännös, voidaan muutoksen arvioida silti onnistuneen.

TAUSTA JA TAVOITE

Joustava monitilatoimisto valitaan yhä useammin toimitilaratkaisuksi, kun yritys muuttaa ja yrityksellä on laajat mahdollisuudet vaikuttaa toimitilan tilaratkaisuihin ja vuokrattuun alaan. Monitilatoimistossa on tarjolla varustelultaan ja ominaisuuksiltaan erityyppisiä työtiloja, mikä tarkoittaa, että työntekijältä edellytetään työtilan valintaa kulloisenkin työtehtävän keskittymis-, vuorovaikutus- tai varustevaatimusten mukaan. Joustava käyttötapa tarkoittaa, että työpisteitä on vähemmän kuin työntekijöitä ja työpiste ei ole nimetty (ylibuukkaus).

Joustavia monitilatoimistoja on sovellettu jo 90-luvulta asti. Ensimmäisenä ne otettiin käyttöön dynaamisissa yrityksissä, joissa projektiorganisaatioiden muutosten vuoksi oli totuttu nopeisiin muutoksiin työtehtävissä ja -paikoissa. 2010-luvulla monitilatoimistot yleistyivät valtionhallinnossa. Monitilatoimistot eivät kuitenkaan ole tilatehokkaita, jos jokaisella on edelleen oma työpiste. Ylibuukkaamalla päästään valtioneuvoston toimitilastrategian 2030 mukaiseen tilatehokkuustavoitteeseen 10 htm²/htv.

Vuonna 2019 toteutettiin globaali poikkileikkaustutkimus, johon vastasi yli 85 000 toimistotyöntekijää eri maista. Sen mukaan joustavissa toimistoissa oltiin selvästi tyytymättömämpiä fyysikaaliseen sisäympäristöön kuin avotoimistoissa, huonetoimistoissa tai tiimipöydissä /1,2/. Joustaviin toimistoihin näyttää liittyvän riski korkeammasta tyytymättömyydestä. Koska toimistoissa ei tehty sisäympäristön tarkastelua tai mittauksia, ei voida sanoa, johtuuko tulos huonosta sisäympäristöstä, tilanahtaudesta vai muista seikoista.

Itse asiassa suurin osa joustavista monitilatoimistoista koskevista tutkimuksista, edellinen mukaan lukien, on toteutettu pelkillä kyselyillä. Toimisto on jätetty kuvaamatta (mm. huonetyypit, aloineen, valaistus, akustiikka, lämpöolot). Objektiivisen tiedon puute

vaikuttaa kyselytutkimusten tulkintaa: onko vika tiloissa vai onko vika siinä, että työntekijät eivät halua tai osaa käyttää tiloja niin kuin on suunnittelupöydällä ajateltu.

Suomessa on tehty kaksi riippumatonta tutkimusta, joissa on selvitetty työntekijöiden kokemuksia joustavassa monitilatoimistossa ja samalla tehty mittauksia. Ne eivät anna yhtenäistä käsitystä tämän tilaratkaisun toimivuudesta /3,4/. Siksi tutkimusta tarvitaan lisää erityyppisistä yrityksistä.

Tavoitteena oli selvittää, miten 1–5 hengen tilavaan huonetoimistoon tottunut yritys koki muuton tilatehokkaaseen joustavaan monitilatoimistoon.

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tutkimusvaiheita oli kolme: 1: Ennen muuttoa, 2: Muuton jälkeen, ja 3: Kontrolli. Sisäympäristön kartoitus tehtiin vaiheissa 1 ja 2 sekä kyselyt vaiheissa 1–3 (Kuva 1).

Yrityksen vanhat toimitilat sijaitsivat neljässä rakennuksessa, jotka sijaitsivat samassa korttelissa. Rakennukset olivat hyvin eri ikäisiä. Osassa niistä oli tehty peruskorjauksia viime vuosikymmeninä, osassa ei. Yritys toteutti muuton, koska vuokrasopimus päättyi kolmessa rakennuksessa. Uudet, vuokratut toimitilat sijaitsivat jonkin matkan päässä vanhoista toimitiloista. Uusi toimitila oli uudisrakennus. Tilaratkaisuksi siihen valittiin monitilatoimisto ja käytettäväksi joustava (nimettömät työpisteet). Monitilatoimisto toteutettiin tarjoamalla sekä erilaisia vetäytymistiloja että erityyppisiä avotoimistoja.

Vaiheissa 1–2 toteutettiin fysikaalisen sisäympäristön mittaukset. Kaikissa huoneissa vierailtiin ja määritettiin niiden käyttötarkoitukset, mitat, materiaalit ja varustelutasot. Huoneissa mitattiin satunnaisotannalla mm. ilmastoinnin, akustiikan ja valaistuksen olosuhteita joko hetkellisesti (miehittämätön tilanne) tai pitkäaikaseurannalla (miehitetty tilanne, ihmisten vaikutus huomioituu). Kummallakin kerralla mittauksia tehtiin kaksi perättäistä päivää kolmen tutkijan voimin ja sellaisina päivinä, jolloin käyttöaste oli lähellä normaalia. Pandemian vuoksi toimistojen käyttöaste oli vaiheessa 1 kuitenkin tavanomaista alhaisempi.

Kysely kartoitti työntekijän kokemuksia toimitilasta. Tässä käsitellään vain keskeisimmät kysymykset. Kyselyyn kutsuttiin vastaamaan kaikki työntekijät. Vastaajia koskevia perustietoja on esitetty kuvassa 1. Vaiheiden 1–3 erojen merkitsevyyttä määritettiin ryhmien välisellä testillä (varianssianalyysi).

Vuosi		2022												2023											
Kuukausi	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Muutto																									
Kyselyt																									
Mittaukset																									
Vaihe	1												2												3

Vaihe	Kutsuttujen työntekijöiden lukumäärä	Vastanneiden työntekijöiden lukumäärä	Vastausaste [%]
1	177	105	59
2	192	108	56
3	189	109	58

Kuva 1. Ylhäällä on kuvattu muuton ja tutkimusvaiheiden 1–3 ajankohdat. Alhaalla on kyselyihin vastaajien määrät eri tutkimusvaiheissa.

TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Vaiheessa 1 lähes kaikilla (96 %) oli nimetty työpiste. Työpiste sijaitsi pääosin 1 hengen tai 2–5 hengen huoneissa (35 % ja 48 %). Työpisteitä oli 196. Vaiheessa 2 vain pienellä osalla (18 %) oli nimetty työpiste. Työpisteitä oli 130.

Kuvassa 2 on esitetty tilatyyppejen lukumäärät ja pinta-alat. Muutos on erittäin merkittävä keskeisten työtilojen tyyppien osalta. Kokonaispinta-ala laski 47 %.

Kuvassa 3 on esitetty sisäympäristön mittaustulokset. Lämpöoloissa ja ilmanlaadussa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Ääneneristys parani jonkin verran muuton jälkeen. Avotoimiston häiritsevyysetäisyys on ohjeellista 8 metrin enimmäisarvoa suurempi.

Työtyytyväisyydessä ei ollut eroja vaiheiden 1–3 välillä ($p>0,05$). Työtehokkuuden koettiin laskeneen vaiheesta 1 vaiheeseen 2 ($p<0,05$).

Vaiheessa 2 työympäristötyytyväisyys oli pienempi kuin vaiheessa 1 ($p<0,05$, kuva 4). Tulos on ristiriidassa kahden aiemmin tekemämme muutostutkimuksen kanssa, jossa käytettiin samoja menetelmiä, ja joiden monitilatoimistot näyttivät lähes samanlaisilta kuin tässä /3,4/. Tulos on sen sijaan linjassa globaalin tutkimuksen kanssa /1,2/, jonka mukaan haasteita oli eniten joustavissa toimistoissa.

Erityisen tyytyväisiä vaiheessa 1 oltiin työskentely- ja säilytystilan määrään, kulkureittien toimivuuteen ja vuorovaikutuksen helppouteen (Kuva 5). Vaiheessa 2 oltiin tyytyväisiä yleiseen siisteyteen, siivouspalveluun sekä kalusteiden ja pintojen väreihin ja tekstuureihin ja tyytymättömiä oltiin puheyksityisyyteen, ääniympäristöön, visuaaliseen yksityisyyteen sekä lämpötilaan. Keskittymishaitan kannalta vaiheessa 2 nousivat kärkeen puheäänet (Kuva 6).

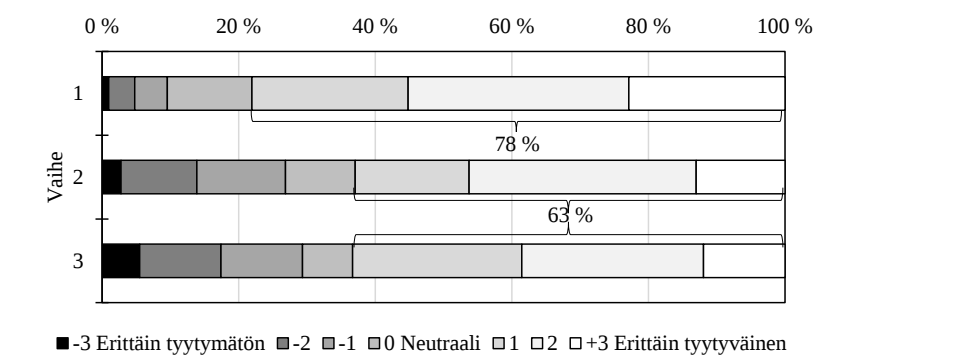
Työtilaan liittyvä hallinnan tunne heikkeni kaikilla mittareilla (Kuva 7). Uuden toimiston ei koettu sopivan tehtävien hoitamiseen yhtä hyvin kuin vanhan.

Huonetyyppi	Lukumäärä		Lattia-ala [m ²]		Muutos
	1	2	1	2	
Huone (1h)	71	11	1166	81	↓
Huone (2-4 h)	39	5	1171	90	↓
Huone (1-2h) + kokouspöytä (2-6 h)	17	0	496	0	↓
Avotoimisto (>4 h)	2	9	141	756	↑
Neuvottelu/projektityöhuone (2-4 h)	1	1	13	9	↓
Neuvottelu/projektityöhuone (>4 h)	9	18	374	454	↑
Kulkureitti avotoimistossa	0	5	0	209	↑
Käytävä huonetoimistossa	18	1	879	63	↓
Hallikäytävä (erillinen toimistoista)	3	11	95	224	↑
Taukotila	9	3	195	113	↓
Vastaanotto	2	1	124	124	
Mobiili puhelinkoppi (1 h)	1	6	0	0	↑
Mobiili työ/neuvottelukoppi (1-6 h)	0	5	0	0	↑
Muu (porraskäytävä, wc, tekn. tila)	104	47	1517	1128	↓
Yhteensä	276	123	6170	3249	

Kuva 2. Huonetyyppien lukumäärät ja pinta-alat vaiheissa 1 ja 2. Lattia-alat eivät sisällä kaikkea yrityksen vuokraamaa alaa, mutta alojen laskentatavat ovat vertailukelpoisia keskenään toimistoissa T1 ja T2.

Muuttuja ja mittaustilanne	Työh. (1-4 h)		Avotoimisto		Neuvotteluhuoneet			
	Vaihe 1		Vaihe 2		Vaihe 1		Vaihe 2	
	KA	N	KA	N	KA	N	KA	N
T _{4h} [°C] Lämpötila, miehitetty	22.3	38	21.4	62	0		22	24
CO ₂ _{4h} [ppm] Hiilidioksidipitoisuus, miehitetty	478	38	473	49	0		490	24
E _v [lx] Valaistusvoimakkuus pöydällä	547	86	448	9	630	9	672	19
L _{A,eq,4h} [dB] Keskiäänitaso, miehitetty	48	9	47	16	-	-	-	-
D _{nT1,w} [dB] Ilmääneneristys vier. työtilaan	34	12	41	2	36	1	41	2
D _{nT2,w} [dB] Ilmääneneristys käytävälle	26	8	-	-	26	1	29	3
L _{A,eq,B} [dB] Taustaaäänitaso, miehittämätön	33	85	37	9	32	8	35	19
r _D [m] Häiritsevyysetaisyys	-	-	13	5	-	-	-	-
T ₂₀ [s] Jälkikaiunta-aika, miehittämätön	0.40	23	0.47	5	0.37	1	0.39	3

Kuva 3. Fysikaalisen sisäympäristön mittaustuloksia vaiheissa 1 ja 2 keskeisten työpistealueiden ja neuvotteluhuoneiden osalta. KA= keskiarvo, N= mittausten määrä. Harmaa solu merkitsee, että olosuhde ei täytä nykyisiä ohjearvoja.

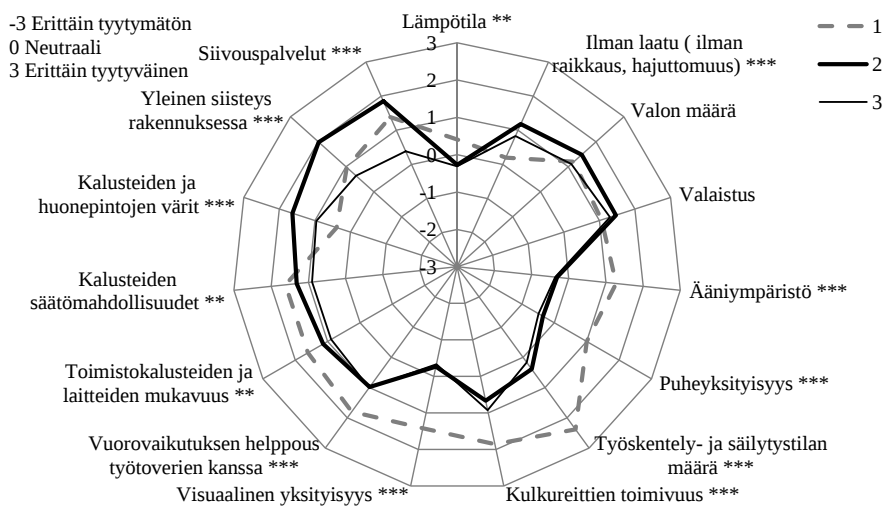


Kuva 4. Työympäristötyytyväisyyttä mitattiin kysymyksellä ” Kuinka tyytyväinen olet työympäristöösi kokonaisuutena?” käyttäen 7 portaista vastausasteikkoa, joista laitimmaiset ja keskimäinen vaihtoehto oli myös verbaalisesti ilmaistu. Tyytyväisiksi katsottiin ne, jotka vastasivat +1, +2 tai +3.

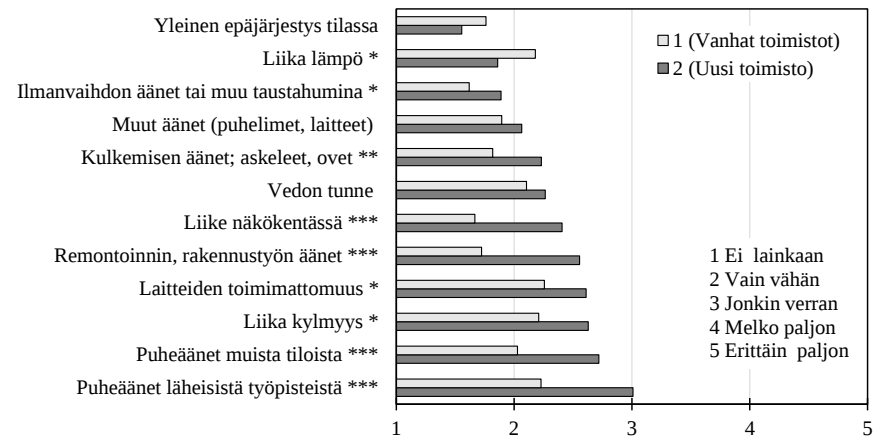
Vaiheiden 2 ja 3 välillä toimitiloissa ei tapahtunut toimitila- tai johtamismuutoksia. Kuvissa 3–7 vaiheiden 2 ja 3 välillä havaittiin pääosin mitättömiä eroja. Selviä eroja havaittiin vain yleisessä siisteydessä ja siivouspalveluissa. Tämä voi johtua todellisesta muutoksesta näissä palveluissa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tapaustutkimuksessa havaittiin, että toimistoympäristön pohjaratkaisun ja toimiston käyttökulttuurin täydellinen muutos yhdistettynä pinta-alan puolittumiseen heikensi työympäristötyytyväisyyttä ja itsearvioitua työtehoa, vaikka uuden toimiston sisäympäristö ja monimuotoisuus vastasivat joustavien monitilatoimistojen nykystandardeja pääosin hyvin. Tähän voi vaikuttaa myös se, että vanhoihin tiloihin oltiin tyytyväisiä, mutta niistä oli pakko luopua. Tässä kohteessa parannusta sisäympäristön kokemukseen voisi tuoda huoneakustiikan parantaminen.



Kuva 5. Tyytyväisyyttä toimitilan eri piirteisiin mitattiin kysymyksellä ”Kuinka tyytyväinen olet toimipisteessäsi seuraaviin tekijöihin?” käyttäen 7-portaista vastausasteikkoa. Kuvassa on vastausten keskiarvot. Vaiheiden 1–3 välisen eron merkitsevyys: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.



Kuva 6. Sisäympäristön eri tekijöiden keskittymishaittaa mitattiin kysymyksellä ”Kuinka paljon seuraavat asiat haittaavat keskittymistä työhösi työskennellessäsi toimipisteessäsi?”. Kuvassa on keskiarvot vaiheissa 1–3. Vaiheiden 1–3 välisen eron merkitsevyys: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Mitä mieltä olet seuraavista toimipistettäsi koskevista väittämistä?	1	2	3	Muutos
Koettu hallinta				
Voin personoida työympäristöäni henkilökohtaisilla esineillä. ***	1.1	-1.6	-1.6	↓
Voin vaikuttaa huonekalujen järjestykseen. ***	0.6	-1.2	-1.1	↓
Voin vaikuttaa valaistukseen. ***	0.4	-0.9	-0.8	↓
Voin vaikuttaa kuulemani melun määrään *	0.6	0.1	0.0	↓
Voin vaikuttaa kuinka paljon olen kontaktissa muiden ihmisten kanssa. ***	0.6	0.1	0.0	↓
Tilojen toimivuus				
On paljon häiritseviä asioita. ***	-0.7	-0.1	0.0	↑
On helppo löytää paikka, jossa voin keskustella tai puhua puhelimessa asioista, joita en halua toisten kuulevan. **	0.7	0.2	0.3	↓
On helppo löytää tila, josta osallistua etäkokouksiin. (Ei vaiheessa 1)		0.4	0.5	
Ympäristö sopii työtehtävieni hoitamiseen. ***	1.2	0.4	0.3	↓
Jos en pysty keskittymään yhdessä työpitteessä, voin siirtyä helposti rauhallisempaan paikkaan työskentelemään. *	0.0	0.4	0.3	↑
Neuvottelutiloja on riittävästi.	1.0	0.9	0.8	
Taukotilat ovat viihtyisiä. ***	0.1	0.9	0.6	↑

Kuva 7. Koettua hallintaa ja työtilojen toimivuutta mitattiin väittämillä.

Vastausvaihtoehtoja oli viisi: -2 Täysin eri mieltä, -1 Melko eri mieltä, 0 En samaa enkä eri mieltä, +1 Melko samaa mieltä, +2 Täysin samaa mieltä. Kuvassa esitetään keskiarvot ja muutoksen suunta vaiheesta 1 vaiheeseen 2 nuolilla. Vaiheiden 1–3 välisen eron merkitsevyys: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

KIITOKSET

Tutkimus on osa MOTTI projektia (2020–2024), jonka toteuttaa Turun ammattikorkeakoulu Oy. Sen päärahoittaja on Business Finland Oy (2682/31/2019). Muut rahoittajat ovat Audico Systems Oy, Framery Oy, Halton Oy, Martela Oyj, Pietiko Oy, Rockwool Finland Oy, Suomen yliopistokiinteistöt Oy, Turun ammattikorkeakoulu Oy, Turun teknologiakiinteistöt Oy ja ympäristöministeriö. Kiitämme Turku Energia Oy:tä mahdollisuudesta toteuttaa tämä tutkimus sekä henkilökuntaa tutkimuksen järjestämisessä ja kyselyihin vastaamisessa.

LÄHDELUETTELO

- Radun, J., Hongisto, V. (2023). Perceived fit of different office activities – the contribution of office type and indoor environment. J. Environ. Psychol. 89 102063. Open access: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102063>.
- Radun, J., Hongisto, V. (2023). Globaali pre-pandemic analyysi sisäympäristötyytyväisyydestä toimistoissa. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 139–142.
- Laukka, J., ym. (2023). Muutto puolet pienempään monitilatoimistoon – Työntekijöiden kokemus vs. mittaustulokset. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 149–154.
- Alakoivu, R., ym. (2023). Sisäolosuhteet koppikonttorissa ja joustavassa monitilatoimistossa – Työntekijöiden kokemukset vs. mittaustulokset. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 121–126.

JULKISORGANISAATION KOKEMUKSET MUUTOSTA 70 % PIENEMPÄÄN JOUSTAVAAN MONITILATOIMISTOON

Valtteri Hongisto, Arttu Sivula, Johann Laukka, Reijo Alakoivu, Henna Maula ja Jenni Radun

Turun ammattikorkeakoulu Oy, rakennettu ympäristö

TIIVISTELMÄ

Tavoitteenamme oli selvittää, miten perinteiseen toimistoon totunut valtionorganisaatio koki muuton joustavaan monitilatoimistoon, jonka ala oli 74 % pienempi kuin entisen. Perinteisessä toimistossa oli 1–5 h huoneet tai avotoimisto, sekä omat työpisteet, kun monitilatoimistossa oli avotoimistot ja vetäytymistilat, eikä omia työpisteitä. Tutkimuksessa oli kolme kyselyä: ennen muuttoa sekä kahdesti muuton jälkeen. Molemmissa toimistoissa tehtiin sisäympäristön ja tilaratkaisujen mittaukset. Työympäristötyytyväisyys heikkeni merkitsevästi muuton jälkeen. Kun huomioidaan pinta-alan suuri lasku muutos ei ollut yllätys. Mittausten ja kyselyjen perusteella huoneakustiikan korjaus voisi parantaa uuden toimiston olosuhteita.

TAUSTA JA TAVOITE

Monitilatoimistossa on tarjolla varustelultaan ja ominaisuuksiltaan erityyppisiä työtiloja ja -pisteitä erityyppisiä työtehtäviä varten. Monitilatoimistossa voi olla nimettyjä ja/tai nimeämättömiä työpisteitä. Joustava käyttötapa tarkoittaa, että työpisteitä ei ole nimetty. Joustava käyttötapa valitaan usein silloin, kun toimistossa on vähemmän työpisteitä kuin työntekijöitä (ylibuukkaus). Tähän päädytään usein, jos etä- tai matkatöitä on paljon. Joustavassa käytössä työntekijältä edellytetään työpisteen valintaa ja vaihtamista kulloisenkin työtehtävän keskittymis-, vuorovaikutus- tai varustevaatimusten mukaan.

2010-luvulla monitilatoimistot yleistyivät julkishallinnossa. Ensimmäiset olivat tilaa vieviä, koska kaikilla oli oma työpiste. Joustavalla käytöllä päästiin valtioneuvoston toimitilastrategian 2030 tilatehokkuustavoitteeseen (huoneistoala 10 m² per työvuosi).

Radunin ja Hongiston /1,2/ globaalin poikkileikkaustutkimuksen mukaan joustavissa toimistoissa oltiin selvästi tyytymättömämpiä fysikaaliseen sisäympäristöön kuin avotoimistoissa, huonetoimistoissa tai tiimipöydissä. Joustaviin toimistoihin liittyisi siten riski korkeammasta sisäympäristötyytymättömyydestä. Koska tutkimuksen toimistoissa ei ollut tehty mittauksia, ei voitu sanoa, johtuiko löydös huonosta sisäympäristöstä, tilanahtaudesta vai muusta.

Suurin osa joustavia monitilatoimistoja koskevista tutkimuksista on toteutettu pelkillä kyselyillä kuvaamatta itse toimistoa (mm. huonetyypit, alat, akustiikka, lämpöolot, valaistus). Fysikaalisen tiedon puute vaikeuttaa kyselytulosten tulkintaa: onko niiden selitys fyysisissä tiloissa vaiko siinä, että työntekijät eivät käytä tiloja kuten toivotaan.

Suomessa on tehty kaksi riippumatonta tutkimusta, joissa selvitetty työntekijöiden kokemuksia joustavassa monitilatoimistossa ja samalla tehty fysikaalisia mittauksia. Ne eivät anna yhtenäistä käsitystä tämän tilaratkaisun toimivuudesta /3,4/. Siksi tutkimusta tarvitaan lisää erityyppisistä yrityksistä.

Tavoitteenamme oli selvittää, miten perinteiseen toimistoon tottunut valtionorganisaatio koki muuton joustavaan monitilatoimistoon.

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Tutkimusvaiheita oli kolme: V1: Ennen muuttoa, V2: Muuton jälkeen ja V3: Kontrolli muuton jälkeen. Sisäympäristön kartoitus tehtiin vaiheissa V1 ja V2 sekä kyselyt vaiheissa V1–V3 (Kuva 1).

Organisaation vanhat toimitilat sijaitsivat kahdessa käyttäjän omistuksessa olevassa erillisessä rakennuksessa (valmistumisvuodet 1971 ja 1979), jotka sijaitsivat 3 km päässä toisistaan. Osassa huoneista oli tehty sisustuskorjauksia mutta pääasiassa muutoksia oli tehty vain kalustukseen. Muutto tehtiin, koska organisaatiossa haluttiin saavuttaa toimitilastrategian tilatehokkuustavoite. Uusi vuokrattu toimitilarakennus sijaitsi 2 km päässä vanhoista toimitiloista. Uudisrakennuksesta (rak. 2023) organisaatiolle oli varattu 2/3. Tilaratkaisuksi valittiin joustava monitilatoimisto, jossa oli erilaisille työtehtäville tarkoitettuja avotoimistoja sekä vetäytymistiloja.

Vaiheissa V1 ja V2 toteutettiin fysikaalisen sisäympäristön mittaukset. Kaikissa huoneissa vierailtiin ja määritettiin niiden käyttötarkoitukset, mitat, materiaalit ja varustelutasot. Huoneissa mitattiin satunnaisotannalla mm. ilmastonin, akustiikan ja valaistuksen olosuhteita joko hetkellisesti (miehittämätön tilanne) tai pitkäaikaisseurannalla (miehitetty tilanne). Mittauksia tehtiin 2 perättäistä päivää kolmen tutkijan voimin päivinä, jolloin käyttöaste oli lähellä normaalia. Pandemian vuoksi toimistojen käyttöaste oli vaiheessa V1 tavanomaista alhaisempi.

Kyselyt kartoittivat työntekijän kokemuksia toimitilasta. Tässä käsitellään vain keskeisimmät kysymykset. Kyselyyn kutsuttiin vastaamaan kaikki työntekijät. Vastaajia koskevia perustietoja on esitetty kuvassa 1. Vaiheiden V1–V3 erojen merkitsevyys määritettiin ryhmien välisellä testillä (varianssianalyysi).

Vuosi	2022												2023											
Kuukausi	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Muutto																								
Kyselyt																								
Mittaukset																								
Vaihe	V1			V1			V1			V1			V2			V2			V3			V3		

Vaihe	Kutsuttuja	Vastanneita	Vastausaste [%]
V1	542	180	33
V2	526	177	34
V3	551	204	37

Kuva 1. Vaiheiden V1–V3 ja muuton ajankohdat ja vastanneiden määrät vaiheittain.

TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Vaiheessa V1 lähes kaikilla (82 %) oli nimetty työpiste. Työpisteitä oli 531 ja ne sijaitsivat 1 hengen huoneissa (19 %), 2–4 hengen huoneissa (39 %) tai vähintään 5 hengen avotoimistoissa (42 %).

Vaiheessa V2 ei kenelläkään ollut nimettyä työpistettä. Työpisteitä oli 326 ja niitä sijaitsi vetäytymishuoneissa ja avotoimistoissa (11 % ja 89 %). Käytössä oli työpisteiden käyttöasteen reaaliajassa osoittava online-tietojärjestelmä.

Kuvassa 2 on esitetty tilatyyppien lukumäärät ja pinta-alat. Aktiivisten työtilojen ala (rivit 1–6) laski 57 % vaiheesta V1. Kaikkien tilojen ala laski peräti 74 % vaiheesta V1.

Kuvassa 3 on esitetty sisäympäristön mittaustulokset. Lämpöoloissa ja ilmanlaadussa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Työhuoneiden ääneneristys parani muuton jälkeen. Avotoimistojen häiritsevyysetäisyys sen sijaan kasvoi muuton jälkeen (heikkeni).

Työtyytyväisyydessä ei ollut eroja vaiheiden V1–V3 välillä ($p>0,05$). Vähintään 76 % vastaajista oli melko tai erittäin tyytyväisiä työhönsä vaiheissa V1–V3.

Huonetyyppi	Lukumäärä		Lattia-ala [m ²]		Muutos alassa
	V1	V2	V1	V2	
Huone (1 h)/vetäytymistila	103	37	1381	231	↓
Huone (2-4 h)	80	0	1343	0	↓
Huone (2-4h) neuvottelupöydällä (2-6 h)	17	0	301	0	↓
Avotoimisto (>4 h)	17	25	1659	1784	↑
Neuvottelu/projektityöhuone (2-4 h)	0	6	0	38	↑
Neuvottelu/projektityöhuone (>4 h)	10	9	508	194	↓
Kulkureitti	9	16	872	671	↓
Käytävä	23	0	1988	0	↓
Hallikäytävä	7	16	648	266	↓
Taukotila	7	4	307	186	↓
Oleskeluaula	7	0	532	0	↓
Mobiili puhelinkoppi (1 h)	0	10	0	0	↓
Mobiili työ/neuvottelukoppi (1-6 h)	0	2	0	0	↓
Muu (porraskäytävä, wc, tekn. tila, auditorio)	270	89	3297	737	↓
Yhteensä	550	214	12837	3369	↓

Kuva 2. Huonetyyppien lukumäärät ja pinta-alat vaiheissa 1 ja 2. Lattia-alat eivät sisällä kaikkea omistettua tai vuokrattua alaa, mutta alojen laskentatavat ovat vertailukelpoisia keskenään toimistoissa T1 ja T2. Alat eivät sisällä väliseiniä.

Muuttuja, selitys	Työhuoneet 1-4 hlö				Avotoimisto				Neuvotteluhuoneet			
	V1		V2		V1		V2		V1		V2	
	KA	N	KA	N	KA	N	KA	N	KA	N	KA	N
T _{4h} [°C] Lämpötila, miehitetty	23.1	41	21.8	12	22.9	21	22.1	73	-	-	21.2	4
CO _{2,4h} [ppm] Hiilidioksidipitoisuus, miehitetty	450	41	465	4	438	21	493	65	-	-	406	4
L _{A,eq,4h} [dB] Keskiäänitaso, miehitetty	48	28			47	12	37	28				
E _v [lx] Valaistusvoimakkuus pöydällä	714	89	860	25	648	15	568	24	825	6	869	11
D _{nT1,w} [dB] Ilmaääneneristysluku vier. työtilaan	38	11	46	3			31	2			43	1
D _{nT2,w} [dB] Ilmaääneneristysluku käytävälle	25	7	40	3							38	1
L _{A,eq,B} [dB] Taustäänitaso, miehittämätön	34	92	29	22	34	16	30	24	40	6	30	12
r _D [m] Häiritsevyysetäisyys					6	4	24	5				
T ₂₀ [s] Jälkikaiunta-aika	0.47	13	0.50	5	0.26	2	0.42	5			0.45	2

Kuva 3. Fysikaalisen sisäympäristön mittaustuloksia vaiheissa 1 ja 2 keskeisten työpistealueiden ja neuvotteluhuoneiden osalta. KA= keskiarvo, N= mittausten määrä. Harmaa solu merkitsee, että olosuhde ei täytä nykyisiä ohjearvoja.

Itsearvioidussa työn sisällössä ei ollut eroja vaiheiden V1–V3 välillä. Sen sijaan työtehokkuuden koettiin laskeneen vaiheesta V1 vaiheeseen V2 ($p<0,001$). Vaihe V3 ei eronnut vaiheesta V2, eli lasku ei johtune ”muuttohässäkästä”.

Pandemian vuoksi etätyösopimuskäytäntöä muutettiin. Vaiheessa V1 noin 55 % työskenteli pääosin toimistolla. Vaiheissa V2–V3 noin 55 % työskenteli pääosin etänä.

Noin 45 % vastaajista työskenteli toimipisteellä vain yhden päivän kuukaudessa vaiheissa V2–V3. Etätö voi vaikuttaa kokemuksiin työstä ja työtiloista.

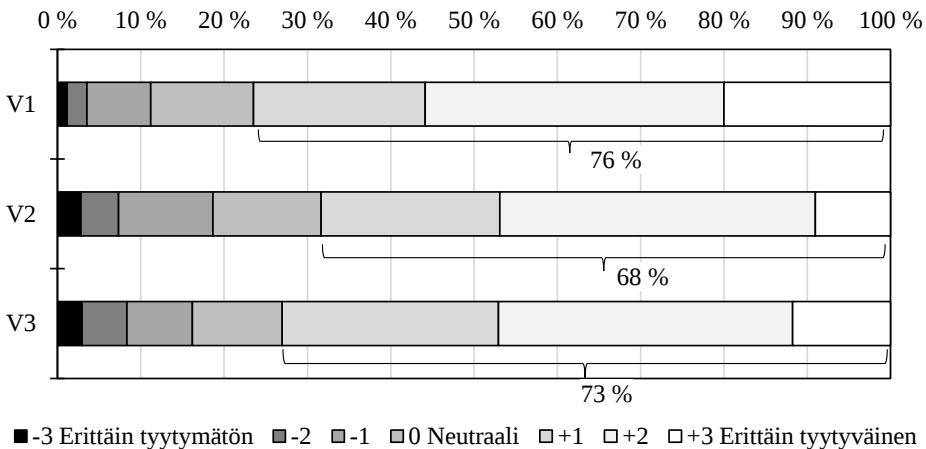
Vaiheessa V2 työympäristötyytyväisyys oli pienempi kuin vaiheessa V1 ($p=0,008$), kuva 4). Vaiheiden V2 ja V3 ero ei ollut merkitsevä. Tulos on ristiriidassa kahden aiemman muutostutkimuksen kanssa, jossa käytettiin samoja menetelmiä, ja joiden monitilatoimistot olivat saman kaltaisia kuin tässä /3,4/. Tulos on sen sijaan linjassa globaalin tutkimuksen kanssa /1,2/, jossa haasteita oli eniten joustavissa toimistoissa.

Tyytyväisiä vaiheessa V1 oltiin valon määrään, työskentely- ja säilytystilan määrään, kulkureittien toimivuuteen, vuorovaikutuksen helppouteen, toimistokalusteiden mukavuuteen ja säätömahdollisuuksiin, yleiseen siisteyteen ja siivouspalveluihin (Kuva 5). Tyytymättömiä ei oltu mihinkään. Vaiheessa V2 tilanne muuttui: tyytyväisiä oltiin ilman laatuun, valon määrään, valaistukseen, kulkureittien toimivuuteen, vuorovaikutuksen helppouteen, kalusteiden säätömahdollisuuksiin, kalusteiden ja pintojen väreihin, yleiseen siisteyteen ja siivouspalveluihin. Tyytymättömiä ei oltu mihinkään. Keskittymishaittaa vaiheessa V2 aiheutti puheäänet (Kuva 6).

Voimakas parannus (muutos > 1) vaiheesta V1 vaiheeseen V2 havaittiin ilman laadussa ja kalusteiden ja huonepintojen väreissä. Voimakas heikennys (muutos > 1) vaiheesta V1 vaiheeseen V2 havaittiin työskentelytilan määrässä.

Työtilaan liittyvä koetun hallinnan tunne heikkeni lähes kaikilla mittareilla (Kuva 7). Uuden toimiston ei koettu sopivan työtehtävien hoitamiseen yhtä hyvin kuin vanhan.

Vaiheiden V2 ja V3 välillä toimitiloissa ei tapahtunut toimitila- tai johtamismuutoksia. Kuvissa 3–5 ja 7 vaiheiden V2 ja V3 (kontrolli) välillä oli pääosin pieniä eroja, joten vaiheiden V1 ja V2 erot johtunevat muutosta (tilamuutos, etätöikäntäntön muutos).

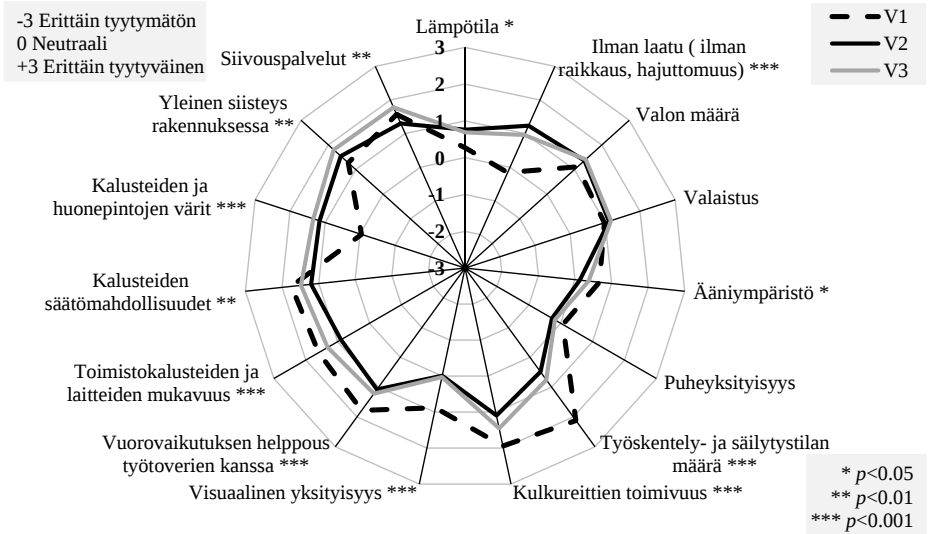


Kuva 4. Työympäristötyytyväisyys mitattiin kysymyksellä ”Kuinka tyytyväinen olet työympäristöösi kokonaisuutena?”. Tyytyväisyyttä indikoivat vastaukset +1, +2 ja +3.

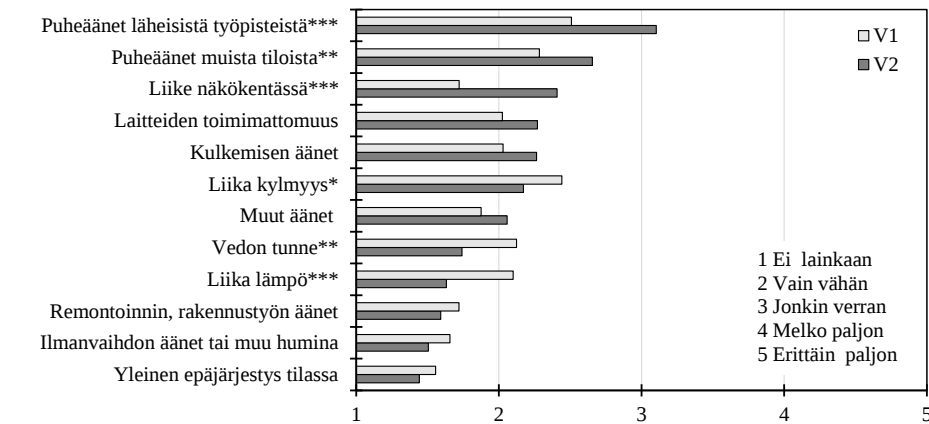
JOHTOPÄÄTÖKSET

Työympäristötyytyväisyys heikkeni merkitsevästi, kun organisaatio muutti perinteisistä toimistoista joustavaan monitilatoimistoon. Kun huomioidaan se, että pinta-ala putosi

74 %, muutos ei ollut yllätys. Olosuhtemittausten ja kyselyjen perusteella huoneakustiikan parantaminen voisi parantaa uuden toimiston olosuhteita.



Kuva 5. Tyytyväisyyttä toimitilan eri piirteisiin mitattiin kysymyksellä ”Kuinka tyytyväinen olet toimipisteessäsi seuraaviin tekijöihin?” käyttäen 7-portaista vastausasteikkoa. Kuvassa on vastausten keskiarvot. Vaiheiden V1–V3 välisen eron merkitsevyyt: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.



Kuva 6. Sisäympäristön eri tekijöiden aiheuttamaa keskittymishaittaa mitattiin kysymyksellä ”Kuinka paljon seuraavat asiat haittaavat keskittymistä työhösi työskennellessäsi toimipisteessäsi?” Kuvassa on keskiarvot vaiheissa 1–3. Vaiheiden V1–V3 välisen eron merkitsevyyt: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Mitä mieltä olet seuraavista toimipistettäsi koskevista väittämistä?	V1	V2	Muutos	V3
Koettu hallinta				
Voin personoida työympäristöäni henkilökohtaisilla esineillä. ***	1.14	-1.70	↓	-1.62
Voin vaikuttaa huonekalujen järjestykseen. ***	1.14	-1.44	↓	-1.29
Voin vaikuttaa valaistukseen. ***	-0.08	-1.01	↓	-0.58
Voin vaikuttaa kuulemani melun määrään. *	-0.06	0.22	↑	0.27
Voin vaikuttaa kuinka paljon olen kontaktissa muiden ihmisten kanssa. *	0.25	-0.13	↓	0.08
Tilojen toimivuus				
On paljon häiritseviä asioita. **	-0.45	-0.07	↓	-0.10
On helppo löytää paikka, jossa voin keskustella tai puhua puhelimessa asioista, joita en halua toisten kuulevan.	0.04	0.31	↑	0.45
On helppo löytää tila, josta osallistua etäkokouksiin. (Ei vaiheessa 1)		0.13		0.19
Ympäristö sopii työtehtävieni hoitamiseen. ***	1.04	0.31	↓	0.56
Jos en pysty keskittymään yhdessä työpisteessä, voin siirtyä helposti rauhallisempaan paikkaan työskentelemään. ***	-0.60	0.22	↑	0.38
Neuvottelutiloja on riittävästi. ***	0.88	0.39	↓	0.47
Taukotilat ovat viihtyisiä. ***	0.00	1.10	↑	1.11

Kuva 7. Koettua hallintaa ja työtilojen toimivuutta mitattiin väittämillä.

Vastausvaihtoehtoja oli viisi: -2 Täysin eri mieltä, -1 Melko eri mieltä, 0 En samaa enkä eri mieltä, +1 Melko samaa mieltä, +2 Täysin samaa mieltä. Kuvassa esitetään keskiarvot ja muutoksen suunta vaiheesta 1 vaiheeseen 2 nuolilla. Vaiheiden V1 ja V2 välisen eron merkitsevyys: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

KIITOKSET

Tutkimus on osa MOTTI projektia (2020–2024), jonka toteuttaa Turun ammattikorkeakoulu Oy. Sen päärahoittaja on Business Finland Oy (2682/31/2019). Muut rahoittajat ovat Audico Systems Oy, Framery Oy, Halton Oy, Martela Oyj, Pietiko Oy, Rockwool Finland Oy, Suomen yliopistokiinteistöt Oy, Turun ammattikorkeakoulu Oy, Turun teknologiakiinteistöt Oy ja ympäristöministeriö. Kiitämme Kansaneläkelaitosta mahdollisuudesta toteuttaa tämä tutkimus osana Turun yksikön muuttoproessia.

LÄHDELUETTELO

- Radun, J., Hongisto, V. (2023). Perceived fit of different office activities – the contribution of office type and indoor environment. J. Environ. Psychol. 89 102063. Open access: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102063>.
- Radun, J., Hongisto, V. (2023). Globaali pre-pandemic analyysi sisäympäristötyytyväisyydestä toimistoissa. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 139–142.
- Laukka, J., ym. (2023). Muutto puolet pienempään monitilatoimistoon – Työntekijöiden kokemus vs. mittaustulokset. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 149–154.
- Alakoivu, R., ym. (2023). Sisäolosuhteet koppikonttorissa ja joustavassa monitilatoimistossa – Työntekijöiden kokemukset vs. mittaustulokset. Sisäilmastoseminaari 2023. Helsinki. Sisäilmayhdistys ry., Raportti 41, 121–126.

YHTEISKÄYTTÖISET TYÖTILAT JA SISÄYMPÄRISTÖKOKEMUKSET SOTE-SEKTORILLA

Pia Sirola, Sara Malve-Ahlroth, Suvi Hirvonen, Annu Haapakangas ja Kari Reijula
Työterveyslaitos

TIIVISTELMÄ

Sote-sektorilla siirrytään yhteiskäyttöisiin työtiloihin, joiden koetusta sisäympäristöstä puuttuu tutkimustietoa. Kyselytutkimuksella selvitettiin viidessä sote-alan kohteessa (N=329), miten kokemukset sisäympäristöstä eroavat omissa ja vaihtuvissa vastaanottohuoneissa työskentelevien välillä sekä monitilatoimiston omaa tai yhteiskäyttöistä työpistettä käyttävien välillä. Omissa vastaanottohuoneissa oltiin tyytyväisempiä lämpötilaan, luonnonvaloon, valaistuksen säätöön sekä äänieristykseen kuin vaihtuvissa huoneissa. Ilmanlaadussa ja siisteydessä ei ollut eroa. Sen sijaan monitilatoimistoissa yhteiskäyttöistä työpistettä käyttäneet arvioivat ilmanlaatua, siisteyttä, lämpötilaa, luonnonvalon riittävyttä ja ikkunanäkymiä myönteisemmin kuin ne, joilla oli oma työpiste. Äänieristyksessä ja puheäänten häiritsevyydessä ei ollut eroa.

JOHDANTO

Yhteiskäyttöiset vastaanottotilat yleistyvät sosiaali- ja terveysalalla (sote), vaikka niistä puuttuu tutkimustietoa /1/. Tietoa on lähinnä toimistotiloista /2/3/. Yhteiskäyttöisissä sote-tiloissa henkilöstöllä ei ole omaa työpistettä, vaan tavoitteena on vaihtaa vastaanottohuoneita ja yhteiskäyttää monitilatoimiston työpisteitä. Taustalla on tarve tehostaa toimintaa ja tiloja sekä edistää moniammatillista yhteistyötä. Uudistuksen myötä vastaanottohuoneissa toteutetaan pääosin vain asiakkaan hoitoon liittyvät välittömät tehtävät. Sen sijaan kirjaamiseen, puheluihin, saneluihin ja ammatillisten väliseen yhteistyöhön liittyvät tehtävät tehdään monitilatoimistoissa. Niissä on avotilaa ja erillisiä vetäytymistiloja esimerkiksi keskittymistä ja yksityisyyttä vaativille tehtäville. Vaikka perusperiaatteena on tilojen yhteiskäyttö, on osalla henkilöstöstä työtehtävien erityistarpeista johtuen oma vastaanottohuone. Osa puolestaan käyttää omaa työpistettä monitilatoimiston avotilassa tai vetäytymistiloissa.

Tila- ja energiatehokkuusvaatimusten ohjatessa aiempaa tiiviimpiin työskentelytiloihin, on yhteiskäyttöisten tilojen sisäympäristötekijöistä tärkeää saada tutkimustietoa. Hyvinvoinnin näkökulmasta keskeisiä sisäympäristötekijöitä erilaisissa ympäristöissä ovat ilmanlaatu, lämpöolosuhteet, valaistus ja akustiikka sekä niiden hallinta /4/. Terveystieteiden tutkimuksissa myös helposti siivottavien materiaalien ja luonnonäkymien merkitykset korostuvat /5/.

Toimistotutkimuksissa tilatyypillä on todettu olevan vaikutusta koettuun sisäympäristöön /3/6/ ja hyvinvointiin /3/. Useiden sisäympäristötekijöiden osalta tyytyväisyys on ollut suurinta omissa työhuoneissa työskentelevillä tai monitilatoimistoissa työskentelevillä ja heikointa perinteisissä avotoimistoissa työskentelevillä /3/6/. Osa tuloksista on vielä osin ristiriitaisia /7-12/. Esimerkiksi akustiikan ja yksityisyyden osalta yhteiskäyttöisissä monitilatoimistoissa työskentelevät ovat olleet tyytyväisempiä kuin perinteisissä avotoimistoissa työskentelevät /3/6/ tai

monitilatoimiston nimetyissä työpisteissä työskentelevät /12/, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta /10/.

Hyvän sisäympäristön perusedellytyksenä on, että tilat vastaavat rakennus- ja talotekniikan osalta suunniteltua käyttötarkoitusta. Sisäympäristön teknisten ominaisuuksien ohella tilojen erilaisilla käyttötavoilla voi olla merkitystä tilakokemukseen. Tässä kyselytutkimuksessa verrattiin miten kokemukset sisäympäristöstä eroavat omissa ja yhteiskäyttöisissä vastaanottohuoneissa työskentelevien välillä sekä monitilatoimiston omaa tai yhteiskäyttöistä työpistettä käyttävien välillä.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen kohde ja toteutus

Tutkimuksen kohteena oli viiden sosiaali- ja terveyspalveluja tarjoavan organisaation vastaanottotoiminnan yksiköt ja niissä työskentelevä henkilöstö, joka muutti perinteisistä vastaanottotiloista (oma vastaanottohuone, jossa kaikki työ pääasiassa tehdään) yhteiskäyttöisiin vastaanottotiloihin (vaihtuvat vastaanottohuoneet, joissa tehdään välitön hoitoon liittyvä työ) ja monitilatoimistoihin (joissa tehdään kirjalliset työt, konsultoinnit, puhelut). Muutoksessa vastaanottohuoneiden määrää vähennettiin ja tiloja tiivistettiin. Tutkittavista rakennuskokonaisuuksista kolme oli uudisrakennuksia, yksi peruskorjauskohde ja yhdessä oli sekä uudisrakennus, että peruskorjausosia. Kohteista kaksi on valmistunut vuonna 2019, yksi vuonna 2020 ja kaksi vuonna 2022.

Kohderakennuksissa on vastaanottohuoneita (pääsy asiakkailta ja henkilöstöllä) ja monitilatoimistoja (pääsy vain henkilöstöllä) sekä luonnonvalon suorassa läheisyydessä, että ikkunattomassa keskirungossa. Vastaanottohuoneita on jonkin verran enemmän keskirungossa. Vastaanottohuoneet sijaitsevat vierekkäin ja yhtä kohdetta lukuun ottamatta erillään monitilatoimistoista. Huoneiden välillä on pääosin pako-ovet, joiden äänieristysluokka vaihtelee 30 – 35dB. Yhdessä kohteessa vastaanottotiloista on pääosin suora pääsy monitilatoimistoon. Monitilatoimistoissa ei ole erillisiä vyöhykkeitä äänekkäälle ja hiljaiselle työlle ja työpisteet on usein ryhmitelty tiloihin tiiviisti. Työpisteitä on yhdessä avotilassa yleensä 4–16. Työpistealueiden yhteydessä on neljässä kohteesta yhteiskäyttöisiä suljettuja, lähinnä 1–2 työpisteen vetäytymistiloja, joita on kuitenkin osin nimetty ensisijaisesti tietyn henkilön, tiimin tai toiminnon käyttöön. Avotiloissa sijaitsevat toimistopisteet ovat vaihtelevan kokoisia ja mallisia ja niitä rajaa kaikissa kohteissa pöytä- tai lattiasermit. Henkilöstöllä on käytössään pääosin kiinteät, yhteiskäyttöiset tietokoneet, henkilö- tai työpistekohtaiset puhelimet ja lukittavat lokerot henkilökohtaisille tavaroille. Vastaanottohuoneissa ja monitilatoimiston vetäytymistiloissa on käytössä sähköisiä varausjärjestelmiä vaihtelevasti (kohdekohtaisesti joko molemmissa, vain vastaanottohuoneissa tai ei kummassakaan). Kaikkien kohteiden yleisvalaistus on työtiloissa säädettävissä ja kolmessa kohteessa on myös liiketunnistimilla ohjattuja valaisimia.

Kyselytutkimus toteutettiin keväällä ja syksyllä 2023, 1–3 vuotta uusiin tiloihin muuttamisen jälkeen.

Aineisto ja menetelmät

Kysely lähetettiin 1100:lle henkilölle, joista siihen vastasi yhteensä 329 henkilöä. Vastanneiden keski-ikä oli 47 vuotta (vaihteluväli 21-67) ja suurin osa oli naisia (89 %). Vastanneet olivat sairaanhoitajia ja lähihoitajia, lääkäreitä, psykologeja, kuntoutusalan ammattilaisia, sosiaalityöntekijöitä ja sihteereitä sekä esihenkilöasemassa toimivia. Heistä 84 % (n=275) teki välitöntä potilas- tai asiakasvastaanottotyötä. Vastaanottohuoneita käyttävistä (n=236) 46 %:lla oli oma vastaanottohuone ja 54 % vaihtoi vastaanottohuoneita. Vastaajista 78 % (n=257) ilmoitti työskentelevänsä myös monitilatoimistossa, jossa enemmistöllä (75 %) ei ollut omaa työpistettä.

Aineisto kerättiin kyselyllä /13/, joka muokattiin sosiaali- ja terveydenhuoltoympäristöön soveltuvaksi. Se sisälsi useita tilojen toimivuuteen ja käyttöön sekä työn sisältöön ja hyvinvointiin liittyviä kysymyksiä, joista tässä raportoidaan vain sisäympäristötekijöihin ja tilojen käyttöön liittyvät tulokset. Kokemuksia sisäympäristötekijöistä kysyttiin erikseen potilasvastaanottotiloista ja monitilatoimistoista. Kysymykset koskivat valon ja luonnonvalon riittävyyttä, häikäisyä, ikkunanäkymiä, valaistuksen säätömahdollisuuksia, lämpötilaa ja ilmanlaatua, äänieristystä, puheäänien häiritsevyyttä ja puheen erotettavuutta, sekä tilojen siisteyttä ja puhtautta. Annettuja väittämiä pyydettiin arvioimaan asteikolla 1. täysin eri mieltä, 2. melko eri mieltä, 3. ei samaa muttei eri mieltäkään, 4. melko samaa mieltä, 5. täysin samaa mieltä. (Taulukot 1–2).

Vastaanottotilojen käytöstä kysyttiin seuraavasti: Minkälaisessa työtilassa pääasiassa otat vastaan asiakkaita/potilaita kasvokkain? Vastausvaihtoehdot olivat 1. oma vastaanottohuone (yksi tai useampi), jota muut eivät pääasiassa käytä; 2. oma vastaanottohuone, jota muut käyttävät, kun tila ei ole käytössäni (esim. jos teet työtä vain muutamana päivänä viikossa); 3. vaihtuvat vastaanottohuoneet, joita myös muut käyttävät (esim. huoneen vaihto kerran päivän aikana). Analyysivaiheessa vastausvaihtoehdot 1–2 yhdistettiin yhdeksi muuttujaksi. Monitilatoimiston käytöstä kysyttiin seuraavasti: Onko sinulla monitilatoimistossa oma työpiste? Vastausvaihtoehdot olivat 1. minulla ei ole omaa työpistettä, vaan työskentelen yhteiskäyttöisissä työtiloissa; 2. minulla on oma nimetty työpiste (avotilassa tai työhuoneessa). Kyselyaineisto analysoitiin tilastollisin menetelmin (keskiarvot, prosentit, t-testi). Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < .05$.

TULOKSET

Koko aineistossa enemmistö oli tyytyväisiä vastaanottohuoneen valaistukseen (81 %), ilmanlaatuun (62 %) sekä tilojen siisteyteen ja puhtauteen (79 %). Myös monitilatoimistoissa valaistusta (78 %), ilmanlaatua (53 %) sekä tilojen siisteyttä ja puhtautta (65 %) arvioitiin myönteisimmin. Sen sijaan lämpötilaa koskevat näkemykset jakaantuivat sekä vastaanottohuoneissa että monitilatoimistoissa. Vastaanottohuoneissa tyytymättömyyttä aiheuttivat luonnonvalon (72 %) ja ikkunanäkymien (69 %) puute. Moni koki myös, että äänieristys oli riittämätön (46 %), mutta puheäänit eivät häirinneet heitä usein. Monitilatoimistossa enemmistö oli tyytymättömiä tilojen väliseen äänieristykseen (81 %) ja 60 % koki puheäänien häiritsevyyttä.

Vastaanottohuoneita eri tavoin käyttävien kokemuksia verrattaessa, omaa vastaanottohuonetta käyttäneet olivat tyytyväisempiä lämpötilaan ($t(234) = 2.19$, $p < .05$), luonnonvalon määrään ($t(233) = 2.37$, $p < .05$), valaistuksen säätömahdollisuuksiin ($t(233) = 236$, $p < .01$) ja kokivat vähemmän valaistuksesta

aiheutuvaa häikäisyä ($t(234) = 2.33, p < .05$) kuin vastaanottohuoneita vaihtaneet. He olivat myös tyytyväisempiä äänieristykseen ($t(233) = 238, p < .01$) ja kokivat vähemmän puheäänten häiritsevyyttä ($t(234) = -284, p < .01$). (Taulukko 1). Ilmanlaadussa, siisteydessä, valaistuksen ja ikkunanäkymien riittävydessä ja siinä miten hyvin keskustelukumppanin puheesta sai selvää, ei ollut eroa. Sen sijaan monitilatoimistoissa vastaajat, joilla oli yhteiskäyttöinen työpiste, arvioivat ilmanlaatua ($t(251) = -7.74, p < .001$), lämpötilaa ($t(250) = -5.56, p < .001$), siisteyttä ($t(252) = -4.06, p < .001$), luonnonvalon riittävyttä ($t(252) = -3.63, p < .001$) ja ikkunanäkymiä ($t(249) = -3.68, p < .001$) myönteisemmin kuin ne, joilla oli monitilatoimistossa käytössä oma työpiste. He myös kokivat vähemmän valaistuksen aiheuttamaa häikäisyä ($t(252) = -3.02, p < .01$). (Taulukko 2). Valaistuksen riittävydessä ja säätömahdollisuuksissa, äänieristyksessä, puheäänten häiritsevyydessä ja siinä miten hyvin sai selvää muiden puheesta, ei ollut eroa.

Taulukko 1. Kokemukset sisäympäristötekijöistä omissa ja yhteiskäyttöisissä vastaanottohuoneissa (Asteikko: 1=Täysin eri mieltä, 2= Melko eri mieltä, 3=ei samaa mutta ei eri mieltäkään, 4=Melko samaa mieltä, 5= Täysin samaa mieltä), ka=Keskiarvo, kh=Keskihajonta. Taulukossa esitetään vain tilastollisesti merkitsevät erot.

Sisäympäristötekijät	Oma vastaanottohuone ka (kh), n=107-108	Yhteiskäyttöiset vastaanottohuoneet ka (kh), n=127-128	p
Tiloissa on riittävästi luonnonvaloa	2.2 (1.50)	1.7 (1.25)	<.05
Tiloissa ei ole valaistuksen aiheuttamaa häiritsevää häikäisyä	4.1 (0.99)	3.8 (1.07)	<.05
Olen tyytyväinen valaistuksen säätömahdollisuuksiin	3.9 (1.08)	3.5 (1.23)	<.01
Olen tyytyväinen lämpötilaan	3.3 (1.33)	2.9 (1.33)	<.05
Tilojen äänieristys on riittävä	3.0 (1.42)	2.5 (1.31)	<.01
Puheäänet häiritsevät minua usein	2.5 (1.32)	3.0 (1.34)	<.01

Taulukko 2. Kokemukset monitilatoimiston sisäympäristötekijöistä, kun työskennellään omissa tai yhteiskäyttöisissä työpisteissä (Asteikko: 1=Täysin eri mieltä, 2= Melko eri mieltä, 3=ei samaa mutta ei eri mieltäkään, 4=Melko samaa mieltä, 5= Täysin samaa mieltä), ka=Keskiarvo, kh=Keskihajonta. Taulukossa esitetään vain tilastollisesti merkitsevät erot.

Sisäympäristötekijät	Oma työpiste ka (kh), n=92-93	Yhteiskäyttöiset työpisteet ka (kh), n=160-161	p
Tiloissa on riittävästi luonnonvaloa	2.4 (1.63)	3.2 (1.54)	<.001
Olen tyytyväinen ikkunanäkymiin	2.2 (1.59)	3.0 (1.47)	<.001
Tiloissa ei ole valaistuksen aiheuttamaa häiritsevää häikäisyä	3.3 (1.25)	3.8 (1.03)	<.01
Olen tyytyväinen lämpötilaan	2.4 (1.25)	3.3 (1.25)	<.001
Tiloissa on hyvä ilmanlaatu	2.4 (1.29)	3.6 (1.18)	<.001
Tilat ovat siistit ja puhtaat	3.3 (1.11)	3.8 (0.99)	<.001

POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä tutkimus tuo uutta tietoa yhteiskäyttöisten tilaratkaisujen käytön ja sisäympäristökokemusten välisistä yhteyksistä sote-sektorilla. Tutkimuksemme osoittaa, että erilaisilla tilakonsepteilla ja tilojen käyttötavoilla voi olla vaikutusta sisäympäristökokemuksiin. Koko aineistossa useisiin sisäympäristötekijöihin oltiin tyytyväisempiä vastaanottohuoneissa kuin monitilatoimistoissa. Tulos vastaa aiempia toimistoympäristöissä tehtyjä tutkimuksia /3/, joissa tyytyväisyys on ollut suurinta omissa huoneissa. Kun vertasimme omia ja vaihtuvia vastaanottohuoneita, oli tyytyväisyys luonnonvaloon, valaistuksen säätömahdollisuuksiin, lämpötilaan ja äänieristykseen suurempaa omissa vastaanottohuoneissa työskentelevillä kuin niillä, jotka vaihtoivat huonetta. Omissa vastaanottohuoneissa myös puheäänit häiritsivät harvemmin kuin vastaanottohuoneita vaihtaneilla. Tämä voi kertoa yhteiskäyttöisyyteen liittyvän siirtymisen tuomasta lisähäiriöstä. Sen sijaan monitilatoimistoissa yhteiskäyttöisyys tuotti osin päinvastaisia tuloksia.

Yhteiskäyttöisissä työpisteissä työskentelevät olivat tyytyväisempiä luonnonvaloon, lämpötilaan, ilmanlaatuun ja siisteyteen kuin omissa työpisteissä työskentelevät. Tämä viittaisi siihen, että monitilatoimiston työpistettä vaihtamalla on mahdollista paremmin hallita osaa sisäympäristötekijöistä, kuten aiemmissa toimistotutkimuksissa on havaittu /14/. Monitilatoimistoissa enemmistö koki kuitenkin puheäänten häiritsevän usein. Omalla tai yhteiskäyttöisellä työpisteellä ei ollut merkitystä häiritsevien äänien kokemiseen. Sote-kohteissa monitilatoimiston avoimessa tilassa soitetaan myös paljon asiakaspuheluja, mikä on voinut lisätä häiriöiden kokemista, etenkin jos erillisiin vetäytymistiloihin pääsy on ollut haasteellista. Tuloksiin on voinut myös vaikuttaa osin erilaiset tilaratkaisut tutkittujen kohteiden välillä, joita tässä ei tarkemmin analysoitu.

Lisätutkimusta yhteiskäyttöisistä ratkaisuista ja sisäympäristötekijöitä selittävästä tekijöistä tarvitaan sosiaali- ja terveydenhuollon kohteissa. Koska toimistotutkimuksissa on havaittu, että työtilasuunnittelulla on yhteyksiä hyvinvointiin pitkällä aikavälillä, on myös tätä yhteyttä tärkeä tutkia. TYTINÄ-hankkeessa hyvinvoinnin ja eri tekijöiden yhteyksiä tullaan tarkastelemaan jatkossa.

KIITOKSET

Tutkimus on osa Terveystieteiden tutkimuskeskuksen (TYTINÄ) -hanketta (2021-2024). Sen päärahoittaja on Työsuojelurahasto. Muita rahoittajia ovat Työterveyslaitos, Delfoi Oy, AW2-arkkitehdit Oy ja Raami-arkkitehdit Oy. Kiitämme myös tutkimukseen osallistuneita kohteita sekä tilastotieteilijä Maria Hirvosta tilastollisen analyysin tuesta.

LÄHDELUETTELO

1. Aalto L. 2019 Käytettävyystekijöiden huomioiminen sairaala-, perusterveys- ja vanhuspalvelurakennusten työtiloissa. Doctoral dissertations 75/2019, Aalto University publication series, Helsinki. Aalto-yliopisto.
2. Engelen L., Chau J., Young S., Mackey M., Jeypalan D., Bauman A. 2018 Is activity-based working impacting health, work performance and perceptions? A systematic review. Building Research & Information. Published online March 2018.

3. Masoudinejah S., Veitch J.A. 2023 The effects of activity-based workplaces on contributors to organizational productivity: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology* 86.
4. Bluyssen P.M. 2009 *The Indoor Environment Handbook*. How to make buildings healthy and comfortable. Earhscan and RIBA, London.
5. Salonen H., Lahtinen M., Lappalainen S., Nevala M., Knibs LD., Morawska L. & Reijula K. 2013 Design approaches for promoting beneficial indoor environments in healthcare facilities: a review. *Intelligent Buildings International*.
6. Bodin Danielsson C., & Bodin L. 2009 Difference in satisfaction with office environment among employees in different office types. *Journal of Architectural and Planning Research*, 26(3), s. 241–256.
7. Radun J., & Hongisto V. 2023 Globaali pre-pandemic-analyysi sisäympäristötyytyväisyydestä toimistoissa. *Sisäilmastoseminaari 2023, SIY raportti 41*, s. 139-142.
8. De Been I. & Beijer M. 2014 The influence of office type on satisfaction and perceived productivity support., *Journal of Facilities Management*, Vol. 12 No. 2, s. 142-157.
9. Candido C., Zhang J., Kim J., deDear R., Thomas L. E., Strapasson P. & Joko C. 2016 Impact of workspace layout on occupant satisfaction, perceived health and productivity. In *Proceeding of the 9th Windsor Conference: Making Comfort Relevant*, Windsor, United Kingdom, 7-10 April 2016.
10. Radun J., & Hongisto V. 2023 Perceived fit of different office activities – The contribution of office type and indoor environment. *Journal of environmental psychology* 89 (2023).
11. Kim J, & de Dear R. 2013 Workspace satisfaction: the privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, 36:18-26.
12. Kim J., CandidoC., Thomas L. & de Dear R. 2016 Desk ownership in the workplace: The effect of non-territorial working on employee workplace satisfaction, perceived productivity and health, *Building and Environment*, Vol. 103, 203 – 214.
13. Ruohomäki V., HaapakangasA. & Lahtinen M. 2013 Tilat työn mukaisiksi: työn analyysi ja koettu sisäympäristö yliopistossa. *Sisäilmastoseminaari 2013, SIY raportti 31*, s. 135-140.
14. Hoendervanger J.G., Van Yperen N.W., Mobach M.P. & Albers C.J. 2019 Perceived fit in activity-based work environments and its impact on satisfaction and performance.*Journal of Environmental Psychology*, Vol. 65, s. 101-339.

TYÖYMPÄRISTÖTYTYTVÄISYYS PERINTEISISSÄ JA JOUSTAVISSA KOULUISSA

Jenni Radun¹, Kaisa Ahonen¹, Marjaana Veermans², Sanna Rantanen² ja Valtteri Hongisto¹

¹Turun ammattikorkeakoulu, Rakennetun ympäristön tutkimusryhmä

²Turun yliopisto, Opettajankoulutuslaitos

TIIVISTELMÄ

Tämä tutkimus vertailee tyytyväisyyttä työympäristöön joustavissa ja perinteisissä kouluissa. Tutkimukseen valittiin peruskouluja, joista noin puolessa oli avoimia tai joustavia oppimistiloja (10) ja puolessa pääasiassa perinteisiä luokkahuoneita (11). Kaikkien tutkimuskoulujen tilat ja tilojen käyttö selvitettiin pohjakuvien tarkastelulla, rehtorien haastatteluilla sekä kierroksilla kouluissa. Lisäksi koulujen kaikkia opettajia ja koulunkäynninohjaajia pyydettiin vastaamaan kyselyyn. Kyselyyn vastasi 359 vastaajaa 21 koulusta. Tulokset osoittavat, että joustaviin oppimisympäristöihin liittyy alhaisempi ympäristötyytyväisyys kuin perinteisiin. Vastaajat olivat tyytymättömämpiä joustavien tilojen ääniympäristöön, tilan määrään, kulkureitteihin ja häiriöttömyyteen. Muista ryhmistä tuleva ääni häiritsee jopa puolta joustavissa tiloissa työskentelevistä.

JOHDANTO

Joustavia oppimistiloja rakennetaan moniin kouluihin, sekä peruskorjattuihin että uusiin. Joustavat oppimistilat voivat olla joko avoimia tiloja tai tiloja, joita voidaan tarvittaessa avata ja sulkea esimerkiksi siirto- tai taiteseinillä.

Joustavia oppimistiloja kritisoidaan usein häiriöiden määrästä. Riippumaton tutkimustieto eri koulutyypin vertailusta kuitenkin puuttuu. Esimerkiksi Suomessa melua koskeva tutkimustieto rajautuu perinteisiin koululuokkiin /1, 2/.

Toisaalta joustavia oppimistiloja voidaan tarvita esimerkiksi erilaisten pedagogisten menetelmien, kuten yhteisopettajuuden toteuttamiseen.

Tässä artikkelissa tarkastellaan opetushenkilöstön sisäympäristötyytyväisyyttä joustavissa ja perinteisissä kouluissa. Perinteisissä kouluissa on pääasiassa tiloja, jotka on suunniteltu yhdelle 20–30 hengen opetusryhmälle ja ne on erotettu muusta tilasta seinin. Joustavissa kouluissa on tiloja, jotka voivat olla avoimia tai niitä voidaan avata ja sulkea, jolloin niihin voi myös sopia muunlaisia ryhmiä kuin yksi 20–30 hengen opetusryhmiä. Kuitenkin yleensä myös näissä kouluissa on jonkin verran perinteisiä luokkia.

Tutkimuskysymyksemme olivat:

1. Miten peruskoulujen opetushenkilöstö kokee perinteisten ja joustavien koulujen sisäympäristön?
2. Mitkä ovat häiritsevät äänilähteet perinteisissä ja joustavissa kouluissa?

MENETELMÄT

Tutkimukseen valittiin peruskouluja, joissa noin puolessa oli joustavia oppimistiloja ja puolessa pääasiassa perinteisiä. Muina kriteereinä pidettiin, että koulut olisivat melko uusia tai 2000-luvulla korjattuja tai peruskorjattuja. Tietoja kouluista haettiin näillä kriteereillä yhteistyötahoilta sekä opetuksen järjestäjiltä eli kunnilta. Sisäilma- tai muista selkeistä sisäympäristöongelmista kärsivät koulut rajattiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuksen tekemiseen hankittiin suostumus koululta ja opetuksen järjestäjältä sekä tutkimuksen puoltava ennakoarviointi Turun ammattikorkeakoulun tutkimuseettiselta toimikunnalta.

Kaikista kouluista pyydettiin koulujen pohjakuvat, joiden pohjalta haastateltiin etänä koulujen rehtoreita koulun tiloista ja niiden käytöstä. Tämän lisäksi kouluissa käytiin opastetulla kierroksella. Näiden perusteella koulut luokiteltiin perinteisiin ja joustaviin kouluihin Doveyn ja Fisherin /3/ luokittelun mukaan (taulukko 1), jolloin 11 koulua edusti perinteistä ja 10 joustavaa koulutyyppiä. Perinteiset koulut olivat hieman vanhempia kuin joustavat, vaikka monissa peruskorjaus tai muita korjauksia olikin tehty.

Taulukko 1. Koulujen luokittelu perinteisiin ja joustaviin Doveyn ja Fisherin /3/ luokittelun mukaan.

Tyyppi	Kuvaus	Koulujen määrä	Koulutyyppi
A	Perinteisiä luokat, joihin pääsy käytävästä.	7	Perinteinen
B	Perinteisiä luokat, joihin pääsy ryhmätyötilasta.	4	Perinteinen
C	Perinteisiä luokkia, joissa joustavat seinät ja ryhmätyötiloja.	4	Joustava
D	Avointila, joka mahdollista jakaa erillisiin luokkiin.	1	Joustava
E	Avoin tila, jossa joitain vierekkäisiä tiloja	5	Joustava
Yhteensä		21	

Perinteiset koulut koostuivat erillisistä seinillä erotettavista luokkahuoneista, kun taas joustavissa kouluissa osa tiloista oli avointa, eli niihin mahtui kerrallaan enemmän kuin yksi 20–30 oppilaan ryhmä tai tilat olivat avattavia, eli niitä voitiin laajentaa esimerkiksi toiseen luokkaan tai soluulaan. Yksi joustava tila ei tehnyt koulusta joustavaa, vaan vaadittiin, että näitä tiloja oli useampia.

Kyselyyn kutsuttiin osallistumaan kaikki tutkimuskoulujen opettajat ja koulunkäyntiavustajat. Kyselyyn vastasi 359 vastaajaa, joista 206 (57 %) työskenteli perinteisessä koulussa ja 153 (43 %) joustavassa koulussa. Pääosa vastaajista (331/92 %) oli opettajia. Loput olivat koulunkäynninohjaajia tai opinto-ohjaajia ja rehtoreita. Opettajien kohdalla koulukohtaiset vastausprosentit vaihtelivat huomattavasti: 18–74 % välillä. Kaikkien kyselyyn kutsuttujen opettajien vastausprosentti oli 43 %.

Kyselyssä työympäristöä pyydettiin arvioimaan ajatellen yleisintä opetukseen käytettyä tilaa, johon viitattiin termillä opetustila. Työympäristötyytyväisyys arvioitiin vastaamalla kysymykseen: ”Kuinka tyytyväinen olet opetustilaasi kokonaisuutena?” Vastausasteikko oli 7-portainen: -3 erittäin tyytymätön, -2, -1, 0 neutraali, +1, +2, +3 erittäin tyytyväinen. Sisäympäristötekijöihin tyytyväisyyttä arvioitiin samalla asteikolla vastaamalla kysymykseen: ”Kuinka tyytyväinen olet seuraaviin asioihin opetustilassasi?” Arvioitavat sisäympäristötekijät on lueteltu kuvassa 2.

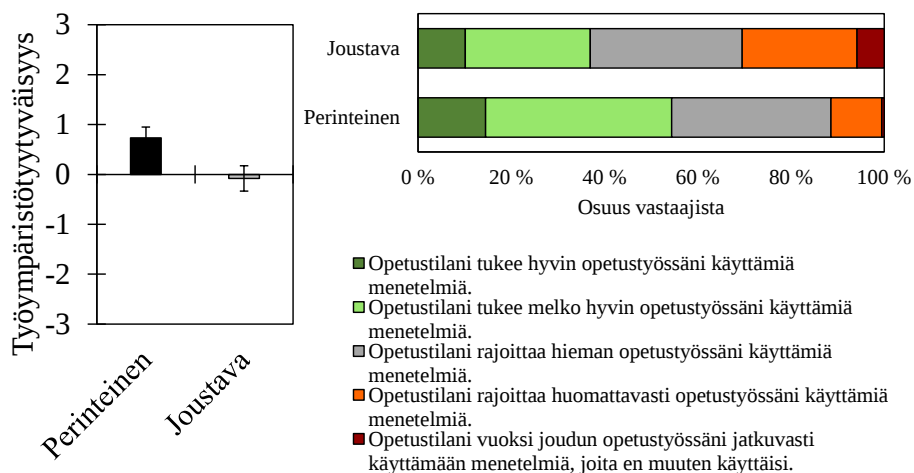
Opetustilan tukea tarkasteltiin pyytämällä valitsemaan sopivin vaihtoehto seuraavista: 1) Opetustilani tukee hyvin opetustyössäni käyttämiä menetelmiä. 2) Opetustilani tukee melko hyvin opetustyössäni käyttämiä menetelmiä. 3) Opetustilani rajoittaa hieman opetustyössäni käyttämiä menetelmiä. 4) Opetustilani rajoittaa huomattavasti opetustyössäni käyttämiä menetelmiä. 5) Opetustilani vuoksi joudun opetustyössäni jatkuvasti käyttämään menetelmiä, joita en muuten käyttäisi.

Opetustilan häiritseviä äänilähteitä arvioitiin kysymyksellä: ”Kuinka paljon sinua häiritsevät seuraavat äänet opetustilassasi? Jos et ole kuullut jotain ääntä tässä luokassa, vastaa ”Ääntä ei kuulu.” Vastausasteikko oli: 1 ääntä ei kuulu; 2 ääni kuuluu, muttei häiritse; 3 ääni häiritsee vähän; 4 ääni häiritsee paljon. Analyysieihin vastaukset luokiteltiin kahteen luokkaan: ei häiritse (1 ja 2) ja häiritsee (3 ja 4).

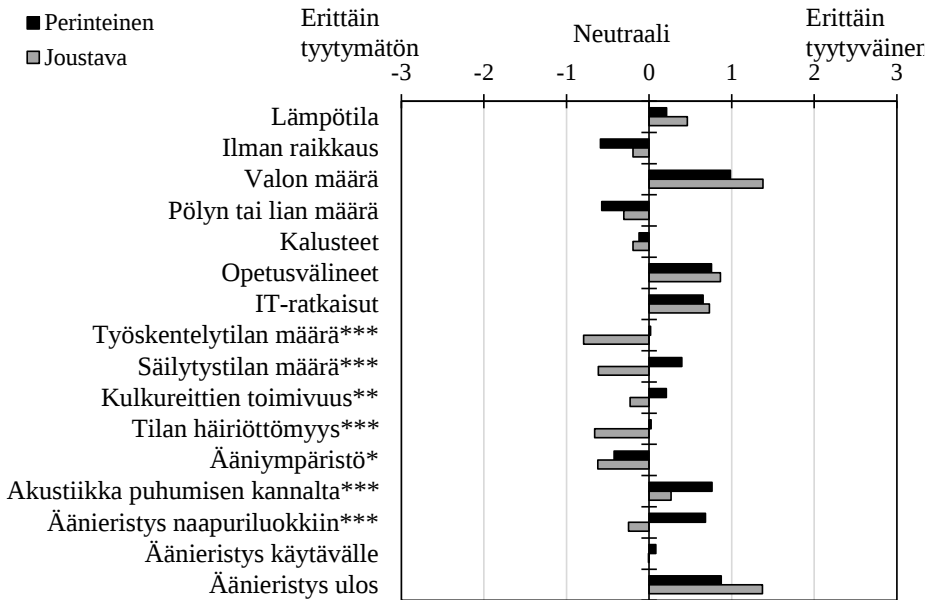
Yleinen työympäristötyytyväisyys sekä tyytyväisyys sisäympäristötekijöihin sekä opetustilan tuki analysoitiin käyttäen varianssianalyysiä, jossa koulu oli yhtenä tekijänä. Häiritsevien äänilähteiden eroa koulutyypeissä vertailtiin χ^2 -testillä.

TULOKSET

Työympäristötyytyväisyys oli korkeampi perinteisissä ($k_a=0,73$) kuin joustavissa kouluissa ($k_a=-0,08$) ($p<0,001$) (Kuva 1). Myös opetustilan tuki arvioitiin korkeammaksi perinteisissä kuin joustavissa kouluissa ($p<0,001$). Perinteisissä kouluissa 11 % vastaajista koki, ettei opetustila tue opetustyössä käytettyjä menetelmiä ja joustavissa kouluissa tämä oli 29 % (Kuva 1).



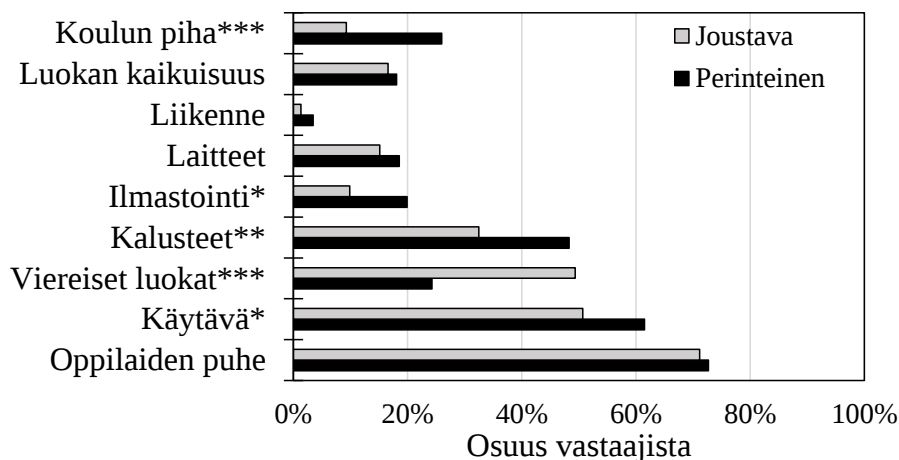
Kuva 1. Yleisen työympäristötyytyväisyyden keskiarvo (vasen) sekä opetustilan tuki (oikea) eri koulutyypeissä. Virhepalkki kuvaa keskiarvon 95 % luottamusväliä.



Kuva 2. Sisäympäristötekijöiden tyytyväisyyskeskiarvot eri koulutyypeissä. Tähdet kuvaavat koulutyyppien välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Tyytyväisiä kouluissa yleensä oltiin valon määrään, äänieristykseen ulos, opetusvälineisiin, IT-ratkaisuihin ja lämpötilaan. Tyytymättömiä oltiin ilman raikkauteen, pölyn ja lian määrään sekä ääniympäristöön. Perinteiset ja joustavat koulut erosivat toisistaan työskentely ja säilytystilan määrässä, kulkureittien toimivuudessa, tilan häiriöttömyydessä sekä ääniympäristön osalta yleisesti ja erityisesti akustiikassa puhumisen kannalta ja äänieristyksessä naapuriluokkiin. Kaikkiin näihin tekijöihin joustavissa kouluissa oltiin tyytymättömämpiä kuin perinteisissä. (Kuva 2)

Häiritsevin melun lähde kouluissa on oppilaiden puhe, josta häiriintyy yli 70 % opettajista molemmissa koulutyypeissä. Viereiset luokat häiritsevät enemmän joustavissa kouluissa työskenteleviä, joissa 49 % koki äänet häiritseviksi, kun perinteisissä kouluissa nämä äänet koki häiritseviksi 24 % ($p < 0,001$). Perinteisissä kouluissa äänet käytäviltä ($p = 0,042$), kalusteista ($p = 0,003$), ilmastoinnista ($p = 0,010$) sekä koulun pihalta ($p = 0,001$) häiritivät enemmän kuin joustavissa kouluissa. (Kuva 3)



Kuva 3. Osuus vastaajista, jotka kokevat äänilähteet vähän tai paljon häiritsevinä eri koulutyypeissä. Tähdet kuvaavat koulutyyppien välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

POHDINTA

Joustavien koulujen sisäympäristöön oltiin tyytymättömämpiä kuin perinteisten koulujen sisäympäristöön. Lisäksi opetustilan tuen koettiin olevan vähäisempää joustavissa kouluissa, joissa jopa 29 % vastaajista koki opetustilan rajoittavan heidän opetuksessaan käyttämiä menetelmiä. Joustavissa kouluissa tyytymättömyys liittyi tilan vähyteen, kulkureitteihin, häiriöihin ja ääniympäristöön.

Tutkimus osoittaa, että vaikka perinteiset koulut olivat hieman vanhempia ja joissain ei ollut tehty peruskorjausta, näiden koulujen sisäympäristöön oltiin tyytyväisempiä kuin uudempien joustavien koulujen sisäympäristöön.

Jatkossa pitää aineistosta tarkemmin erotella esimerkiksi erilaista pedagogiikkaa käyttävien opettajien kokemukset. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että monissa kouluissa oli monenlaisia tiloja. Aineistoa pitää tarkastella myös katsoen opettajien todellista tilojen käyttöä kouluvertailun lisäksi.

KIITOKSET

Tutkimuksen rahoittivat Työsuojelurahasto (hanke 210300), Saint-Gobain Finland Oy/Ecophon, Turun ammattikorkeakoulu sekä Turun yliopisto. Kiitokset kaikille osallistuneille kouluille, niin henkilökunnalle, rehtoreille kuin kyselyyn vastanneille.

KIRJALLISUUS

1. Sala, E., & Rantala, L. 2012. Opetustilojen akustiikka ja ääniergonomia - tutkimuksesta toteutukseen. Työsuojelurahaston Hankkeen Nro 109292 Loppuraportti.
2. Radun, J., Lindberg, M., Lahti, A., Veermans, M., Alakoivu, R., Hongisto, V. 2023 Pupils' experience of noise in two acoustically different classrooms. Facilities
3. Dovey, K., & Fisher, K. 2014. Designing for adaptation: The school as socio-spatial assemblage. Journal of Architecture, 19(1).

RAKENNUSTEN KANSAINVÄLISTEN HYVINVOINTILUOKITUSTEN SISÄYMPÄRISTÖKRITEERIT SUOMALAISESSA KONTEKSTISSA

Sara Malve-Ahlroth

Työterveyslaitos

TIIVISTELMÄ

Artikkeli kuvaa laadullisen dokumenttianalyysin pohjalta kahden rakennusten hyvinvointiluokituksen (WELL, Fitwel) keskeisimmät sisäympäristökriteerit liittyvät yhtäläisyydet ja erot. Luokitusten sisällöt ovat pääosin linjassa keskenään, vaikka ne eroavatkin rakenteensa, laajuutensa ja käyttämänsä taustakirjallisuuden osalta. Molemmat painottavat sisäilmaan liittyviä sisäympäristökriteereitä. Eniten yhtäläisyyksiä löytyy veden, ravinnon ja liikkumisen teemojen osalta ja eroja eniten ääniympäristön osalta. Tarkasteltaessa luokitusten soveltuvuutta suomalaiseen kontekstiin, jää epävarmaksi tuovatko ne merkittävää lisäarvoa suomalaisille rakennusten käyttäjille. Toisaalta niiden kokonaisvaltainen lähestymistapa voi avartaa suunnittelijoiden ja kiinteistöomistajien näkökulmia rakennusten ja hyvinvoinnin suhteeseen.

TAUSTAA

Rakennusten erilaiset ympäristöluokitusjärjestelmät ovat yleistyneet tasaiseen tahtiin Suomessa. Luokitusjärjestelmien yksi keskeinen tehtävä on auttaa sijoittajia ja rakennusten omistajia tekemään vertailua rakennusten fyysisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista, mutta perinteisesti rakennuksen käyttäjien tarpeet ovat jääneet tarkastelun ulkopuolelle. Viime vuosina perinteisten ympäristöluokitusjärjestelmien (kuten LEED ja BREEAM) rinnalle on noussut myös hyvinvointiluokituksia, kun on ymmärretty rakennusten keskeinen rooli myös ihmisten terveydelle ja hyvinvoinnille. Niistä kaksi keskeisintä ovat maailmalla levinneet WELL- ja Fitwel-standardit. Suomalaisesta näkökulmasta niiden tuoma todellinen lisäarvo tilojen käyttäjien hyvinvoinnille on kuitenkin jäänyt epäselväksi – ovathan standardit kehitetty aivan toisenlaisissa oloissa ja kulttuureissa. Suomessa rakennusten terveellisyys on kiinnitetty huomioita jo pitkään ja erilaiset lain vaatimukset, suositukset ja kansalliset ohjeistukset ohjaavat jo rakentamista ja rakennusten käyttöä.

WELL-standardin on kehittänyt yhdysvaltalainen Delos visionaan kiinteistökehityksen kestävyuden laajentaminen koskemaan ekologisen kestävyuden lisäksi myös sosiaalista kestävyyttä /1/. WELL-standardin ensimmäinen versio julkaistiin vuonna 2014 ja sitä hallinnoi nykyään Delosin perustama International WELL Building Institute (IWBI). Aktiivisia WELL-projekteja on maailmanlaajuisesti jo yli 34 000 ja Suomessakin jo 40, joista sertifioituja vajaa kymmenen. Fitwel-standardi vuorostaan syntyi vuonna 2014 Yhdysvaltojen valtion kiinteistöjä hallinnoivan viraston (US General Services Administration) halusta tukea omistamiensa tilojen käyttäjien terveyttä, jotta he voisivat tarjota mahdollisimman tehokkaita ja kestäviä työympäristöratkaisuja valtion virastoille /1/. Nykyään Fitwel-standardia hallinnoi the Center for Active Design -järjestö. Aktiivisia Fitwel-projekteja on maailmalla noin 1500, joista sertifioituja Pohjoismaissa on tällä hetkellä 7, Suomessa ei yhtään.

Rakennukselle myönnetty sertifikaatti kertoo, että se täyttää tietyt kriteerit. Se ei vielä itsessään kerro, onko sertifioitu rakennus parempi kuin ei-sertifioitu. Tämä näkyy myös tutkimuksissa, joissa sertifioituja rakennuksia on vertailtu ei-sertifioituihin. Ympäristöluokiteltuja rakennuksia on tutkittu erityisesti rakennusten todellisen energiatehokkuuden ja käyttäjien tyytyväisyyden kannalta /2/. Sertifioitujen ja jo käytössä olevien rakennusten todellista suorituskykyä tutkittaessa on todettu, etteivät ne aina toteudu yhtä hyvin, kuin suunnitteluvaiheessa myönnetty sertifikaatti antaisi ymmärtää /2, 3/. Kaiken kaikkiaan tutkimusnäyttö ympäristöluokiteltujen rakennusten paremmuudesta on ristiriitaista /2/. Luokitusten hyvä puoli on se, että ne antavat rakennuksesta kiinnostuneelle yleiskuvan rakennuksen ominaisuuksista ilman, että on tarve perehtyä yksityiskohtaisesti rakennukseen liittyvään dokumentaatioon. Ne myös mahdollistavat rakennusten nopean vertailun keskenään.

Hyvinvointiluokituksia koskevat tutkimus on keskittynyt tarkastelemaan erityisesti rakennusten käyttäjien kokemuksia sertifioituista rakennuksista. Kun vertailtiin rakennusten käyttäjien kokemuksia WELL-sertifioituista rakennuksista ei-sertifioituihin, todettiin, että sertifioituissa rakennuksissa oltiin keskimäärin tyytyväisempiä, koettiin työn sujuvan paremmin sekä koettiin parempaa tuottavuutta ja terveyttä /4/. Myös muuton ei-sertifioidusta rakennuksesta WELL-sertifioituun on todettu vaikuttavan positiivisesti koettuun työympäristötyytyväisyyteen sekä koettuun terveyteen, hyvinvointiin ja tuottavuuteen /5/. Yhdessä tutkimuksessa WELL-rakennukseen muuton myötä muutokset sisäympäristötyytyväisyydessä vaihtelivat, eikä WELL-luokitus näyttänyt tuovan aina merkittävää lisäarvoa /6/. Myös sisäilman laatua on tutkittu siirryttäessä WELL-rakennukseen ja todettu, ettei mitattujen sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksien välillä ollut eroa ei-sertifioitujen ja sertifioitujen rakennusten välillä /7/. Toisaalta sisäilman laatuun oltiin merkittävästi tyytyväisempiä WELL-rakennukseen muuton jälkeen, riippumatta objektiivisesti mitatuista epäpuhtauspitoisuuksista. Tämän epäiltiin riippuvan lämpömukavuudesta, tietoisuudesta WELL-sertifikaatin olemassaolosta sekä muista ei-mitattavista tekijöistä /7/.

WELL JA FITWEL: LUOKITUSTEN SISÄLLÖLLINEN VERTAILU

Molemmat tässä artikkelissa tarkasteltavat hyvinvointiluokitukset mainostavat pohjautuvansa tuhansiin tieteellisiin artikkeleihin, mutta ne eroavat hieman siinä, miten tutkimusviitteitä käytetään varsinaisessa standardissa sekä siinä, minkälaista tutkimusta painotetaan /1/. WELL-standardissa viitteet ovat selkeästi näkyvissä jokaisen konseptin yhteydessä vahvistaen sen tieteellistä uskottavuutta, kun taas Fitwel-standardissa ne ovat enemmänkin sisäänkirjoitettuna tehden siitä kenties hieman helpommin lähestyttävän ja saavutettavan. Toisaalta Fitwel pisteytys korreloi suoraan tutkimusnäytön vahvuuden kanssa – ne strategiat, joiden taustalla on vahvempi tutkimusnäyttö, sisältävät korkeamman pistemäärän kuin muut. Täten sen voidaan katsoa olevan WELL-standardia suoremmin näyttöön pohjautuva. /1/.

Luokitukset eroavat toisistaan myös siinä, miten ne on strukturoitu. WELL rakentuu ympäristöluokituksille tuttuun tapaan eri teemojen (esim. ilma, vesi, ravinto, valaistus) ja niihin liittyvien hyvinvointinäkökulmien ympärille, kun taas Fitwel lähtee rakennuksen eri elementeistä (esim. pohjakerros ja sisääntulo, porraskäytävät, vesihuolto) ja niihin liittyvistä hyvinvoinnin näkökohdista. Osa WELL:n kriteereistä on pakollisia *edellytyksiä* ja loput vapaaehtoisia *optimointeja*. Fitwelin rakenne on hieman käytännönläheisempi, eikä se sisällä lainkaan pakollisia strategioita, sillä sen mukaan hyvinvointi- ja terveystavoitteet voidaan saavuttaa useita eri keinoja hyödyntäen.

Molempien standardien sisältö on rakenteiden erilaisuudesta huolimatta pitkälti yhteneväinen, mutta niiden laajuudessa on yksi selkeä ero. Fitwel on laajuudelta hieman suppeampi, sillä se keskittyy vain rakennuksen suunnitteluratkaisuihin ja rakennuksen käyttöön. WELL-standardilla on holistisempi näkökulma hyvinvoinnin tukemiseen, sillä se lähtee siitä, että rakennuksen suunnitteluratkaisujen ja rakennuksen käytön ja tilajohtamisen lisäksi tulee huomioida myös rakennuksessa toimivan organisaation operatiivinen toiminta ja johtaminen. Tämä tarkoittaa sitä, ettei rakennuksen hyvinvointiluokitusta voi saavuttaa pelkän rakennuksen suunnittelutiimin toimien perusteella vaan mukaan tarvitaan myös tiloissa toimivan organisaation johto määrittelemään standardin ohjeistamia menettelytapoja aina toimivasta työterveydestä taukojen pitoon ja työhyvinvointitoimintaan saakka. Yksinkertaistuksen vuoksi tämän artikkelin seuraavissa tarkasteluissa laajempaan organisaation kontekstiin liittyvät menettelytavat on jätetty huomiotta. Keskiössä on rakennuksen sisäympäristöön ja erilaisiin suunnitteluratkaisuihin liittyviin tekijät sekä suoraan tilojen käyttöön tai niiden laadunvalvontaan liittyvät menettelytavat.

Molempia luokituksia on tarkasteltu reilusti yksinkertaistaen WELL-standardista poimittujen teemojen osalta: sisäilma, vesi, ravinto, valaistus, liikkuminen, lämpöolot, ääniympäristö, materiaalit, mieli ja yhteisöllisyys. Vertailun pohjana on dokumenttianalyysi standardien versioista WELL v2 ja Fitwel v2.1 työpaikoille. Lisäksi on käytetty apuna Rider ja van Bakergemin /1/ kirjan laadullista vertailua standardien välillä. Yksityiskohtainen vertailu kahden standardin välillä on verrattain haastavaa johtuen niiden erilaisista rakenteista ja lähtökohdista. Voidaan kuitenkin sanoa, että WELL on huomioinut hyvinvoinnin ja terveyden näkökulmia valittujen kymmenen teeman osalta kattavammin. Ainoastaan yhteisöllisyyden teeman osalta Fitwel vaikuttaa hieman kunnianhimoisemmalta. Fitwel on sisällöltään selkeästi suppeampi keskittyen ensisijaisesti sisäilman laatuun, liikkumiseen ja sosiaalisen ja psykologisen hyvinvoinnin kategorioihin. Sisältöjen eroavaisuuksissa näkyy se, että WELL-standardi pohjautuu ennen kaikkea lääketieteelliseen ja yksilön terveyttä koskevaan tutkimukseen, kun taas Fitwel rakentuu vahvasti kansanterveyttä ja väestön terveyttä koskevan tutkimuksen varaan /1/.

Molemmissa standardeissa on vahva painotus sisäilman laatuun, mikä näkyy suurena määränä kriteerejä liittyen esimerkiksi ilmanlaadun testaukseen ja tiettyjen epäpuhtauksien pitoisuuksien raja-arvoissa pysymiseen, savuttomaan ympäristöön, ilmanlaadun seurantaan ja epäpuhtauksien suodattamiseen. WELL menee vielä hieman pidemmälle sisäilman tekijöissä, jotka liittyvät avattaviin ikkunoihin, palamisen päästöjen minimointiin, tehostettuun tuloilmaan ja ilmanvaihdon suunnitteluun. Eniten yhtäläisyyksiä standardien välillä on veden, ravinnon ja liikkumisen teemojen osalta, joskin niiden sisältämät tarkemmat raja-arvot tai standardit saattavat erota jonkin verran toisistaan. Veden osalta molemmat ohjaavat veden laadun valvontaan erityisesti juomaveden osalta sekä edistämään veden juontia ja tukemaan hyviä käsienspesun käytäntöjä. Ravinnon osalta molemmissa mainitaan muun muassa omien eväiden syöminen tukeminen tiloissa, paikallisen ruokaympäristön huomioiminen, terveellisiin ruokavalintoihin ohjaaminen mm. valinta-arkkitehtuurin välityksellä sekä tietoisien syöminen tukeminen erillisillä ruokailutiloilla. Liikkumisen kohdalla molemmissa kannustetaan kaluste-ergonomian, työmatkaliikkujien tilojen, porraskäytävien houkuttelevuuden ja liikuntatilojen kaltaisiin ratkaisuihin.

Lämpöolojen osalta WELL ohjaa kiinnittämään huomiota niin lämpötekniseen toimivuuteen, koetun lämpömukavuuden seurantaan, kosteuden hallintaan kuin

ulkotilojenkin lämpöoloihin. Molemmat sisältävät lämpöolojen osalta lämpövyöhykkeisiin ja lämpötilan yksilölliseen hallintaan liittyviä tekijöitä. Valaistuksen kohdalla Fitwel keskittyy lähinnä päivänvalon saatavuuteen ja ikkunoiden varjostukseen, kun taas WELL sisältää myös esimerkiksi vuorokausivalaistukseen, päivänvalon simulointiin, värintoistoon ja tilankäyttäjien valaistuksen hallintaan liittyviä tekijöitä. Selkeimmät erot löytyvät ääniympäristön osalta, johon Fitwel ei ota kantaa juuri lainkaan, lukuun ottamatta hiljaisia huoneita ja melusaastetta. WELL taas ohjeistaa huomioimaan ääniympäristön paljon laajemmin esimerkiksi erilaisten äänivyöhykkeiden, äänieristyksen, jälkikaiunta-aikojen ja peittoäänen osalta. Materiaali-teemassa molemmat asettavat rajoituksia erilaisten haitallisten materiaalien ja aineiden käytölle, mutta lisäksi WELL ohjaa kiinnittämään huomiota myös esimerkiksi VOC-pitoisuuksiin, materiaalien läpinäkyvyyteen ja pilaantuneiden maiden kunnostukseen. Mielen hyvinvointia tavoitellaan molemmissa tuomalla luonto ja paikan kokemus osaksi tiloja sekä tarjoamalla erillisiä elvyttäviä tiloja rauhoittumiseen ja palautumiseen. Yhteisöllisyyttä ja yhteisöä taas pyritään molemmissa tukemaan osallistavan suunnittelun ja imetyshuoneiden avulla. Fitwel kiinnittää lisäksi huomioita julkisten tilojen tarjoamiseen, ulkotilojen valaistukseen ja sisäänkäyntien lähistöllä oleviin ulkoympäristöihin.

LUOKITUSTEN SOVELTUVUUS SUOMALASEEN JA POHJOISMAISEEN KONTEKSTIIN

WELL- ja Fitwel-luokituksia on aiemmin tarkastelu hyvin vähän, jos ollenkaan, suomalaisessa toimintaympäristössä. Yksittäiset löytyneet tarkastelut olivat kaikki WELL-standardiin liittyviä opinnäytetöitä viimeisen parin vuoden ajalta. Arkkolan /8/ opinnäytetyössä verrattiin WELL-standardin talotekniikkaan kuten ilmanvaihtoon, vesijärjestelmiin, kosteuden hallintaan ja lämpöolosuhteiden suunnitteluun liittyviä tekijöitä Suomen lainsäädäntöön ja yleisesti käytettyihin suunnitteluohjeisiin. Opinnäytetyössä todettiin, että pelkästään Suomen lainsäädännön kautta toteutuu osa vaatimuksista esimerkiksi ilmansuodatus, ulkoilmavirrat toimistotiloissa, likaisten tilojen erottaminen sekä vesikalusteiden laitekohtaiset sulut. Lisäksi Sisäilmaluokitus 2018:n luokkien S1 ja S2 tavoitteiden todetaan tukevan WELL-sertifiointia. Toisaalta osan vaatimuksista huomautettiin olevan hyvinkin yksityiskohtaisia ja vaativan erillistä dokumentointia ja perehtyneisyyttä standardiin sekä käyttöönoton jälkeisiä kenttämittauksia. Opinnäytetyön mukaan Suomessa sertifiointia hakevien tulisi kiinnittää erityishuomiota sisäilman laatuvaatimusten osalta ainakin vähäpäästöisten M1-luokiteltujen rakennusmateriaalien käyttöön sekä WELL-standardin asumisterveysasetusta tiukempiin VOC-päästöjen pitoisuusrajoihin. WELL:n vaatimat veden laadun vuosittaiset mittaukset mainittiin turhina Suomessa, jossa veden laatu on jo valmiiksi hyvä. WELL-standardin puutteiksi suomalaisesta näkökulmasta Arkkola mainitsee energiatehokkuusnäkökulman puuttumisen sekä kosteuden hallinnan vapaaehtoisuuden. Myös WELL-standardin valaistukseen liittyviä tekijöitä on tarkasteltu eräessä toisessa opinnäytetyössä /9/, jossa niitä peilataan Suomessa käytössä olevat standardeihin SFS-EN 12464-1:2021 (sisätyöpaikkojen valaistuksen vähimmäisvaatimukset) ja SFS-EN 17037:2018 (päivänvalo, näkymät, häikäisy huomiointi). Ainakin WELL:n visuaalisen valaistussuunnittelun ja päivänvalon simulaation kriteereiden todetaan täyttyvän helposti noudatettaessa kyseisiä standardeja.

Ruotsalaisessa opinnäytetyössä on tehty WELL-standardin ensimmäisen version kriteerien kattava vertailu ruotsalaiseen lainsäädäntöön ja kansalliseen Miljöbyggnad-ympäristöluokitukseen /10/. Siinä todetaan lainsäädännön ja tavanomaisten hyvien

käytäntöjen ohjaavan täyttämään WELL:n aiemman version kriteerit ainakin radonin, savuttomuuden, ilmanvaihdon tehokkuuden, kosteuden hallinnan, ja ilman epäpuhtauslähteiden erottelun sekä lämpöolojen ja luontoelementtien osalta. Myös WELL:n mieli-, ravinto- ja vesi-konseptien vaatimuksista suurimman osan mainitaan täyttyvän helposti seuraamalla ruotsalaista lainsäädäntöä. Näistä monet ovat suomalaisessakin yhteiskunnassa jo itsestäänselvyyksiä muun muassa työturvallisuus- ja terveydensuojelulainsäädännön sekä työehtosopimusten kautta. Toisessa opinnäytetyössä haastatellut ruotsalaiset asiantuntijat olivat sitä mieltä, ettei WELL-standardi sellaisenaan ole suoraan yhteensopiva ruotsalaisten rakennussäädösten ja olosuhteiden kanssa, sillä se on rakennettu vastaamaan ensisijaisesti amerikkalaisiin yhteiskunnan ja rakennusten haasteisiin sekä olosuhteisiin /11/. Standardi sisältää pohjoismaiseen kontekstiin soveltumattomia kriteereitä, kuten imetyshuoneet, joita ei täällä tarvita pitkien vanhempainvapaiden vuoksi. Johtuen Fitwel-standardin pienemmästä levinneisyydestä, ei siitä löytynyt yhtään pohjoismaista vertailua. Tästä huolimatta voidaan sen tilanteen olevan kohtuullisen samanlainen.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän artikkelin tarkastelussa amerikkalainen konteksti tuntuu vaikuttavan edelleen vahvasti hyvinvointiluokituksien taustalla, vaikka niitä on pyritty muuttamaan paremmin kansainvälisille markkinoille sopivammaksi. Yhdysvaltalaisille luokituksille tyypillisesti WELL ohjeistaa tarkasti suunnittelijoille, miten rakennus pitää toteuttaa, jotta vaaditut tavoitteet saavutetaan. Tämä eroaa eurooppalaisista ympäristöluokituksista, joissa painotetaan todellista suorituskykyä ja jätetään siihen johtavat strategiat enemmän suunnittelijoiden vastuulle sekä viitataan paikallisiin säädöksiin ja ohjeistuksiin /12/. Fitwel on sisällöltään selkeästi WELL-standardia suppeampi, käytännönläheisempi ja jättää enemmän liikkumavaraa keinoille, joilla toivotut tavoitteet lopulta saavutetaan. WELL on tavoitteissaan kunnianhimoisempi ja vaatii myös enemmän perehtymistä ja monialaista osaamista sertifikaatin hakijalta.

Tarkasteltaessa luokitusten soveltuvuutta suomalaiseen kontekstiin, jää epävarmaksi tuovatko ne merkittävää lisäarvoa suomalaisille rakennusten käyttäjille. Aiemman, osittaisen vertailun pohjalta lisäarvo ei näyttäydä ainakaan merkittävältä. Tarkemman arvion teko vaatisi kaikkien luokitusten osa-alueiden systemaattista ja yksityiskohtaisempaa vertailua suomalaisiin säädöksiin ja ohjeistuksiin. Erityisesti terveyspalveluiden saatavuuteen, perheen ja työn yhdistämiseen, vastuullisiin työvoimakäytäntöihin ja työtuntimääriin, terveelliseen työpaikkaruokailuun, sekä ympäristön kevyen ja julkisen liikenteen huomioimiseen liittyvistä kriteereistä moni vaikuttaa suomalaisessa hyvinvointiyhteiskunnassa turhilta. Toisaalta ei löydetty erillistä vertailua luokitusten fyysisen aktiivisuuden lisäämiseen, luonto- ja paikkayhteyden vahvistamiseen sekä yhteisöllisyyden tukemiseen liittyvistä strategioista, jotka voisivat suomalaisestakin näkökulmasta olla innovatiivisia ja rakennuksen käyttäjille lisäarvoa tuovia. Myös luokitusten ääniympäristöön ja materiaaleihin liittyviä vaatimuksia olisi hyvä tarkastella erikseen ja verrata Suomessa käytössä oleviin ohjeistuksiin, sillä niistä ei löytynyt mitään aiempaa vertailua.

On hyvä muistaa, että luokitusten kohderyhmää ovat erityisesti kansainväliset kiinteistösijoittajat ja -omistajat, joille suomalainen konteksti ei ole niin tärkeässä roolissa. Toisaalta hyvinvointiluokitusten kokonaisvaltaisempi näkökulma rakennusten hyvinvointia edistäviin sisäympäristötekijöihin vaikuttaa tervetulleelta keskustelun avaukselta myös suomalaisten rakennusten suunnitteluun ja tilajohtamiseen. Rakennus

ei ole vain ilma, jota hengitämme ja tila, jonka suojissa toimimme, vaan se vaikuttaa osaltaan myös siihen, miten syömmme, liikumme ja toimimme toistemme kanssa. Näissä kysymyksissä hyvinvointiluokitukset haastavatkin kiinteistöomistajia ja suunnittelijoita tunnistamaan paremmin oman vaikutusvaltansa tämän päivän kansanterveydellisten haasteiden, kuten ylipainon, liikkumattomuuden ja mielenterveyden taklaamiseen /13/.

LÄHDELUETTELO

1. Rider T. ja van Bakergem M. 2021 Building for Well-Being: Exploring Health-Focused Rating Systems for Design and Construction Professionals. New York: Routledge.
2. Afroz Z., Burak Gunay H. ja O'Brien W. 2020 A review of data collection and analysis requirements for certified green buildings. Energy and Buildings. Vol 226.
3. Capeluto I.G. 2022 The Unsustainable Direction of Green Building Codes: A Critical Look at the Future of Green Architecture. Buildings. Vol 12(6), s. 773.
4. Candido, C., Marzban S., Haddad S., Mackey M. ja Loder A. 2020 Designing healthy workspaces: results from Australian certified open-plan offices Designing healthy workspaces. Facilities. Vol 39 (5/6), s. 411-433.
5. Ildiri N., Bazille H., Lou Y., Hinkelman K., Gray W. ja Zuo W. 2022 Impact of WELL certification on occupant satisfaction and perceived health, well-being, and productivity: A multi-office pre- versus post-occupancy evaluation. Building and Environment. Vol 224, s. 109539.
6. Licina D. ja Yildirim S. 2021 Occupant satisfaction with indoor environmental quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and self-reported productivity before and after relocation into WELL-certified office buildings. Building and Environment. Vol 204.
7. Licina D. ja Langer S. 2021 Indoor air quality investigation before and after relocation to WELL-certified office buildings. Building and Environment. Vol 204.
8. Arkkola H. 2020 Talotekniikka WELL-sertifiointihankkeessa. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
9. Pussinen K. 2022 LEED-, BREEAM- ja WELL-sertifikaattien vaikutus valaistussuunnitteluun. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
10. Nordstrand L. 2017 Health and wellbeing in Swedish office buildings: A study on WELL Building Standard, Swedish legislation and Miljöbyggnad. Maisterin tutkielma. KTH Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad.
11. Almishref S. ja Nakoura M. 2023 WELL-certifiering för byggnader ur ett svenskt perspektiv. Kandidaatin tutkielma. Linnéuniversitetet.
12. McArthur J. ja Powell C. 2020 Health and Wellness in Commercial Buildings: Systematic Review of Sustainable Building Rating Systems and Alignment with Contemporary Research. Building and Environment. Vol 171, 106635.
13. Rider T. ja Goldman C. 2020 Health-Promoting Buildings: The Future of Design.

ILMANVAIHTO JA ILMANPUHDISTIMET

ILMANVAIHDON ILMAVIRTOJEN MERKITYS LUOKKAHUONEEN OLOSUHTEILLE

Sakari Uusitalo, Jussi-Pekka Juvela, Antti Mäkinen ja Sampo Saari

Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkasteltiin luokkahuoneen hiilidioksidipitoisuuksia eri ilmanvaihdon ilmavirroilla. Tavoitteena oli verrata toteutuneita olosuhteita sisäilmaluokituksen tavoitearvoihin. Lisäksi tarkasteltiin hiilidioksidianturin sijainnin vaikutusta mittaustulokseen sekä muuttuvailmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Vertailtaessa olosuhteita eri ilmavirroilla havaittiin, että luokkahuoneen olosuhteet pysyivät hyvällä tasolla CO_2 -pitoisuuden suhteen, tilan henkilömäärän ollessa hieman yli 20. Sisäilmastoluokituksen mukaisia ilmavirtojen ohjearvoja käyttäen saavutettiin tilassa pääosin luokituksen mukaiset CO_2 -olosuhteet. Muuttuvailmavirtaista järjestelmää käytettäessä on kiinnitettävä huomiota etenkin maksimi-ilmavirran määrittelyyn haluttujen olosuhteiden saavuttamiseksi.

JOHDANTO

Ilmanvaihdon tehokkuudella ja tilan hiilidioksidipitoisuudella on tutkittu olevan vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin ja terveyteen sekä henkilön työtehokkuuteen ja kognitiivisiin kykyihin [1,2]. Ilmanvaihdon tulisi kuitenkin toimia mahdollisimman energiatehokkaasti, minkä vuoksi tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttö on lisääntynyt merkittävästi. Käytettäessä muuttuvailmavirtaista järjestelmää tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa, on tilan CO_2 -pitoisuus suosituin tapa ohjata ilmavirran asetusarvoa [3]. On viitteitä siitä, että huoneanturin sijainti tilassa voi vaikuttaa olosuhteiden mittaustulokseen [4,5], eikä tyypillinen sijainti oviaukossa välttämättä ole aina paras mahdollinen.

Toimiakseen hyvin muuttuvailmavirtainen ilmanvaihtojärjestelmä tarvitsee luotettavan hiilidioksidimittauksen tilassa. Samalla se toimii myös hyvänä mittarina ilmanvaihdon toimivuudesta ja tilan käyttöasteesta.

Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokitus [6] on Suomen Sisäilmayhdistyksen julkaisema työkalu, jota käytetään laajasti rakentamisen sisäilmaolosuhteiden tavoitteiden asettamiseen. Se määrittelee tavoite- ja suunnitteluarvot sisäilmaston olosuhteille. Tämän lisäksi se määrittelee mm. rakentamisen puhtausluokat ja rakennusmateriaalien päästöluokituksen [7]. Luokitus on jaettu kolmeen luokkaan S1, S2 ja S3, joista luokka S3 määrittelee käytännössä määräyksissä [8,9] asetetun vähimmäistason olosuhteille. Tässä tutkimuksessa olosuhteita käsitellään vain hiilidioksidipitoisuuden kannalta. Taulukossa 1 on esitetty luokituksen perusteella määritetyt tavoitearvot hiilidioksidin nousulle ulkoilman pitoisuuteen nähden. Lisäksi taulukossa 1 on esitetty luokituksessa esitetyt ohjearvot raitisilmamäärälle luokkahuoneissa henkilöä kohden.

Taulukko 1. Tavoitearvot hiilidioksidilisälle ja ulkoilmavirralle luokkahuoneessa.

	CO ₂ lisän tavoitearvo luokkahuoneessa	Ulkoilmavirran tavoitearvo luokkahuoneessa
S1	350 ppm	11 dm ³ /s, henkilö
S2	550 ppm	8 dm ³ /s, henkilö
S3	800 ppm	6 dm ³ /s, henkilö

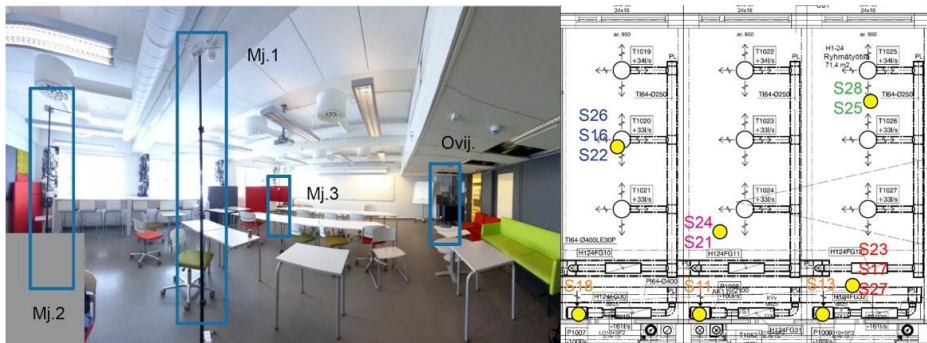
Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella luokkahuoneen hiilidioksidipitoisuuksia normaalissa luentotilanteessa eri ilmavirta-arvoilla ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnan aikana sekä verrata toteutuneita olosuhteita sisäilmastoluokituksessa esitettyihin tavoitearvoihin. Koska tilan hiilidioksidipitoisuutta käytetään nykyään laajalti tarpeenmukaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä ohjaamaan ilmavirran asetusarvoa, pyrittiin myös selvittämään hiilidioksidianturin sijainnin vaikutus mittaustulokseen.

MITTAUSJÄRJESTELYT

Tutkimuksen mittaukset tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun luokkahuoneessa. Tilavarausjärjestelmän mukaan luokkahuone on mitoitettu maksimissaan 32 henkilölle. Luokkahuone ja sinne sijoitetut mittaustelineet on esitetty kuvassa 1. Mittauksissa antureina käytettiin Miran DLS IAQ.THB-H9+CO₂. Valmistajan ilmoituksen mukaan CO₂-mittauksessa antureiden tarkkuus on $\pm 30 \text{ ppm} \pm 3 \%$ lukemasta.

Kalibrointia varten anturit asetettiin kammioon, johon puhallettiin ilmaa paineilmaverkosta. Kammion hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen käytettiin tehdaskalibroitu Vaisala GMW90 -anturia. Kun olosuhteet kammiossa vakiintuivat, mittausanturien lukemat asetettiin Vaisalan anturin osoittamalle tasolle.



Kuva 1. Mittauksissa käytetty luokkahuone ja mittalaitetelineet sekä ilmanvaihtojärjestelmä ja antureiden sijoittelu.

Antureiden sijoittelu ja tilan ilmanvaihto

Anturit sijoitettiin huonetilaan telineisiin (kuva 1) siten, että yksi anturi oli alhaalla ja toinen ylhäällä lähellä kattoa. Kahdessa telineissä oli myös yksi anturi keskellä. Huoneessa on kolme poistoilmaventtiiliä, joista jokaiseen oli kiinnitetty yksi anturi. Kuvassa 1 on esitetty anturitelineiden ja poistoilmaventtiileihin sijoitettujen anturien

sijainnit. Antureiden koodit näkyvät kuvassa siinä järjestyksessä, jossa ne on kiinnitetty telineeseen.

Kuvassa 1 näkyy myös tilan ilmanvaihtojärjestelmä. Huoneessa on yhteensä yhdeksän tuloilmalaitetta ja kolme poistoilmaventtiiliä. Jokaisella tulo- ja poistoilmahaaralla on oma ilmavirran säätöyksikkö. Normaalitylanteessa huoneen ilmanvaihto toimii siten, että huonesäädin (todennäköisesti PID-säädin) yrittää pitää huoneen CO₂-pitoisuuden asetetussa arvossaan ohjaamalla ilmavirran asetusarvoa ilmavirran säätöyksikköön asetetun minimin (90 dm³/s) ja enimmäisarvon (285 dm³/s) välillä. CO₂-anturi on asennettu huoneen ovipieleen.

Mittaustilanteet

Mittaustilanteita oli yhteensä viisi, joissa tilan ilmavirta-asetukset olivat erilaiset. Mittaustilanteiden aikana tilassa oli käynnissä normaali oppitunti, joten tilassa olevien ihmisten määrää ei voitu täysin hallita. Yhden luennon kesto oli n. kaksi tuntia. Neljällä luennolla oli tauko välissä. Luennolla 4 ei ollut taukoa. Kolmella luennolla ilmavirta asetettiin vakioilmavirtaan ja kahdella luennolla pidettiin tarpeenmukainen ilmanvaihto toiminnassa, mutta tilan CO₂-pitoisuuden asetusarvoa muutettiin. Käytetyt ilmavirrat ja CO₂-asetusarvot sekä luentojen henkilömäärä on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Mittaustilanteissa käytetyt ilmavirrat ja henkilömäärä.

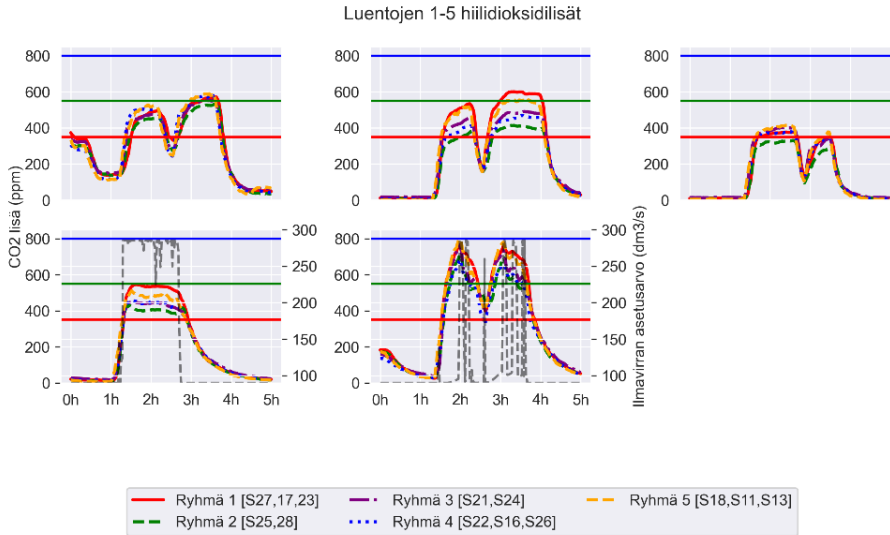
Luento	Ilmavirta	Henkilömäärä	Ilmavirta
Luento 1	130 dm ³ /s	21	ca. 6 dm ³ /s
Luento 2	200 dm ³ /s	22	ca. 9 dm ³ /s
Luento 3	285 dm ³ /s	22	ca. 13 dm ³ /s
Luento 4	as.arvo 750 ppm	27	muuttuva
Luento 5	as.arvo 1200 ppm	23	muuttuva

MITTAUSTULOKSET

Mittaustuloksissa on tarkasteltu hiilidioksidilisäystä ulkoilmaan verrattuna eri mittauspisteiden keskiarvona ja verrattu sisäilmastoluokituksessa määriteltyihin raja-arvoihin. CO₂-lisäys on laskettu vähentämällä huoneeseen sijoitettujen antureiden mittaustuloksista tuloilmasta mitattu hiilidioksidipitoisuus. Lisäksi eri antureiden välisiä maksimi- ja minimipitoisuuksia on tarkasteltu sen selvittämiseksi, onko anturin sijoittelulla merkitystä mittaustuloksen kannalta kyseisessä tilassa.

Hiilidioksidilisän vertailu sisäilmastoluokitukseen

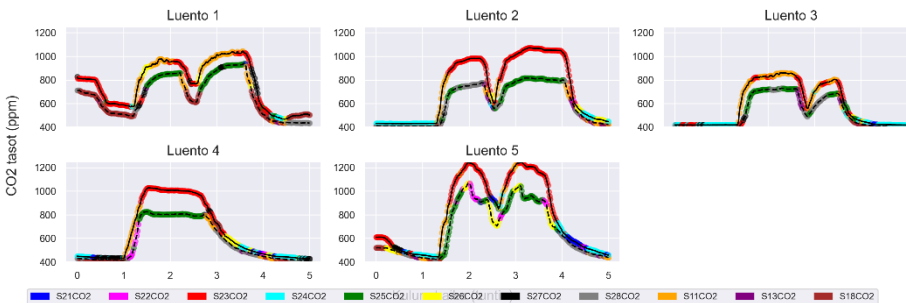
Kuva 2 näyttää kunkin oppitunnin keskimääräisen CO₂ lisän kustakin mittatelineestä ja poistoilmaventtiileistä. Lisäksi esitetään rajat eri sisäilmaluokille (S1, S2 ja S3). Kuten kuvasta nähdään, ensimmäisellä luennolla (n. 6 dm³/s per henkilö) CO₂-lisä ylittää luokan S2 raja-arvon tauon jälkeen. Toisen luennon aikana (n. 9 dm³/s per henkilö) CO₂-pitoisuudet jakaantuvat luokkien S1 ja S2 rajojen välille. Suuri poikkeama toisen luennon aikana voi johtua oppilaiden sijainnista oppitunnin aikana ja luokkahuoneen geometriasta. CO₂-tasojen poikkeamaa käsitellään tarkemmin myöhemmin. Luennolla 3 (n. 13 dm³/s per henkilö) CO₂ tasot näyttävät mukautuvan lähellä sisäilmastoluokan S1 rajaa.



Kuva 2. Hiilidioksidilisän keskiarvot anturiryhmittäin sekä ilmavirran asetusarvo luennoilla 4 ja 5.

Luennot 4 ja 5 olivat tilanteita, joissa tarpeenmukainen ilmanvaihto oli käytössä. Luennolla 4 asetusarvo oli 750 ppm, mikä vastaa suunnilleen sisäilmaluokkaa S1 ja luennolla 5 asetusarvo oli 1200 ppm, mikä vastaa suunnilleen sisäilmastoluokkaa S3. Kuten kuvasta 3 nähdään, muuttuvailmavirtainen ilmanvaihto ylläpitää luennolla 4 maksimi-ilmavirtaa (285 l/s) luokahuoneeseen. Kuitenkin CO_2 -lisä nousee luokan S1 ja S2 rajojen väliin, mikä osoittaa, että suurin ilmavirta ei riitä ylläpitämään tasoa S1, kun tilassa on 27 henkilöä (n. $10,5 \frac{dm^3}{s}$ per henkilö). Luennon 5 CO_2 -lisä näyttää nousevan luokan S2 ja S3 rajojen väliin ja muuttuvailmavirtajärjestelmä pystyy pitämään olosuhteet hyväksyttävällä tasolla. Ilmavirran asetusarvo vaihtelee kuitenkin vain minimin ja maksimin välillä, jonka ei voida olettaa olevan optimaalinen käyttötarkoitus muuttuvailmavirtajärjestelmää käytettäessä.

Hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelun vertailu tilassa



Kuva 3. Luentojen hiilidioksidipitoisuuden minimi- ja maksimitasot. Väri ilmaisee anturin, josta lukema on.

Kuvassa 3 esitetään CO_2 -mittauksen maksimi- ja minimitaso kullakin luennolla. Jokainen anturi edustaa eri väriä, joten voimme nähdä, mikä anturi on mitannut

korkeimman ja alimman CO_2 -tason kulloinkin. Kuten kuvasta nähdään, suurimman osan ajasta korkein taso mitataan anturilta S23 tai S11. Toisaalta alin CO_2 -taso mitataan anturilta S25 tai S28. Tämä vaikuttaa luontevalta, kun tarkastellaan antureiden sijaintia. Anturi S23 on yläosassa telineellä, joka on huoneen kulmassa lähellä ovea. Tässä kohdassa tilan katto on myös alempana, ja poistoilmaventtiilien sijainti on epäoptimaalinen suhteessa anturin sijaintiin. Joillakin luennoilla (esim. mahdollisesti luento 2) henkilöt ovat saattaneet istua sohvaryhmillä oven läheisyydessä. Keskimmäiseen poistoilmaventtiiliin sijoitetun anturin S11 korkeammat arvot voivat johtua henkilöiden sijainnista huoneessa. Antureiden S25 ja S28 läheisyydessä on opettajan työpöytä, eikä sen läheisyydessä yleensä ole oppilaita.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Verrattaessa CO_2 -lisäystä erilaisilla ilmavirroilla, voidaan havaita, että olosuhteet pysyvät CO_2 -pitoisuuden suhteen varsin hyvällä tasolla, kun oppilaita on hieman yli 20. Pienimmälläkin ilmavirralla keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus pysyy luokan S2 tasolla.

Tämän tutkimuksen perusteella suomalaisessa sisäilmastoluokituksessa annetut ohjeavrot ilmavirtojen mitoittamiseksi näyttäisivät tuottavan ohjeen mukaiset olosuhteet tilassa. Vain jos katsotaan luentoa 4, jossa oli paikalla 27 henkilöä, huomataan, että luokan S1 tavoitteita ei ole aivan saavutettu, vaikka ilmavirta henkeä kohti on ollut lähes koko ajan $10-11 \text{ dm}^3/\text{s}$, joka on sisäilmaluokituksen määritelty ohjearvo luokalle S1. Luennon 3 mittauksista nähdään, että tarvitaan n. $13 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkeä kohden luokan S1 CO_2 -olosuhteiden saavuttamiseksi.

Jos kuitenkin halutaan S1-luokan hiilidioksidiolot tilaan, kun tilassa oleva henkilömäärä lähestyy kolmeakymmentä, on maksimi-ilmavirtausta nostettava. Tämä on myös asia, joka tulee ottaa yleisesti huomioon mitoittaessa muuttuvailmavirtajärjestelmää. Maksimi-ilmavirran tulee olla riittävän suuri (ehkä hieman ylimitoitettu), jotta halutun sisäilmaluokan mukaiset olosuhteet voidaan saavuttaa suuremmallakin henkilömäärällä. Esimerkiksi tässä tapauksessa tilanvarausjärjestelmän maksimihenkilömääräksi on määritelty 32 henkilöä tilaan.

Kun huonesäätö yrittää pitää olosuhteet suunnilleen luokan S3 tasolla (asetusarvo 1200 ppm), ilmavirta huoneeseen on riittävä, mutta ohjaus toimii käytännössä kuten ON-OFF-säätö. Tämä ei ole ilmavirtasäädölle optimaalinen toimintatapa, koska sama toiminta voitaisiin toteuttaa yksinkertaisemmin kahteen eri asentoon ajettavalla pellillä, jolloin varsinaista ilmavirtasäädintä ei tarvittaisi. ON-OFF-säädön kaltainen toiminta voi johtua esimerkiksi väärin viritetystä säätimestä. Myös muun tyyppisiä säätötapoja käytetään usein CO_2 -pitoisuuksien hallintaan tarpeenmukaisessa ilmanvaihdoissa [10], eikä PID-säätimen käyttö välttämättä ole edes kovin yleistä. Mittauksia tulisi jatkua vertaillen samalla eri säätömenetelmiä, jotta saataisiin lisätietoa parhaiten toimivista menetelmistä.

Tarkasteltaessa CO_2 -pitoisuuden vaihtelua huoneen eri osissa, voidaan havaita, että joidenkin antureiden lukemat ovat toistuvasti korkeampia ja toisten pienempiä kuin toisten. Tähän todennäköisesti vaikuttaa huoneen geometria, ilman jakautuminen ja ihmisten sijoitus tilassa. Valitettavasti tässä tutkimuksessa ei ollut saatavilla tietoa henkilöiden sijainnista tilassa eri luentojen aikana. On tarpeellista toistaa mittaukset niin, että myös henkilöiden sijainti voidaan ottaa paremmin huomioon.

Huonesäädön ohjaava huoneanturi on sijoitettu tilassa käytävälle johtavan oven karmiin. Anturit S27, S17 ja S23 sijaitsevat telineessä, joka on kyseisen huoneanturin vieressä. Sijoittaminen oven pieleen on yleistä huoneantureille ja pääsääntöisesti tämä antaa varmasti hyvän yleiskuvan huoneen hiilidioksidipitoisuuden muutoksista. Näyttää kuitenkin siltä, että erityisesti tapaukset, joissa anturia käytetään tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaamisessa, huoneen geometria, ilmanjako ja kalustus (jos mahdollista) tulisi ottaa paremmin huomioon anturin sijoittamisessa.

LÄHDELUETTELO

1. Wargocki, P. et al. "Ventilation and Health in Non-Industrial Indoor Environments: Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)." *Indoor air* 12.2 (2002): 113–128. Web.
2. Allen, Joseph G et al. "Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments." *Environmental health perspectives* 124.6 (2016): 805–812. Web.
3. Okochi, Godwine Swere, and Ye Yao. "A Review of Recent Developments and Technological Advancements of Variable-Air-Volume (VAV) Air-Conditioning Systems." *Renewable & sustainable energy reviews* 59 (2016): 784–817. Web.
4. Lu, Xing et al. "The Nexus of the Indoor CO₂ Concentration and Ventilation Demands Underlying CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation in Commercial Buildings: A Critical Review." *Building and environment* 218 (2022): 109116-. Web.
5. Fisk, William J. "CO₂ MONITORING FOR DEMAND CONTROLLED VENTILATION IN COMMERCIAL BUILDINGS." (2010): n. pag. Print.
6. Classification for Indoor Environment 2018, Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate, FISIAQ. Espoo, Finland, The Building Information Foundation RTS sr, Helsinki, Finland
7. Ahola, Mervi, Jorma Säteri, and Laura Sariola. "Revised Finnish Classification of Indoor Climate 2018." *E3S Web of Conferences* 111 (2019): 2017-. Web.
8. Decree of the Ministry of the Environment on the Indoor Climate and Ventilation of New Buildings 1009/2017.
9. Decree of the Finnish Ministry of Social Affairs and Health on Health-related Conditions of Housing and Other Residential Buildings and Qualification Requirements for Third-party Experts. 545/2015
10. Okochi, Godwine Swere, and Ye Yao. "A Review of Recent Developments and Technological Advancements of Variable-Air-Volume (VAV) Air-Conditioning Systems." *Renewable & sustainable energy reviews* 59 (2016): 784–817. Web.

KATTAVA TARPEENMUKAISTEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN TOIMINNANVARMISTUS HYVÄN SISÄILMASTON JA ENERGIAITEHOKKUUDEN EDELLYTYKSENÄ

Panu Mustakallio^{1,2}, Simo Kilpeläinen¹ ja Risto Kosonen¹

¹Aalto yliopisto

²Halton Oy

TIIVISTELMÄ

Tarpeenmukaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä on potentiaalia parantaa rakennusten energiatehokkuutta ja sisäilmaston laatua merkittävästi. Tämä voidaan saavuttaa järjestelmien toiminnanvarmistuksen avulla, joka ulottuu koko rakennuksen elinkaarelle. Tämä artikkeli kokoaa ajankohtaisen tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmien kirjallisuusselvityksen ja koekohdetutkimuksen keskeiset havainnot. Kirjallisuusselvityksessä korostui tarpeenmukaisen ilmanvaihdon järjestelmien haasteet rakennusprosessin eri vaiheissa. Koekohdetutkimuksen keskeisimpinä havaintoina oli se, että toiminnanvarmistus miellettiin kuuluvan tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönottovaiheeseen, vaikka sen tulisi ulottua rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön prosessien ajalle.

JOHDANTO

Useissa yhteyksissä aiemmin on huomattu, että tarpeenmukaiset ilmamääräsääteiset (IMS) ilmanvaihtojärjestelmät eivät toimi useinkaan suunnitellulla tavalla. Tämä on johtunut moninaisista syistä liittyen rakennuksen rakentamisen ja käytön prosesseissa ilmenneisiin puutteisiin. Tämän vuoksi IMS-järjestelmien mahdollistamien laadukkaan sisäilmaston ja erinomaisen energiatehokkuuden saavuttaminen on heikentynyt. Tässä tutkimuksessa on selvitetty IMS-järjestelmien toimintaa koekohteissa. Tutkimuksen tavoite on löytää koekohteiden toiminnanvarmistuksen prosessien puutteet ja ratkaisut, joilla varmistetaan hyvin toimivat IMS-järjestelmät.

MENETELMÄT

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kirjallisuusselvitys tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmien toiminnan puutteista ja tarvittavista parannuksista. Tämä vaihe oli myös osa Nordic Ventilation Group (NVG) ryhmän työtä, joka tehtiin Aalto-yliopiston johdolla ja johon osallistui LVI-tekniikan pohjoismaisia tutkijoita. Tutkimuksen toisessa vaiheessa selvitettiin IMS-järjestelmien toimintaa koekohteissa. Tutkimus oli osa laajempaa Talotekniikka 2030 tutkimushanketta /1/. Tutkimuksen koekohteiksi valittiin seitsemän erilaista koulu- ja toimistorakennusta. Näissä tehtiin kohdekäynnit, rakennusten teknisen henkilöstön haastattelut ja taustatutkimusta rakennusautomaatiojärjestelmistä. Näiden perusteella tutkimustuloksia analysoitiin kokonaisuutena ja tehtiin tässä artikkelissa esitetyt päätelmät koekohteiden toiminnanvarmistuksen prosessien puutteista ja ratkaisuista, joilla varmistetaan hyvin

toimivat IMS-järjestelmät. Näitä koekohdetutkimuksen päätelmiä verrattiin ensimmäisen vaiheen kirjallisuusselvityksen keskeisiin tuloksiin.

Koekohteina oli seitsemän uutta rakennusta, jotka oli varustettu IMS-järjestelmällä. Kaikki rakennukset yhtä lukuun ottamatta olivat käytössä. Yhdessä rakennuksista oli juuri käyttöönotettu IMS-järjestelmä. Kaikissa muissa rakennuksissa oli noin 2-5 vuoden kokemus IMS-järjestelmän toiminnasta ja sen luomista sisäolosuhteista. Pääosin kaikki rakennukset olivat koulurakennuksia paitsi yksi juuri käyttöönotettu toimistorakennus. Tiedot rakennuksista on koottu Taulukkoon 2.

Tutkimuksessa käytettiin pohjana haastattelukysymyksiä. Nämä keskittyivät koekohteen rakentamisen ja käytön prosesseihin. Koekohteiden haastattelukysymykset on esitetty tiivistetysti Taulukossa 1.

Taulukko 1. Koekohteiden haastattelukysymykset.

Perustiedot ja hankesuunnitteluvaihe	Suunnittelu-vaihe	Rakennusvaihe	Luovutusvaihe	Takuuajan toiminnan-varmistus
Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitus	Suunnittelun vastuuhenkilöt, tekijät+tehtävät	Urakoitsijoiden tehtävät ja vastuut	Toimintakokeet	Jälkiseuranta, tarkastukset ja analysointi
Rakennuksen nykyinen tilanne	Toiminnan-varmistuksen ohjeistukset	Urakoitsijan toiminnan- ja laadunvarmistus	Rakennus-automaatiokaaviot ja toimintasel.	Takuuajan tarkastukset
Rakennuksen ilmanvaihto-järjestelmä	IMS-järjestelmän säätö	Rakennusvaiheen toiminnan-varmistus	IMS-peltien asennus, konfigurointi ja toiminta	Jatkuva toiminnan-varmistus KPI
IMS-järjestelmän kkeen tavoite	Suunnitelmien tarkastus	IMS-järjestelmä asennetut laitteet ja vastaavuus	IMS-järjestelmä toimintatestaus ja dokumentointi	Energian-kulutus ja sisäilmasto
Suunnitteluryhmä	Käyttövaiheen monitoroinnin suunnittelu	Suunnitelma-muutokset ja revisiot	Käyttöönotto ja käytönopastus	Toiminnanv. vastuuhenkilö ja vastuut
Toiminnan-varmistus-suunnitelma	Laitevalinnat ja erikoisuudet	Rakennusvaihe: suunnittelijan resurssit		Henkilöstö-muutoksien tiedonsiirto

TULOKSET

Seuraavissa kappaleissa on esitetty koekohteina toimivien IMS-järjestelmillä varustettujen rakennusten kohdekäyntien ja haastattelujen tulokset liittyen IMS-järjestelmien toiminnanvarmistukseen kohteissa.

IMS-järjestelmät olivat kaikissa koekohteissa kanavapaineista riippumattomat, jolloin IMS-peltejä käytettiin joka tilassa tulossa ja poistossa. Ilmanvaihtokoneella oli puhaltimen painesäätö. Koekohteiden IMS-järjestelmät olivat toteutukseltaan erilaisia. Pääosa järjestelmistä oli toteutettu pääurakan yhteydessä ja IMS-järjestelmä toimitus oli pilkottu. Myös muita urakkamuotoja oli käytetty. Urakkamuodolla ei kuitenkaan havaittu olevan merkitystä IMS-järjestelmän toiminnanvarmistukseen koekohteessa. Enemmän havaittiin IMS-järjestelmäosaamisen tärkeys onnistuneissa hankkeissa. Myös

kokonaisvastuun puuttuminen näkyi koekohteissa esiin tulleissa IMS-järjestelmien ongelmien ratkaisuisa hankaluutena, ongelmien ratkaisun venymisenä ja rakennuksen käytön aikana järjestelmän ylläpidon hankaluutena. Toinen esiinnoussut havainto IMS-järjestelmien toteutuksesta oli laitevalmistajilta saatu tuki järjestelmien onnistuneeseen toteutukseen ja toimintaan kohteissa. Haastattelujen perusteella IMS-järjestelmien toteutus, joissa sekä järjestelmän komponentit että automaatio tulivat samalta toimittajalta, onnistui keskimäärin paremmin.

Arvio IMS-järjestelmän toiminnanvarmistusprosessin onnistumisesta koekohteissa on esitetty Taulukossa 2. Samoin Taulukossa 3 on esitetty haastatteluissa esiin tulleet asiat IMS-järjestelmän toiminnasta. Haasteena oli koekohdekäyntien osalta haastateltavien tavoitettavuus, jolloin haastateltavat olivat esimerkiksi usein pääosin rakennuksen teknisen ylläpidon ihmisiä ja rakennuttajan edustajia. Kaikissa kohteissa ei saatu suunnittelu- ja vastaanottovaiheen henkilöitä paikalle. Tällöin aivan kattavaa kuvaa eri rakentamisen ja käytön prosessien asioista IMS-järjestelmän toteutukseen, toiminnanvarmistukseen ja toimintaan liittyen. Koekohteiden IMS-järjestelmien ja olosuhteiden mittaustietoa saatiin vain osittain joistain kohteista, jolloin järjestelmän todellista toimintaa ei pystytty arvioimaan tämän tutkimuksen puitteissa.

Taulukko 2. Arvio IMS-järjestelmän toiminnanvarmistusprosessin toiminnasta koekohteissa.

Koekohde	Arvio toiminnanvarmistusprosessin toiminnasta
1. Koulu, uudiskohde, käytössä, 9000 kerros-m ²	Suunnitteluvaiheen toiminnanvarmistuksessa haasteita (sekaannuksia IMS peltien koodeissa, joka kumuloitui aina käyttöön asti). Käyttöönotossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien toimintatarkistus sekä maksii-ilmavirtamoodin ilmavirtojen mittaust). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (huonekohtaista trendiseurantaa ei ollut). Rakennusvaiheessa merkittävä osa IMS-pelleistä jouduttu vaihtamaan. Tiedonsiirto suunnittelu-rakennusvaiheelta käyttövaiheelle puutteellinen (samoin jos käyttövaiheessa vaihtuu henkilöstöä ei prosessia koulutukseen).
2 Toimisto, uudiskohde, käyttöönotto tehty, 7000 kerros-m ²	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöönotossa toimi kuitenkin hyvin (kokenut suunnittelija, yhteydenpito suunnittelijan ja urakoitsijan välillä sekä huolelliset asennustarkastukset). Erillinen tilaajan haluama säätö ja mittausurakka käyttöönotossa (loppukiire hankala). Suurin huoli käyttövaiheen asiantuntemus. Trendiseuranta on, mutta ei tarkkaa toiminnan varmistussuunnitelmaa (LEED Platinan kriteerit).
3 Koulu, saneeraus- kohde, käytössä, 6000 kerros-m ²	Suunnitteluvaiheen toiminnanvarmistuksessa haasteita (saneerauskohteeseen liittyvä haaste). Käyttöönotossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien mitattujen ilmavirtojen tarkastus näytöltä). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (huonekohtaista trendiseurantaa ei ollut). Tiedonsiirto jos käyttövaiheessa vaihtuu henkilöstöä, ei prosessia koulutukseen.

4 Koulu, uudiskohde, käytössä, 5000 kerros-m ²	Rakennusvaiheessa toiminnanvarmistuksessa haasteita (suojaetäisyydet jätetty huomiotta paikoin). Käyttöönotossa toimintakokeet tehty puutteellisesti (vain IMS-peltien mitattujen ilmapvirtojen tarkastus näytöltä ja tarvittaessa tarkempi tarkistus). Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Ei systemaattista jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta. Tiedonsiirto suunnittelu-rakennusvaiheelta käyttövaiheelle puutteellinen ja lisäksi käyttöönottovaiheessa vastuuongelmia eri urakoitsijoiden kesken ja tiedonkulku hankalaa.
5 Koulu, uudiskohde, käytössä, 5000 kerros-m ²	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöönotossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuus tiloista, mutta sitä ei seurata).
6 Koulu, uudiskohde, käytössä, 2500 kerros-m ²	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöönotossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuutta tiloista ei ollut kiinteistön omistussuhteiden vuoksi käyttöhenkilöstöllä).
7 Päiväkot, uudiskohde, käytössä, 2500 kerros-m ²	Ei nimettyä toiminnanvarmistus vastaavaa IMS-järjestelmälle. Toiminnanvarmistus suunnittelu- ja rakennusvaiheessa sekä käyttöönotossa toimi hyvin laitetoimittajan tuen vuoksi (kokonaisjärjestelmätoimitus, vaikka virallinen vastuu urakoitsijalla). Ei jälkiseurantaa järjestelmän toiminnasta (trendiseurantamahdollisuus tiloista, mutta sitä ei seurata).

Taulukko 3. Arvio IMS-järjestelmän toiminnasta koekohteissa.

Koekohde	Arvio IMS-järjestelmän toiminnasta
1	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää, vaikka IMS-peltien koodit osin sekaisin. Käyttäjävalitukset huonelämpötilaan liittyviä johtuen puutteellisesta jäähdytyksestä/kuivauksesta. IMS-järjestelmä osittain maksi-ilmapirtakäytössä ja muutokset menossa täyteen IMS-toimintaan.
2	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää (käyttöajan kokemusta ei ollut vielä). Joitain pieniä muutoksia ja haasteita, jotka korjattu rakennusvaiheessa, osin liittyen muuntojoustavuuden toimintaan tilojen tulevilla todellisissa käytöissä. Uusi, lupaava automaatiojärjestelmä, mutta josta ei vielä kokemusta käytännön toiminnanvarmistuksessa.

3	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää (huolimatta siitä, että maksimi-ilmavirrat pienemmät kuin suunnitellut, olosuhteet ok). Vakioilmavirtasäädön takana olleissa tiloissa oli maksimi-ilmavirta, vaikka käyttö vähäistä.
4	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita. Maksimi-ilmavirralla järjestelmä toimi hyvin, mutta IMS-toiminnassa ilmeni aiemmin ongelmia, jotka ratkesivat vasta laitetoimittajan avulla (ongelmien taustalla rakennuksen tiiveys).
5	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.
6	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.
7	Haastattelujen perusteella järjestelmä toimii niin kuin pitää eikä ole havaittuja puutteita.

Tärkeimmät näkökohdat toiminnanvarmistusprosessin onnistumisesta koekohteissa arvioitiin tulleen kuitenkin esille. Tärkein huomio toiminnanvarmistuksesta oli kaikissa kohteissa nimetyn toiminnanvarmistusvastaavan puuttuminen. Samoin toiminnanvarmistus miellettiin kuuluvan IMS-järjestelmän käyttöönottovaiheeseen, vaikka sen tulisi ulottua rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön prosessien ajalle.

POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokonaiskuvan selvittämiseksi koekohteiden tutkimustuloksia verrattiin tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tehtyyn kirjallisuuskatsauksen tuloksien pohjalta laadittuihin mittareihin Taulukossa 4.

Taulukko 4. Kirjallisuuskatsauksen ja koekohdehaastattelujen analyysien vertailu.

Kirjallisuuskatsauksen tulokset tarvittavista parannuksista IMS-järjestelmiin mittareina koekohteille	Koekohdehaastattelujen ja analyysin vertailu kirjallisuuskatsaukseen
Nykyiset prosessit suunnittelussa, käyttöönotossa ja kunnossapidossa eivät takaa korkeaa suorituskykyä, näitä tulisi parantaa	Tämä vahvistui varsinkin siinä, ettei toiminnan varmistusprosessia rakennusprosessin vaiheiden läpi ollut.
Suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja kunnossapitohenkilöstön koulutuksen parantaminen	Tätä tarvitaan koekohteiden perusteella, toiminnanvarmistusvastuullinen auttaa sitä, suurin tarve hoitaa se käyttöhenkilöstön kohdalla.
Kunnolla toteutettu suunnittelu keskittyen vaatimuksiin	Tämä oli pääosin kunnossa, muuntojoustavuudessa pidettiin ne rajat, jotka hankkeissa oli sovittu.

Päivitetty ja kiinteistökohtaiset dokumentit	Tässä on parantamista, erityisesti suunnitelmien yhteensovitus. Tätä osuutta ei kuitenkaan käyty koekohteissa tarkkaan läpi.
Perusteelliset käyttöönottestit ennen rakennuksen käyttöönottoa	Testit oli tehty kaikissa koekohteissa, mutta useissa niitä ei ollut tehty riittävän yksityiskohtaisesti.
Parannetut käyttöönotto- ja kunnossapitoprosessit/sopimukset	Tämä oli kaikissa koekohteissa puutteellista, ja tätä tulisi kehittää.
Hyvin suunnitellun rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen jatkuvassa seurannassa ja varmatoiminen ohjausjärjestelmä	Tämä oli melkein kaikissa puutteellista, jos monitorointi oli mahdollista tiloista, niin sen hyödyntämisestä toiminnanvarmistukseen ei ollut prosessia
Kunnossapitohenkilöstön arvostuksen ja motivaation parantaminen IMS-järjestelmistä	Tähän vaikutti käyttöhenkilöstön osaaminen (IMS-järjestelmä osaaminen oli puutteellista sekä samoin toiminnanvarmistus ei ollut systemaattista)
Säännölliset tarkastukset ja uusintakäyttöönotot	Takuuajana kohteissa tehtiin tarkastuksia, mutta käyttöajana missään koekohteessa ei ollut prosessia toiminnanvarmistustarkastuksiin.

Tutkimuksen yhteenvetona toiminnanvarmistuksen kehitykseen IMS järjestelmissä tarvitaan seuraavia keskeisiä toimenpiteitä:

- Osaava toiminnanvarmistusvastaava koko hankkeen ajaksi
- Säännöllinen toiminnanvarmistus koko rakennuksen käyttöajalle
- Käyttöhenkilöstön osaamisen nosto ja toiminnanvarmistusroolin selkeytys
- Rakennusprosessin alusta rakennuksen käyttöön asti ulottuvan toiminnanvarmistuksen hyödyt tulisi saattaa paremmin alan tietoon
- Tilaaajan ymmärrys toiminnanvarmistuksen kannattavuudesta
- Toiminnanvarmistuksen kustannus on pieni verrattuna tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaren aikana tuotettuihin säästöihin ja toimivaan sisäilmastoon rakennuksessa.
- Tiedonkulku ja yhteistyö tilaajien, valvojien, laitevalmistajien, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja käyttöhenkilöstön välillä on erittäin tärkeää

LÄHDELUETTELO

1. Kilpeläinen S., Simola J., Mustakallio P. ja Kosonen R. 2023 TALOTEKNIikka 2030- Toiminnan varmistaminen.

KOULUJEN JA PÄIVÄKOTIEN KONEELLISEN ILMANVAIHDON YÖAIKAISEN PYSÄYTTÄMISEN VAIKUTUS SISÄILMAN LAATUUN

Tuomas Raunima, Joonas Ketko, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha

Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

TIIVISTELMÄ

Future Spaces -tutkimushankkeessa tarkasteltiin yöilmanvaihdon kokonaan pysäyttämisen vaikutusta mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun 11 suomalaisessa päiväkotitai- tai koulurakennuksessa Pirkanmaalla. Tutkimuksessa verrattiin alkutalven normaalitilanteen vertailujaksoa loppupalven muutetun tilanteen vertailujaksoon. Eri suureiden päivittäisiä tuntikohtaisia keskiarvoja vertailtiin vertailujaksojen välille. TVOC- ja radonpitoisuudet nousivat odotetusti yöllä, kun ilmanvaihto pysäytettiin, mutta tällä ei ollut merkittävää vaikutusta pitoisuuksiin käyttötuntien aikana, kun ilmanvaihto käynnistettiin uudelleen 2–3 tuntia ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista. Vaikutukset käytönaikaiseen sisäilman laatuun eivät siten ole esteenä ilmanvaihdon poissaolonaikaiselle pysäyttämiseksi esimerkiksi energiansäästösyistä.

JOHDANTO

Koneellinen ilmanvaihto, tuuli sekä sisä- ja ulkoilman lämpötilaero aiheuttavat paine-eroja rakennuksen ulkovaipan yli. Tämän huomaa usein varsinkin korkeissa rakennuksissa ulko-ovesta kävellessä tai tuuletusikkunaa avattaessa. Koneellinen ilmanvaihto on perinteisesti säädetty hieman alipaineiseksi /1/. Sisäilman ylipaine voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä vaipparakenteisiin ilmanvuotokohdissa ja siten aiheuttaa mikrobi- ja kosteusvaurioita. Liiallinen alipaine rakennuksissa ei kuitenkaan ole toivottavaa, koska se aiheuttaa ulkoilman tunkeutumista rakennuksen ulkovaipan vuotokohtien kautta sisäilmaan. Tällöin epäpuhtaudet voivat kulkeutua sisäilmaan rakennuksen vaipparakenteiden mahdollisista mikrobivauriokohdista tai ryömintätilasta. Siksi ilmanvaihto tulee säätää siten, että sisä- ja ulkoilman välinen ilmanpaine-ero on mahdollisimman pieni. Nykyisten kansallisten ohjeiden mukaan ilmanvaihto tulee suunnitella ja säätää siten, ettei ali- tai ylipaine aiheuta ongelmia.

COMBI-hankkeessa 2016–2018 suoritettujen kenttätutkimusten yhteydessä todettiin, että päiväkotien ja koulujen yöaikainen ilmanvaihto aiheuttaa alipainetta ulkovaipan yli tutkituissa rakennuksissa. /2/ Future Spaces -hankkeen 2021–2022 aikana suoritetuissa kenttätutkimuksissa selvitettiin yöaikaisen alipaineisuuden eliminoimisen vaikutusta sisäilman laatuun pysäyttämällä yöaikainen ilmanvaihto kokonaan, mukaan lukien niin sanottujen likaisten tilojen erillispoistot. Ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusta rakennusten sisäilman laatuun arvioitiin kahden vertailukelpoisen mittausjakson perusteella. Tutkituissa rakennuksissa mitattiin sisäilman fysikaalisia olosuhteita ja epäpuhtauspitoisuuksia. Ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusta käytönaikaiseen sisäilman laatuun arvioitiin näiden vertailujaksokohtaisten mittaustulosten muutosten perusteella.

MENETELMÄT

Kenttämittaukset

Kenttätutkimuksessa oli koekohteina 12 koulu- tai päiväkotirakennusta Pirkanmaan alueelta sekä yksi toimistorakennus Tampereella ja toinen Helsingissä. Kahdessa rakennuksessa ilmanvaihtoa ei pysäytetty ilmalämmityksen vuoksi, eivätkä nämä rakennukset ole mukana tämän artikkelin tarkasteluissa. Yöilmanvaihdon pysäytystä tarkasteltiin siten yhteensä 11 koulu- ja päiväkotikohteessa. Kaikissa rakennuksissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Kohteiden joukossa oli sekä uusia että vanhoja peruskorjattuja rakennuksia. Rakennusten ulkovaipan ilmatiiviysluku q_{50} vaihteli välillä $0,5 \dots 3,1 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

Kenttämittauskohteissa mitattiin jatkuvatoimisesti paine-eroa ulkovaipan yli ($\Delta P = P_i - P_e$) sekä sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, TVOC-pitoisuutta, radonpitoisuutta ja pienhiukkaspitoisuuksia PM1, PM2.5 & PM10. Taulukossa 1 on esitetty niiden mittalaitteiden tietoja, joilla saatuja mittaustuloksia käsitellään tässä artikkelissa.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet.

Mittaussuure	Mittalaite	Mittausyksikkö
Paine-ero	Komponenteista koottu oma laite	Pa
Lämpötila	Rotronic CL11	°C
TVOC	AirWits IAQ R1.1	ppb
Radon	RadonEye Plus2	Bq/m3

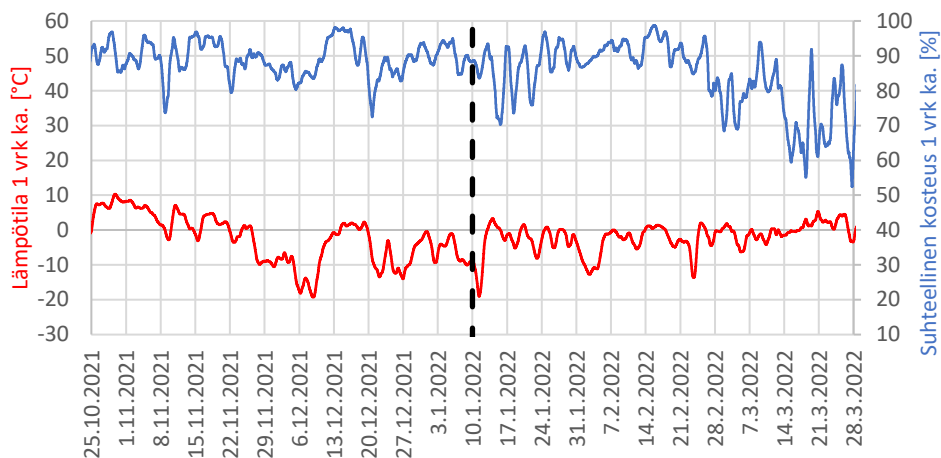
Ulkoilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja pienhiukkaspitoisuuden data saatiin lähimmältä Ilmatieteen laitoksen havaintoasemalta /3/ ja havaintoarvoja käytettiin sisäilman kosteuslisän laskemiseen sekä pienhiukkaspitoisuuksien tarkastelussa. Aikaresoluutiona käytettiin sisäilmamittauksissa 5 min ja ulkoilmamittauksissa 10 min. Mittausdata kerättiin kuukausittain mittalaitteista kohdekäyntien yhteydessä.

Yöilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutuksen arviointi

Yöilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusta sisäilman olosuhteisiin ja laatuun arvioitiin kahden peräkkäisen vertailukelpoisen mittausjakson perusteella. Vertailujaksot ajoittuivat talvikaudelle ja niiden pituus sekä ulkoilman keskiarvoiset olosuhteet pyrittiin valitsemaan mahdollisimman vertailukelpoisiksi. Rakennusten sisäilman olosuhteet normaalitilanteessa määriteltiin 25.10.2021–9.1.2022 tehtyjen mittausten perusteella. Yöilmanvaihto pysäytettiin muutetussa tilanteessa 10.1.2022–28.3.2022. Vertailujaksojen pituus oli 11 viikkoa ja ulkoilman keskilämpötila oli lähes sama. Vertailujaksojen aikaiset ulkoilman olosuhteet on esitetty kuvassa 1.

Merkittävän mittausdatamäärän vuoksi raakadataa käsiteltiin ja koottiin Python-koodilla suuren mittausaineiston hallitsemiseksi. Käsiteltyä dataa analysoitiin edelleen Excel-tilukkoilla ja Python-koodilla. Ensimmäinen työkalu yöilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusten arvioinnissa oli jana-laattakokokuvaaja, jossa vertailtiin rakennusten käyttöpäivien yksittäisten tuntien keskiarvoja vertailujaksojen välillä. Tarkastelemalla kohteiden käyttöpäivien vuorokauden tuntikohtaisia keskiarvoja voitiin havaita osassa mittausuureista yöaikaista mittausarvojen nousua ilmanvaihdon ollessa pysähtyneenä ja laskua mittausarvojen palautuessa normaalille tasolle ilmanvaihdon käynnistyttyä

uudelleen. Tuntikohtaiset jana-laatikkokuvaajat mahdollistivat myös erilaisten käyttötilanteiden ja rakennuksen käytön huomioimisen koko päivän ja viikon ajan.

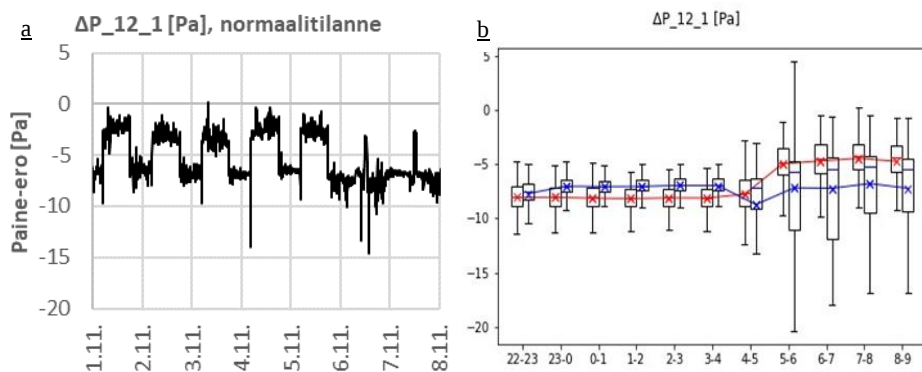


Kuva 1. Vertailujaksojen aikaiset ulkoilman olosuhteet Tampereella.

TULOKSET

Paine-ero ulkovaipan yli

Toisin kuin COMBI-hankkeessa, Future Spaces -hankkeen kenttämittausten perusteella rakennuksissa ei havaittu merkittävää yöaikaista alipaineisuutta. Ilmeisesti tutkimusten välillä rakennusten ilmanvaihtoa on onnistuttu säätämään tasapainoisemmaksi. Näin ollen ilmanvaihdon pysäyttämisen johtuva paine-erojen muutos oli oletettua pienempi. Kuvassa 2a on esitetty paine-erodata yhden viikon ajalta tutkitussa tilassa 12_1.



Kuva 2. Paine-eron mittaustulokset tutkitussa tilassa 12_1. a) Yksittäisen viikon mitattu paine-erodata normaalitilanteen vertailujaksolla. b) Rakennuksen käyttöpäivien yöaikaisten tuntikohtaisten keskiarvot. Muutetun tilanteen keskiarvoja yhdistävä viiva (sininen viiva) pysyy normaalitilanteen viivan (punainen viiva) yläpuolella ilmanvaihdon käynnistymiseen asti.

Kyseinen rakennus valittiin Future Spaces -hankkeeseen COMBI-hankkeessa havaittujen paine-erojen vuoksi. Rakennuksen vaippa on erittäin ilmatiivis ($q_{50}=0,50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$), mikä tekee ilmanvaihdon säätämisestä haastavaa. Kuitenkin kuvan 2a

perusteella paine-erot ovat nykyisin kohtuullisella tasolla. Yksittäisten piikkien oletetaan aiheutuneen rakennuksen käytöstä. Kuvaaja muodostaa porrastetun kaksitasoisen kuvion arkiöiden ja arkipäivien arvoille. Arkiöisin arvot pysyvät pääosin välillä -5...-10 Pa. Arkipäivisin paine-eroarvot ovat pääosin 0...-5 Pa välillä.

Yöaikaisten tuntikeskiarvojen erot samassa tilassa normaalitilanteen ja muutetun tilanteen välillä on esitetty kuvassa 2b. Kokonaisuudessaan ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutus paine-eroihin oli hyvin pieni. Muutamassa kohteessa havaittiin kuitenkin selkeämpi ero vertailujaksojen välillä. Tyypillisesti muutetussa tilanteessa vallitsi lievä alipaine ulkovaipan yli.

Kuva 2b havainnollistaa tyypillisiä jana-laattikokuvaajista todettuja ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutuksia paine-eroihin. Normaalitilanteessa sisä- ja ulkoilmanpaineet ovat useimmiten jo hyvin tasapainossa, kun paine-eroarvot asettuvat lievälle alipainetasolle yön yli. Useimmissa tapauksissa ilmanvaihdon pysäyttämällä kello 22 ei ole juurikaan vaikutusta yön tuntien keskiarvoihin muutetussa tilanteessa. Tuntikohtaisten arvojen vaihteluväli on pienempi ilmanvaihdon ollessa pysäytettynä. Muutamissa rakennuksissa ero oli suurempi ja muutos saattoi olla alipaineisempaan suuntaan. Syitä tähän ei analysoitu perusteellisesti tässä tutkimuksessa, mutta on mahdollista, että tällaisessa rakennuksessa on jäänyt jokin poistokone päälle.

Mitattu sisäilman laatu

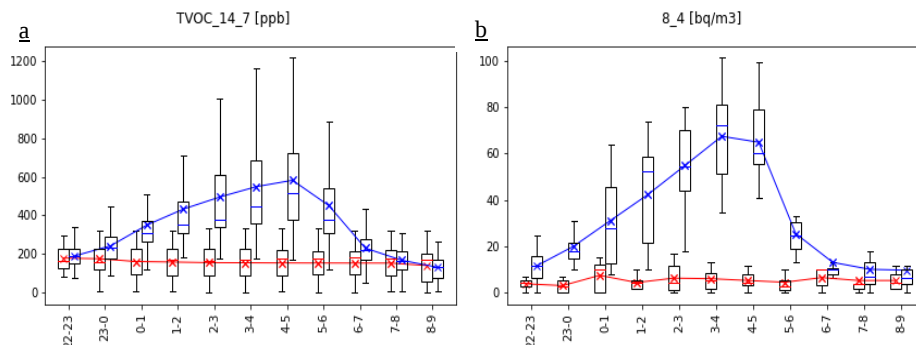
Tässä artikkelissa esitellään tuloksia TVOC- ja radonpitoisuuksista, koska yöaikaiset pitoisuudet kohosivat näiden suureiden osalta merkittävästi ja ne toimivat siten hyvin ilmanvaihdon toiminnan indikaattoreina. Muiden mitattujen suureiden osalta yöilmanvaihdon pysäyttämällä ei havaittu merkittävää vaikutusta mittausarvoihin. Yleisesti voidaan todeta ilmanvaihdon pysäyttämisen kohottavan mittausarvoja niiden suureiden osalta, joiden lähteet ovat läsnä myös rakennuksen poissaoloaikoina. Yöaikaisen ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusta sisäilman kaasu- ja hiukkaspitoisuuksiin tutkittiin osana diplomityötä /4/.

Tutkimuksessa mukana olleet tilat ryhmiteltiin ilmanvaihdon normaalitilanteen käyttötapausten perusteella. Suurimmat eroavaisuudet TVOC- ja radonpitoisuuksissa normaalien ja muutetun ilmanvaihdon vertailujaksojen välillä havaittiin niissä tiloissa, joissa oli normaalitilanteessa öisin tulo- ja poistoilmanvaihto käynnissä osateholla (KT1b), jolloin pitoisuudet pysyivät tasaisina ja matalina läpi yön. Muut öiset käyttötapaukset olivat tulo- ja poistoilmanvaihto käynnissä vain likaisissa tiloissa (KT1a) sekä kohteissa käytössä poistoilmanvaihto (KT2).

Sisäilman VOC-lähteitä ovat rakennusmateriaalit, sisustusmateriaalit, tekstiilit, puhdistusaineet, kosmetiikka ja ihmiset /5/. Siksi sisätiloissa on VOC-lähteitä, vaikka rakennuksen käyttäjät eivät olisi paikalla. Ilmanvaihdon yöaikaan pysäyttämällä todettiin olevan merkittävin vaikutus sisäilman laatuun niissä tiloissa, joissa tulo- ja poistoilmanvaihto toimivat osateholla yön aikana normaalitilanteessa (KT1b). TVOC-pitoisuuksien ero vertailujaksojen aikana on havainnollistettu kuvassa 3a.

Yöaikaiset TVOC-pitoisuudet nousivat odotetusti, kun ilmanvaihto pysäytettiin. Mittauksista kuitenkin havaittiin, että kun ilmanvaihto käynnistettiin uudelleen klo 4–5 välillä, TVOC-pitoisuus laski ja palautui normaalille tasolle käyttöajan alkuun klo 8 mennessä, jolloin sisäilma on huuhtoutunut rakennusten käyttäjien saapuessa paikalle. Käyttäjien toiminnalla on merkittävä vaikutus käytönaikaisiin pitoisuuksiin, jonka vuoksi käyttötuntien aikaiset pitoisuuserot voivat vaihdella vertailujaksojen välillä. Jos

tilan käyttö oli vakiintunutta, pitoisuudet käyttäytyivät normaalissa ja muutetussa tilanteessa samalla tavalla käyttötuntien aikana.



Kuva 3. Rakennuksen käyttöpäivien TVOC- ja radonpitoisuuksien yöaikaiset tuntikohtaiset keskiarvot ilmanvaihdon käyttötapausten KT1b tiloissa. a) TVOC-pitoisuudet tilassa 14_7. b) Radonpitoisuudet tilassa 8_4. Molemmissa kuvaajissa muutetun tilanteen keskiarvoja yhdistävä viiva (sininen viiva) on normaalitilanteen viivan (punainen viiva) yläpuolella.

Sisäilman radonlähteenä on maaperä ja rakennuksen alustäyttö /5/. Rakennuskohtaiset radonpitoisuudet voivat normaalitilanteessakin vaihdella merkittävästi käyttötuntien ja yön välillä. Huippupitoisuuksiin vaikuttavat merkittävästi ilmanvaihdon suunnittelu, perustuksen tyyppi, ulkovaipan ilmatiiveys, paine-erot ja rakennuksen alueellinen sijainti. Myös yöilmanvaihdon pysäyttämällä todettiin olevan suurin vaikutus radonpitoisuuksiin tutkituissa tiloissa, joissa yöaikainen tulo- ja poistoilmanvaihto toimii normaalitilanteessa osateholla (KT1b). Sisätilojen radonpitoisuuksien eroa vertailujaksojen välillä on havainnollistettu kuvassa 3b.

Yöaikaiset radonpitoisuudet nousivat odotetusti TVOC-pitoisuuksien tapaan, kun ilmanvaihto pysäytettiin. Mittauksista kuitenkin havaittiin jälleen, että kun ilmanvaihto aloitettiin kello 4–5 välillä, myös radonpitoisuudet laskivat ja palasivat normaalille tasolle käyttöajan alkuun klo 8 mennessä. Pitoisuudet käyttäytyivät samalla tavalla kuin VOC-pitoisuudet arkipäivisin, vaikka päästöjen lähteenä oli ensisijaisesti rakennuksen sisällä oleva maaperä rakennusmateriaalien ja huonekalujen sijaan. Radonmittauspurkeilla mitatut radonpitoisuudet olivat yleisesti ottaen alhaisia ja jäivät selvästi alle toimintatason 300 Bq/m³ ja Sisäympäristöluokitus 2018 S1-tavoitearvon 100 Bq/m³.

JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Ilmanvaihtokoneiden yöaikainen pysäyttäminen vaikutti merkittävästi paine-eroihin ulkovaipan yli lähinnä silloin, kun koneellisen ilmanvaihdon toiminnassa normaalitilanteessa oli lähtökohtaisesti korjattavaa. Johtopäätöksenä katsotaan ensisijaisen tärkeäksi seurata ja säätää koneellisen ilmanvaihdon käyttäytymistä. Kun tämä on huomioitu, ilmanvaihdon poissaolonaikaisella pysäyttämällä ei ole suurta vaikutusta paine-eroihin rakennuksen ulkovaipan yli. Korkeat rakennukset ja yleisesti muut rakennustyytit vaativat oman analyysinsä.

Tutkimuksen keskeisimpänä tarkoituksena oli selvittää, kuinka koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon yöaikainen pysäyttäminen vaikuttaa päiväkotien ja koulujen

sisäilman olosuhteisiin ja laatuun. Tutkimustulosten perusteella yöaikaisen ilmanvaihdon pysäyttämällä ei ole vaikutusta käytönaikaiseen sisäilman laatuun, kun ilmanvaihto pysäytetään noin kaksi tuntia käyttäjien poistuttua rakennuksesta ja käynnistetään uudelleen 2–4 tuntia ennen käytön alkamista seuraavana päivänä, jotta ilmanvaihto ehtii huuhtoa sisäilma ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista hyvän sisäilman laadun varmistamiseksi. Jokaista rakennusta tulee kuitenkin käsitellä yksilönä ja sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien palautuminen normaalitasolle ennen käyttöajan alkamista tulee varmistaa mittauksin.

Menetelmää toteutettaessa tulee huomioida myös rakennuskohtaiset ilmanvaihtojärjestelmien toimintaan liittyvät haasteet. Kaikki ilmanvaihto tulee kytkeä toimimaan automaatiojärjestelmän kautta, mikä voi olla haastavaa erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, joissa on alkeellisempi ilmanvaihtojärjestelmä. Yksittäinen jäljelle jäänyt poistokone voi aiheuttaa merkittävää alipaineisuutta rakennuksessa muiden ilmanvaihtokoneiden pysähtyessä. Oikein toteutettuna julkisten rakennusten poissaolonaikaisella ilmanvaihdon pysäyttämällä voidaan säästää ilmanvaihdon lämmitykseen kuluvaa energiaa.

LÄHDELUETTELO

1. RakMK D2. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Ympäristöministeriö, 2010. Saatavilla (viitattu 19.12.2023): <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>
2. Kauppinen A. 2018. Uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-erot ulkovaipan yli. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201811292781>
3. Ilmatieteen laitoksen Avoin data. Ilmatieteen laitos. 2023. Saatavilla (viitattu 19.12.2023): <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>
4. Ketko, J. 2023. Yöaikaisen ilmanvaihdon sammuttamisen vaikutukset koulujen ja päiväkotien kaasu- ja hiukkaspitoisuuksiin. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tampere. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202305135729>
5. Pitkäranta M. (toim.). 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavilla (viitattu 19.12.2023): <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>

ILMANVAIHDON ÄÄNEN HÄIRITSEVYYS RIIPPUU PAITSI SEN VOIMAKKUUDESTA MYÖS SPEKTRIMUODOSTA

Antti Kuusinen ja Valtteri Hongisto

Turun ammattikorkeakoulu, Rakennetun ympäristön tutkimusryhmä

TIIVISTELMÄ

Ilmanvaihdon ääni on tasaista kohinaa, jonka pääominaisuudet ovat A-painotettu keskiäänitaso L_{Aeq} ja spektrimuoto. Keskiäänitasoltaan samanarvoiset äänet voivat olla hyvin erilaisia häiritsevyydeltään, jos niiden spektrimuodot eroavat. Tonaalisen ja impulssimaisen melun tuoma lisähäiritsevyys huomioidaan jo Suomen lainsäädännössä lisäämällä korjaustermi eli sanktio mitattuun L_{Aeq} arvoon. Tavoitteenamme oli selvittää, edellyttääkö spektrimuoto häiritsevyysanktiointia. Toteutimme laboratoriotutkimuksen, johon osallistui 40 tutkittavaa. Jokainen arvioi 75 äänen häiritsevyyden. Kohinat, joissa oli suhteessa enemmän energiaa korkeilla taajuuksilla, arvioitiin häiritsevimmiksi, ja ne saivat myös suuria, jopa 10 desibelin sanktioarvoja. Ilmanvaihtoäänien häiritsevyyden arvioinnissa keskiäänitasoa tulisi korjata spektrimuotoon perustuvalla sanktiolla.

JOHDANTO

Ilmanvaihdon ääni on tasaista kohinaa, jonka pääominaisuudet ovat A-painotettu keskiäänitaso L_{Aeq} ja spektrimuoto. Lisäksi siinä voi olla tonaalisia äänekiä. Äänen spektrimuodon tiedetään olevan tärkeä tekijä subjektiivisen häiritsevyyden kannalta, mutta tutkimustulokset ovat jokseenkin epä johdonmukaisia siitä, miten spektrimuoto vaikuttaa häiritsevyyteen.

Taloteknisiä laitteita ja ympäristömelua koskevat ohjearvot perustuvat A-painotettuun keskiäänitasoon (L_{Aeq}). Vaikka L_{Aeq} on merkittävin suure häiritsevyyden arvioinnin kannalta, useat muutkin äänen mitattavat ominaisuudet vaikuttavat myös häiritsevyyteen. Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että muun muassa spektrimuoto /1/, tonaalisuus /2/, impulsiivisuus /3/ ja amplitudimodulaatio /4/ vaikuttavat melun häiritsevyyteen. Suomalaisissa ohjearvoissa annetaan 3–10 desibelin sanktio, jos ääni on tonaalista tai impulssimaista. Sanktiointi tarkoittaa, että mitattuun L_{Aeq} lukuarvoon tehdään lisäys ”k” (ts. sanktio, korotus, lisäys, korjaus), jonka jälkeen ohjearvoihin verratessa käytetään $L_{Aeq} + k$ -arvoa. Äänen spektrimuotoa koskevaa sanktiointia ei kuitenkaan ole tutkittu aiemmin, edes kansainvälisesti.

Aiempi suomalainen tutkimus /1,5/ tarkasteli 11:a taajuussisällöltään erilaisen kohinan häiritsevyyttä. Siinä havaittiin häiritsevyyden riippuvan merkittävästi taajuussisällöstä, vaikka keskiäänitaso oli sama (42 dB L_{Aeq}). Tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkasteltu sanktiota. Lisäksi on perusteltua selvittää keskiäänitason vaikutusta sanktioihin.

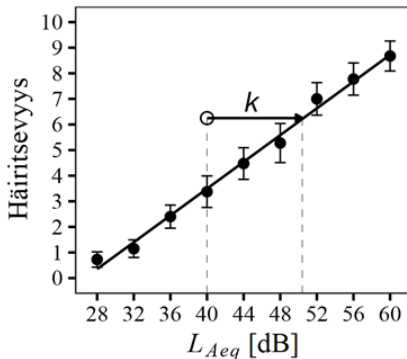
Tavoitteenamme oli selvittää, edellyttääkö ilmanvaihdon äänen erityinen spektrimuoto häiritsevyysanktiointia, kun äänet ovat ns. tyypillisellä alueella (32–48 dB L_{Aeq}).

Tutkimus on julkaistu kansainvälisessä vertaisarvioidussa tiedelehdessä /6/.

MENETELMÄT

Haimme laboratoriokokeeseen normaalikuuloisia 18–45-vuotiaita ja perusterveitä henkilöitä. Neljäkymmentä 19–35-vuotiaasta tutkittavaa osallistui kokeeseen. Tutkittavat saivat pienen rahallisen palkkion osallistumisesta kokeeseen. Turun ammattikorkeakoulun eettinen toimikunta puolsi tutkimusta (lausunto 2/2023).

Sanktion määrittämistä varten tutkittavalle melulle tarvitaan vertailukohta ns. neutraalista referenssiäänestä. Neutraalin referenssiäänien spektrimuoto valittiin siten, että se on hyvin vähän häiritsevää verrattuna muihin tutkittaviin ääniin. Sanktio määritetään desibelilukuna, jonka suuruinen lisäys tarvitaan, jotta lähtökohtaisesti saman keskiäänitason (L_{Aeq}) omaavasta referenssiäänestä tulisi yhtä häiritsevää kuin tutkittavasta äänestä. Käytännössä sanktiot lasketaan projisoimalla tutkittavan melun häiritsevyysarvio referenssiäänien arvioista muodostetulle suoralle. Kuva 1 havainnollistaa sanktion määrittämistä.



Kuva 1. Referenssiäänien häiritsevyysarvioiden keskiarvot ja keskiarvojen 95 % luottamusvälit. Kuvaan on piirretty esimerkki sanktion k määrittämisestä äänelle, jonka häiritsevyysarvio oli 6.1 keskiäänitasolla 40 dB L_{Aeq} . Tälle äänelle (HP1000) sanktioksi muodostui $k=9.8$ dB.

Koeäänit sisälsivät sekä referenssiääniä että kokeellisia ääniä. Kaikki äänet oli suodatettu välille 100–10000 Hz.

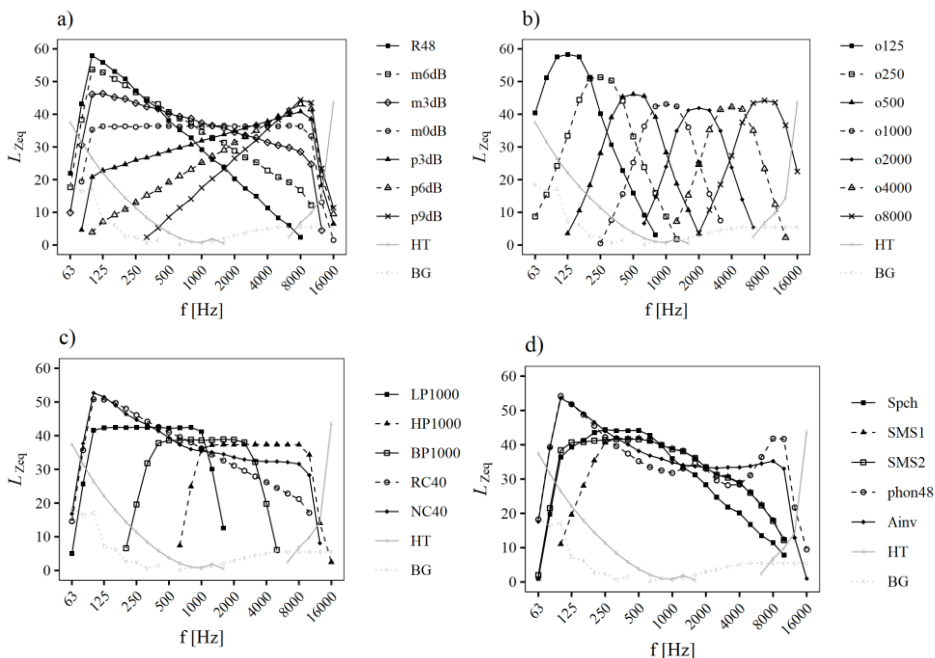
Referenssiäänien: Referenssiäänien spektrimuoto valittiin aikaisemman tutkimuksen /1,5/ perusteella, jossa vähiten ärsyttävällä spektrimuodolla oli kaltevuus -7 ... -9 dB per oktaavi. Referenssiäänien spektrimuodoksi valittiin -9 dB per oktaavi. Referenssiäänit esitettiin äänitasoilla 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56 ja 60 dB L_{Aeq} (kuva 1). Referenssiäänit nimettiin vastaavasti R28, R32, ..., R60. Referenssiäänien äänitasoalue ulottui selvästi yli kokeellisten äänien äänitasojen, jotta kokeen vähiten ja eniten häiritsevät äänet olivat referenssiääniä. Kuvassa 2 on esitetty referenssiääni R48.

Kokeelliset äänet: Kokeelliset äänet sisälsivät 23 erilaista spektrimuotoa, jotka on esitetty kuvassa 2. Kokeelliset äänet esitettiin 32, 40 ja 48 dB L_{Aeq} äänitasoilla, jolloin kokonaismäärä oli 69. Kuvassa 2 on esitetty spektrimuodot äänitasolla 48 dB L_{Aeq} . Kokeelliset äänet sisälsivät eri spektrikaltevuuksilla tehtyjä ääniä (Kuva 2a), joista osa tunnetaan myös ns. värinimillä (esim. valkoinen, vaaleanpunainen, ruskea, jne.). Lisäksi oli myös oktaavikaistasuodatettuja ääniä (Kuva 2b) sekä alipäästö- ja ylipäästö- ja kaistanpäästösuodatettuja ääniä (LP1000, HP1000, BP1000, Kuva 2c). RC40- ja NC40-

äänet noudattavat spektrimuotoja, jotka ovat käytössä joidenkin maiden käytänteissä ilmanvaihdon äänten arvioinnissa. Mukana oli myös kolme puheenmuotoista ääntä SIIs, SMS1 ja SMS2 (Kuva 2c). SIIs perustui ANSI S3.5–1997 standardissa esitettyyn puheen spektriin. SMS1 ja SMS2 perustuivat kaupallisesti saatavana olevaan puheenpeittoääneen. SMS2:ssa lisättiin alimpia taajuuksia verrattuna SMS1:een. Mukana oli myös vakioäänekkyyskäyrästä -muotoisia ääniä (phon32/40/48) sekä käänteinen A-painotettu spektrimuotoinen ääni ("harmaa").

Koe suoritettiin Turku AMK:n psykofysiikkalaboratoriossa, jonka taustamelutaso oli alle 20 dB L_{Aeq} . Äänet toistettiin kahdesta kaiuttimesta, jotka oli piilotettu alakaton yläpuolelle.

Eri spektrimuodot luotiin suodattamalla valkoista kohinaa kolmasosaaktaavikaistaisella taajuuskorjaimella. Spektriä säädettiin, kunnes tutkittavan paikalla mitatun ja tavoitteellisen spektrimuodon välillä oli alle kolmen desibelin tason ero jokaisessa taajuuskaistassa. Äänet luotiin MATLABissa. Kaikkien äänien A-painotetut äänenpainetasot asetettiin haluttuihin tavoitetasoihin äänitasomittarin avulla. Mitatut arvot olivat ± 1 dB sisällä halutuista tasoista. Luodut äänet olivat 20 sekunnin pituisia.



Kuva 2. Kokeessa arvioitujen äänien painottamaton äänenpainetaso L_{Zeq} taajuuden f funktiona. a) Referenssiäni "R48" ja kokeellisten äänien erilaiset kaltevuudet; b) Oktaavikaistasuodatetut äänet; c) Laajakaistaisesti suodatetut äänet sekä RC40 ja NC40; d) Puheen spektrin muotoiset äänet (SIIs, SMS1, SMS2) sekä phon48 ja Ainv. Kuulokynnystasot (HT) sekä taustamelun (BG) tasot on myös esitetty. Kaikkien äänten L_{Aeq} on 48 dB.

Kokeen alussa tutkittavien normaalikuulo tarkistettiin siniäänesaudiometrialla. Tätä seurasi totuttelu ja harjoittelu, jonka aikana tutkittaville esitettiin kymmenen erilaista näytettä, jotka sisälsivät hyvin erilaisia spektrejä sekä äänitasojen ääripäitä. Tutkittavat

myös harjoittelivat käyttöliittymän käyttöä. Harjoittelun jälkeen he arvioivat kaikkien 78 äänen häiritsevyyden ääni kerrallaan. Äänien (kokeelliset ja referenssiäänät) esittämisyjärjestys oli täysin satunnainen osallistujien välillä.

Äänten häiritsevyyttä mitattiin kysymyksellä ”Kuinka paljon ääni häiritsee, ärsyttää tai kiusaa sinua?”. Häiritsevyydsarviota tiedusteltiin 11-portaisella asteikolla, jonka ääripäät oli verbaalisesti ilmaistu (0 Ei lainkaan, 10 Erittäin paljon).

TULOKSET

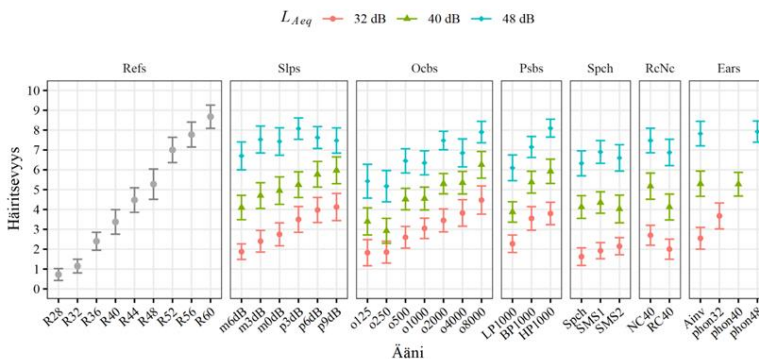
Kuvassa 3 esitetään häiritsevyys kaikille tutkituille äänille. Koettu häiritsevyys kasvoi L_{Aeq} -tason kasvaessa. Häiritsevyys riippui selvästi myös spektrimuodosta, koska saman keskiäänitason omaavilla äänillä oli hyvin erilaiset häiritsevyydsarvot. Tulokset tukevat aiempia havaintoja /1/, joiden mukaan äänet, joissa on suhteellisesti enemmän korkeita kuin matalia taajuuksia (HP1000, o8000, p9dB, p6dB, o2000), koettiin häiritsevimpinä. Vähiten häiritseviä ääniä olivat oktaavikaistasuodatetut o250 ja o125, alipäästösuodatettu LP1000 sekä puheen spektrimuodon omaavat äänet SMS1 ja SMS2.

Sanktio määritettiin kaikille äänille kuvan 1 mukaisella menettelyllä. Sanktio ei merkittävästi riippunut siitä, mikä keskiäänitaso oli (32, 40, tai 48 dB L_{Aeq}). Sen vuoksi esitämme eri keskiäänitasoilla saaduista sanktioista vain keskiarvon kullekin äänelle.

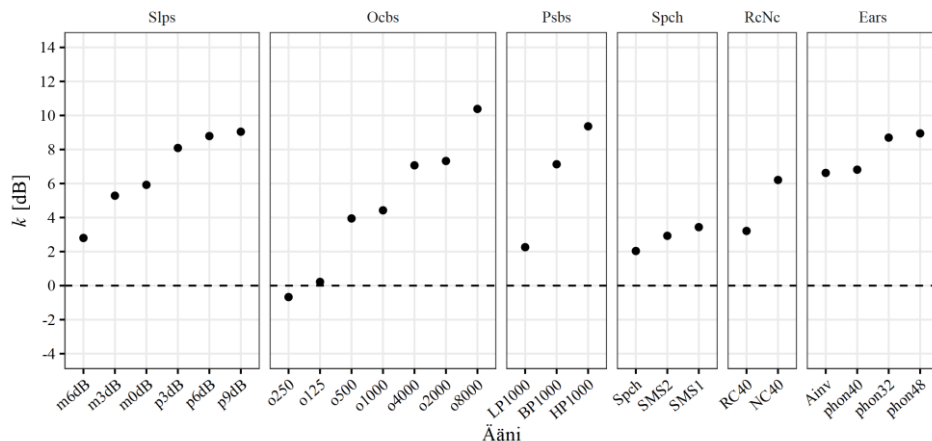
Päätulos eli sanktio 23 kokeelliselle äänelle on esitetty kuvassa 4. Äänet, jotka sisältävät suhteellisesti enemmän korkeita kuin matalia taajuuksia, saivat suurempia sanktioita kuin äänet, jotka olivat tasapainoisempia tai sisälsivät suhteellisesti enemmän matalia kuin korkeita taajuuksia. Sanktiot ovat enimmillään jopa 10 dB (o8000). Tällaista erittäin sihisevää ääntä edustaa esimerkiksi paineellisen ilmakehän vuotoääni.

YHTEENVETO

Laboratoriotutkimuksemme osoitti, että tasaisen kohinan aiheuttama melun häiritsevyys riippui sekä äänitasosta L_{Aeq} että spektrimuodosta. Spektrimuoto aiheutti enimmillään jopa 10 dB:n häiritsevyyssanktion. Tulokset viittaavat siihen, että laajakaistaisille ja tasaisille äänille, kuten ilmanvaihdon äänelle tulisi asettaa spektrimuodosta riippuva sanktio (spektrikorjaus). Sanktiointi on jo käytössä kapeakaistaiselle- ja impulssimaiselle äänelle. Jatkotutkimuksessa tulemme esittämään menetelmän, miten sanktio voidaan laskea mille tahansa ilmanvaihdon äänelle, kun kolmasosaoktaavikaistainen spektrimuoto ja äänitaso L_{Aeq} on mitattu.



Kuva 3. Häiritsevyyden keskiarvot ja 95 % luottamusvälit tutkituille äänille per L_{Aeq} äänitaso.



Kuva 4. Sanktioiden keskiarvot jokaiselle äänelle. 95 % luottamusvälit ovat noin ± 2.5 dB.

KIITOKSET

Tämä tutkimus on osa Turun ammattikorkeakoulun toteuttamaa julkista tutkimusprojektia “NeCom (2022–2024)”, jonka päärahoittaja on Business Finland Oy (päättö 3958/31/2022). Muut rahoittajat ovat Antti-Teollisuus Oy, Halton Marine Oy, Lautex Oy, Meyer Turku Oy, Piikkio Works Oy, Ruukki Construction Oy, Saint-Gobain Finland Oy, SBA Interior Oy ja Turun ammattikorkeakoulu Oy.

LÄHDELUETTELO

1. Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L. (2015). Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises – implications for speech masking design. J. Acoust. Soc. Am. 137(3) 1344–1355.
2. Oliva, D., Hongisto, V., Haapakangas, A. (2017). Annoyance of low-level tonal sounds – Factors affecting the penalty. Build. Environ. 123 404–414.
3. Rajala, V., Hongisto, V. (2020). Annoyance penalty of impulsive noise – The effect of impulse onset. Build. Environ. 168 106539.
4. Virjonen, P., Hongisto, V., Radun, J. (2019). Annoyance penalty of periodically amplitude-modulated wide-band sound. J. Acoust. Soc. Am. 146(6) 4159–4170.
5. Oliva D, Hongisto V, Ilmanvaihtoäänen taajuusjakauma ja ääniympäristötyytyväisyys, Sisäilmastoseminaari 2016, 16.3.2016 Helsinki, Sisäilmayhdistys ry. raportti 34, 251–254, Helsinki.
6. Kuusinen, A., Rantanen, E., Hongisto, V. (2023). Annoyance penalty due to the spectrum shape of wideband noise. Build. Environ. Hyväksytty 4.1.2024.

ILMANPUHDISTIMIEN VAIKUTUS EPÄPUHTAUKSIIN SEKÄ KOETTUIHIN OLOSUHTEISIIN JA OIREISIIN KOULUISSA – HIMIKKO-HANKKEEN TULOKSIA

Miina Juntunen, Martin Täubel, Tarja Yli-Tuomi, Pekka Taimisto, Kaisa Jalkanen, Taina Siponen, Anne Hyvärinen ja Hanna Leppänen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin ilmanpuhdistimien vaikutusta koulurakennusten sisäilman hiukkas-, mikrobi- ja kaasumaisten yhdisteiden pitoisuuksiin. Lisäksi tiloja säännöllisesti käyttävät opettajat ja oppilaat täyttivät kokemiansa olosuhdehaittoja ja oireita selvittävää päiväkirjaa koulupäivinä koko tutkimuksen ajan. Ilmanpuhdistimia käytettäessä havaittiin tilastollisesti merkitsevästi pienempi TVOC-pitoisuus. Sekä ilmanpuhdistimen käytön että pelkän ilmankierrätyksen aikana havaittiin tilastollisesti merkitsevästi vähemmän oppilaiden kokemia ala- ja ylähengitystieoireita sekä muita oireita verrattuna tilanteeseen, jolloin ilmanpuhdistin ei ollut käytössä.

ILMANPUHDISTIMIEN KÄYTTÖ JULKISISSA RAKENNUKSISSA

Ilmanpuhdistimia on käytetty rakennusten sisäilmatilanteissa jo pitkään ja niiden käyttö on yleistä esimerkiksi kuntien käytössä olevissa rakennuksissa /1/. Tällä hetkellä tutkimustieto ilmanpuhdistimien tehokkuudesta sisäilman epäpuhtauksien poistossa perustuu pitkälti kammio- ja testihuonekokeisiin ja laitteiden vaikutuksista käytännön olosuhteissa on vasta vähän tutkimustietoa.

HIMIKKO-TUTKIMUS

Hiukkaset, mikrobit ja kemikaalit – ilmanpuhdistimien vaikutukset altistumiseen kouluissa (HiMiKKo) -hankkeessa tuotettiin tutkittua tietoa ilmanpuhdistimien toimivuudesta erilaisten sisäilman epäpuhtauksien määrän vähentämiseksi alakouluympäristöissä sekä ilmanpuhdistimien käytön merkityksestä työntekijöiden ja oppilaiden kokemien oireiden sekä olosuhdehaittojen raportointiin. Tutkimus toteutettiin kuudessa kuopiolaisessa alakoulussa, yhteensä 29 luokahuoneessa vuosien 2021–2022 aikana. Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa ilmanpuhdistimien vaikutuksista käytännön olosuhteissa sellaisella mitoituksella, jota koululuokissa tyypillisesti käytetään.

Tutkimukseen kuului jokaisessa luokassa kolme peräkkäistä kahden viikon mittaista tutkimusjaksoa: 1) EI (ilmanpuhdistin oli luokassa, mutta ei päällä), 2) ON (ilmanpuhdistin käytössä), ja 3) SHAM (ilmanpuhdistin käynnissä ja kierrättää ilmaa, mutta puhdistimissa ei ollut HEPA- ja aktiivihiilisuodattimia paikallaan). Toinen ja kolmas tutkimusjakso toteutettiin sokkoutetusti siten, etteivät tilassa oleskelevat tienneet, milloin puhdistimessa oli suodattimet paikoillaan.

MENETELMÄT

Tutkimukseen valittiin kahden eri valmistajan ilmanpuhdistimia, joista molemmissa oli käytössä sekä mekaaninen suodatus että adsorptiotekniikka. Tutkimuksessa käytettiin samaa ilmanpuhdistimien ilmamäärän mitoitusta, joka oli kuopiolaisissa kouluissa jo ennestään käytössä kyseisillä ilmanpuhdistimilla ja ilmanpuhdistimien tuottama puhtaan ilman määrä oli maltillinen (20–50 %) verrattuna tutkittujen luokkahuoneiden perusilmanvaihtoon. Luokkahuoneissa oli käytössä yksi ilmanpuhdistin.

Luokissa tehtiin hiukkas-, mikrobi- (sieni ja bakteeri) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittaukset sekä seurattiin jatkuvatoimisesti lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta ja paine-eroa. Ulkoilman pitoisuustasot määrittämällä saatiin lisäksi käsitys alueella vallitsevista yleisistä pitoisuuksista. Luokkien siivoustasoa arvioitiin pintapölykertymämittauksilla /2/ ja ilmanvaihto määritettiin, jotta myös näiden merkitys epäpuhtauksien hallintaan pystyttiin huomioimaan.

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Tutkimuksessa määritettiin pienhiukkasten ($PM_{2.5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet luokkahuoneiden ilmassa sekä ulkoilmassa käyttäen gravimetristä analyysiä. Mittausmenetelmässä ilmaa imettiin pumpulla kokoluokittelevan Harvard-impaktorin läpi esipunnitulle suodattimelle. Gravimetrisen analyysin lisäksi kouluilla määritettiin yhden luokkahuoneen ja ulkoilman hiukkaspitoisuudet jatkuvatoimisilla Palas Fidas 200-hiukkasmonitoreilla, jotka mittaavat samanaikaisesti usean eri kokoluokan hiukkasia.

Mikrobit

Mikrobiologisia epäpuhtauksia määritettiin laskeutuneesta pölystä ja aktiivisella näytteenotolla opettajan hengitysvyöhykkeen läheisyydestä UPAS-keräimellä. UPAS-keräimellä kerättiin näytteet kolmesta luokkahuoneesta jokaisen tutkimusjakson jälkimmäisellä viikolla (7 vrk keräysaika).

Laskeutuvaa pölyä kerättiin mikrobiologisten epäpuhtauksien määrittämistä varten sekä jokaisesta tutkimusluokasta että ulkoa koulujen pihalta jokaisena tutkimusjaksona. Keräysaika oli koko tutkimusjakso, eli 14 vuorokautta. Laskeutunutta pölyä kerättiin kuudelle rinnakkaiselle petrimaljalle, jotka sijoitettiin luokkahuoneissa 177–230 cm korkeudelle, esimerkiksi kaappien tai hyllyjen päälle kauemmas lämmönlähteistä ja ilmavirroista.

RNA-eristys laskeutuneen pölyn näytteistä tehtiin Chemagic Viral300 DNA/RNA -kitillä ja Chemagic 360 -nukleiinihappoeristyslaitteella. Sienten ja bakteerien DNA-eristykseen sekä aktiivisesti kerätyistä näytteistä että laskeutuneen pölyn näytteistä käytettiin Chemagic DNA plant -kittiä ja KingFisher™ DNA-eristysautomaattia. Näytteistä määritettiin qPCR-menetelmällä mikrobipitoisuudet (aktiivisesti kerätyille näytteille soluekvivalenttia/ m^3 , laskeutuneen pölyn näytteille soluekvivalenttia/ m^2 /vrk) seuraavista mikrobiryhmistä: sienten kokonaispitoisuus (Unifungi), *Penicillium/Aspergillus* spp. /3/, Gram-positiiviset bakteerit ja Gram-negatiiviset bakteerit /4/.

VOC-yhdisteet

VOC-yhdisteitä mitattiin jokaisella tutkimuskoululla 1–4 luokkahuoneesta, yhteensä 12 luokasta joista 11 saatiin näytteet jokaiselta tutkimusjaksolta. Jokaisella tutkimusjaksolla kerättiin lisäksi näyte ulkoa koulun pihalta. Näytteen keräysaika oli 7 vuorokautta ja näytteenotto tapahtui passiivisella radiello®-keräimellä jokaisen tutkimusjakson jälkimmäisellä viikolla. Luokkahuoneissa keräin pyrittiin asettamaan opettajan pöydän läheisyyteen opettajan hengitysvyöhykettä vastaavalle korkeudelle.

Näytteistä määritettiin kaasukromatografia-massaspektrometrillä VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC).

Oire- ja olosuhdepäiväkirjat

Tutkimukseen osallistuvat henkilöt täyttivät sisäympäristön koettuja oire- ja olosuhdehaittoja selvittävää päiväkirjaa jokaisena koulupäivänä kaikkien kolmen tutkimusjakson ajan. Osallistujia ohjeistettiin täyttämään päiväkirjaa mahdollisuuksien mukaan päivittäin koulussa viimeisen oppitunnin lopussa. Oire- ja olosuhdepäiväkirjan vastausprosentti oli oppilaiden osalta 32 % (n=209) ja opettajien osalta 86 % (n=24). Oppilaiden huoltajilta pyydettiin suostumus tutkimukseen osallistumiseen.

Oirepäiväkirjassa raportoidut oireet jaettiin kolmeen luokkaan niiden lääketieteellisen ryhmittelyn mukaan; alempien tai ylempien hengitysteiden oireet ja muut oireet. Jokainen yhtä oiretta koskeva vastaus pisteytettiin yhdestä (ei ollenkaan) neljään (paljon): ei ollenkaan = 1, vähän = 2, melko paljon = 3 ja paljon = 4 ja kaikki oireet kussakin kategoriassa laskettiin yhteen ja yhdistettiin alempien hengitystieoireiden, ylempien hengitysteiden ja muiden oireiden osalta. Oirepistesummamuuttujat saivat siten arvot välillä 5–20, 4–16 ja 4–16 alempien hengitysteiden, ylähengitysteiden ja muiden oireiden osalta. Koetut olosuhdehaitat jaettiin kahteen luokkaan “Ei (luokat: ei ja vähän)” ja “Kyllä (luokat: melko paljon ja paljon)” ja vastauksista tehtiin ristiintaulukointi tutkimusjakson kanssa. Tilastollista testausta varten asetimme vähimmäisvaatimukseksi vastaukset vähintään kolmelta päivältä jokaiselta oppilaalta kussakin tutkimusjaksossa.

Tilastolliset menetelmät

Tilastollisena menetelmänä käytettiin yleistettyjä estimointiyhtälöitä (GEE, generalized estimation equations). Analyysit suoritettiin GENMOD-proseduurilla käyttäen Gamma-jakaumaa ja tyypiltään vaihdettavaa (exchangeable) korrelaatorakennetta. Mallissa selittävänä tekijöinä käytettiin koulua ja tutkimusjaksoa (ilmanpuhdistin ei päällä, ilmanpuhdistin päällä normaalisti ja sham-jakso). Oire- ja olosuhdepäiväkirjojen analyysissä käytettiin toistettujen mittausten muuttujana oppilaan tai opettajan ID-tunnusta ja muissa analyyseissä luokkatunnusta. Eri tuloilmamääräluokkien epäpuhtauspitoisuustasojen erot analysoitiin Mann-Whitney U -testillä. Tilastolliset analyysit tehtiin käyttämällä SAS Enterprise Guide 8.3 -tilasto-ohjelmaa (SAS Institute Inc., Cary, NC, Yhdysvallat).

TULOKSET

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Sekä hiukkaspitoisuudet että palamisperäisen mustan hiilen pitoisuutta kuvaavat absorptiokertoimien arvot olivat tutkituissa luokkahuoneissa pieniä verrattuna aiemmin suomalaisissa kouluissa ja päiväkodeissa mitattuihin pitoisuuksiin /5/. Tutkimusjaksolla, jonka aikana ilmanpuhdistin ei ollut päällä, pitoisuuksien mediaanit (min–maks) olivat hengitettävillä hiukkasilla 12 (5–25) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pienhiukkasilla 3 (1–6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja absorptiokertoimella 0,13 (0,07–0,35) $\text{m}^{-1}\times 10^{-5}$. Hiukkaspitoisuudet alittivat myös asumisterveysasetuksessa /6/ annetut toimenpiderajat ja Maailman terveysjärjestön (WHO) ohjearvot /7/. Tähän vaikuttanee erityisesti se, että kouluissa oli käytössä koneellinen tulo- ja poistoilma ja tuloilma suodatettiin. Tuloksia ilmanpuhdistimien vaikutuksista hiukkaspitoisuuksiin tullaan esittämään seminaarissa.

Mikrobit

Laskeutuneen pölyn näytteissä eri tutkimusjaksoilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa qPCR-menetelmällä määritetyissä mikrobipitoisuuksissa mikrobiryhmittäin tarkasteltuna. ON-jakson vaikutus keskimääräiseen mikrobipitoisuuteen, verrattuna tutkimusvaiheeseen, jossa ilmanpuhdistin ei ollut päällä, vaihteli mikrobiryhmittäin: sienten kokonaispitoisuus (Unifungi) -11 %, *Penicillium/Aspergillus* spp. -25 %, Gram-positiiviset bakteerit +10 % ja Gram-negatiiviset bakteerit +7 %. SHAM-jakson vaikutus mikrobipitoisuuksiin oli: sienten kokonaispitoisuus (Unifungi) -27 %, *Penicillium/Aspergillus* spp. -19 %, Gram-positiiviset bakteerit +9 % ja Gram-negatiiviset bakteerit -14 %. Sekä ON- että SHAM-jaksoilla mikrobipitoisuudet sekä nousivat että laskivat EI-jaksoon verrattuna ja nämä erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Ilmanäytteistä (UPAS-keräimellä kerätyt näytteet) qPCR-menetelmällä määritetyt mikrobipitoisuudet vaihtelivat eri mikrobiryhmien välillä kaikilla tutkimusjaksoilla. Mikrobiryhmittäin tarkasteltuna eri tutkimusvaiheilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä mikrobipitoisuuksiin. ON-jakso vaikutti keskimääräisiin mikrobipitoisuuksiin vaihtelevan suuruisesti verrattuna EI-jaksoon: sienten kokonaispitoisuus (Unifungi) -48 %, *Penicillium/Aspergillus* spp. -15 %, Gram-positiiviset bakteerit -28 % ja Gram-negatiiviset bakteerit -3 %. SHAM-jakson vaikutus mikrobipitoisuuksiin verrattuna EI-jaksoon, oli: sienten kokonaispitoisuus (Unifungi) -9 %, *Penicillium/Aspergillus* spp. +40 %, Gram-positiiviset bakteerit +3 % ja Gram-negatiiviset bakteerit +4 %. ON-jaksolla mikrobipitoisuudet vähenivät enemmän kuin SHAM-jaksolla verrattuna EI-jaksoon ja nämä erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

VOC-yhdisteet

ON-jaksolla luokkien TVOC-pitoisuuden havaittiin pienenevän keskimäärin 53 % verrattuna EI-jaksoon, ja vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä ($p<0,001$). SHAM-jakson aikana TVOC-pitoisuus ei laskenut juurikaan (11 %) verrattuna EI-jaksoon, eikä ero ollut tilastollisesti merkitsevä.

Oire- ja olosuhdepäiväkirjat

Kaiken kaikkiaan 131 oppilasta 209:sta vastasi kyselyyn vähintään kolmena koulupäivänä jokaisessa tutkimusvaiheessa, jolloin vastauksia tuli yhteensä 1032

vastattua päivää EI-jaksolla, 1078 vastattua päivää ON-jaksolla ja 863 vastattua päivää ilmanpuhdistimen SHAM-jaksolla.

Kun oppilaiden kokemien ala- ja ylähengitystieoireiden sekä muiden oireiden määrää verrattiin ilmanpuhdistimen ollessa kiinni ja joko päällä tai SHAM-jaksolla, havaittiin oireilun vähenevän 5–8 %. Tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Lisäksi SHAM-jaksolla ylähengitystie-, alahengitystie- ja muut oireet vähenivät enemmän kuin ON-jaksolla, ja ero oli tilastollisesti merkitsevä alahengitystieoireiden osalta ($p = 0,003$).

Ilmanvaihdon määrän vaikutus epäpuhtauspitoisuuksiin

Tutkimusluokat jaettiin niiden perusilmanvaihdon mediaanin (8,1 l/s/hlö) mukaan kahteen ilmamääräluokkaan, jossa eri tutkimusjaksojen vaikutusta epäpuhtauspitoisuuksiin tarkasteltiin. EI-jaksoilla TVOC- ja mikrobipitoisuudet olivat pääosin matalammat suuremmassa ilmamääräluokassa. Ilmanpuhdistimen ollessa päällä eri ilmamääräluokkien välisissä mediaanipitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän käytännön olosuhteissa alakouluympäristöissä toteutetun interventiotutkimuksen mukaan ilmanpuhdistimet voivat vähentää luokkatilojen TVOC-pitoisuuksia. Vaikutukset sisäilman mikrobipitoisuuksiin olivat epäjohtonmukaisempia tutkimuksessa käytetyllä ilmanpuhdistimien mitoituksella. Tutkimuksessa havaittiin myös oppilaiden kokemien ala- ja ylähengitystieoireiden sekä muiden oireiden vähentyvän tilastollisesti merkitsevästi ilmanpuhdistimien käytön aikana, mutta samankaltaisia, tai jopa suurempia vaikutuksia havaittiin myös sham-jakson aikana. Havaitun tuloksen taustalla olevista syistä tarvitaan lisätutkimusta. Koettuihin oireisiin liittyvien tulosten osalta esimerkiksi plasebo-vaikutus on mahdollinen, koska käyttäjät eivät tienneet, milloin ilmanpuhdistin suodatti ilmaa ja milloin sham-jakso oli käynnissä.

Tutkimuksessa käytetty ilmanpuhdistimien mitoitus oli maltillinen, noin 20–50 % luokkien perusilmanvaihdosta, ja lähtökohtaisesti epäpuhtauspitoisuudet tutkimuskouluissa olivat matalia, jolloin ilmanpuhdistimen tuottama lisähyöty tilan perusilmanvaihtoon nähden ei ollut merkittävä. Tutkimuksen perusteella luokkien perusilmanvaihdon määrällä on merkitystä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin.

KIITOKSET

Haluamme kiittää tutkimuksen päärahoittajaa Työsuojelurahastoa (hanke 200355) sekä muita rahoittajia: ympäristöministeriötä, opetus- ja kulttuuriministeriötä, sosiaali- ja terveysministeriötä, Kuopion kaupungin tilakeskusta ja ympäristöterveydenhuoltoa. Lisäksi kiitämme tutkimukseen osallistuneita oppilaita ja opettajia sekä ilmanpuhdistinvalmistajia puhdistimien lainaamisesta tutkimukseen.

LÄHDELUETTELO

1. Hyvärinen A., Marttila T., Kero P., Pekkanen J., Jalkanen K., Turunen M., Haverinen-Shaughnessy U., Annala P., Suonketo J., Niemi J., Lampi J., Ung-Lanki S. ja Leppänen H. 2017 Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 44/2017.
2. Juntunen M., Jalkanen K., Leppänen H., Siponen T., Taimisto P., Yli-Tuomi T., Täubel M. ja Hyvärinen A. 2023 Ilmanpuhdistimien vaikutus pintapölykertymään - BM DUST DETECTOR® - mittaus, SIY raportti 41, 193–195.
3. Haugland R. ja Vesper S. 2002 Method of identifying and quantifying specific fungi and bacteria. US patent 6387652 B1.
4. Kärkkäinen P., Valkonen M., Hyvärinen A. ja Rintala H. 2010 Determination of bacterial load in house dust using qPCR, chemical markers and culture. Journal of Environmental Monitoring. 12(3), 759-768.
5. Yli-Tuomi T. ja Siponen T. 2023 Katsaus sisätilojen PM_{2,5}- ja PM₁₀-hiukkasista Suomessa ja muissa Pohjoismaissa. Työpaperi 22/2023, THL.
6. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. (Asumisterveysasetus).
7. WHO. 2021 WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

ILMANPUHDISTIMIEN VAIKUTUS HENGITYSTIEINFEKTIOIHIN

Ilpo Kulmala¹, Inga Ehder-Gahm¹, Aimo Taipale¹, Piia Sormunen², Anni Luoto², Ville Vartiainen³, Enni Sanmark³ ja Arto Säämänen¹

¹Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

²Tampereen yliopisto

³HUS

TIIVISTELMÄ

Ilmateitse tarttuvien hengitystieinfektioita voidaan vähentää alentamalla sisäilman patogeenipitoisuuksia ja eräs keino tähän on käyttää ilmanpuhdistimia. E3 hankkeessa ilmanpuhdistimia asennettiin kahteen eri päiväkotiin ja niiden vaikutuksia arvioitiin teoreettisesti sekä sairauspoissaolojen avulla. Kussakin huoneessa ilmanpuhdistimet valittiin siten, että patogeeneille altistuvien henkilöiden määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä. Riskimallinnuksen perusteella ilmanpuhdistimien käyttö vähensi altistuvien määrää merkittävästi: päiväkodissa A keskimäärin 60 % ja päiväkodissa B 53 %. Interventiopäiväkodeissa vanhemmat olivat pois töistä 32 % vähemmän kuin verrokkipäiväkodeissa. Yhdensuuntaiset tulokset osoittavat ilmanvaihdon tehostamisen merkityksen infektioiden vähentämisessä.

JOHDANTO

Normaalioloissa riittävä ilmanvaihto voi vaatia pandemia- tai epidemiatilanteissa tehostamista ilmateitse tapahtuvien tartuntojen hallitsemiseksi. COVID-19 pandemian myötä on kehitetty erilaisia teoreettisia malleja tarvittavan ilmavirran arvioimiseksi /1,2/. Ilmanvaihdon mitoittamiseksi poikkeusolosuhteissa on myös annettu ohjeita, joissa mitoitusperusteena on henkeä kohti laskettu infektiopapaa ilmavirta. Tämä voi olla raitisilmaa, suodatettua kiertoilmaa, tai huoneilmapuhdistimilla tuotettua puhdasilmaa. Esimerkiksi Lancet COVID-19 task forcen mukaan minimi-ilmavirrat ovat luokkaa 10 - > 14 l/s/hlö /3/. ASHRAE-standardi /4/, joka koskee infektiivien aerosolien torjuntaa rakennuksissa, määrittelee infektiotilanteen hallintatilan, jossa ilmanvaihtoa on tehostettava. Vaadittavat ekvivalentti-ilmavirrat riippuvat sisätiloista ja vaihtelevat välillä 10–45 l/s henkilöä kohti. Standardissa ei ole erikseen päiväkodeille vaatimuksia, mutta lähimmät arvot ovat luokahuoneissa (20 l/s/hlö) ja luentosaleissa (25 l/s/hlö). Tämä on huomattavasti suurempi kuin ilmanvaihdon normaalimitoituksessa käytetty 10 l/s henkeä kohti, jolla voidaan pitää sisäilman hiilidioksidipitoisuudet alle 1000 ppm tasossa.

Koneellisen ilmanvaihdon ilmavirtojen merkittävä lisääminen ei yleensä onnistu olemassa olevissa rakennuksissa kovin helposti, joten poikkeusoloissa puhtaan ilman tuotto on hoidettava muilla tavoin. Eräs mahdollisuus on käyttää huoneilmapuhdistimia lisäämään infektiopapaa ilmavirtaa. Ilmanpuhdistimien käytön vaikutuksesta on kuitenkin olemassa hyvin vähän luotettavia tutkimuksia, joissa olisi otettu riittävästi huomioon keskeiset tekijät. Osana laajaa E3 hanketta tässä työssä tutkittiin ilmanpuhdistimien vaikutusta ilmateitse tapahtuviin tartuntoihin. Kahteen päiväkotiin

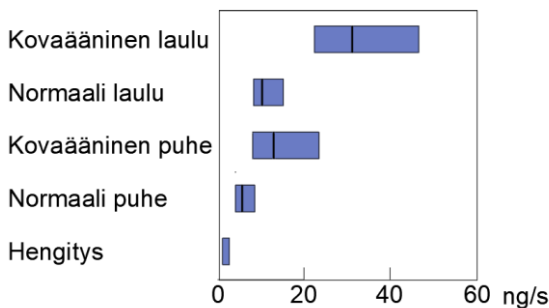
asennettiin useita ilmanpuhdistimia ja niiden vaikutusta selvitettiin sekä teoreettisesti että käytännössä kyselytutkimuksen avulla.

TEHTÄVÄT JA MENETELMÄT

Tartuntariskin ja altistuneiden lukumäärän arviointi

Tartuntariskiä arvioitaessa keskeistä on tietää patogeenien emissio ja toisaalta infektiivinen annos. Tautia aiheuttavia mikrobeja pääsee ilmaan, kun taudinkantaja pärskii tai ääntelee ja samalla levittää pieniä pisaroita ympäristöönsä. Alle 15 mikrometrin kokoiset pisarat kuivuvat sisäilman olosuhteissa hetkessä, alle sekunnissa, jolloin jäljelle jää kiinteät <5 µm kokoiset aerosolit. Nämä pienet hiukkaset kulkeutuvat ilman liikkeiden mukana, kunnes poistuvat sisäilmasta ilmanvaihdon, suodatuksen tai laskeuman kautta. Osassa näistä aerosoleista voi olla tautia aiheuttavia mikrobeja, jotka hengitettynä voivat päätyä syvälle hengitysteihin aiheuttaen infektion. Ilmateitse tapahtuvan aerosolitartunnan todennäköisyys riippuu siten siitä, kuinka paljon niitä pääsee ilmaan, kuinka nopeasti ne inaktivoituvat ja kuinka paljon niitä hengitetään sisään ja mikä on infektoiva annos.

Oireettomat mutta tautia kantavat henkilöt levittävät viruksia ympäristöön uloshengitysilman mukana puhuttaessa, lauletaessa ja jopa pelkästään hengitettäessä. Pisaroiden tuottonopeus vaihtelee huomattavasti aktiviteetista riippuen. Suurimmat emissiot ovat kovaäänisessä puheessa ja laulussa. Pienintä päästö on hengitettäessä. Kuvassa 1 on esitetty <15 mikrometrin kokoisten pisaroiden tuottonopeuksia eri tilanteissa Alsvedin mittauksiin pohjautuen /5/. Tuottonopeudet on laskettu uloshengitysilman olosuhteisiin ottaen huomioon pisaroiden haihtuminen kolmasosaan alkuperäisestä halkaisijastaan /6/. Koska pisan massa on verrannollinen halkaisijan kolmanteen potenssiin, tarkoittaa tämä että uloshengitysilman suun tasalla pisaroiden massa on ollut 30-kertainen kuivuneiden aerosolien massa verrattuna.



Kuva 1. Pienten pisaroiden tuottonopeus äänenkäytöstä riippuen. Pylväät kuvaavat vaihteluväliä ja pystysuorat viivat mittaustulosten mediaania /5/.

Patogeenien emissionopeutta (kpl/s) voidaan arvioida yhtälöllä

$$G = q \cdot c_v \cdot 10^{-9} \quad (1)$$

Missä q on pienten (<15 µm) pisaroiden tuotto (ng/s) ja c_v hengitystie-eritteiden viruspitoisuus millilitraa kohden. Kerroin 10^{-9} ottaa huomioon että 1 ml nestettä painaa yhden gramman.

COVID-19 tartunnan saaneilla hengitystie-eritteiden viruspitoisuus vaihtelee ajallisesti ollen suurimmillaan taudin alkuvaiheessa, jonka jälkeen tartuttavuus laskee muutamissa päivissä /7/. Eri henkilöiden välillä on suuria eroja viruspitoisuuksissa: laajassa amerikkalaisessa tutkimuksessa havaittiin että, syljen viruspitoisuus noudattaa log-normaalia jakaumaa mediaanin ollessa luokkaa miljoona virusta/ml ja 90. persentiilin luokkaa $2 \cdot 10^8$ virusta/ml /8/. Toisaalta tiedetään että 10-20 % ihmisistä vastaa 80-90 % tartunnoista, joten on todennäköistä että nämä henkilöt joilla on korkea viruspitoisuus ovat keskeisessä asemassa taudin leviämisessä /8/.

Päiväkodissa tautia levittävät tartunnan saaneet henkilöt, joiden lukumäärää ei tunneta tarkasti. Tilastollisesti tarkasteltuna voidaan kuitenkin olettaa, että päiväkodin tiloissa olevien tartuttavien henkilöiden lukumäärä N_I on verrannollinen taudin ilmaantuvuuteen p ja henkilöiden lukumäärään tilassa N :

$$N_I = p \cdot N \quad (2)$$

Tartunnan todennäköisyyttä arvioitiin yhtälöllä

$$IR = \exp(-0.693 D/D_{50}) \quad (3)$$

missä D on keuhkoihin kertynyt annos ja D_{50} annos, joka aiheuttaa infektion puolelle altistuneista /2/. Yhtälö (3) kuvaa periaatteessa ilmateitse tapahtuvaa tartuntaa yleisesti, vaikkakin eri tautien infektoivaa annosta ei tunneta kovin hyvin.

Infektion tartuntatodennäköisyyden avulla laskettiin infektioiden saavien henkilöiden odotusarvo E

$$E = IR \cdot N \quad (4)$$

missä N on henkilöiden lukumäärä tilassa. Infektion todennäköisesti saavien henkilöiden lukumäärät arvioitiin tunneittain kullekin tilalle erikseen tunneittain koko päiväkodin päivittäisen toiminta-ajan. Laskentamallissa käytettyjä lähtöarvoja on esitetty tarkemmin viitteessä /2/.

Laskelmissa on oletettu, että ilma on täysin sekoittunutta, jolloin patogeenien pitoisuus sisäilmassa on tasainen. Vaikka päästölähteen välittömässä läheisyydessä pitoisuus on korkeampi, oletus tasaisesta pitoisuudesta suurimmassa osassa tilaa on realistinen approksimaatio päiväkotien sekoittavan ilmanvaihdon ja verrattain suuren ilmanvaihtuvuuden perusteella. Lisäksi on todennäköistä, että päästölähde on liikkuva, mikä lisää sekoittumista.

Päiväkodit

Tutkitut kaksi päiväkotia, joissa tehtiin interventioita (A ja B), sijaitsevat samalla alueella Helsingissä. Päiväkoti A:n pinta-ala on noin 1000 neliömetriä ja koneellisen ilmanvaihdon ilmavirta $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ($8600 \text{ m}^3/\text{h}$). Päiväkodin B kerrosala noin 900 neliömetriä ja ilmavirta lasten ja henkilökunnan käytössä olevilla alueilla $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ($10400 \text{ m}^3/\text{h}$). Päiväkoti A:ssa on 1-6 vuotiaita lapsia 110 ja 19 työntekijää. Päiväkoti B:ssä on 123 lasta ja 21 henkilökunnan jäsentä. Molemmat rakennukset on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla, ja niissä on sekoittava ilmanjako sekä poistoilman lämmöntalteenotto. Tuloilma huoneisiin johdettiin tyypillisesti

kattohajottimista ja ilma poistettiin katonrajassa olevien venttiilien kautta. Kyselytutkimukseen osallistunut viiteryhmä rekrytoitiin kaikista muista Helsingin kaupungin päiväkodeista.

Ilmanpuhdistimet

Tutkimuksessa käytetyt ilmanpuhdistimet olivat eri valmistajien malleja, joiden puhtaan ilman tuotot (Clean Air Delivery Rate eli CADR arvot) olivat 240–2700 m³/h. Kaikkia ilmanpuhdistimia ei kuitenkaan käytetty täydellä puhallinnopeudella kohonneen äänitason vuoksi, jolloin yksittäisen laitteen puhtaan ilman tuotto vaihteli välillä 240 – 1500 m³/h. Ilmanpuhdistimia oli intervention aikana 22 kpl päiväkodissa A ja 23 kpl päiväkodissa B. Laitteiden yhteenlaskettu puhtaan ilman tuotto oli 11300 m³/h päiväkodissa A ja 9500 m³/h päiväkodissa B. Esimerkki laitteiden sijoittelusta päiväkodissa A on kuvassa 2. Ilmanpuhdistimet imivät suodatettavan ilman laitteen alaosasta ja puhalsivat puhtaan ilman vaakasuoraan, yläviistoon tai suoraan ylös. Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto tutkittiin VTT:llä ennen asennusta. Ilmanpuhdistimien ominaisuuksia on esitetty tarkemmin toisessa esityksessä 9/.

Poissaolokysely

Ilmanpuhdistimien todellista vaikutusta tartuntatapeuksiin tutkittiin kyselytutkimuksella, johon kutsuttiin kaikkien Helsingin kaupungin päiväkodeista varhaiskasvatusta saavien lasten perheet. Tässä esitetyt tulokset ovat ensimmäisen vuoden alustavia tuloksia kaksivuotisesta ristikkäistutkimuksesta neljällä päivähoitoyksiköllä (NCT05569330). Osana tutkimusta osallistujat raportoivat tartuntatapeuksia ja vanhempien työpoissaoloja viikoittain oirepäiväkirjassa. Päiväkirjan kysymykset olivat: "Onko lapsesi ollut sairas edellisen viikon aikana? (kyllä/ei)" ja "Aiheuttiko lapsen sairaus aikuisille poissaoloja työstä? (kyllä/ei)". Tutkimukseen osallistui yhteensä 426 lasta, joista 43 oli päiväkodeissa, joissa oli huoneilmapuhdistimet. Vastausprosentti oli 60–68 % tutkimusjaksolla 11. marraskuuta 2022 huhtikuun loppuun 2023. Ei-parametrissa Mann-Whitney U -testiä käytettiin vertaamaan lapsen sairaudesta johtuvia vanhempien poissaolopäiviä vertailu- ja interventiokeskusten välillä. Poissonin regressiomalli rakennettiin erikseen sosioekonomisten tekijöiden vaikutusten huomioimiseksi. Lapsen ikä ja vanhempien koulutustaso lisättiin kategorisiksi muuttujiksi. Tutkimuksen hyväksyi Helsingin ja Uudenmaan eettinen toimikunta (HUS/14231/2022) ja se toteutettiin Helsingin julistuksen mukaisesti.

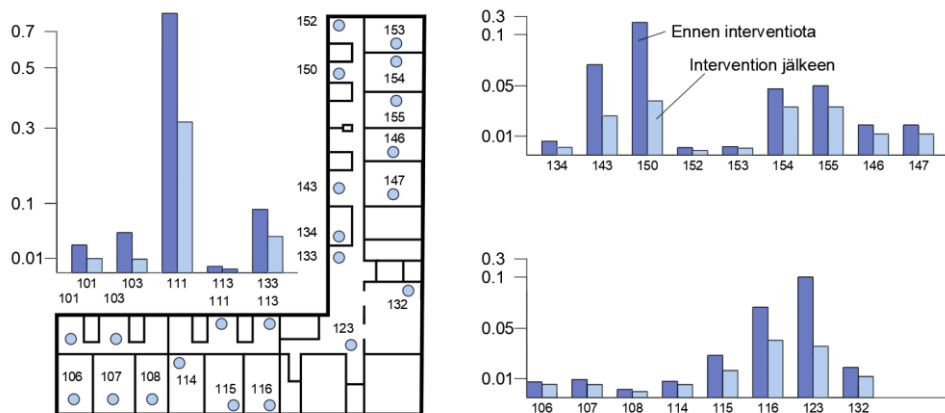
ILMANPUHDISTIMIEN VAIKUTUKSET

Riskimallinnuksen tulokset

Riskimallinnuksen avulla tehdyt laskelmat osoittivat, että ilmanpuhdistimien käyttö vähensi altistuvien määrää merkittävästi: päiväkodissa A keskimäärin 60 % ja päiväkodissa B 53 %. Riskitasot vaihtelivat aktiviteetista, tilan ilmanvaihdesta ja henkilöiden lukumäärästä riippuen. Esimerkki päiväkodin A keskimääräisistä altistuvista henkilöistä eri huoneissa on esitetty kuvassa 2. Eri tilojen välillä oli huomattavia eroja: suurimmat riskipaikat olivat eteistiloissa, joissa on ruuhkahippuja lasten lähtiessä ulos ja saapuessa sisään. Pienryhmähuoneissa sekä lapsiryhmien kotipesissä oli selvästi alemmat riskitasot johtuen pienemmistä henkilömääristä ja

alhaisemmasta aktiviteetista (esim päiväunet ja lepotauot), jolloin äänenkäyttö ja siten virusten tuottonopeus olivat vähäisemmät.

Altistuvien henkilöiden lukumäärä riippuu suuresti lähtöarvoista kuten patogeenien emissioista, joihin vaikuttavat merkittävästi taudin ilmaantuvuus sekä viruspitoisuus hengitystie-eritteissä. Näissä on suuria vaihteluita ja epävarmuuksia, joten tulosten absoluuttiarvot ovat suuntaa-antavia. Toisaalta suhteellisten vaikutusten arvioinnissa tulokset ovat luotettavampia. Ilmapuhdistimet alensivat selvästi laskennallisia altistuneiden henkilöiden lukumääriä. Merkittävimmät vaikutukset olivat eteistiloissa ja yhteisissä tiloissa



Kuva 2. Ilmapuhdistimien sijainnit ja infektion saaneiden henkilöiden lukumäärien odotusarvot ennen ilmapuhdistimia ja niiden asentamisen jälkeen päiväkodissa A. Huoneilmapuhdistimien sijainnit huoneissa (huoneiden numerot 101-155) esitetty ympyrällä. Pylväiden kuvaamat odotusarvot ovat yhden tunnin keskiarvoja.

Sairauspoissaolot

Tutkimusjakson aikana havaittiin merkittävä ero infektiosta johtuvissa päivähoidon poissaolopäivissä interventio- ja vertailuryhmien välillä. Vanhemmat olivat tutkimusjakson aikana poissa työstä lapsen sairauden vuoksi vertailupäiväkodeissa keskimäärin 5,53 päivää ja interventiopäiväkodeissa 3,77 päivää ($p = 0,009$). Suhteellisesti vähennys oli noin 32 prosenttia.

Sairauspoissaoloissa ei selvitetty tarkemmin poissaolon aiheuttamaa sairautta. Teoreettiset tarkastelut on puolestaan tehty käyttäen COVID-19:n lähtöarvoja viruspitoisuuksien ja infektoivien annosten suhteen. Toisaalta laskentamalli pätee myös muille ilmateitse leviävillä tartuntataudeilla, joten sitä voidaan käyttää suhteellisten muutosten tarkasteluun.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Sekä teoreettiset tarkastelut että alustavat kyselytutkimuksen tulokset osoittavat, että riskiperusteisesti mitoitetuilla ja sijoitetuilla ilmapuhdistimilla voidaan vähentää sairastumista merkittävästi. Laskentamallin antamat tulokset altistuvien määrän vähennyksille (60% päiväkodissa A ja 53% päiväkodissa B) ovat samansuuntaisia kyselytutkimuksen kanssa (sairauspoissaolojen vähennys 32 %). Sairauspoissaolot ja laskentatulokset eivät kuitenkaan suoraan ole vertailukelpoisia sillä ne kuvaavat hieman

eri asioita. Teoreettiset tarkastelut koskevat vain ilmateitse tapahtuvia tartuntoja eikä siinä oteta huomioon muita merkittäviä tartuntareittejä kuten pisara- ja kosketustartuntaa. Mallissa lasketaan todennäköisesti sairastuvien henkilöiden lukumäärää, kun taas sairauspoissaoloissa voi poissaolopäivien lukumäärä vaihdella eri henkilöiden välillä. Näistä eroista huolimatta tulokset ovat samankaltaisia ja viittaavat siihen, että ilmateitse tapahtuvat tartunnat ovat merkittäviä sairauspoissaolojen aiheuttajia.

Riskiperusteinen tarkastelu mahdollistaa optimaalisen ilmanpuhdistimen valinnan ja sijoituksen ilmateitse leviävien infektioiden vähentämiseksi. Tämä uusi lähestymistapa edellyttää yksityiskohtaisia tietoja tiloista ja niiden käyttöprofiilista, mukaan lukien henkilöiden lukumäärä ja aktiiviteetti eri aikoina kussakin huoneessa. Laskentamallia hyödyntäen voidaan ilmanpuhdistimet mitoittaa ja sijoittaa siten että lisääntyneet puhtaan ilman tuotot vähentävät tehokkaimmin taudin leviämistä hengitystie-epidemioiden ja pandemioiden aikana.

KIITOKSET

Tutkimus on toteutettu osana Business Finlandin rahoittamaa E3-pandemianhallintahanketta. Kiitämme myös kaikkia kyselytutkimukseen osallistuneita sekä hankkeessa mukana olevia yrityskumppaneita sekä Helsingin kaupungin edustajia.

LÄHDELUETTELO

1. Rayegan S., Shu C., Berquist J ym. 2023. A review on indoor airborne transmission of COVID-19– modelling and mitigation approaches. *Journal of Building Engineering*, 64, <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105599>.
2. Kulmala I., Karvinen A. ja Taipale A. 2023. Laskentatyökalu ilmateitse tapahtuvien infektoriskien arviointiin. Sisäilmastoseminaari 2023, SIY raportti 41.
3. The Lancet COVID-19 Commission Task Force on Safe Work, Safe School, and Safe Travel. 2022. Proposed Non-infectious Air Delivery Rates (NADR) for Reducing Exposure to Airborne Respiratory Infectious Diseases
4. ASHRAE Standard 241. 2023. Control of Infectious Aerosols.
5. Alsved, M., Matamis, A., Bohlin, R. et al. 2020. Exhaled respiratory particles during singing and talking, *Aerosol Sci. Technol.* 54: 1245–1248.
6. Liu L., Wei J., Li Y., Ooi A. 2017. Evaporation and dispersion of respiratory droplets from coughing. *Indoor Air* 27(1):179-190.
7. Jones, T. C., Biele, G., Mühlemann, B. et al. 2021. Estimating infectiousness throughout SARS-CoV-2 infection course. *Science*, 373(6551), eabi5273. <https://doi.org/doi:10.1126/science.abi5273>
8. Yang Q, Saldi TK, Gonzales PK et al. 2021. Just 2% of SARS-CoV-2-positive individuals carry 90% of the virus circulating in communities. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021 May 25;118:e2104547118
9. Säämänen A., Ehder-Gahm I., Luoto A., Sormunen P ja Kulmala I. 2024. Ilmanpuhdistimien energiankulutus – tapaustutkimus kahdessa päiväkodissa. Sisäilmastoseminaari 2024, SIY raportti 42.

AIRBORNE TRANSMISSION IN A MEETING ROOM WITH MIXING AND DISPLACEMENT VENTILATION METHODS

Weixin Zhao¹, Sami Lestinen², Simo Kilpeläinen¹ and Risto Kosonen¹

¹Aalto University

²A-Insinöörit Suunnittelu Oy

SUMMARY

The main purpose of the present study is to analyze the effect of heat gain and airflow rate, air distribution, and location of the infector on the airborne transmission and infection probability in a meeting room. In a 6-person meeting room, the droplet nuclei of an infected person are simulated with tracer gas (SF₆) generated by a thermal breathing manikin. With mixing ventilation, the average contaminant removal efficiency in the breathing zone was quite uniformly between 0.9 and 1.1. With displacement ventilation, the average contaminant removal efficiency was varied greatly between 0.2 and 10.1. The infection probability for every exposed person is quite uniform with mixing ventilation, 1.4% with heat gain and air flow rate level of 38 W/m² and 61 l/s and 0.9% at with heat gain and air flow rate level of 60 W/m² and 116 l/s after 3 h. However, the variation of infection probability with displacement ventilation was significant. The highest risk can be reached at 4% with displacement ventilation. The infection probability can be lower if the exposed person was far from the infector, or the infector was near the exhaust with mixing ventilation. With displacement ventilation, the infection probability depended on the airflow rate and the relative distance between the supply unit and the exposed person.

INTRODUCTION

The main respiratory transmission route for many infectious diseases is the airborne transmission among humans. Particles (i.e., droplets) exhaled by an infected person may involve pathogens and make other nearby persons get infectious. Therefore, it is important to understand the mechanism of aerosol particles transmission in the occupied space, and methods to reduce the risk of cross infection. By increasing the airflow rate, the infection risk is possible to reduce in many cases. However, the increment of airflow could be increasing concentration level locally. From the energy -efficiency point of view, it is not always the most optimal manner to reduce the infection risk. Recently it has clearly proofed, that the airflow distribution methods have significant effect on the personal exposure to indoor air pollutants. Thus, it is possible to reduce the infection risk without increasing the total airflow rate.

In our previous study [1], airborne transmission risks with personalized convective and radiant cooling systems in an office room was studied. The study showed that the lowest infection risk of 0.5% occurred in the inhaled air with personalized systems with an airflow rate of 42 l/s after 2 hours' exposure. The fully mixed ventilation requires around 2 times higher airflow rate to have the same level of infection risk than the personalized system. Moreover, the convection flow of varied heat gain levels has a limited effect on the airborne transmission with the personalized system.

The novelty of this paper is to analyze airborne transmission and infection risk with mixing and displacement ventilation methods under different heat gain conditions and airflow rate levels. The infection risk is affected by the infector location in the meeting room. This will help understand the behavior of airborne transmission and the findings provide insights into effective ventilation methods to prevent the occupants' exposure in meeting rooms.

METHOD

A meeting table for 6 persons was placed in the middle of the room, as shown in Figure 1. One breathing thermal manikin, one heated dummy, and 4 heated cylinders were placed around the table. Lights were installed in the middle of these workstations at the ceiling. One side of the wall was equipped with heated radiant panels to simulate the warm window. These panels were supplied with hot water to reach the desired surface temperature and thus simulate summer conditions. To simulate the impact of direct solar radiation, the electric foils were placed on the floor 0.8 m from the heated window panel wall.

The mixing air distribution was implemented with perforated duct in the ceiling zone. The perforated duct was extended for the entire length of the room and the supplied airflow was 180° downwards. The displacement air distribution was achieved with a low velocity unit. A rectangular perforated low velocity unit was installed in the middle of the wall opposite the door on the floor.

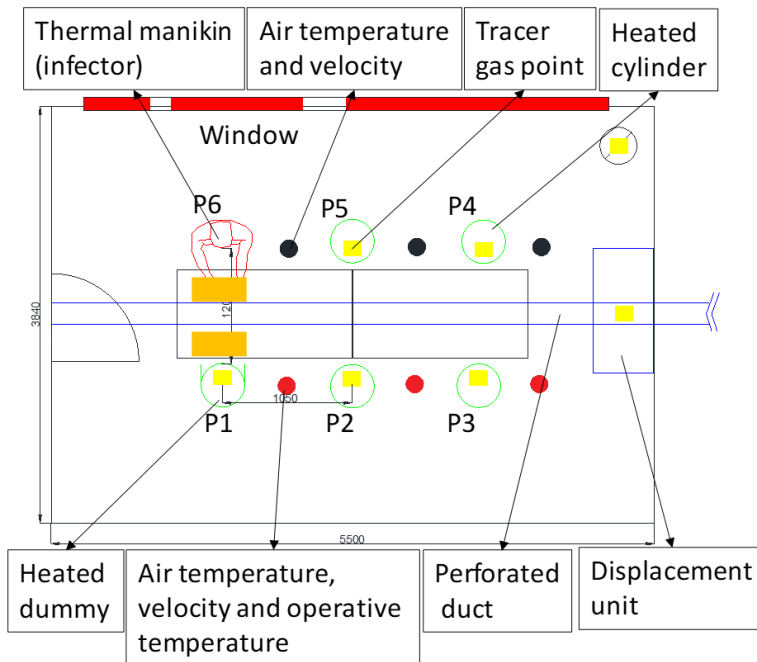


Figure 1. The setup of the test chamber.

The operative temperature was controlled at 25 ± 1 °C at 1.1 m height. The supply air temperature was kept at 14 °C with 38 W/m² and 16 °C with 60 W/m². The exhaust air

temperature was around 25 °C. The supplied airflow rates were 116 l/s and 61 l/s with the 60 W/m² and 38 W/m², respectively.

In this study, the thermal breathing manikin was used to simulate an infected sitting person in the room space and the rest of 5 persons as exposed persons. The breathing cycle of the manikin consisted of 2.5 s inhalation, 1 s break, 2.5 s exhalation and 1 s break. The tracer SF6 was released by exhaling through the nose of the thermal manikin with pulmonary ventilation rate of 6 l/min. It was dosed directly into the artificial lung of the infector.

To investigate the effect of the infector's location on the exposure level, the manikin was placed at 4 different locations in each case as shown in Figure 2.

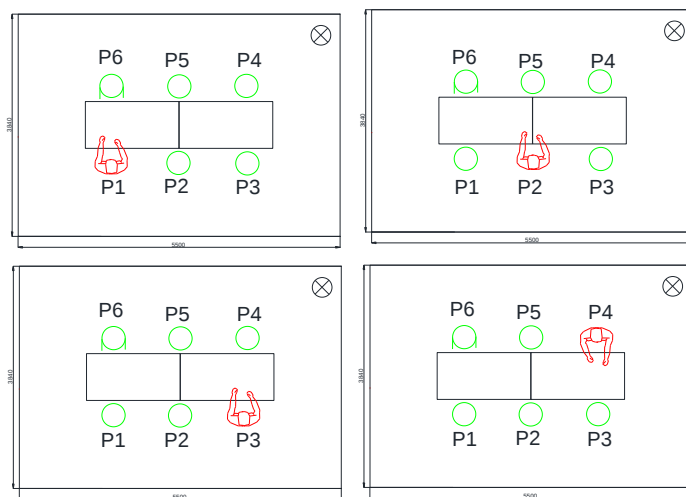


Figure 2. The locations of infector (breathing thermal manikin) in the test room.

RESULTS

Figure 3 shows the tracer gas distribution at different measured locations when the manikin was at P1 and the dummy at P6 (Figure 2). After the tracer gas concentration at exhaust reached the stable level, the average concentration in the room with mixing ventilation was 21.3 ppm and 11.3 ppm with heat gain of 38 W/m² and 60 W/m², respectively. The average contaminant removal efficiency was 0.9 and 1.1 with the airflow rate of 61 l/s and 116 l/s, respectively. Therefore, the air distribution was mixed well in the whole space.

However, the tracer gas distribution varied much spatially and temporally with displacement ventilation. After the concentration reached the steady state conditions at the exhaust point, the minimum concentration was 2.0 ppm, but the maximum value of 52.3 ppm was reached in the breathing zone. The highest standard deviation was 11.2 ppm. The contaminant removal efficiency varied over time. The highest contaminant removal efficiency can reach 10.1 and the lowest is 0.2. This indicates that the increasing airflow rate may not lead to a higher ventilation effectiveness.

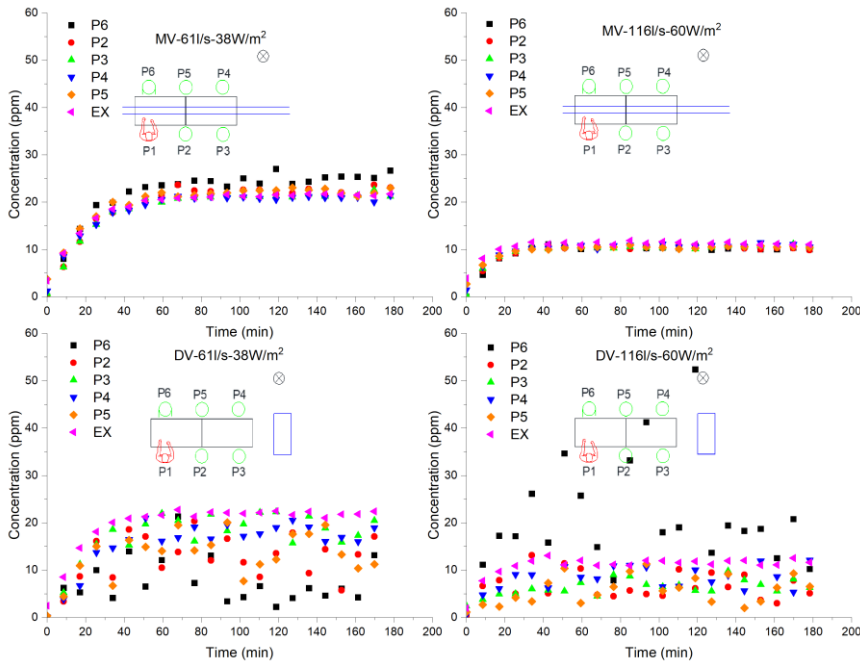


Figure 3. Concentration distribution of tracer gas at different locations when the manikin was at P1 with mixing (MV) and displacement (DV) ventilation with two heat gains: 38 W/m^2 and 60 W/m^2 and two airflow rates: 61 l/s and 116 l/s .

When the infector moved from P1 to P4, Table 1 shows the infection probability at different exposed persons was less than 1.7% with mixing ventilation at the heat gain of 38 W/m^2 after 3 hours' exposure. The infection probability was 2.4% with fully mixed condition according to Wells–Riley model. This indicates that the mixing ventilation in this study could provide some fresh air to the breathing zone for all the exposed persons. There were some variations of infection for five exposed persons if the infector changed the position. When the infector sat at P1 which was far from the exhaust, the infection probability was the highest (1.7%) for the exposed persons who sat face to (P6) and near the infector (P2). And the lowest risk (1.1%) happened when the exposed person sat at P6, and the infector was at P4. This means that the safe condition can be achieved when the infector was near the exhaust and exposed person was far from the infector. Furthermore, the exposure level for all the exposed persons was almost lowest at P4. This means the location and effectiveness of the general exhaust were critical for the airborne transmission with the mixing ventilation.

When the heat gain rose to 60 W/m^2 , the supplied airflow rate was 116 l/s . The infection probability should be 1.3% if the full mixed condition was achieved. The infection probability for different exposed persons varied from 0.9% to 1.1% with mixing ventilation at the heat gain of 60 W/m^2 after 3 hours' exposure. Therefore, the infection probability with mixing ventilation at the heat gain of 60 W/m^2 was lower than that under the fully mixed condition. Due to the increasing airflow rate, the exposure level was similar regardless of the location of the infector. This means the location of the infection source may not affect the infection probability if the airflow rate was high enough.

At the heat gain of 38 W/m², when the infector changed the location, the infection risk of exposed persons was just low (0.3% - 0.7 %) for those which were far from the low velocity unit (P1 and P6) after 3 hours' exposure. This is because the cold air from the supply unit with higher density and gravity could achieve full mixing in the zone far from the displacement unit rather than the area near the unit. When the air jet arrived the opposite side of the room from the terminal unit, the supply air can mix with thermal plume s and rise up. When the infector sat at P1 and P2, the infection risk was higher near the supply air unit than other locations except exhaust. The exposure level near the door side was almost the smallest in the space. When the infector sat at P4 (near the supply unit), the riskiest workplace was at P5 (up to 4.0%, higher than fully mixing condition). This is the worst location for the exposed person. The possible reason is that the airflow from the displacement unit helped airborne transmit to the next workplaces. This indicates that the infector is not suggested to sit near the supply unit with displacement ventilation. It is interesting that the best (P1 with 0.3%) and worst (P5 with 4%) condition both happened when the infector was at P4, most near the exhaust.

For the case of 60 W/m² with displacement ventilation, the distribution of infection probability was different from the condition with 38 W/m². Wherever infector seated, there were some persons exposed to higher risk than in the fully mixed condition. The infection probability in the zone far from the supply unit (P1 and P6) was much higher than other workplaces and fully mixing condition when infector was at P1 and P2. Moreover, the solar load on the floor with 60 W/m² may help the mixing effect between the supply flow and room air, which leads to a lower risk near the supply unit (P3 and P4).

Table 1. Infection probability of 5 exposed persons when the location of infector was moved.

MV-38W/m2	P1	P2	P3	P4	DV-38W/m2	P1	P2	P3	P4
Infector at P1	NA	1.4 %	1.4 %	1.3 %	Infector at P1	NA	0.9 %	1.3 %	1.1 %
Infector at P2	1.5 %	NA	1.4 %	1.4 %	Infector at P2	0.5 %	NA	1.3 %	1.3 %
Infector at P3	1.2 %	1.4 %	NA	1.4 %	Infector at P3	0.5 %	0.9 %	NA	1.4 %
Infector at P4	1.1 %	1.2 %	1.2 %	NA	Infector at P4	0.6 %	1.5 %	1.0 %	NA
MV-60W/m2	P1	P2	P3	P4	DV-60W/m2	P1	P2	P3	P4
Infector at P1	NA	0.7 %	0.7 %	0.7 %	Infector at P1	NA	0.5 %	0.5 %	0.6 %
Infector at P2	0.9 %	NA	1.1 %	0.9 %	Infector at P2	1.9 %	NA	0.6 %	0.5 %
Infector at P3	0.9 %	0.9 %	NA	1.0 %	Infector at P3	0.5 %	0.3 %	NA	0.6 %
Infector at P4	0.8 %	0.8 %	0.9 %	NA	Infector at P4	2.2 %	0.9 %	0.6 %	NA

CONCLUSIONS

With mixing ventilation, the average contaminant removal efficiency was between 0.9 and 1.1. However, with displacement ventilation, the tracer gas distribution varied much (from 2.0 ppm to 52.3 ppm) spatially and temporally, and the average contaminant removal efficiency was varied between 0.2 and 10.1.

When the heat gain was increased from 38 W/m² to 60 W/m², the average occupants' exposure after 3 hours with mixing ventilation was decreased from 1.4% to 0.9%. And the corresponding values with displacement ventilation were 1.1% and 0.9%. The infection probability for every exposed person was lower than the fully mixed condition with mixing ventilation.

The infection probability was quite uniform with the mixing ventilation, especially at higher heat gain. The variation of infection probability with displacement ventilation was significant. The highest standard deviation reached 1.4%.

The highest risk can be reached at 4% with displacement ventilation when the infector was located near the supply unit. And the lowest risk was only 0.3%. Therefore, both best and worst situations were achieved with displacement ventilation, indicating that it can offer (in this specific case) superior performance to mixing ventilation if properly designed.

The effect of the infector's locations on the infection probability varied with air distribution methods and heat gains. With mixing ventilation, the infection risk was low if the exposed person sat far from the infector. Also, when the infector sat near the exhaust (P4), the infection probability can be the smallest with 38 W/m². However, this effect was not observed with displacement ventilation. With displacement ventilation, the exposed person who was far from the supply unit (P1 and P6) was safer at lower airflow rate (61 l/s). But with the high airflow rate of 116 l/s, there were higher risk at workstations situated far away from the displacement unit.

ACKNOWLEDGEMENT

The study was supported by SUOJAILMA project funded by the Finnish Work Environment Fund (Grant No. 210099).

REFERENCE

1. Zhao, W., Lestinen, S., Kilpeläinen, S., Yuan, X., Jokisalo, J., Kosonen, R. and Guo, M., 2023. Exploring the potential to mitigate airborne transmission risks with convective and radiant cooling systems in an office. *Building and Environment*, 245, p.110936.

INFEKTIORISKIMALLIN MUUTTUIJEN ANALYYSI CO₂-MITTAUSTEN AVULLA

Sampo Saari¹, Antti Mäkinen², Sakari Uusitalo² ja Jussi-Pekka Juvela²

¹Tampereen Ammattikorkeakoulu, Liiketalous ja media

²Tampereen Ammattikorkeakoulu, Rakennettu ympäristö ja biotalous

TIIVISTELMÄ

COVID-19-pandemia on korostanut sisäilman hygienian tärkeyttä ja taudinaiheuttajien tartuntariskin ymmärtämistä. Ilmanvaihdon ja käyttöasteella on huomattavia vaikutuksia sisätilojen infektioriskiin. Monipuolinen sisäilman CO₂-mittaus mahdollistaa jatkuvan ilmanvaihdon laadun seurannan ja infektioriskin analysoinnin. Tämä artikkeli esittelee tapaustutkimuksen infektioriskianalyysistä luokkahuoneessa erilaisilla ilmanvaihtoasetuksilla luennon aikana CO₂-antureita hyödyntäen. Infektioriskimalli perustuu hyvin tunnettuun Wells-Rileyn malliin. Syöteparametrit, kuten ilmanvaihdon virtausnopeus ja luokkahuoneessa olevien henkilöiden määrä, analysoidaan huoneen CO₂-mittausten perusteella. Tulosten perusteella luokkahuoneen ilmanvaihto, käyttöaste ja infektioriski voidaan arvioida CO₂-mittausten perusteella.

JOHDANTO

COVID-19-pandemia on korostanut sisäilman laadun ja hygienian kriittistä tärkeyttä. Pandemian tehokas hallinta edellyttää terveyden ja turvallisuuden arviointia suljetuissa tiloissa, kuten erilaisissa sisäympäristöissä ja liikennevälineissä. COVID-19-viruksen kontekstissa infektioiden riskin arviointi sisätiloissa on tärkeää viruksen leviämisen ymmärtämiseksi ja lieventämiseksi.

Ilmavälitteisesti tapahtuvan tartunnan riskiä voidaan arvioida laajasti käytössä olevalla Wells-Rileyn infektioriskimallilla /1/. Arvio kattaa monitahoisen lähestymistavan, joka ottaa huomioon mm. sisäilman laadun, ilmanvaihdon tehokkuuden, tilan käyttöasteen ja altistumisen keston. Koska virus leviää pääasiassa hengitystie-eritteiden ja aerosolien kautta, infektioriskin arvioiminen edellyttää näiden hiukkasten dynamiikan tarkastelua suljetuissa tiloissa. Infektioriskin arvioinnin keskeisiin seikkoihin kuuluvat:

- Ilmanvaihtojärjestelmien tehokkuus ilmassa leviävien patogeenien laimentamisessa ja poistamisessa
- Henkilöiden määrä tietyssä tilassa ja sosiaalisen etäisyyden suositusten noudattaminen
- Aika, jonka yksilöt viettävät yhteisessä tilassa

Edellä mainittujen arvioiden huomioon ottamiseksi voi olla hyödyllistä käyttää jatkuvaa ympäristötekijöiden seurantaa, mukaan lukien CO₂-tasot, kuten Zivelonghi et.al. /2/ ehdottavat, mikä voi antaa jatkuvan indikaation infektioriskistä tietyssä tilassa. Lisäksi riskien hallinta edellyttää ymmärrystä tilojen käytöstä, käyttöajoista, mikä auttaa mukauttamaan infektioiden riskinarvioita tiettyihin skenaarioihin ja voi mahdollistaa kohdennetut ennaltaehkäisevät toimenpiteet. Wells-Rileyn mallia käytetään usein infektioriskin arvioimiseen rakennuksissa, joissa ilmanvaihto- ja käyttöasteet ovat

tiedossa. Wells-Rileyn yhtälön käyttö perustuu useisiin oletuksiin, kuten patogeenien täydelliseen sekoittumiseen kyseisessä tilassa.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan mahdollisuuksia arvioida jatkuvan CO₂-seurannan avulla ilmanvaihdon tehokkuutta tiloissa ja siellä olevien henkilöiden lukumäärää. Tutkimus esittää käytännön tapaustutkimuksen infektioiden riskianalyysistä luokkahuoneessa eri ilmanvaihtoasetuksilla luentojen aikana. Tavoitteena on luoda esimerkkimalleja tapaustutkimuksen perusteella osoittaen, miten infektioiden riski voidaan määrittää laskennallisesti jatkuvasti tilankäytön aikana. Hyödyntäen rakennusautomaatiojärjestelmien keräämiä tietoja, tämä tutkimus pyrkii antamaan näkemyksiä infektioiden riskin dynaamisesta arvioinnista, hyödyntäen CO₂-mittauksien tarjoamia jatkuvan seurannan mahdollisuuksia. Mittaukset suoritettiin vuonna 2023.

MENETELMÄT

Mittausympäristö

Koetilanteet toteutettiin Tampereen Ammattikorkeakoulun luokkahuoneessa. Luokkahuoneen lattiapinta-ala on noin 71,4 m² ja kokonaisilmatilavuus on 194,6 m³. Seurantatapaukset olivat noin kahden tunnin mittaisia oppitunteja, joissa oli yleensä keskellä n. 15 minuutin tauko. Jokaisen oppitunnin aikana paikalla oli opettaja ja noin 20 opiskelijaa. Luokkahuoneessa on sekoittava ilmanvaihto. Tässä tapaustutkimuksessa tutkittiin kolmea eri ilmavirtausta: Tapaus 1 (130 l/s), Tapaus 2 (200 l/s) ja Tapaus 3 (285 l/s).

Mittauslaitteisto

Kokeissa käytettiin kahta kaupallisesti saatavilla olevaa CO₂-anturia, jotka molemmat olivat Miranin valmistamia ja niitä myy Suomessa Pietiko Oy. Käytetyt anturityypit olivat MIRAN DLS IAQ.THB+CO₂+DP ja MIRAN DLS IAQ.THB+CO₂+TVOC. Anturit toimivat paristoilla, joten niihin ei tarvittu sähköjohtoja, jotka häiritsisivät luokan normaalia toimintaa (ks. kuva 1). Data kerättiin jatkuvasti pilveen Miranlink-verkkosivuston kautta. Mittaukset koostuivat 11 hiilidioksidianturista, jotka sijoitettiin eri osiin luokkahuonetta. Kolme anturia sijoitettiin huoneen poistoilmaventtiileihin ja yksi anturi asetettiin tuloilmakanavaan.



Kuva 1. MIRAN DLS IAQ.THB+CO₂-TVOC sisäilma-anturi.

Parametrit infektioiden riskin arvioimiseksi

Ilmalevitteisen COVID-19-viruksen ja uusien tartuntatapausten (N_C) infektioiden riski voidaan laskea Loomans et.al. esittämällä Wells-Riley-mallilla /3/:

$$N_C = N(1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q_S}}) \quad (1)$$

jossa N on ihmisten lukumäärä tilassa, I on tilassa olevien tartunnan saaneiden ihmisten määrä, q (1/h) on tilassa tuotettujen niin kutsuttujen tarttuvien emission määrä yhden tartunnan saaneen henkilön toimesta, p (m^3/h) on henkilön hengitystilavuuden virtausnopeus, t (h) on altistumisaika ja Q_S (m^3/h) on tuloilmavirta. Laskelmissa arvioimme, että tilassa oli yksi tartunnan saanut henkilö. Arvioimme COVID-19-virus emission arvoksi 100 1/h, mikä on lähellä hiljaisen puheen arvoa /4/. Käytimme arvoa 0,5 m^3/h hengitystilavuuden virtausnopeutena, mikä on tyypillinen levossa olevalle aikuiselle. /3/. Ilmanvaihdon virtausarvot on määritelty alla.

Infektoriski (R) lasketaan uusien tartuntatapausten (N_C) ja tilassa olevien ihmisten (N) suhteena:

$$R = N_C/N \quad (2)$$

Parametrien laskenta CO₂-mittausten avulla

Hiilidioksidipäästöt huoneessa lasketaan keskimääräisen pitoisuuseron perusteella poistoilman ja tuloilman välillä:

$$\Delta CO_2 = CO_{2_{Exh}} - CO_{2_{Sup}} \quad (3)$$

Ilmanvaihtokerroin (ACH) lasketaan mitatun ΔCO_2 laskunopeuden (λ , 1/min) perusteella luentojen jälkeen käyttäen eksponentiaalista sovitusfunktiota:

$$\Delta CO_2(t) = \Delta CO_2(0) * e^{-\lambda t} \quad (4)$$

$$ACH = 60 * \lambda \quad (5)$$

Hiilidioksidin laskun nopeus (λ , 1/min) mitattiin minuuteissa, joten kerrottaessa tämä 60:llä saadaan ilmanvaihtokerroin tunnissa. Tuloilmavirran suuruus lasketaan huoneen kokonaistilavuudesta ja ilmanvaihtokertoimesta:

$$Q_S = V * ACH \quad (6)$$

Henkilöiden lukumäärä tilassa (N) lasketaan Finvac-dokumentin /5/ perusteella, jossa tasapainotilan pitoisuus $\Delta CO_{2_{SS}}$ määritellään seuraavasti:

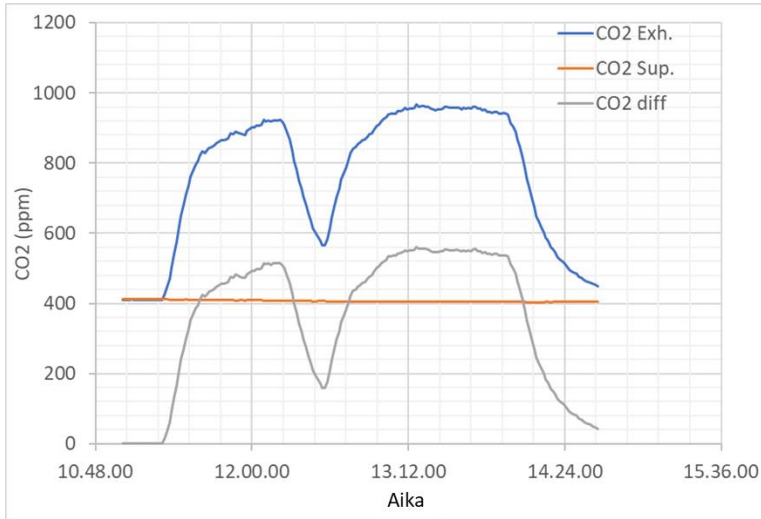
$$\Delta CO_{2_{SS}} = \frac{1000}{3.6} * \frac{N * CO_{2_{EPP}}}{Q_S} \quad (7)$$

$$N = \frac{3.6}{1000} * \frac{Q_S * \Delta CO_{2_{SS}}}{CO_{2_{EPP}}} \quad (8)$$

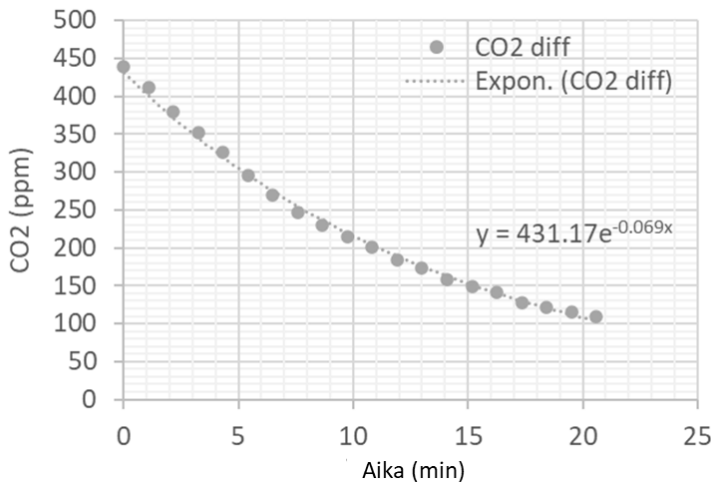
jossa $CO_{2_{EPP}}$ on CO₂-päästö henkilöä kohden (L/h). Käytimme $CO_{2_{EPP}}$:n arvona 21.6 L/h, joka on tyypillinen opetustilanteelle /5/.

TULOKSET

Esimerkki CO₂-pitoisuuksista poistoilmassa, tuloilmassa ja niiden erotuksesta tapauksen 2 luentojakson aikana on esitetty kuvassa 2. Kuvasta näkee hyvin CO₂-pitoisuuden nousun luentojen aikana sekä laskun luentojen välissä sekä luentojen jälkeen. CO₂-pitoisuuden laimenemisen sovitusfunktio sovitettiin dataan viimeisen luennon jälkeen, kun kaikki olivat poistuneet huoneesta. Tauko kahden luennon välillä olisi toinen vaihtoehto sovittaa hajoamisfunktio, mutta tällöin luokka ei ollut täysin tyhjä, koska osa opiskelijoista jäi luokkaan tauon aikana. Esimerkki CO₂-hajoamisnopeudesta ja sovitusfunktioista on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2. Mitatut CO₂-pitoisuudet poistoilmasta (CO₂ Exh.), tuloilmasta (CO₂ Sup.) sekä näiden erotus (CO₂ diff) Tapaus 2 luennon aikana.



Kuva 3. Esimerkki CO₂-erotuspitoisuuden (poisto - tulo) laimenemisnopeudesta ja sen sovitefunktioista luennon jälkeen.

Eri ilmanvaihtoasetusten ilmanvaihdon lasketut parametrit ja laskettu infektioriski on esitetty taulukossa 1. Ilmanvaihtokertoimet (ACH) laskettiin laimennusovitteesta yhtälöiden (4) ja (5) perusteella. Tuloilman virtausnopeudet (Q_S) laskettiin Yhtälön (6) perusteella. Viitearvot tuloilman virtausnopeudelle laskettiin ilmanvaihdon automaatioasetusten perusteella paine-eron ja k-arvon perusteella. Tasapainotilan CO_2 -pitoisuudet ($\Delta\text{CO}_{2\text{SS}}$) luentojen aikana määriteltiin luennon maksimiarvojen perusteella. Tilan henkilöiden määrä (N), eli läsnä olevien henkilöiden määrä, laskettiin Yhtälön (8) perusteella. Viitearvot läsnäololle saatiin luentojen opettajalta. Altistumisaika (t) määriteltiin luentojen keston perusteella. Infektioriski ja uudet tartuntatapaukset laskettiin Yhtälöiden (1) ja (2) perusteella.

Taulukko 1. CO_2 -mittausten perusteella lasketut parametrit ja referenssiarvot.

Parametri	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
ACH (1/h)	2.1	4.1	5.5
Q_S (L/s), (CO_2 -laskenta)	169	224	298
Q_S (L/s), (referenssi)	130	200	285
$\Delta\text{CO}_{2\text{SS}}$ (ppm)	745	550	410
N, (CO_2 -laskenta)	21	21	20
N, (referenssi)	21	22	22
t (h)	1.18	1.42	1.25
N_C	1.9	1.8	1.1
Infektioriski (%)	9.2	8.4	5.7

CO_2 -mittauksista lasketut tuloilmavirran suuruudet osoittivat hieman suurempia arvoja verrattuna viitearvoihin, mutta trendi oli samanlainen. Erotus oli suurempi pienemmällä tuloilmavirralla. Ei ole selvää, mikä aiheuttaa eron, mutta on muistettava, että myös viitearvon mittauksessa voi olla virhe. Yksi selitys voi olla ilman vuotaminen luokan vieressä olevasta käytävästä, mikä voi korostua, kun mekaanista ilmanvaihtoa on vähemmän.

Lasketut henkilömäärät huoneessa näyttivät samankaltaisilta kuin viitearvot, mikä viittaa siihen, että menetelmä on sovellettavissa läsnäolon arviointiin. On huomioitava, että näiden lukujen laskeminen sisältää epävarmuuksia tuloilmavirran määrän, tasapainotilan CO_2 -pitoisuuden ja henkilökohtaisen CO_2 -päästön määrän kohdalla. Infektioiden riski ja uudet tartuntatapaukset osoittivat trendin, jossa suurempi ilmanvaihtokerroin vähensi infektioiden riskiä. Esimerkiksi, kun ACH kasvoi 2.1:stä 4.1:een, infektioiden riski laski 9.2 %:sta 8.4 %:iin.

YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa suoritimme infektioiden tartuntariskinarvioinnin kolmessa tapausesimerkissä CO₂-seurannan perusteella ja esittelimme mekanismin, jonka avulla voimme tietyin oletuksin määrittää infektoriskin. Tuloksena esitämme, että kun menetelmä integroidaan rakennusautomaatiojärjestelmään, infektioiden riskitasoa voidaan arvioida automaattisesti rakennuksen toiminnan aikana. Tämä voidaan saavuttaa hyödyntämällä rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyä CO₂-anturia ja tiettyä algoritmia, joka tunnistaa CO₂-kyllästymisen tason ja laimennusnopeuden, mahdollistaen arvion yksilöiden määrästä tietyssä tilassa ja ilmanvaihdon riittävydestä.

CO₂-seurannan integroiminen rakennusautomaatiojärjestelmiin, joita täydennetään keskeisiä parametreja tunnistavilla algoritmeilla, tarjoaa lupaavan lähestymistavan toiminnan aikaiseen infektioiden riskinarvointiin. Hyödyntämällä olemassa olevia anturiteknologioita ja kehittyneitä algoritmeja tämä lähestymistapa voi tarjota proaktiivisen ja automatisoidun tavan arvioida sisäympäristön turvallisuutta. Lisäksi se ottaa huomioon CO₂-kyllästymiskuviot ja vaihtelut, parantaen infektioiden riskinarvioinnin tarkkuutta ja mahdollistaen monipuolisemman käsityksen mahdollisista uhkista eri skenaarioissa.

Tuloksemme havainnollistavat talotekniikan automaatiojärjestelmiin integroidun infektoriskin seurannan potentiaalista merkitystä, erityisesti ympäristöissä, joissa ihmisten läsnäolo vaihtelee. Tämän lähestymistavan automaattinen luonne vähentää manuaalisten arviointien tarvetta ja mahdollistaa jatkuvan infektoriskilaskennan suurelle määrälle sisätiloja. Lisäksi esitetty metodologia voi toimia arvokkaana työkaluna tilojen hallinnoijille, terveydenhuollon ammattilaisille ja päättäjille, jotka pyrkivät lieventämään infektioiden riskejä moninaisissa ympäristöissä.

Jatkossa on olennaista suorittaa lisätutkimuksia esitetyn metodologian validoinnissa ja hienosäätämässä erilaisissa todellisissa ympäristöissä. Erityisesti CO₂ kyllästymistason ja laimenemisnopeuksien tunnistamista varten on rakennettava ja testattava algoritmia käytännön soveltuvuuden ymmärtämiseksi.

LÄHDELUETTELO

1. C.J. Noakes, P.A. Sleight, Mathematical models for assessing the role of airflow on the risk of airborne infection in hospital wards, J. R. Soc. Interface. 6 (2009)
2. Zivelonghi, Alessandro, and Massimo Lai. "Mitigating aerosol infection risk in school buildings: the role of natural ventilation, volume, occupancy and CO2 monitoring." Building and Environment 204 (2021)
3. M. Loomans, A. Boerstra, F. Fanchimon, C. Wisse. Calculating the risk of infection, REHVA Journal, October (2020).
4. G. Buonanno, L. Morawska, L. Stabile, Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications, Environ. Int. (2020)
5. Finvac, Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. (2019). https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_ilmanvaihdon_mitoitukseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_LUONNOS18062019.pdf

ILMANPUHDISTIMIEN ENERGIANKULUTUS – TAPAUSTUTKIMUS KAHDESSA PÄIVÄKODISSA

Arto Säämänen¹, Inga Ehder-Gahm¹, Anni Luoto², Piia Sormunen³ ja Ilpo Kulmala¹

¹VTT Oy, Tampere

²Granlund Oy, Helsinki

³Tampereen yliopisto, Tampere

TIIVISTELMÄ

Oikein valitut huoneilmanpuhdistimet voivat lisätä laimentavan ilmapirran määrää huoneessa ja auttaa infektioiden hallinnassa vähentämällä patogeenien pitoisuutta sisäilmassa. E3 tutkimushankkeessa tehtiin interventiotutkimus siirrettävien huoneilmanpuhdistimien vaikutuksesta infektoriskiin. Tutkimuksessa asennettiin 45 ilmanpuhdistinta 40 eri huoneeseen kahdessa päiväkodissa Helsingissä. Ilmanpuhdistaminen sähkönkulutusta seurattiin intervention aikana älypistorasiodien avulla. Artikkelissa esitetään ilmanpuhdistimien energiankulutus kolmen kuukauden mittausjakson aikana. Tuloksia voidaan hyödyntää suunniteltaessa kustannustehokkaita ja joustavia keinoja vähentää henkilöiden altistumista patogeeneille erityistilanteissa, kuten pandemian aikana.

JOHDANTO

Covid-19-pandemia on paljastanut SARS-CoV-2-viruksen ilmateitse tapahtuvan leviämisen merkityksen osana eri leviämisreittejä ja tarpeen hallita infektioiden leviämistä ilmateitse rakennuksissa. Yksi keskeisistä teknisistä toimenpiteistä tartuntariskin vähentämiseksi on elinkykyisten patogeenien pitoisuuden laimentaminen infektiotavalla ilmassa. Yleensä rakennusten ilmanvaihdon ilmapirrat perustuvat standardeihin, joiden tarkoituksena on tarjota asukkaille terveellinen sisäilman laatu normaaleissa olosuhteissa [1]. Kuten monissa tutkimuksissa on osoitettu, ilmanvaihdon raitisilmavirtojen riittämättömyys edistää viruksen leviämistä [2]. Siksi pandemian aikana ilmanvaihdon lisääminen on erittäin suositeltavaa. Eri organisaatiot ovatkin julkaisseet useita ohjeita ilmanvaihdon parantamiseksi pandemioiden aikana [3-6].

COVID-19-pandemia on myös saanut useat tutkijat kehittämään malleja ilmateitse leviävien infektioiden leviämiskäynnin ennustamiseksi. Kaikki mallit osoittavat, että sisäilman patogeenipitoisuus on kääntäen verrannollinen puhtaaseen, infektiotavapaaseen ilmapirraan [5, 7-12]. Ilmapirran lisääminen johtaa pienempään altistumiseen ja siten pienempään tartunnan leviämiskäynnin. Vaihtoehtoja altistumisen vähentämiseksi ovat ulkoilmapirran lisääminen, kiertoilman suodatuksen parantaminen tai huoneilmanpuhdistimien käyttö.

Ilmanpuhdistimia on käytetty laajalti ilmassa leviävien patogeenien hallitsemiseksi erilaisissa sisätiloissa. Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että ne vähentävät tehokkaasti sisäilman aerosolipitoisuuksia [13]. Niiden energiansäästöpotentiaaliin ei kuitenkaan ole kiinnitetty paljon huomiota. Osana laajaa E3 tutkimushanketta tutkitaan huonekohtaisten ilmanpuhdistimien käyttöä pandemiaolosuhteissa vaadittavan puhtaan ilman tuottamiseen ja tässä esityksessä keskitymme lisääntyneen ilmanpuhdistuksen energiakustannuksiin.

MATERIAALI JA MENETELMÄT

Tämä työ on osa interventiotutkimusta, jossa tutkittiin huoneilmanpuhdistimien vaikutusta infektiorisktiin. Yhteensä 45 ilmanpuhdistinta asennettiin 40 huoneeseen kahdessa päiväkodissa Helsingissä. Niiden käytön aikana jokaisen puhdistimen virrankulutusta seurattiin jatkuvasti.

Päiväkodit

Tutkimus toteutettiin kahdessa helsinkiläisessä päiväkodissa, joissa oli 110 (päiväkoti A) ja 123 (päiväkoti B) 1–6-vuotiaasta lasta. Henkilökuntaa päiväkodissa A oli 19 ja päiväkodissa B 21 henkilöä. Päiväkodin A kerrosala oli noin 1000 m² ja päiväkoti B:n noin 900 m². Molemmissa päiväkodeissa oli lämmön talteenotolla varustettu koneellinen ilmanvaihto. Päiväkodin A ja B:n päivähoitotilojen ulkoilmavirrat olivat 2,1 m³/s ja 2,9 m³/s.

Ilmapuhdistimet

Tässä tutkimuksessa käytettiin yhteensä 10 erilaista ilmapuhdistinmallia. Käytettyjen ilmapuhdistimien suodatintyypit ja puhtaan ilman tuotot esitetään taulukossa 1. Laitteet oli varustettu tehokkailla hiukkassuodattimilla, ja monissa niistä oli myös aktiivihiihluosodatin hajujen ja muiden kaasumaisten epäpuhtauksien poistamiseksi. Ilmapuhdistimien puhtaan ilman tuotto hiukkasilla mitattiin laboratoriossa ennen asennusta, ja ne vaihtelivat välillä 240–1500 m³/h tässä tutkimuksessa käytetyillä ilmapuhdistimien asetuksilla (taulukko 1). Kaikkia ilmapuhdistimia ei ollut mahdollista käyttää täydellä puhallusnopeudella niiden aiheuttaman melun vuoksi. Ilmapuhdistimet pyrittiin valitsemaan siten, että huoneen ilmanvaihtuvuus saatiin noin kaksinkertaistumaan. Yleensä huoneessa oli yksi ilmapuhdistin, mutta muutamassa suuremmassa huoneessa niitä oli kaksi. Ilmapuhdistimien aikaansaama puhtaan ilman tuoton yhteismäärä oli päiväkodissa A 3,15 m³/s ja päiväkodissa B 2,64 m³/s. Ilmapuhdistimien mitoituslaskennassa oli otettu huomioon tilojen käyttöaste ja toiminta [14].

Taulukko 1. Ilmapuhdistimien ominaisuudet. AC= aktiivihiihlu.

Ilmapuhdistin	Suodattimet	Puhtaan ilman tuotto (m ³ /h)
1	Esisuodatin + H11+AC	1260
2	Esisuodatin+H11+AC	770
3	Esisuodatin+H13	1500
4	H11	650
5	F8 + H11 + AC	240
6	Esisuodatin+H13+AC	320
7	H13	320
8	H13	520
9	Esisuodatin+H13+AC	590
10	H12+AC	450

Energiankulutus

Huoneilmanpuhdistimien energiankulutus rekisteröitiin virrankulutusta seuraavilla älypistorasioilla (Denver SHP-200, Denver Electronics A/S ja Nedis WIFIP0120FWT, WiFi Smart Plug, Nedis BV). Jokaisen ilmapuhdistimen energiankulutus tallennettiin

kuukausitasolla ja kummankin päiväkodin kaikkien ilmanpuhdistimien sähköenergian kokonaiskulutus laskettiin yhteen. Pystyimme keräämään luotettavaa dataa kolmelta kuukaudelta helmikuusta 2023 huhtikuuhun 2023.

Tilastokeskuksen mukaan sähkön kokonaishinta (sis. energian, jakelun ja verot) vaihteli välillä 14,2–18,2 snt/kWh helmikuusta 2023 huhtikuuhun 2023 [15]. Laskelmissa käytettiin sähkön keskimääräistä hintaa 16 snt/kWh.

TULOKSET

Molempien päiväkotien ilmanvaihtojärjestelmät oli suunniteltu ilmavirtasuositusten mukaisesti. Päiväkodissa A keskimääräiset ulkoilmavirrat olivat 11,7 l/s/hlö ja B-päiväkodissa 14,0 l/s/hlö. Asennetut ilmanpuhdistimet lisäsivät hiukkaskvapaita ilmavirtoja päiväkodissa A 15,9 l/s/henkilö ja päiväkodissa B 12,3 l/s/henkilö laskettuna huoneiden keskimääräisestä käyttöasteista. Huoneiden maksimikäytössä puhdistimien tuottama ilmavirtojen lisäys oli 12,1 l/s/hlö (päiväkoti A) ja 7,4 l/s/hlö (päiväkoti B).

Ilmanpuhdistimien sähköenergian kulutus riippui mallista, tyypistä, käyttöajasta ja käytetystä puhaltimen nopeudesta. Puhdistimien kuukausittainen sähköntarve vaihteli välillä 2,2 kWh/kk - 82,7 kWh/kk, kun mediaani päiväkodissa A oli 17,2 kWh/kk ja päiväkodissa B 6,7 kWh/kk. Päiväkodin mitattu kuukausittainen sähkönkulutus vaihteli hieman kuukauden toimintapäivien lukumäärän mukaan.

Ilmanpuhdistimien ominaissähköteho käytetyillä asetuksilla vaihteli paljon olleen 0,17–1,26 kW/(m³/s) keskiarvon ollessa 0,475 kW/(m³/s). Vaihtelu riippui huoneilmanpuhdistimien rakenteesta ja käytetyistä osista, kuten puhaltimesta, hiukkassuodattimista, mahdollisesta aktiivihiihisuodattimesta jne. Kuten aiemmin mainittiin, ilmanpuhdistimien asetukset (esim. puhallinnopeus) vaihtelivat päiväkodin tilan ja sen käyttötarkoituksen mukaan. Tämä vaikutti myös tässä tutkimuksessa mitattuun energiankulutukseen.

Päiväkodissa A ja B mitattu ilmanpuhdistimien kolmen kuukauden sähkönkulutus oli 1446 kWh ja B:ssä 814 kWh, jolloin sähkökustannukset (16 snt/kWh) olivat 231 € ja 130 €. Jos oletetaan, että ilmanpuhdistimien sähköenergian kulutus ei riipu vuodenaajasta, saadaan arvioiduiksi vuotuisiksi sähkökustannuksiksi 924 € ja 520 €. Tämä tarkoittaa, että ilmanpuhdistimien kuluttaman energian vuosihinta päiväkodissa A on 7,17 €/hlö ja päiväkodissa B 3,62 €/hlö.

POHDINTA

Normaalisti ilmavirrat mitoitetaan siten, että hyvä sisäilman laatu säilyy rakennuksen normaalissa toiminnassa. Tyypilliset raitisilmavirran arvot ovat 8–10 l/s/henkilö, jolloin ihmisen aineenvaihdunnasta johtuvat sisäilman CO₂-pitoisuudet pysyvät alle 1000 ppm:ssä. Ilmanvaihdon lisääminen parantaa ilmanlaatua, mutta samalla lisää energiankulutusta. Raitisilmavirran lisäämisen 12 l/s:sta 24 l/s:aan henkilöä kohden on havaittu vähentävän lyhytaikaisia sairauspoissaoloja [16]. Vaikka rakennuksen suunniteltu ilmavirta toimii hyvin normaalitilanteessa, se saattaa olla riittämätön pandemioiden aikana. Suositellut puhtasilmavirrat vaihtelevat välillä 10:stä yli 14 l/s/henkilö [4] jopa 15–45 l/s/hlö [6].

Tutkittujen päiväkotien ilmanpuhdistimet ja niiden sijoituspaikat valittiin siten, että tartuntariskissä olevien henkilöiden määrä alenee merkittävästi [14, 17]. Riskiperusteisen lähestymistavan avulla sairastuneiden määrä onnistuttiin minimoimaan

siten, että alustavien tulosten mukaan ensimmäisen interventiojakson aikana lyhytaikaiset sairauspoissaolot vähenivät 32 prosenttia [17]. Havainto täytyy kuitenkin varmentaa toisella interventiojaksolla, joka on parhaillaan käynnissä.

Tutkituissa päiväkodeissa ilmavirrat noudattivat minimisuositusta. Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto noin kaksinkertaisti ilmavirrat, jolloin keskimääräiset infektiövapaat ilmavirrat olivat 27,6 l/s/henkilö ja 26,3 l/s/henkilö. Nämä ovat linjassa infektioiden leviämisen hallintaan suositeltujen ekvivalenttien ilmavirtojen kanssa [6]. Lisääntynyt energiankulutus on yksi este suurempien ilmavirtojen käyttöön nykyisillä ilmanvaihtojärjestelmillä. Myös järjestelmän tekniset rajoitukset (esim. puhaltimet, lämmitys-/jäähdytyspatterit, kanavat, tuloilman sisääntulot) voivat olla toinen, vielä suurempi este ilmavirtojen kaksinkertaistamiselle nykyisillä laitteilla. Toisaalta meillä on tarve tehostaa ilmanvaihtoa odottamattomien tapahtumien aikana. Tässä ilmanpuhdistimet voivat olla yksi mahdollinen ratkaisu.

On huomattava, että vain hiukkassuodattimilla varustetut ilmanpuhdistimet eivät poista kaasumaisia epäpuhtauksia. Kuitenkin useimmat mm. tässä tutkimuksessa käytetyistä laitteista oli varustettu aktiivihiilisuodattimilla, jotka ovat tehokkaita useille VOC-yhdisteille ja otsonille, mutta eivät poista hiilidioksidia. Siksi ilmanvaihtojärjestelmän raitisilmavirran lisääminen johtaa alhaisempiin CO₂-tasoihin verrattuna ilmanpuhdistimien käyttöön. Tämä ei todennäköisesti ole kriittinen tekijä, jos ilmanvaihto on riittävä normaalitilanteessa. Mutta se voi olla ongelma tiloissa, joissa on riittämätön ilmanvaihto. Muita ilmanpuhdistimien kanssa huomioon otettavia asioita ovat melutaso, ilmavirtausten mahdollisesti aiheuttama vedon tunne ulospuhalluksen lähellä sekä huollon ja suodattimen vaihdon helppous. Todellisuudessa olemassa olevien rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät ovat monissa tapauksissa suunniteltu tietyille ilmavirroille, eikä niitä välttämättä ole helppo muuttaa ilmanvaihdon lisäämiseksi. Siksi ilmavirtojen merkittävä lisääminen nykyisillä järjestelmillä ei välttämättä ole realistista nopeaa reagointia vaativissa tilanteissa.

Siirrettävät huoneilmanpuhdistimet ovat ketterä ja kustannustehokas tapa lisätä puhtaan ilman tuottoa tilanteissa, joissa tarvitaan ilmanvaihdon tehostamista nopeasti. Kaikkien ilmanpuhdistimien keskimääräinen ominaissähköteho oli 0,475 kW/(m³/s), mikä vastaa hyvin aiemmissa tutkimuksissa havaittua energiankulutusta [18]. Pandemiatilanteen lisäksi ilmanpuhdistimet voivat olla toteuttamiskelpoinen ratkaisu myös muiden ilmansaaste-episodien aikana.

On syytä huomata, että tässä tutkimuksessa keskityttiin vain energiakustannuksiin. Elinkaarikustannuksia arvioitaessa olisi otettava huomioon myös investointikustannukset ja muut käyttökustannukset. Nämä ovat paljon suuremmat kuin pelkät energiakustannukset. Toisaalta ilmanlaadun paraneminen voi tuoda kustannussäästöjä vähentämällä esimerkiksi sairauspoissaoloja [16, 17]. Ilmanpuhdistimien käytön hyötyjen tarkempaa analysointia varten tarvitaan tietoa ilmanpuhdistimien käytön kokonaiskustannuksista ja toisaalta yhteiskunnallisten vaikutusten arvioimista.

LÄHDELUETTELO

1. EN16798-3:2017, Energy Performance of Buildings—Ventilation for Buildings—Part 3: For Non-Residential Buildings—Performance Requirements for Ventilation and Room-Conditioning Systems; CEN 2017. 2017.

2. Thornton, G.M., et al., The impact of heating, ventilation, and air conditioning design features on the transmission of viruses, including the 2019 novel coronavirus: A systematic review of ultraviolet radiation. *PLOS ONE*, 2022. **17**(4): p. e0266487. [10.1371/journal.pone.0266487](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266487)
3. WHO, Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. 2021.
4. Lancet, Proposed Non-infectious Air Delivery Rates (NADR) for Reducing Exposure to Airborne Respiratory Infectious Diseases. 2022, THE LANCET COVID-19 COMMISSION. <https://covid19commission.org/s/Lancet-Covid-Commission-TF-Report-Nov-2022.pdf>
5. Kurnitski, J., et al., Post-COVID ventilation design: Infection risk-based target ventilation rates and point source ventilation effectiveness. *Energy and Buildings*, 2023. **296**: p. 113386. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113386>
6. ASHRAE, ASHRAE 241-2023 Control of Infectious Aerosols. 2023, American Society for Heating, Refrigeration, Air-Conditioning Engineers.
7. Riley, E.C., G. Murphy, and R.L. Riley, Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School. *American Journal of Epidemiology*, 1978. **107**(5): p. 421 - 432.
8. Nicas, M., W.W. Nazaroff, and A. Hubbard, Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2005. **2**(3): p. 143-154. [10.1080/15459620590918466](https://doi.org/10.1080/15459620590918466)
9. Noakes, C.J., et al., Modelling the transmission of airborne infections in enclosed spaces. *Epidemiology & Infection*, 2006. **134**(5): p. 1082-1091. [10.1017/S0950268806005875](https://doi.org/10.1017/S0950268806005875)
10. Gammaitoni, L. and M.C. Nucci, Using a Mathematical Model to Evaluate the Efficacy of TB Control Measures. *Emerging Infectious Disease journal*, 1997. **3**(3): p. 355-342.
11. Buonanno, G., et al., Link between SARS-CoV-2 emissions and airborne concentrations: Closing the gap in understanding. *Journal of Hazardous Materials*, 2022. **428**: p. 128279. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128279>
12. Aganovic, A., et al., Zonal modeling of air distribution impact on the long-range airborne transmission risk of SARS-CoV-2. *Applied Mathematical Modelling*, 2022. **112**: p. 800-821. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2022.08.027>
13. Liu, D.T., et al., Portable HEPA Purifiers to Eliminate Airborne SARS-CoV-2: A Systematic Review. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 2022. **166**(4): p. 615-622. <https://doi.org/10.1177/01945998211022636>
14. Mattila, I., et al. Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien mitoituksen optimointi, Case päiväkot. in *Sisäilmastoseminaari*. 2023. SIY Sisäilmätieto Oy.
15. StatisticsFinland. Price of electricity by type of consumer. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/table/tableViewLayout1/

16. Milton, D.K., P.M. Glencross, and M.D. Walters, Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints. *Indoor Air*, 2000. **10**: p. 212-221.
17. Kulmala, I., et al., Ilmanpuhdistimien laskennallinen vaikutus hengitystieinfektioihin, in *Sisäilmastoseminaari 2024*. 2024, SIY Sisäilmatieto Oy: Helsinki.
18. Noh, K.-C. and S.-J. Yook, Evaluation of clean air delivery rates and operating cost effectiveness for room air cleaner and ventilation system in a small lecture room. *Energy and Buildings*, 2016. **119**: p. 111-118.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.027>

MIKROBIT JA RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS

RAJOITTAAKO TYPENSAANTI HOMEEN PITKÄKESTOISTA KASVUA KOSTEASSA SELLULOOSAPERÄISESSÄ MATERIAALISSA?

Maria A. Andersson

Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos

TIIVISTELMÄ

Homeet hajottavat selluloosaa ja tärkkelystä, mutta on epäselvää rajoittaako typensaanti homeen pitkäkestoista kasvua kosteassa selluloosaperäisessä materiaalissa. Käyttämättömästä kipsilevystä eristettiin vallitsevana bakteerina *Paenibacillus polymyxa* kaltainen itiöllinen sauvabakteeri. *Paenibacillus* sukuun kuuluvat lajit tunnetaan typensitojina. Tiheään *Stachybotrys*-homekasvuston peittämästä kipsilevyn pahvista eristettiin valtalajeiksi tunnistettuja *Agrobacterium/Rhizobium* sekä *P. polymyxa*, *P. macerans*, *B. amyloliquefaciens* ja *B. pumilus* kantoja, jotka tunnetaan tyyppä sitovina bakteerisukuina. Bakteerien ja homeiden synergisiä suhteita kuten typensidontaa rakennusmateriaaleissa ei ole aikaisemmin tutkittu.

TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Monet ascomykeetteihin kuuluvat rihmasienet, ns. homeet, hajottavat hiilenlähteenään selluloosaa, hemiselluloosaa ja tärkkelystä. Kipsilevy tunnetaan helposti kostuvana ja hitaasti kuivuvana materiaalina /1,2,3/. Koska kipsilevyt on valmistettu pahvista ja liimasta, ne tarjoavat runsaan hiilen lähteen ja edullisen kasvumateriaalin monelle sellulolyttiselle homelajille/1,2/. *Stachybotrys* homeet muodostivat tiheitä ja pitkäikäisiä kasvustoja kipsilevyissä /1,2,3,4,5/.

Tyyppi on välttämätön kaikille eläville lajeille. Homeet eivät pysty sitomaan ilmakehän molekylaarista tyyppiä ja muuttamaan sitä orgaanisten yhdisteiden synteeseihin tarvittavaan muotoon /6/. Tähän pystyvät vain muutamat bakteerit ja arkeonit. Bakteerisuvut, jotka sitovat tyyppiä ovat mm. Firmikuutit, (*Bacillus* ja *Paenibacillus* suvut) Proteobakteerit (*Agrobacterium-Rhizobium* suvut) /6,7,8,9/. Salo /10/ osoitti että hiipunut *Aspergillus westerdijkiae* kannan kasvu steriilissä kipsilevyn pahvissa elpyi typen lisäyksen jälkeen. Steriili pahvi saattoi olla tyypiköyhä ja homesienet saattavat siinä pitkään kasvaessaan olla riippuvaisia ulkopuolisesta typenlähteestä.

Vaikka tyyppiä sitovat bakteerit ovat kasvien ja maaperän yhteydessä tutkittu paljon/11,12,13/, niiden yhteydestä homesieniin ei ole juurikaan tietoa, eikä homeiden typensaantia tyypiköyhissä rakennusmateriaaleissa ei ole juuri tutkittu. Tässä työssä verrataan homeisen vesivahinkohteesta otetun ja käyttämättömän kipsilevyn pahvin bakteerikoostumusta sekä pohditaan tyyppiä sitovien bakteerien merkitystä rakennusten homeiden kasvuun. Osa tuloksista perustuu aiempien tulosten yhteenvetoon /5/ ja tulosten uudenaikaisesta näkökulmasta tarkasteluun.

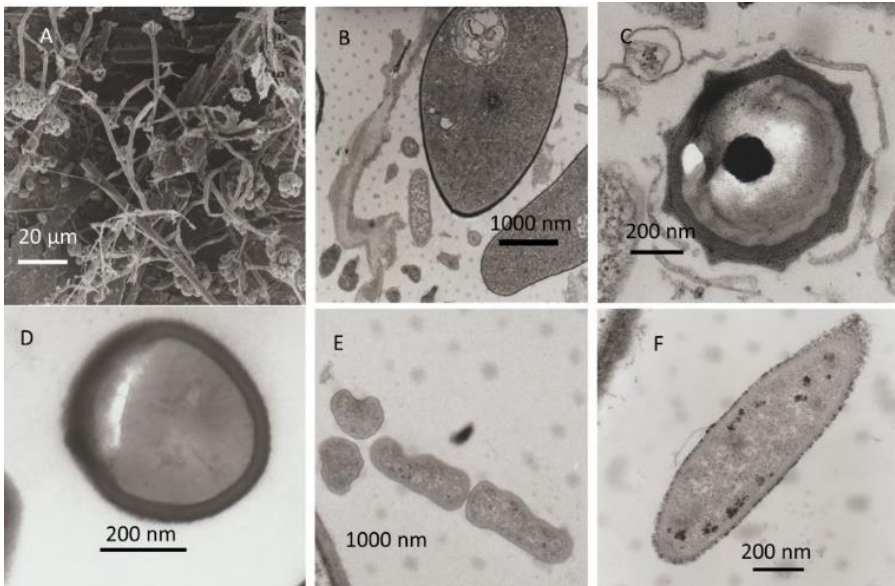
TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Bakteerien viljely, identifiointi (DSMZ, 1996) ja elektronimikroskopia on kuvattu aikaisemmissa julkaisuissa /4,14/, samoin kuin fusarisidinin toksisuus siittiösoluille ja sian munuaissoluille PK-15/15/.

TULOKSET

1. Märän kipsilevyn homeet ja bakteerit

Kostean, pitkäkestoisen vesivahingon kohdasta kerätyn kipsilevyn pahvin pinnan tutkiminen paljasti, että pintaa peitti *Stachybotrys* homeen kasvusto (Kuva 1, Paneli A). Pintaa syvemmältä katsottuna selvisi että pahvissa kasvoi myös monimuotoinen bakteeriyhdyskunta (Panelit B-F). Bakteereita ja homeita näkyi jokaisessa näkökentässä (n=30), 1-30 mikrobisolua per näkökenttä.



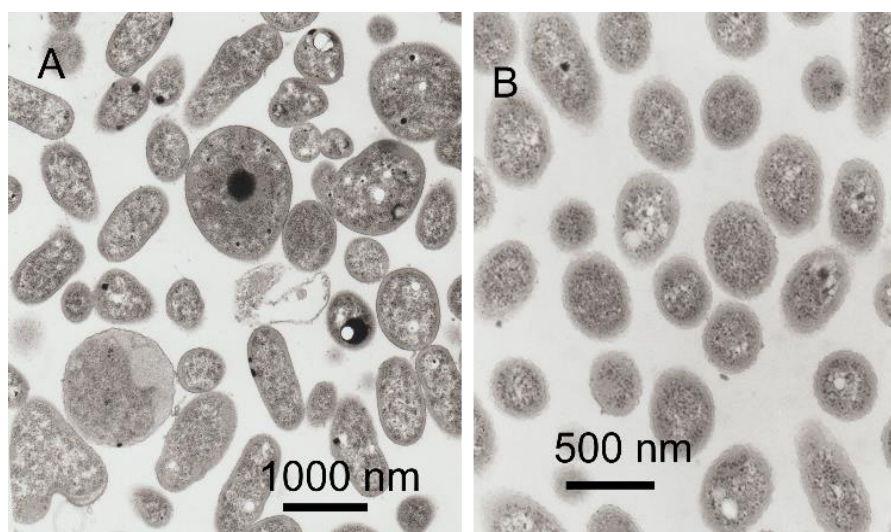
Kuva 1. Pyyhkäiselektronimikroskooppili (SEM)- ja transmissioelektronimikroskooppikuvia (TEM) kosteasta homeisesta kipsilevyn pahvista. Paneelissa A näkyy SEM kuva kipsilevyn pinnassa kasvava tiheä *Stachybotrys* kasvustosta. Paneeleissa B, C, D, E ja F näkyy TEM kuvia kipsilevyn läpi tehdyistä ohutleikkeistä. Kuvat esittävät sienirihmoja ja monimuotoisen bakteerikasvuston (B), itiöitä, jotka viittaavat *Paenibacillus* (C) ja *Streptomyces* sukuihin (D), sekä kaksi hyvin erimuotoista bakteeria, jotka todennäköisesti edustavat eri bakteerisukua (E, F).

Tutkimuksessa eristimme *Stachybotrys*-homekasvuston peittämästä kipsilevyn pahvista 47 bakteerikantaa. Suurimman ryhmän, 15 kantaa, muodosti gramnegatiiviset Proteobakteerit, joita oli $>5 \times 10^3$ CFU mg⁻¹ pahvia: *Agrobacterium/Rhizobium*, *Caulobacter* ja *Stenotrophomonas*. Kannoista, 22 kantaa kuuluivat 6:teen eri bakteerisukuun joiden jäsenet tiedetään sitovan ilmakehän tyyppä. Potentiaalisia typensitotrabakteereita löytyi korkeissa pitoisuuksissa, $>10^3$ CFU mg⁻¹. Valtalajeiksi tunnistui Proteobakteereihin kuuluvat *Agrobacterium/Rhizobium* ja *Stenotrophomonas* sekä Firmikuteista *P. polymyxa*, *P. macerans*, *B. pumilus* ja *B. amyloliquefaciens*.

Kipsilevyn kuivasta homeettomasta kohdasta eristettiin 12 bakteerikantaa. Näistä kannoista vain yksi kanta edusti gramnegatiivista mahdollisesti typpeä sitovaa lajia *Pseudomonas luteola* ja sen pitoisuus materiaalissa oli matala, 1 CFU mg⁻¹. Kipsilevyn kuivasta homeettomasta kohdasta ei löytynyt ohutleikkeiden TEM kuvissa mikrobisoluja (30 näkökenttää tutkittu).

2. *Agrobacteri*-*Rhizobium* ja *Caulobacter* kantojen karakterisointi

Märän kipsilevyn vallitsevat bakteerit kuuluivat α -Proteobacteereihin. *Agrobacteri*-*Rhizobium* kannat (10 kpl) olivat kokosolurasvahappokoostumukseltaan identtisiä. Yksi tutkittu kanta oli partiaalisen 16 SrDNA sekvenssin analyysin perusteella eniten samanlainen, 96,9%, *Rhizobium galegaen* kanssa. *Caulobacter* kannat, 4 kpl olivat myös keskenään identtisiä. Kaksi kantaa olivat partiaalisen 16 SrDNA sekvenssin analyysin perusteella 99% samanlaisia kun eräs *Caulobacter* sp. kanta FWC14. *Agrobacterium* ja *Caulobacter* kantojen kokosolu rasvahappokoostumukset ja solumorfologia, vahvistivat kantojen tunnistukset (Kuva 2).



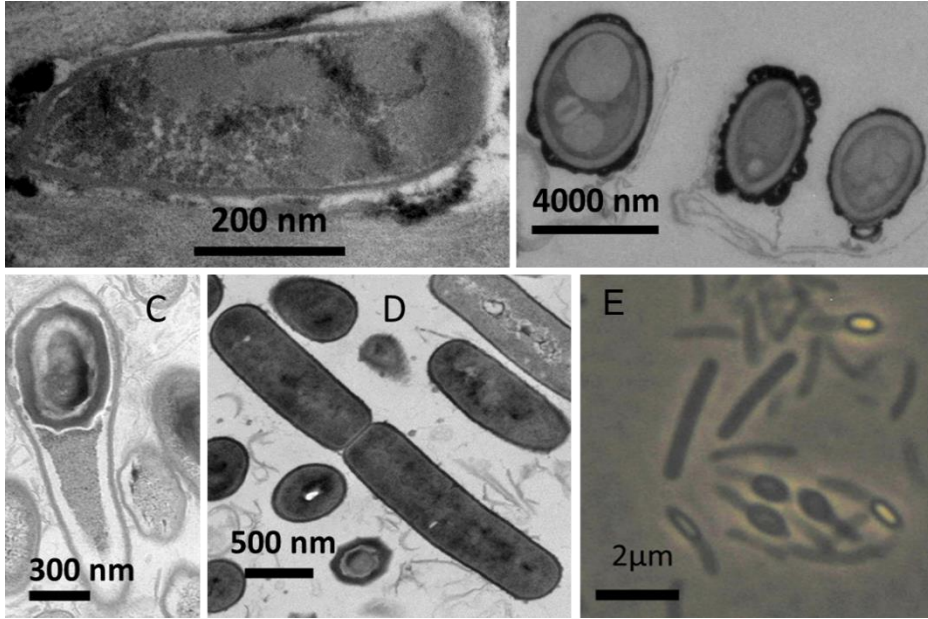
Kuva 2. TEM kuvia märän kipsilevyn pahvin vallitsevista gramnegatiivisista α -Proteobacter kannoista, *Agrobacterium*-*Rhizobium* kanta (A) ja *Caulobacter* kanta (B). Kuvassa A näkyy *Agrobacterium* solujen epäsäännöllinen muoto, tyypillinen soluseinä ja solun jakautuminen. Kuvassa B näkyy *Calobacterium* solujen säännöllinen muoto ja ulkomembraani.

3. Käyttämättömän kipsilevyn bakteerit

Käyttämättömästä kipsilevyn pahvista tehdyt ohutleikkeiden TEM kuvat esitetään Kuvassa 3, Panelit 3 A ja 3 B. Suoraan kipsilevyn pahvista tehdyissä ohutleikkeissä näkyy tod. näk. Gram positiivinen sauvabakteeri (A) ja pieniä pyöreitä tai soikeita homeitiöitä (B). Mikrobeja, näkyi vähän, 1 mikrobi per 40 näkökenttää.

Viljelyssä eristettiin 49 mikrobikantaa joista 16 oli bakteereita, loput *Penicillium* sp. ja *Penicillium expansum* homeita. Bakteerikannat olivat pesäkemorfologian perustella *Streptomyces*/*Nocardia* sukuihin kuuluvia, 4 kpl, ja *Paenibacillus*-pesäkkeiden näköisiä 12 kpl. Esimerkki viljelytuloksen vallitsevasta *Paenibacillus* kannasta esitetään

kuvassa 3C ja 3D. Nämä 12 kantaa muodostivat lämmönkestäviä soikeita itiöitä, jotka sijoittuivat terminaalaisesti solun päähän pullistuneissa sporangioissa. Soluista tehty uute oli siittiöille > 30 kertaa toksisempi kuin PK-15 solutesteissä. Bakteereita arvioitiin pahvissa olevan n. 1 CFU mg⁻¹.



Kuva 3. Mikroskooppikuvia käyttämättömän kipsilevyn pahvin mikrobeista. Suoraan pahvista tehdyistä ohutleikkeistä näkyy grampositiivinen sauvabakteeri (A) ja homeitiöitä (B). *Paenibacillus* soluja näkyy paneleissa C, D ja E. *Paenibacillus* tyyppinen soikea, solun päätyä pullistava itiö (C), ja grampositiivinen soluseinä (D). Faasikontrastimikroskooppikuvassa näkyy soikeista solun päätyä pullistavia itiöitä.

TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa verrattiin toisiinsa homeisen kipsilevyn pahvin ja käyttämättömän, päällisin puolin homeettoman kipsilevyn pahvin bakteerikoostumuksia. Pahveja tutkittiin sekä mikroskoopeilla että viljelemällä. Pohdittiin kostean kipsilevyn pahvin kykyä ylläpitää pitkäaikaisia sellulolyttisten homeiden kasvustoja.

Homeinen vesivahinkokohteesta otettu kipsilevyn pahvi sisälsi runsaasti bakteereita; vallitsevina gramnegatiiviset α -Proteobacter sukujen edustajia, *Agrobacterium*-*Rhizobium* ja *Caulobacter* sekä grampositiivisen *Paenibacillus* -sukuun kuuluvia lajeja. *Paenibacillus* ja *Agrobacterium* ovat tunnettuja typensitoja, kun *Caulobacter* eivät sido typpeä /7,8,9/. Käyttämättömästä kipsilevyn pahvista löytyi pelkästään grampositiivisia bakteerisukuja, *Streptomyces* ja *Paenibacillus* kantoja. *Paenibacillus* kannat tunnistettiin morfologian/8,16,17/ ja toksisuusprofiilinsa /15/perusteella *Paenibacillus polymyxa* kaltaisiksi bakteereiksi. Käyttämättömässä kipsilevyn pahvissa esiintyi vallitsevina bakteereina todennäköisesti paperiteollisuuden koneista ja raakapuusta peräisin olevia typpeä sitovia *Paenibacillus* kantoja / 6,8,16,17/.

Märkä pahvi sisälsi enemmän bakteereita, ja varsinkin gramnegatiivisia bakteereita kuin käyttämätön kipsilevyn kuiva homeeton pahvi. Kuiva pahvi sisälsi kuivuutta kestäviä itiöitä muodostavia bakteereita. Huomattavaa on erityisesti typensitoja bakteerien

yliedustus sekä kuivassa että märässä pahvissa. Kummassakin pahvissa tyypeä sitovien *Agrobacterium* ja *Paenibacillus* lajien suhteellinen osuus kaikista eristetyistä bakteereista oli suurempi kuin maatalousympäristöstä kerätyissä pölyissä /18/.

Johanna Salon diplomityössä /10/ todettiin että steriilissä kipsilevyssä viljelty *Aspergillus westerdikiae* kanta tuotti enemmän hiilidioksidia NH_4Cl ja KNO_3 lisäyksillä kuin pelkillä vesilisäyksillä. Oletettiin että tyyppi saattaisi olla rajoittava tekijä selluloosapitoisten materiaalien biohajoamisessa. Vastaava koe *Trichoderma atroviride* kannalla kuitenkin osoitti, että typenlisäykset inhiboivat tämän homeen kasvua. Tämä saattoi johtua siitä, että tyyppiyhdisteet olivat *Trichoderma* kannalle myrkyllisiä, kun taas *Aspergillus westerdikiae* kanta pystyi hyödyntämään lisättyjä yhdisteitä typenlähteenä.

On osoitettu, että tyypeä sitovat bakteerit helpottavat muovien mikrobiologista hajoamista tehostamalla sieniyhteisöjen runsautta ja muovaamalla vuorovaikutusta sieniyhteisöjen kanssa /19/. Sellulolyttisen *Stachybotrys* homeen /8/ ja potentiaalisesti tyypeä sitovien bakteerien (*Paenibacillus* ja *Agrobacterium/Rhizobium*) /6/ runsas esiintyminen märässä kipsilevyssä saattaa viitata synergistiseen suhteeseen näiden organismien välillä. Tyypeä sitovien bakteerien runsas esiintyminen märässä pahvissa viittaa typpiköyhään ympäristöön /6/. On kuitenkin muistettava, että typensitoja bakteerien läsnäolo ei vielä todista, että tyypeä olisi pahveissa sidottu. Tässä tutkimuksessa ei vielä tutkittu pystyvätkö juuri nämä kannat sitomaan tyypeä.

Ei voi poissulkea, että *Stachybotrys* homeet saattoivat hyötyä bakteerien sitomasta tyypestä ja bakteerit selluloosan hajoamistuotteista. Synergistinen suhde selittäisi *Stachybotrys*-homeen kykyä muodostaa pitkäikäisen kasvuston typpiköyhässä materiaalissa. Homeisista typpiköyhistä rakennusmateriaaleista saattaisi löytyä tyypeä sitovia karuun ympäristöön sopeutuneita bakteerikantoja, jotka saattavat tuottaa homeiden kasvua sääteleviä bioaktiivisia molekyyleja. Näiden bakteerikantojen joukosta voisi löytyä viljelykasvien kasvua edistäviä probiootteja sekä uusia sienten kasvua hillitseviä fungisideja tuottavia bakteerikantoja. Tyypeä sisältävien siivousaineita homeiden typenlähteenä ja kasvun edistäjinä olisi syytä selvittää.

LÄHDELUETTELO

1. Al Hallak, M.; Verdier, T.; Bertron, A. et al. (2023) Contamination of Building Materials and the Aerosolization of Particles and Toxins in Indoor Air and Their Associated Risks to Health: A Review. *Toxins* 2023, 15, 175.
2. Verdier, T.; Coutand, M.; Bertron, A.; Roques A Review of Indoor Microbial Growth across Building Materials and Sampling and Analysis Methods. *Build. Environ.* 2014, 80, 136–149.
3. Gravesen, S., J. C. Frisvad, and R. A. Samson. 1994. *Microfungi*, p. 49–50. Munksgaard Publishers, Copenhagen, Denmark
4. Andersen, B., J.C. Frisvad, J.I. Søndergaard, et al. (2011) Associations between Fungal Species and Water-Damaged Building Materials, *Appl. Environ. Microbiol.* 77. 4180–4188.
5. M.A. Andersson, M. Nikulin, U. Köljal, et al. (1997) Bacteria, molds, and toxins in water-damaged building materials., *Appl. Environ. Microbiol.* 63 387–393.
6. Martinez-Romero. E. (2006). Dinitrogen fixing prokaryotes. *Prokaryotes* chapter 1.24. 2: 793-817.

7. Tsoy OV, Ravcheev DA, et al. (2016) Nitrogen Fixation and Molecular Oxygen: Comparative Genomic Reconstruction of Transcription Regulation in Alphaproteobacteria. *Front. Microbiol.* 7:1343. doi:10.3389/fmicb.2016.01343
8. Elo, S., Suominen, I., Kämpfer, P. et al. (2001). *Paenibacillus borealis* sp. nov., a nitrogenfixing species isolated from spruce forest humus in finland. *Int J Syst Evol Microbiol* 51, 535–545.
9. Jin HJ, Tu R, Xu F, Chen SF. Identification of nitrogen-fixing *Paenibacillus* from different plant rhizospheres and a novel *nifH* gene detected in the *P. stellifer*. *Mikrobiologija*. 2011 Jan-Feb;80(1):121-8. PMID: 21513217.
10. Salo J. (2014) Rakennuksen homeiden aineenvaihduntatuotteiden mittaamiseen perustuvan analytiikan kehittäminen. Diplomityö. Rakennustekniikan laitos. Aalto yliopisto
11. Kumar A, Rithesh L, Kumar V, et al. Abhineet and Pandey AK (2023) *Stenotrophomonas* in diversified cropping systems: friend or foe? *Front. Microbiol.* 14:1214680. doi: 10.3389/fmicb.2023.1214680
12. Saxena A. Kumar M, Chakdar H., et al. (2019). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology* 128, 1583–1594
13. Varliero G, Anesio AM and Barker GLA (2021) A Taxon-Wise Insight Into Rock Weathering and Nitrogen Fixation Functional Profiles of Proglacial Systems. *Front. Microbiol.* 12:627437. doi: 10.3389/fmicb.2021.627437
14. Andersson M., Laukkanen M., et al. (1995) *Bacillus thermosphaericus* sp. nov., a new thermophilic ureolytic *Bacillus* isolated from air. *Systematic and Applied Microbiology*. 18,2,203-220.
15. Mikkola, R.; Andersson, M.A.; Grigoriev, P. et al. (2017). The toxic mode of action of cyclic lipodepsipeptide fusaricidins, produced by *Paenibacillus polymyxa*, toward mammalian cells. *J. Appl. Microbiol.* **2017**, 123, 436–449.
16. Pirttijärvi, T. S. M., Graeffe, T. H. & Salkinoja-Salonen, M. S. (1996). Bacterial contaminants in liquid packaging boards: assessment of potential for food spoilage. *J Appl Bacteriol* 81, 445–458.
17. Suominen, I., Suihko, M.-L. & Salkinoja-Salonen, M. (1997). Microscopic study of migration of microbes in food-packaging paper and board. *J Ind Microbiol Biotechnol* 19, 104–113.
18. Andersson M., Weiss N., Rainey F., Salkinoja-Salonen (1999) Dustborne bacteria in animal sheds and childrens day care centers. *J Appl Microbiol* 86,622-634.
19. Tanunchai, B.; Juncheed, K.; Wahdan, S.F et al. (2021) Analysis of microbial populations in plastic–soil systems after exposure to high poly(butylene succinate-co-adipate) load using high-resolution molecular technique. *Environ. Sci. Eur.*, 33, 105.

MIKROBIKASVUSTON MÄÄRÄ JA KOSTEUSVAURIOINDIKAATTORILAJISTO SISÄILMAONGELMA- JA VERROKKIRAKENNUKSISSA SUORAVILJELYNÄYTTEISSÄ

Vuokko Lappalainen, Vesa Koskinen, Milla Rantanen, Janita Törnroos ja Timo Murtoniemi

Sirate Group Oy

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa yli 4000 mikrobinäytteen aineisto osoittaa, että sisäilmaongelma- ja verrokkirakennusten välillä ei ole eroja rakenteissa esiintyvien mikrobivaurioiden osuuksissa, kun tarkastellaan ainoastaan materiaalinäytteissä olevaa mikrobikasvun määrää. Tutkimusaineistossa 11 % näytteistä määriteltiin poikkeavaksi lajistoksi pelkästään kosteusvaurioindikaattorimikrobien perusteella. Nykyohjeistuksen mukaan suoraviljelymenetelmässä materiaalinäytteet viljellään neljälle eri elatusalustalle. DG18-alustalla vauriotulkintoja oli selkeästi useammin kuin M2- tai Hagem-alustoilla, jotka puolestaan olivat keskenään hyvin samankaltaiset. Saatujen tulosten perusteella materiaalinäytteiden suoraviljely ja lajiston tunnistus on suositeltavaa myös jatkossa, mutta yhdestä sienialustasta olisi mahdollista luopua.

TAUSTA

Rakennusterveyteen liittyvä tieteellinen tutkimus perustuu usein tilastollisesti pieneen aineistoon ja rakennukset luokitellaan ongelma- ja vertailukohteiksi kuntotutkimusten sijaan oirekyselyiden ja näkyvien vaurioiden perusteella. Kustannussyistä on ymmärrettävää, ettei tutkimushankkeiden rahoituksella ole mahdollista tehdä useita laajoja kuntotutkimuksia, mutta tulosten tulkinnassa on tällöin huomioitava, että tutkittavien rakennusten todellista kuntoa ei tiedetä. Kohderakennusten valinnassa on mahdollista käyttää myös todellisten tehtyjen kuntotutkimusten tuloksia. Viime aikoina erityisesti suuremmat kiinteistön omistajat ovat teettäneet laajoja kuntotutkimuksia peruskorjausten lähtötiedoiksi myös rakennuksiin, joissa sisäilmaongelmia ei ole todettu. Näiden tuloksia voidaan hyödyntää sisäilmaongelmien vuoksi tehtyjen tutkimusten vertailukohteina. Laajoissa kuntotutkimuksissa selvitetään mm. olemassa olevat rakenteet ja niiden kunto rakenteista kerättävillä mikrobimateriaalinäytteillä.

Rakennusterveystietokanta -hankkeessa (2022-2024) on kerätty relaatiotietokantaan yksityiskohtaista ja luokiteltua sisäilma-aineistoa julkisiin rakennuksiin 2011-2022 tehdyistä kokonaisvaltaisista kuntotutkimuksista. Lisäksi näytedataa on kerätty suppeammista tutkimuksista. Mukana on myös peruskorjausta varten tehtyjä kuntotutkimuksia, joissa sisäilmaongelmia ei ole raportoitu. Tässä artikkelissa tarkastellaan suoraviljelymenetelmällä analysoitujen mikrobimateriaalinäytteiden tuloksia sisäilmaongelma- ja vertailurakennuksissa. Rakennusterveystietokanta -hankkeessa tullaan tekemään laajempi, koko aineiston kattava katsaus suoraviljeltyjen mikrobimateriaalinäytteiden analyysivastausten tuloksista ja tarkastellaan kosteusvaurioindikaattoreiden merkitystä tulosten tulkinnassa.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Rakennusterveystietokanta-hankkeessa kuntotutkimuksissa otettujen mikrobianalyyysien tulokset on kirjattu lajistoittain tietokantaan. Näytteen yhteydessä on kirjattu myös tutkittu rakennusosa, rakenne, materiaali, havaitut kosteusvaurioviitteet, ilmayhteys sisäilmaan sekä mahdollisuuksien mukaan vauriomekanismi. Tutkitut rakennukset puolestaan on luokiteltu mm. sijainnin, iän, käyttötarkoituksen ja tutkimusperusteen mukaan. Tutkimusperusteella tarkoitetaan, onko rakennuksen kuntotutkimuksen lähtökohtana ollut suunnitteilla oleva peruskorjaus vai koettu sisäilmaongelma.

Tässä aineistossa on vuosina 2011-2022 suoraviljelyllä analysoituja näytteitä 5207 kpl. Näytteet on analysoitu kahdessa Ruokaviraston hyväksymässä mikrobilaboratoriossa. Tutkittuja rakennuksia tässä aineistossa oli 324 kpl 15 eri maakunnan alueella. Yli 82 % näytteistä on otettu Varsinais-Suomen (46,1 %), Pirkanmaan (10,9 %), Keski-Suomen (12,2 %) ja Pohjois-Savon (13,3 %) maakunnissa. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan luokiteltuna aineiston näytteistä 47,6 % on otettu opetusrakennuksista, 14,6 % toimistorakennuksista, 12,5 % hoitoalan rakennuksista ja 10,4 % kokoontumisrakennuksista. Näytemateriaaleista 65 % oli mineraalivillaa ja 8 % puru- ja lastumateriaalia. Kuusi seuraavaksi yleisintä materiaalia olivat lastuvilla, rive, turve, kipsilevy, puu ja korkki. Merkittävä osa näytteistä on otettu ulkoseinärakenteista. Lisäksi näytteitä on otettu mm. ala-, väli- ja yläpohjarakenteista sekä väliseinistä.

TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Suoraviljelymenetelmän tulokset ilmoitetaan Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen /2/ mukaisesti 5-portaisella +-asteikolla. Tässä aineistossa materiaalinäytteiden tulokset luokiteltiin aineistossa analyysivastausten perusteella kolmeen luokkaan: 0= ei mikrobikasvua (-), 1=lajisto poikkeava (indikaattori ++ tai >2 eri indikaattoripesäkettä), 2=mikrobikasvusto (+++/++++).

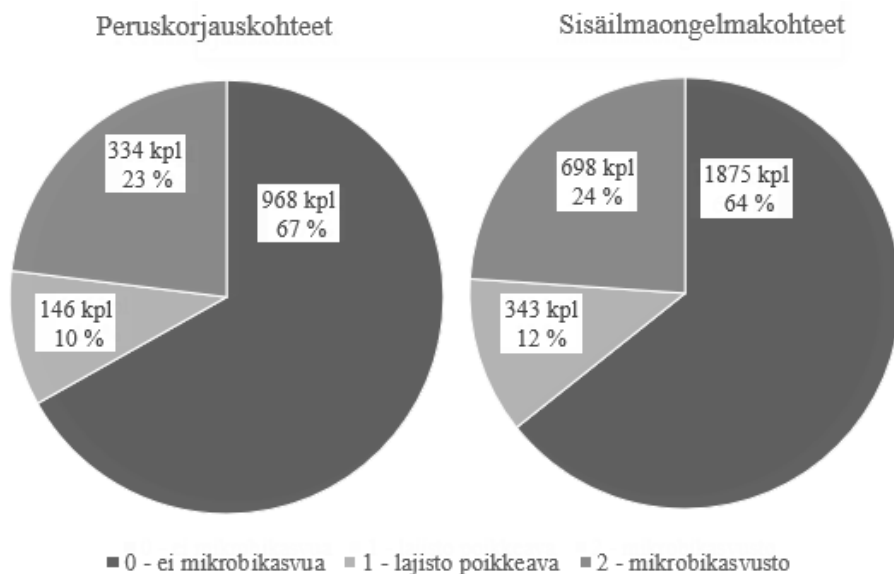
Tässä aineistossa laboratorioiden L1 ja L2 välillä ei havaittu suurta eroa tulosten 0, 1 ja 2 välillä (taulukko 1). Yhteenlaskettujen tulosten perusteella mikrobikasvustoa ei havaittu 64 % prosentissa näytteistä (3345 kpl) ja selkeä mikrobikasvusto havaittiin 24 % (1265 kpl) näytteistä. Luokkaan 1 eli poikkeavan lajiston näytteitä oli aineistossa 597 kpl, joka on 11 % kaikista näytteistä. Tämä osuus on merkittävä ja tuloksen perusteella huolellinen kosteusvaurioindikaattoreiden tunnistaminen on tärkeää.

Kosteusvaurioindikaattoreiden tunnistamisen lisäksi myös näytteenottajan on osattava tulkita tulosta muiden näytteenottokohdasta tekemiensä havaintojen perusteella.

Taulukko 1. Laboratoriokohtaiset tulokset (0= ei mikrobikasvua, 1=lajisto poikkeava, 2=mikrobikasvusto).

Tulos	laboratorio L1	laboratorio L2	Yhteensä
0	1631 kpl (67 %)	1714 kpl (62 %)	3345 kpl (64 %)
1	271 kpl (11 %)	326 kpl (12 %)	597 kpl (11 %)
2	520 kpl (21 %)	745 kpl (27 %)	1265 kpl (24 %)

Aineistossa vaurionäytteiden osuudessa peruskorjauskohteissa ja sisäilmaongelmakohteissa ei havaittu eroa (kuva 1). Sekä peruskorjauksen lähtötiedoiksi että sisäilmaongelman selvittämiseksi otetuissa näytteissä oli mikrobikasvustoa 23-24 % prosentissa otetuista näytteistä. Peruskorjauskohteissa otetuissa näytteissä 67 % ei havaittu mikrobikasvustoa ja 10 % havaittiin poikkeava lajisto. Sisäilmaongelmakohteissa puolestaan ei havaittu mikrobikasvua 64 % näytteistä ja poikkeavaa lajistoa havaittiin 12 % näytteistä. Tulosten perusteella sisäilmaongelman vuoksi tutkituissa rakennuksissa oli saman verran mikrobikasvustoa materiaalinäytteissä kuin peruskorjauksen lähtötiedoiksi tutkittavissa rakennuksissa.



Kuva 1. Peruskorjaus- ja sisäilmaongelmakohteiden lukumäärät ja osuudet.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mikrobikasvuston määrää ja osuutta myös eri elatusalustoilla. Aineiston kaikki 5207 näytettä oli kasvatettu tryptoni-hiivauuteglukoosialustoilla (THG), 2 % mallasuutealustalla (M2) ja dikloranglyserolialustalla (DG18). Näiden lisäksi 4716 näytettä oli kasvatettu myös Rose Bengal mallasuutealustalla (Hagem). THG-alustoilla kasvaneista bakteereista vain aktinomykeetit on huomioitu tämän artikkelin tuloksissa.

THG-alustoilla viljellyistä 5207 näytteestä 10 % aktinomykeettipitoisuus oli +++/++++, mikä tulkitaan vaurioksi (taulukko 2). Näistä vaurionäytteistä 44 % yhdelläkään muulla alustalla ei ollut +++/++++ -tuloksia, jolloin koko näytteen tulkinta enintään voi viitata vaurioon. THG-alustalla +-tuloksia oli 19 % ja ++-tuloksia 5 % näytteistä. 65 % näytteistä ei havaittu mikrobikasvua.

DG18-alustalla vaurionäytteitä (+++/++++) oli 17 %, kun muilla sienialustoilla (M2, Hagem) vaurionäytteitä oli 12 %. DG18-alustan vauriotulkinnoista 23 % ei havaittu vauriotulkintaa millään muulla alustalla.

Näytteistä, joissa oli käytetty Hagem-alustaa (n=4716), 12 % näytteistä pitoisuus oli +++/++++ (vaurio). Vaurionäytteistä vain 6 % ei ollut yhdelläkään muulla alustalla

+++ /++++ -tuloksia. Kaikista 4716 näytteestä vaurio jäisi huomaamatta 34 näytteestä (0,7 %), jos Hagem-alusta ei olisi käytössä. M2-alustalla viljellyistä näytteistä 12 % pitoisuus oli +++ /++++ (vaurio). Näistä 3 % näytteistä yhdelläkään muulla alustalla ei ollut +++ /++++ -tuloksia. Kaikista 4716 näytteestä vaurio jäisi huomaamatta 22 näytteestä (0,4 %), jos M2-alusta ei olisi käytössä.

Sienialustoilla (DG18, M2, Hagem) yli puolet tuloksista oli + /++ eli vaativat lajitunnistusta tuloksen tulkitsemiseksi. DG18-alustalla 55 % oli + tai ++, M2 alustalla 57 % ja Hagem-alustalla 53 %. Kaikilla kolmella alustalla yli 40 % oli +- ja 9-13 % +- -tuloksia. Sienialustoilla viljellyistä näytteistä DG18-alustalla 28 %, M2-alustalla 31 % ja Hagem-alustalla 35 % ei ollut mikrobikasvustoa.

Taulukko 2. Elatusalustakohtaiset tulokset lukumäärinä ja prosentteina.

Alusta	0	1 (+)	2 (++)	3 (+++)	4 (++++)	Yhteensä
THG	3401 (65 %)	1006 (19 %)	276 (5 %)	406 (8 %)	118 (2 %)	5207
M2	1603 (31 %)	2387 (46 %)	581 (11 %)	510 (10 %)	126 (2 %)	5207
DG18	1461 (28 %)	2206 (42 %)	657 (13 %)	691 (13 %)	192 (4 %)	5207
Hagem	1660 (35 %)	2053 (44 %)	434 (9 %)	470 (10 %)	99 (2 %)	4716
Yhteensä	8125	7652	1948	2077	535	

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa yli 4000 mikrobinäytteen aineisto osoittaa, että sisäilmaongelma- ja peruskorjauskohteiden välillä ei ole eroja rakenteissa esiintyvien mikrobivaurioiden osuuksissa. Tämän perusteella pelkästään rakenteissa esiintyvällä mikrobikasvulla ei siis havaittu yhteyttä koettuihin sisäilmaongelmiin, mutta lajistojen tarkempi tarkastelu voi tuoda tähän lisätietoa. Nyt saadut tulokset tukevat hankkeen aikaisemmassa vaiheessa tehtyjä havaintoja, joiden mukaan merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintymisessä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa verrokki- ja sisäilmaongelmarakennusten välillä /3/. Sen sijaan aistinvaraisesti havaittavien vaurioiden ja oireilun välillä on tilastollisesti merkitsevä yhteys.

Merkittävä kosteus- ja homevaurio edellyttää useilla materiaalinäytteillä todetun vaurion lisäksi selvitystä epäpuhtauksien kulkeutumisesta vaurioituneesta rakenteesta käyttötiloihin. Merkittäväksi vaurioksi luokitellaan myös käyttötiloissa tai niihin selvästi ilmayhteydessä olevissa tiloissa havaitut yksittäisiä tai pienialaisia laajemmat kosteusvauriot sekä käyttötiloissa havaittu mikrobiperäinen haju. Tarkemmissa kuntotutkimuksissa merkittäviä vaurioita löytyi odotetusti suuremmassa osassa erityisesti peruskorjauskohteissa, eikä tilastollisesti merkitsevää eroa tutkimuslähtökohdan perusteella tällöin havaittu. Havainnon perusteella sisäilmaongelman esiintyminen rakennuksessa näyttäisikin liittyvän selkeämmin aistinvaraisesti havaittaviin vaurioihin kuin rakenteiden sisällä oleviin piilovaurioihin, vaikka nämä olisivat laajuudeltaan merkittävimpiä ja epäpuhtauksien kulkeutumismahdollisuus vaurioaluilta sisäilmaan olisi tutkimuksin todettu. /3/

THL:n aineistokatsauksen mukaan /1/ pelkkien indikaattorimikrobien havaitseminen laimennossarjaviljellyissä rakennusmateriaalinäytteessä ei anna tarkkaa kokonaiskuvaa rakennusmateriaalin mikrobikasvustosta. Yksittäisten indikaattorimikrobien

esiintymisen sijaan tulisikin tarkastella rakennusmateriaalinäytettä kokonaisuutena ja arvioida ensisijaisesti näytteen kokonaispitoisuutta ja tarvittaessa näytteessä esiintyvää mikrobistoa. Pitoisuusluokkaan 5 000–10 000 pmy/g kuului aineistossa ainoastaan n. 5 % näytteistä ja tässä pitoisuusluokassa kolme indikaattoriryhmää tai enemmän esiintyi samanaikaisesti n. 1 % kokonaisnäytemäärästä /1/.

Tässä tutkimusaineistossa 11 % näytteistä määriteltiin poikkeavaksi lajistoksi pelkästään indikaattorimikrobien perusteella. Toisin sanottuna 11 % näytteistä olisi jäänyt luokkaan ei vauriota, mikäli tulkinta olisi tehty ainoastaan mikrobikasvun määrän perusteella. Tätä voidaan pitää merkittävänä osuutena. Tämä voi ainakin osittain johtua siitä, että tutkimusaineisto koostui suoraviljellyistä näytteistä. Pienissä mikrobipitoisuuksissa suoraviljelymenetelmällä mikrobilajisto saadaan paremmin esiin kuin laimennossarjaviljelyssä /4/.

Nykyohjeistuksen mukaan suoraviljelyssä materiaalinäytteet viljellään kolmelle eri homesienialustalle. Tässä tutkimusaineistossa M2- ja Hagem-alustat ovat saatujen mikrobitulosten perusteella hyvin samankaltaiset. Mikäli M2-alusta olisi jätetty analyseistä pois, 0,4 % vaurionäytteistä olisi jäänyt toteamatta, vastaavasti Hagem-maljan poistolla olisi 0,7 % vaurionäytteistä jäänyt toteamatta. Työmäärän ja tutkimusten kustannusten alentamiseksi M2- tai Hagem-alustan käytöstä olisi mahdollista luopua ilman merkittävää vaikutusta näytetuloksiin. DG18-alustalla vauriotulkintoja oli selkeästi useammin kuin M2- tai Hagem-alustoilla. Työn alla olevassa lajistoanalyysissä tarkastellaan eri elatusalustojen merkitystä analyysitulosten lopputuloksen kannalta. Saatujen tulosten perusteella materiaalinäytteiden suoraviljely ja lajiston tunnistus on suositeltavaa myös jatkossa.

LÄHDELUETTELO

1. Viljamaa A., Leppänen H., Jalkanen K., Salmela A. ja Hyvärinen A. 2022 Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista – aineistokatsaus, Työpäperi 53/2022.
2. Valvira. 2016 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa IV. Ohje 8/2016 (päivitetty 19.2.2020) Dnro 2731/06.10.01/2016.
3. Koskinen V., Lappalainen V., Murtoniemi T. ja Vehviläinen T. 2023 Kuntoarviot vääristävät tieteellisten sisäilmatutkimusten tuloksia?
4. Hänninen M., Kirsi M., Lindroos O., Rautiala S. ja Reiman M. (2014). Rakennusmateriaalinäytteen mikrobimääritys suoraviljelymenetelmällä. Sisäilmastoseminaari 2014, SIY raportti 32. ss. 359-362.

SAVIPINTOJEN SISÄILMAVAIKUTUKSET JA MIKROBIOLOGIA

Miia Pitkäranta

AFRY Rakennusfysiikka

TIIVISTELMÄ

Polttamaton savi on puun ohella vanhin ihmisen käyttämä rakennusmateriaali. Perinteikkyyden ohella saveen liitetään yleisesti mielikuvia myös terveellisyydestä, ja materiaali on kiinnostava myös pienen hiilijalanjälkensä takia. Tässä artikkelissa pyritään vetämään yhteen kirjallisuustieto, jota rakennusten sisäpuolisten savipintojen sisäilmavaikutuksista on tänä päivänä saatavilla. Artikkelin perustuu kirjallisuusselvitykseen ja painottuu saveen mitattuihin vaikutuksiin sisäilman kemialliselle ja mikrobiologiselle laadulle.

TAUSTA

Polttamaton savi on puun ohella vanhin ihmisen käyttämä rakennusmateriaali ja sitä on käytetty maailmanlaajuisesti tuhansia vuosia. Perinteikkyyden ohella saveen liitetään yleisesti mielikuvia myös terveellisyydestä ja luonnonmukaisuudesta. Materiaali on kiinnostava myös pienen hiilijalanjälkensä takia. Suomessa savikkojen mineralogian on tutkittu aikoinaan laajasti mm. tiiliteollisuuden tarpeita varten mutta sisäilmaan liittyvien tekijöiden osalta tutkimustieto on niukkaa.

Savimateriaalien sisäilmavaikutuksia käsitteleviä vertaisarvioituja tutkimuksia haettiin kansainvälisistä artikkelitietokannoista. Selvityksessä keskityttiin kolmeen pääaiheeseen: 1) savipinnan vaikutus ilmankosteuteen, 2) vaikutus sisäilman kemiallisiin yhdisteisiin ja 3) vaikutus mikrobiologiaan.

Saveksi kutsutaan kivennäismaa-ainesta, jossa on mukana vähintään 30 % hienojakoista, raekooltaan alle 2 µm kokoista ainesta eli savesta. Itse saves muodostuu savimineraaleista, jotka ovat alumiinisilikaatteja. Suomalaisen saveen savimineraalit ovat illiittiä, savikloriittia, savivermikuliittia ja seoshilamineraaleja. Suomessa harvinaisia savimineraaleja ovat kaoliniitti ja smektiittit. Saveen mineraalikoostumus vaikuttaa suuresti saveen ominaisuuksiin. /1/ Savespitoisuus vaihtelee noin 30-70 p-% välillä ja humuspitoisuus yleensä < 1 p-% - 4 p-% välillä. Savien pH vaihtelee sedimentistä riippuen noin 4-8 välillä. Rikkivety- ja rautasulfidipitoiset ns. sulfidisavet ovat muodostuneet orgaanisen materiaalin hajotessa hapettomissa merenpohjasedimenteissä meriveden sulfaatin kanssa. Sulfidisavi on pohjaveden pinnan alapuolella ollessaan pH:ltaan neutraalia, mutta saveen joutuessa tekemisiin ilman kanssa savessa oleva sulfidi hapettuu rikkihapoksi ja saveen pH laskee voimakkaasti hapettumisen seurauksena. Sulfidisavi syövyttää terästä ja betonia. /1, 2/

Polttamatonta savea käytetään rakentamisessa tyypillisesti pintamateriaalina tai ulkoseinärakenteissa. Pintamateriaaleja ovat erilaiset savimaalit ja -rappaukset. Perinteisesti (ennen n. 1950-lukua) suomalaiset sisäpintojen savirappaukset näyttävät olleen pääasiassa saveen ja kuitujen sekoitusta. Hiekkaa ei ole käytetty, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Kuituna on yleisimmin ollut pellavan päistäre (kuiva

korsisilppu). Myös ruumenta, sammalta, puukuituja, sahanpurua, lantaa yms. on käytetty. Sisäpuolisen rappauksen rooli hirsirakennuksissa on ollut seinien tiivistäminen ilmavuotoja vastaan ja pintojen tasoittaminen. Samalla myös lämpimyyks ja asumismukavuus on parantunut. /3/ Ulkoseinissä rakenteen muodostaa yleensä polttamaton savitiili, muottiin juntattu ”rammed earth” -rakenne tai ns. kevytsavirakenne, jossa saven seassa tai erillisenä kerroksena on rakenteen lämmöneristävyyttä parantavia materiaaleja. Uusi innovaatio on Suomessa kehitetty, lämmöneristeeksi tarkoitettu savetettu kutterinlastu /4/.

Savipintojen vaikutus ilmankosteuteen ja sisäilman kemiallisiin yhdisteisiin

Sisäilmanlaadun kannalta saven ilmeisin ominaisuus on sen kyky sitoa eli adsorboida itseensä vesihöyryä ja muita yhdisteitä. Savimineraaleja käytetään adsorptio-ominaisuuksiensa vuoksi mm. jätevesien ja pilaantuneen maaperän puhdistuksessa, kosmetiikassa, terveydenhoitotuotteissa, viinin kirkastuksessa ja elintarviketuotannossa. Ominaisuus perustuu savimineraalien levymäiseen rakenteeseen ja pintavarauksiin, suureen kationinvaihtokapasiteettiin (CAC), sekä ominaispinta-alaan (SSA), joka on savella luonnonmineraaleista suurin. Savien adsorptiokyky vaihtelee saven mineraalikoostumuksesta riippuen. Suomessa yleisillä illiitti/kloriittisavilla SSA ja CAC ovat noin 3-10 kertaa suurempia kuin kaoliniittityypisillä savilla mutta noin 5-10 kertaa pienempiä kuin smektiittityypisillä paisuvilla savilla. Vastaavasti Suomessa tavanomaisten savien adsorptiokyky on keskimäärin paisuvia savia vähäisempi. Affiniteetti kuitenkin vaihtelee suuresti yhdisteittäin ja illiitin affiniteetti esimerkiksi joihinkin hydrofobisiin yhdisteisiin on hyvä. Teollisuuden adsorptioprosesseissa käytetään useimmin smektiittiryhmän paisuvia savia. Rakentamisessa smektiittien käyttöä vältetään mm. paisuvuuden aiheuttaman halkeilun vuoksi. /2, 5, 6, 8/

Materiaalin kosteudensitomis- ja luovutuskapasiteettia ja -nopeutta voidaan kuvata kosteudenpuskurointi-arvolla (moisture buffering value, MBV; $g / \Delta RH / m^2$). Mittausmenetelmiä on useita, näistä Nordtest-menetelmä /7/ on käytetyin /8/. Menetelmällä saatu arvo kuvaa materiaalin kosteuskäyttäytymistä syklisesti vaihtelevissa ilmankosteusolosuhteissa. Materiaalin MBV-arvo > 1 osoittaa hyvää ja > 2 erinomaista kosteudenvaihtelun puskurointikykyä. Esimerkiksi tutkimuksessa /13/ savitasoitepinta sitoi ja luovutti kosteutta n. 65 g neliömetriä kohden ilmankosteuden vaihdella testissä 33 ja 75 %RH välillä 12 tunnin sykleinä. Muita esimerkkejä savimateriaalien ja vertailumateriaalien MBV-arvoista on esitetty taulukossa 1.

Saven mineraalikoostumus ja hiukkaskokojakauma ovat tärkeimmät MBV-arvoa määrittelevät tekijät. Lisäksi on todettu, että savimassan korkea vesipitoisuus laskee, ja suuri vesihöyrynläpäisevyys nostaa MBV-arvoa. /8/

Savipintojen adsorptio-ominaisuuksia VOC- ym. kemiallisille yhdisteille normaaleissa sisäilmaolosuhteissa on tutkittu vähän ja kokeissa käytettyjen materiaalien ominaisuudet on dokumentoitu pääosin puutteellisesti. Osa tuloksista on kuitenkin lupaavia. Saatavilla olevia tutkimustuloksia on koottu taulukkoon 2.

Ilmankosteus vähentää saven kykyä adsorboida kaasumaisia yhdisteitä, sillä vesimolekyylit ”kilpailevat” osin samoista sitoutumiskohdista kaasujen kanssa. Savipinta voi mahdollisesti myös desorboida materiaaliin kerääntyneitä yhdisteitä ilmankosteuden noustessa. /9/

Suomalaisessa Ecosafe-hankkeessa todettiin savijauheen lisäyksen adsorboivan tuoreen kostutetun puulastun ominaispäästöistä (VOC-yhdisteet) karkeasti arvioituna noin puolet. Tutkimuksessa käytettyjen saven ominaispinta-ala oli 34-86 m²/g. /4/

Taulukko 1. Esimerkkejä savi- ja vertailumateriaalien kosteudenpuskurointiarvoista.

Savet (valta mineraalit)	savespitoisuus p-%	MBV	viite
kaoliniitti + illiitti/mica + smektiitti	38,6	3,6	/8/
illiitti-smektiitti	29	2,7	/10/
illiitti/mica	14,8	2,8	/8/
laasti, tuntematon mineraalikoostumus, mukana 4 p-% kasvibiomassaa	17	1,7	/11/
tuntematon mineraalikoostumus, mukana runsaasti soraa	16	1,6	/8/
illiitti-smektiitti	6,5	1,0	/12/
Muut rakennustuotteet			
kevytsorabetoni ja stucco-laasti		~0,8	/7/
pinnoittamaton mäntylauta		~1,2	/7/
betoni		~0,4	/7/
koivupaneeli		~0,8	/7/
kipsilevy		~0,6	/7/

Taulukko 2. Savimateriaalien adsorptiotutkimusten tuloksia.

Savet (mineraalit)	yhdiste	vaikutus	viite
savilaasti (pääosin kaoliini, 1,7 % montmorilloniitti)	aldehydit	0,35 m ² /m ³ ala savilaastia laski otsonin aiheuttamia aldehydipäästöjä nylonmatosta koekammion ilmassa noin 45-62 %	/14
tuntematon mineraalikoostumus	etikka-happo	2,2 m ² /m ³ jauheeksi hienonnettua savea laski koekammion ilman etikkahappopitoisuutta 63:sta µg/m ² 40:een µg/m ²	/15/
tuntematon mineraalikoostumus	etikka-happo	0,31 m ² /m ³ savitiiltä laski koehuoneen etikkahappopitoisuutta 31:sta µg/m ² 14:ään µg/m ² 10 cm etäisyydellä savipinnasta	/15/

Savipintojen vaikutus sisäilman mikrobiologiaan

Savi on luonnollinen maalaji ja maaperä on mikrobidiversiteetiltään luonnonympäristöistä rikkain. Lähtökohtaisesti on siten oletettavaa, että luonnollinen, kuumentamaton savi on mikrobipitoista. Saatavilla olleen tutkimuskirjallisuuden perusteella luonnonsavien mikrobistot koostuvat diversiteetiltään monimuotoisesta valikoimasta maaperämikrobeja. Mikrobimääriä ja lajistoa määrittäviä tekijöitä maaperässä ovat sedimentin ikä ja tiiveys, hapen määrä, pH, orgaanisen aineksen määrä, typen ja muiden ravinteiden määrät sekä suolojen ja metallien pitoisuudet. Maanpinnan läheisyydessä mm. kasvillisuus ja orgaaninen materiaali lisäävät mikrobipitoisuuksia. Syvemmillä maaperässä tiiviissä savisedimenteissä lämpötila on tasaisen viileä, happipitoisuus matala ja orgaanisen hiilen ja ravinteiden määrä vähäinen, mistä syystä mikrobipitoisuudet ovat pintamaita pienempiä.

Kirjallisuuden perusteella saven mikrobipitoisuudet ja mikrobiologiset ominaisuudet vaihtelevat hyvin paljon savilaadusta riippuen. Osa savista on antimikrobisia, pääosa

kuitenkin mikrobitoiminnan kannalta fysikaalisesti melko neutraaleja tai hyviä kasvualustoja, mikäli kosteutta, orgaanista ainesta ja muita ravinteita on tarjolla.

Tutkimusten perusteella eräissä savissa todettu antimikrobisuus perustuu mm. matalaan pH:hon ja savesta vapautuviin liukoisiin metallikationeihin, mahdollisesti myös pelkistyneisiin rikkiyhdisteisiin tai savessa kasvavien aktinomykeettien tuottamiin antibioottisiin yhdisteisiin. Kirjallisuuden perusteella antimikrobiset savet ovat tyypillisesti rautapitoisia smektiittisavia, joiden keskimääräinen hiukkaskoko on ollut hyvin pieni. /16/ Tutkimustiedon valossa tavanomaisten suomalaisten savien (ei-sulfidisavet) ei voida olettaa olevan erityisen antimikrobisia.

Eräitä harvoja nimenomaan rakentamisessa käytetyn saven mikrobiologiaa selvittäneitä tutkimuksia esittelee tuoreehko ranskalainen väitöskirjatutkimus vuodelta 2018 (/17/). Työssä selvitettiin viljely- ja DNA-pohjaisin menetelmin eri-ikäisten savirakennusten (n=12, joista kuusi asuinkäytössä) saviseinien pintakerroksen mikrobeja, ja lisäksi laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden mikrobeja. DNA-sekvensoinnilla rakennuksista todettiin yhteensä 495 eri sienisukuun ja 513 bakteerisukuun kuuluvia mikrobeja, eli mikrobidiversiteetti oli hyvin rikas. Savipinnoista otetuissa näytteissä elinkykyisten sienten pitoisuudet vaihtelivat välillä $\sim 10^1$ - 10^2 pmy/g ja bakteerien pitoisuudet välillä $\sim 10^4$ - 10^5 pmy/g. Aiemmin kosteusvaurioituneelta alueelta otetuissa näytteissä sienipitoisuudet olivat korkeampia, $\sim 10^4$ pmy/g. Pääosa viljellyistä bakteereista kuului sukuun *Bacillus*, yleisimpänä lajina *B. simplex*. Sekvenssianalyysin perusteella asuinrakennusten bakteeristo koostui pääosin gram-positiivisista suvuista, yleisimmin *Bacillus*, *Sphingomonas*, *Arthrobacter* ja *Pseudonocardia*. Sienistä todettiin yleisimmin sukuja *Wallemia*, *Cladosporium*, *Phialosimplex*, *Penicillium*, *Cryptococcus*, *Aspergillus* ja *Alternaria*. Ihmisperäisiä mikrobeja todettiin hyvin vähän, vaikka näytteet otettiin asuttujen huoneiden sisäpinnoilta. Kastumattomissa savissa todettuihin mikrobeihin ei arvioitu liittyvän haittoja. Kastumistilanteissa savien rikkaan mikrobiston arvioitiin voivan estää haitallisten mikrobilajien kasvua. Tutkimuksessa ei määritetty mitä haitallisella mikrobilajilla tarkoitetaan, tai osoitettu estovaikutusta käytännössä.

Saksassa saven käyttö rakentamisessa on Suomea yleisempää, ja mm. perinteisissä ristikkotaloissa on käytetty olki-savilaastia. Saksalaisessa asumisterveyslehdessä Wohnung + Gesundheit (ei-tieteellinen kausijulkaisu) julkaistussa artikkelissa/18/ on esitetty tuloksia rakennuksissa käytettyjen savimateriaalien mikrobitutkimuksista, kooste alla taulukossa 3.

Taulukko 3. Savimateriaalien mikrobipitoisuuksia julkaisun /18/ mukaan.

Savimateriaali	Sienet	Bakteerit	Aktinomykeetit
Maakostea, vain mineraaliaineita	$< 10^2$	10^4 - 10^7	$< 10^4$
Lämpökuivattu, vain mineraaliaineita	$< 10^2$	$< 10^5$	$< 10^4$
Maakostea, lisätty kasvikuittuja	10^3 - 10^5	10^4 - 10^7	10^4 - 10^7
Lämpökuivattu, lisätty kasvikuittuja	10^2 - 10^4	10^2 - 10^5	10^2 - 10^4
Historiallinen ristikkotalo, vaurioitumaton	10^2 - 10^4		10^3 - 10^6
Rakennushiekka (vertailu)	$< 10^2$	10^4 - 10^6	$< 10^4$

Artikkelin mukaan lämpökuivatun saven sieni-itiöpitoisuudet ovat matalia, mutta bakteeri- ja aktinomykeettipitoisuudet korkeita. Artikkelin mukaan suurin osa tuoreen saven mikrobeista menettää elinkykynsä oikein asennetun materiaalin kuivuessa. Pitoisuudet voivat kuitenkin kasvaa rakentamiskosteuden vaikutuksesta, jos materiaalin kuivuminen on liian hidasta. Jos työmaan olosuhteidenhallinta laiminlyödään, voi muodostua näkyvää mikrobikasvustoa, joka voi olla haitallista. Kuivatus ja kuivumisen

seuranta on siksi tärkeää. /18/ Artikkelissa huomautetaan, että saveen voi myös muodostua haitallista mikrobikasvustoa myös kosteusvauriotilanteissa. Kirjoittajan kokemusten perusteella siitä ei kuitenkaan ole näyttöä, että oikein asennetun ja kuivattun materiaalin mikrobit vaikuttaisivat negatiivisella tavalla käytössä olevan rakennuksen sisäilmanlaatuun. Artikkelissa peräänkuulutetaan säädöksiä saven ja muiden luonnonmateriaalien sallituille normaalipitoisuuksille, sillä taulukon 3 mukaisten mikrobipitoisuuksien on toisinaan tulkittu indikoivan mikrobivaurioita, vaikka kyseessä on kirjoittajan mukaan materiaalin ominaisuus eikä vika.

Tämän koosteen kirjoittajan (Pitkäranta) rajallisen, n. 20 eri savimateriaaliin perustuvan kokemuksen perusteella suomalaisten asennettujen raakasavien (lattiamassat) laimennossarjaviljelyllä määritetyt sienipitoisuudet ovat vaihdelleet yleensä noin 10^2 - 10^4 pmy/g välillä ja aktinomykeettien pitoisuudet 10^3 - 10^6 pmy/g välillä. Lämpökuivattujen savijauheiden ja niistä tehtyjen laastipintojen sienipitoisuudet ovat vaihdelleet yleensä 10^2 - 10^4 pmy/g välillä ja aktinomykeettien pitoisuudet $<10^1$ - 10^4 pmy/g välillä. Jälkimmäisten suurempi vaihtelu mikrobipitoisuuksissa johtuu todennäköisesti vaihtelevista olosuhteista (lämpötila, aika) saven kuivauksessa. Rakennuksissa, joista näytteet on kerätty, ei ollut koettu sisäilmaongelmia, eli em. pitoisuudet edustavat ns. tavanomaisia materiaaleja ja olosuhteita.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuskatsauksen perusteella useilla savitasoitteilla on tutkitusti erinomainen kyky sitoa ja luovuttaa huoneilman kosteutta. Tällä ominaisuudella voi olla merkittävä sisäilmanlaatua parantava vaikutus. Pintamateriaalien kyky sitoa ja luovuttaa ilmankosteutta voi tasapainottaa hyödyllisellä tavalla huoneilman kosteutta ja vähentää rakenteisiin kohdistuvaa kosteuskuormaa. Kosteudensitomiskyky kuitenkin vaihtelee käytetyn saven ominaisuuksista riippuen, ja se voi olla myös merkityksettömän pieni. Suomalaisten savien tai näistä tehtyjen savituotteiden kosteudenpuskurointikykyä ei ilmeisesti ole tutkittu edellä kuvatuin menetelmin. Huomioiden suomalaisten savien savimineraalikoostumus ja vastaava ominaispinta-ala ja kationinvaihtokapasiteetti, voidaan olettaa, että erinomainen kosteudenpuskurointikyky voidaan saavuttaa vain käyttämällä mahdollisimman lihavaa eli korkean savespitoisuuden omaavaa savea usean kymmenen painoprosentin pitoisuutena valmiista massasta. Tuotevalmistajan tulisi osoittaa tuotteen kosteudensitomiskapasiteettia kuvaava MBV-arvo testien, esimerkiksi Nordtest-menetelmällä, mikäli tuotetta markkinoidaan ilmankosteutta tasaavana.

Kirjallisuuden perusteella on vahvoja viitteitä siitä, että savipinta voi sitoa merkittävällä tavalla sisäilman tai asennusalueen kaasumaisia epäpuhtauksia. Tätä ominaisuutta tulisi kuitenkin tutkia lisää sisäympäristöille tavanomaisissa olosuhteissa eri savilaaduilla ja eri yhdisteillä. Tasoitteissa käytetyt savet tulisi valita niiden adsorptio-ominaisuuksien perusteella, ja valmiin tuotteen ominaisuudet, myös pitkäaikainen adsorptiokyky, tulisi osoittaa testien, mikäli tuotetta markkinoidaan sisäilmaa puhdistavana. Adsorptiotestausta tulisi kehittää sisäilmanlaadun kannalta relevanteilla yhdisteillä.

Kuumementamattomat savituotteet ovat luonnostaan mikrobirikkaita ja sienten sekä erityisesti aktinomykeettien pitoisuudet voivat ylittää asumisterveysasetuksen mukaiset mikrobikasvuston viitearvot. Oikein asennetun, kuivan materiaalin mikrobipäästöt ovat kuitenkin todennäköisesti hyvin pieniä, ja muistuttavat oletettavasti ulkoympäristöstä sisään kulkeutuvaa luonnollista mikrobikuormaa, jolla tiedetään olevan pikemminkin positiivisia kuin negatiivisia terveysvaikutuksia. Lämpökuivattujen savien mikrobipitoisuudet ovat raakasavia matalampia, mutta asumisterveyden kannalta

matalamman pitoisuuden tavoittelu ei välttämättä ole järkevää, sillä lämpökäsittelyllä materiaaliin voi valikoitua lajistoa, joka voi kosteusvauriotilanteessa olla alkuperäistä kokonaismikrobistoa haitallisempaa (esimerkiksi itiöitä tuottavat lajit). Saven kuivaus- ja varastointiolosuhteiden vaikutusta materiaalin mikrobistoon, sekä savipintojen vaikutusta sisäympäristön mikrobistoon ja koettuun sisäilmanlaatuun tulisi tutkia tarkemmin.

LÄHDELUETTELO

1. Hyypä, J. (1980) Suomen savivarat. Geologian tutkimuskeskus.
2. Lumiaho, K. (1983) Kotimaisten savien käyttömahdollisuudesta täytemateriaalina ydinjätteen loppusijoituksessa. Geologinen tutkimuslaitos, tiedonanto 33 G – 1.7.
3. Ranki, T. (2020). Sähköpostit Ranki – Pitkäranta lokakuu 2020.
4. Vinha, J. ym. (2023) Kosteusturvalliset ja ympäristöystävälliset kutterinlastueristeiset puurakenteet. ECOSAFE- JA ECOSAFE 2-hankkeiden loppuraportti. Tampereen yliopisto.
5. Tournassat, C. ym. (2015) Surface properties of clay minerals. Teoksessa: Bourg, I. (toim.) Natural and engineered clay barriers. Elsevier.
6. Awad, A ym. (2019) Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: A comprehensive review. Separation and Purification Technology 228, 115719.
7. Rode, C. ym. (2005) Moisture buffering of building materials. Report BYG DTU R-126. Technical University of Denmark (DTU).
8. McGregor, F. ym. (2016) A review on the buffering capacity of earth building materials. Construction Materials, 69:5, s. 241-251.
9. Chiemchaisri W. ym. (2010) Role of final cover soil in regulating volatile organic compounds: emissions from solid waste disposal sites in developing countries. Int. J. Environment and Pollution 43, s. 3-15.
10. Laou, L. ym. (2021) Hygroscopic and mechanical behaviour of earth bricks. Materials and Structures 54:116.
11. Liuzzi ym. (2018) Hygrothermal properties of clayey plasters with olive fibers. Construction and Building Materials. 158, s. 24–32.
12. Maddison, M. ym. (2009) The humidity buffer capacity of clay–sand plaster filled with phytomass from treatment wetland. Building and Environment 44.
13. Jiang, Y. ym. (2020) Moisture buffer, fire resistance and insulation potential of novel bio-clay plaster. Construction and Building Materials 244, 118353.
14. Darling, E. ym. (2012) Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements. Building and Environment 57, s. 370-376.
15. Smedemark, S. ym. (2020) Removal of Organic Acids from Indoor Air in Museum Storage Rooms by Active and Passive Sorption Techniques. Studies in Conservation, 65:5, s. 251-261.
16. Williams, L. ja Haydel S. (2010) Evaluation of the medicinal use of clay minerals as antibacterial agents. International Geology Review, 52, s. 745–770.
17. Simons, A. ym. (2020) Characterization of the microbiome associated with in situ earthen materials. Environmental Microbiome, 15:4.
18. Röhlen, U. (2018) Mikrobielle Aspekte im Lehm- und Ziegelbau. Wohnung + Gesundheit 168, s. 44-47.

SISÄLÄMPÖTILAN LASKUN VAIKUTUS HOMERISKIIN PUURUNKOISTEN PIENTALOJEN YLÄPOHJARAKENTEISSA

Eero Saleva ja Iina Maso

AFRY Rakennusfysiikka

TIIVISTELMÄ

Artikkelissa esitellään kokeellisia ja laskennallisia tuloksia puurunkoisten pientalojen yksittäisten tilojen lämpötilan laskuun liittyvän yläpohjarakenteen homeriskin tutkimuksesta. Laskennallisen mallinnuksen pohjana käytettiin koekohteissa tehtyjä mittauksia ja havaintoja. Suomalaista homemallilla sovellettiin tutkimuksen pitkäaikaistarkasteluihin. Sisätilojen sisäpinnan homeindeksin muodostumista tarkasteltiin viiden vuoden aikavälillä. Seurantamittausten perusteella kosteuslisä tiloissa, joiden käyttöä on rajoitettu, on $0,5 \text{ g/m}^3$ pienempi kuin normaalikäytössä olevissa tiloissa. Laskennallisten tarkastelujen perusteella homeindeksi ei ylitä sisärakenteiden kriittistä arvoa 1, kun sisälämpötila on vähintään $15,5 \text{ °C}$ KL3 kosteusluokassa ja 18 °C KL2 kosteusluokassa.

JOHDANTO

Ukrainan sodan takia Venäjälle asetetut energian tuontirajoitukset sekä kiristynyt geopoliittinen tilanne koko Euroopassa ovat vaikuttaneet energiamarkkinoiden tasapainoon kasvattaen ostoenergian hintaa. Energiamarkkinoiden epävakaa tilanne on aiheuttanut paineita energiankulutuksen vähentämiselle erityisesti pientaloissa asuville, joille sisälämpötilan lasku on osoittautunut tehokkaaksi tavaksi säästää energiaa. Asuinrakennuksen sisälämpötilojen laskuun liittyy kuitenkin kasvanut homehtumisriski lämpötilan laskun aiheuttaman ilman suhteellisen kosteuden muutoksen sekä kasvavan kondensoitumisriskin takia. Lämpötilan laskemisen vaikutusten arvioimiseksi Ympäristöministeriö julkaisi vuoden 2023 tammikuussa selvityksen lämpötilan laskun vaikutuksesta rakenteiden homerisktiin tyypillisten pientalojen ulkoseinä- ja yläpohjarakenteissa [1]. Laskennalliseen mallinnukseen perustuneessa selvityksessä havaittiin, että sisätilojen kosteustuotolla on sisälämpötilaa merkittävämpi vaikutus ulkoseinä- ja yläpohjarakenteiden homeriskille.

Tämä artikkeli perustuu Eero Salevan diplomityön tutkimuksiin ja tuloksiin [2] sekä Salevan ym. vuonna 2023 julkaistussa artikkelissa [3] esitettyihin tarkasteluihin. Diplomityön tavoitteena oli tutkia yläpohjarakenteiden homeriskiä rakennuksissa, joiden yksittäisten huoneiden lämpötilaa lasketaan ja käyttöä rajoitetaan, sekä selvittää miten tällaisten tilojen kosteuslisä eroaa normaaliolosuhteissa olevista tiloista. Tutkimus rajattiin yläpohjarakenteiden tutkimukseksi, koska niihin kohdistuu keskimäärin muita rakennuksen vaipan osia suurempi ylipaine ja ne ovat siten alttiimpia sisäilman kosteuden kulkeutumiselle rakenteisiin [4]. Kosteuslisää tutkittiin keräämällä olosuhdemittausdataa koekohteista, joiden pohjalta kosteuslisä laskettiin. Tulosten perusteella kehitettiin laskentamalli, jonka avulla homeriskiä arvioitiin ajasta riippuvissa tarkasteluissa. Tässä artikkelissa esitetään menetelmät, päätulokset ja tulosten tarkastelu sisälämpötilan laskuun liittyvän riskien arvioimisen ja tavoitelämpötilan valitsemisen kannalta.

TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksia varten kerättiin olosuhdeseurantadataa kuudesta puurunkoisesta pientalorakennuksesta neljän kuukauden ajalta Etelä-Suomessa talven 2022–2023 lämmityskauden aikana. Mittaukset kohdistettiin normaalissa käytössä ja olosuhteissa olevaan tilaan, käytöltään rajoitettuun ja lämpötilaltaan madallettuun tilaan, tuulettuvaan yläpohjatilaa sekä ulkoilmaan. Mittauksessa käytettiin jatkuvatoimista Testo 174H -mittalaite-tiedonkerääjäyhdistelmää. Mittaustulosten pohjalta laskettiin tilojen kosteuslisä.

Olosuhdeseurannan mittaustuloksia käytettiin reunaehtoina pitkäaikaistarkastelun laskentamallin muodostamisessa. Laskentamalli muodostettiin WUFI Pro 6.6 -ohjelmassa, joka on yksiulotteinen FVM (Finite Volume Method) -kontrollitilavuusmenetelmään perustuva laskentaohjelma. Pitkäaikaistarkastelun laskennassa käytettiin ulkoilman olosuhteina Jokioinen 2017 nykyilmastoa. Laskentamallin toimivuus varmistettiin vertaamalla laskentatuloksia olosuhdeseurannan mittaustuloksiin. Tuloksia täydentävä kylmäsiltaivaikutuksen kaksiulotteinen lisätarkastelu tehtiin COMSOL Multiphysics ohjelmistolla.

Pitkäaikaistarkastelun tuloksia tarkasteltiin suomalaisella homemallilla [5]. Suomalainen homemalli huomioi materiaaliominaisuuksien vaikutuksen homeen kasvunopeuteen ja homekasvuston taantumaan. Suomalaisessa homemallissa homeindeksi saa arvoja välillä 0–6, joista arvo 0 merkitsee puhdasta pintaa, jossa ei ole homerihmastoon kasvua ja arvo 6 erittäin runsasta homerihmastoon kasvua, joka peittää lähes 100 % pinnasta. Haitallisen homekasvun toimenpiderajaksi on asumisterveysasetuksen 545/2015 soveltamisohjeessa määritetty rakennuksen sisäpinoilla tai lämmöneristekerroksessa, joka ei ole yhteydessä ulkoilmaan tai maaperään, näkyvä home tai materiaalinäytteessä todettu mikrobikasvu [6]. Homeindeksin arvo 1 merkitsee homerihmastoon alkavaa kasvua, joka on havaittavissa mikroskooppilla. Homerihmastoon alkavan kasvun voidaan olettaa olevan todettavissa materiaalinäytteen mikrobianalyysillä, joten homeindeksin arvoa 1 voidaan pitää asumisterveysasetuksen toimenpiderajan ylityksenä, kun tarkastellaan sisäilmaan ilmayhteydessä olevia rakenneosia.

TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

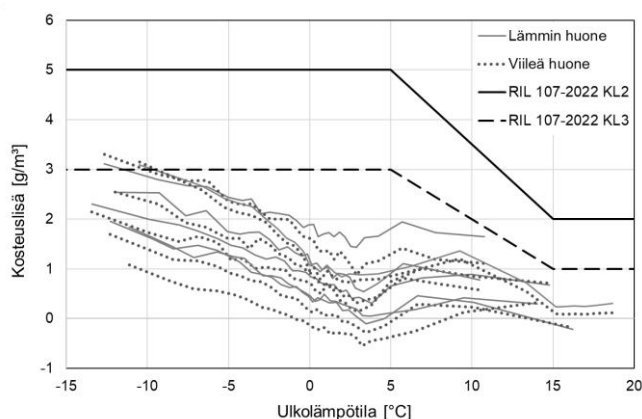
Lämpötilan ja kosteuslisän mittaustulokset

Tutkimuksissa lämpötilaero mittaushetkien käytössä olevien ja käytöltään rajoitettujen sekä lämpötilaltaan madallettujen tilojen välillä oli 1–2 °C. Tällöin lämpötilaltaan madallettujen huoneiden lämpötila oli suurimman osan seurantajaksosta pienempi kuin asumisterveysasetuksen 545/2015 soveltamisohjeen mukainen toimenpideraja. Tilanteessa, jossa sisälämpötilaa lasketaan huoneissa, joissa ei asuta, asumisterveysasetuksen toimenpiderajaa alhaisempi sisälämpötila ei ole toimenpiderajan alitus, koska toimenpiderajaa sovelletaan ainoastaan asuinhuoneiden lämpötilojen terveellisyysarviointiin. [7].

Mittaushetkien kosteuslisä oli seurantajaksolla 0–3 g/m³ ja pysyi alhaisempana niin lämpötilaltaan madalletuissa tiloissa kuin asutuissa tiloissa, kun tilan ovi pidettiin kiinni. Tulokset osoittavat, että rajoitetulla käytöllä olevien huonetilojen kosteustuotto on vähäisempää kuin normaalikäytössä olevien tilojen, ja kyseisten tilojen kosteustuottoa arvioitaessa voidaan soveltaa 0,5 g/m³ alhaisempaa kosteuslisän arvoa.

Verrattaessa kosteuslisän mittaustuloksia asumisterveysasetuksen soveltamisohjeeseen, jonka mukaan mikrobikasvun riski kasvaa kosteuslisän ollessa yli $3\text{--}4\text{ g/m}^3$, tutkimuksen asumiskäytössä olevien tilojen homeriski on vähäinen. Käytöltään rajoitettujen ja lämpötilaltaan madallettujen tilojen homeriskiä ei voida kuitenkaan arvioida asumisterveysasetuksen perusteella, jos tilojen lämpötila on toimenpiderajojen ulkopuolella. Tällaisissa tapauksissa riskien arviointi tulee tehdä tapauskohtaisesti lisätarkastelujen avulla.

Mittaus- ja laskentatulosten perusteella koekohteiden kosteuslisä oli merkittävästi pienempi kuin niiden käyttötarkoituksen mukainen RIL 107-2022 -kosteusluokan KL2 mitoitusarvo $\Delta v = 2\text{--}5\text{ g/m}^3$ [4] ja pienempi kuin kosteusluokan KL3 mitoitusarvo $\Delta v = 1\text{--}3\text{ g/m}^3$. Alhainen kosteuslisä johtui todennäköisesti siitä, että koekohteiden ilmanvaihto oli toteutettu koneellisesti ja ilmanvaihto oli niissä riittävää. Mitatun kosteuslisän keskiarvot ja RIL 107-2022 eri kosteusluokkien kosteuslisien mitoituskäyrät ovat esitetty kuvassa 1 ulkolämpötilan funktiona.



Kuva 1. Kosteuslisän keskiarvot. Kukin viiva kuvaa yhden koekohteen mittaustuloksia. Keskiarvo on laskettu 120 havainnolle, jotka ovat järjestetty ulkolämpötilan mukaan.

Tulosten perusteella RIL 107-2022 kosteusluokan KL3 kosteuslisää voidaan siis käyttää pientalojen tarkastelussa, joiden ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti ja joissa ei havaita viitteitä korkeasta kosteuslisästä. Muissa tapauksissa on suositeltavaa noudattaa RIL 107-2022 -ohjeessa esitettyä rakennusten jaottelua eri kosteusluokkiin. Kosteusluokkaa KL3 sovellettiin laskennallisten pitkäaikaistarkastelujen reunaehtojen muodostamisessa.

Pitkäaikaistarkastelun laskentamallin herkkyystarkastelu

Laskentamallin herkkyystarkastelun tavoitteena oli selvittää, millä tuulettuvan yläpohjatilan ilmanvaihtoluvun arvolla mallinnetut tulokset vastasivat parhaiten olosuhdeseurannan tuloksia, kun laskennan ulkopuolisina reunaehtoina käytettiin olosuhdeseurannan tuloksia ja seurantajakson säähavaintoja. Herkkyystarkastelun perusteella tutkittujen yläpohjarakenteiden ilmanvaihtoluku oli $10\text{--}20\text{ 1/h}$.

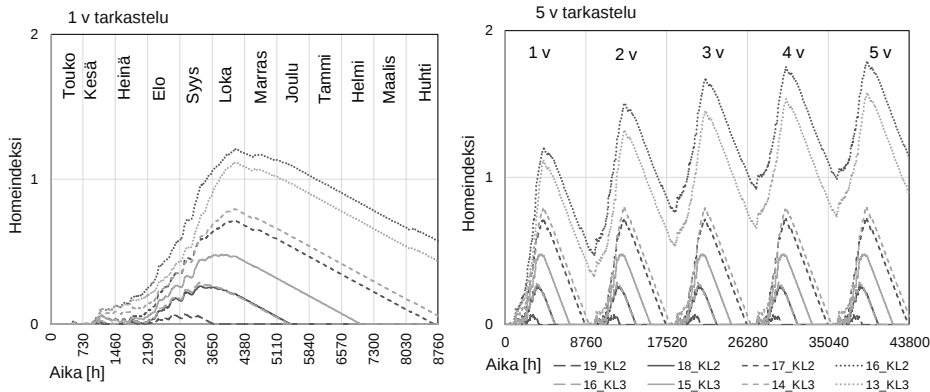
Herkkyystarkastelun ohessa havaittiin, että tuulettuvan yläpohjatilan suhteellinen kosteus oli alhaisinta, kun myös ilmanvaihto oli vähäisintä, 1 1/h . Samankaltaisia tutkimustuloksia ovat saaneet myös Viljanen ym. [8], Sekki ym. [9] ja Vinha ym. [10].

WUFI:lla tehdyssä tarkastelussa ilmanvaihtoluvulla ei ollut vaikutusta tuulettuvan yläpohjan tilan lämpötilaan, joten suhteellisen kosteuden vaihtelun voidaan katsoa johtuneen pelkästään ulkoilman kosteuden kulkeutumisesta. Tulosten perusteella yläpohjan suuri ilmanvaihtuvuus vaikuttaa kerryttävän kosteutta rakenneosaan talvikaudella, eikä kuivattavan sitä, kuten yleensä ajatellaan. Havaintoon on voinut kuitenkin vaikuttaa tarkastellun talven sateisuus. Toisaalta herkkyyštarkastelussa havaittiin rakenteiden suhteellisen kosteuden nousevan, kun niiden puurakenteista vapautuu kosteutta lämpötilan noustessa kevätkaudella. Tällöin hyvä ilmanvaihtuvuus oli rakenteen kosteustekniselle toiminnalle edullista tehostaen kosteuden poistumista.

Pitkäaikaistarkastelu suomalaisella homemallilla

Suomalaisella homemallilla tehdyssä pitkäaikaistarkastelun tulosten tarkastelussa havaittiin, että kaikissa tutkituissa tapauksissa rakenteiden sisäpinnan homeindeksi muodostui määrääväksi niin suuruutensa kuin sijaintinsa merkittävyyden kannalta. Tarkastelussa ei havaittu merkittäviä eroja sisäpinnan homeindeksissä tutkimuksen eri kohteiden välillä, vaikka niiden rakenneratkaisut ja -materiaalit poikkesivat toisistaan. Sisälämpötilojen vähentämiseen liittyvää homeriskiä voidaan siis arvioida koko yläpohjarakenteen kannalta pelkän sisäpinnan homeriskin perusteella. Tulosten perusteella käytöltään rajoitettujen tilojen $0,5 \text{ g/m}^3$ normaalissa asuinkäytössä olevia tiloja pienempi kosteuslisä ehkäisee niiden homeriskiä. Käytöltään rajoitettujen tilojen ei kuitenkaan voida katsoa kuuluvan alhaisemman kosteuslisän kosteusluokkaan ja niiden homeriskitarkastelussa suositellaan käyttämään samaa kosteuslisän mitoitusarvoa kuin muissa asuinhuoneissa.

Sisäpinnan homeindeksin muodostumista tarkasteltiin lisäksi viiden vuoden aikavälillä RIL 107-2022 kosteusluokkien KL2 ja KL3 kosteuslisillä. Tarkastelu tehtiin yhden asteen välein 19°C lämpötilasta lähtien, kunnes homeindeksi ylitti arvon yksi. Tarkastelun perusteella turvallisen sisälämpötilan minimiarvo kosteusluokassa KL2 on 17°C ja kosteusluokassa KL3 se on 14°C . Lisäksi on huomionarvoista, että homeindeksin jyrkin kasvu ajoittuu syksyn kosteaan ajanjaksoon, jonka jälkeen homeindeksin taso alkaa laskemaan kaikilla tutkituilla sisälämpötiloilla ja kosteuslisillä.



Kuva 2. Kosteuslisän vaikutus homeindeksiin verrattuna tyypillisessä 1990-luvun rivitalon puurakenteisessa yläpohjarakenteessa. Käyrien KL2 ja KL3 edellä esitetyt arvot tarkoittavat laskennassa käytettyä sisälämpötilaa ($19_KL2 = 19^\circ\text{C}$ sisälämpötila KL2 kosteuslisällä).

Tulosten tarkastelussa on huomioitava, että pitkäaikaistarkastelut edustavat tilannetta yläpohjarakenteiden kohdassa, jossa lämmöneristekerros on jatkuva. Homeriski kasvaa esimerkiksi kylmäsilta kohdissa, joiden vaikutus korottaa Salevan ym. vuonna 2023 julkaistussa artikkelissa esitetyn lisätarkastelun mukaan turvallisen sisälämpötilan minimiarvoa 1–1,5 °C riippuen kosteusluokasta [3]. Tämä kylmäsilta vaikutus huomioiden turvallisen sisälämpötilan miniarvo on kosteusluokassa KL2 18 °C ja kosteusluokassa KL3 15,5 °C.

Kylmäsilta vaikutuksen lisäksi muita sisäpinnan homeriskiä kasvattavia tekijöitä ovat Ympäristöministeriön [1] mukaan ryijyt ja kiintokalusteet, joiden lisäksi voi olla myös muita homeriskiä kasvattavia tekijöitä. Siksi turvallinen sisälämpötila tulee arvioida aina kokonaisuus huomioiden, ja tässä artikkelissa esitettyä raja-arvoja voidaan pitää arviointia tukevinä viitteellisinä arvoina. Jos sisälämpötilaa aiotaan laskea lähelle tutkimuksessa määritettyjä minimiarvoja, tulee erityisesti rakenteiden kylmäsilta kohtia seurata. Yleisestikin kosteuden kondensoitumista tulee pitää merkinä liian alhaisesta sisälämpötilasta, jolloin sisälämpötilaa tulee nostaa ja kastuneet pinnat kuivata. Lisäksi on huomioitava, että tämän tutkimuksen tulokset edustavat tilannetta pelkästään yläpohjarakenteiden osalta ja todellisessa käyttötilanteessa sisälämpötilan lasku voi aiheuttaa riskejä myös muissa rakennuksen vaipan osissa.

YHTEENVETO

Tutkimuksessa havainnoitiin sisälämpötilan laskun vaikutusta homeriskiin puurunkoisten pientalojen yläpohjarakenteissa koekohteissa suoritettavilla mittauksilla ja laskennallisella mallintamisella. Tutkimuksessa tehtiin olosuhdeseurantamittauksia puurakenteisissa pientaloissa, joiden perusteella selvitettiin kosteuslisä tiloissa, joiden lämpötilaa on laskettu ja käyttöä rajoitettu. Kosteuslisä tällaisissa tiloissa oli 0,5 g/m³ pienempi kuin normaalikäytössä ja -olosuhteissa olevissa tiloissa. Käytöltään rajoitettujen tilojen pienempi kosteuslisä ei kuitenkaan vaihda tilojen kosteusluokitusta alemman kosteuslisän luokkaan.

Tutkimuksessa muodostettiin pitkäaikaistarkastelua varten laskentamalleja, jotka muodostettiin koekohteista kerättyjen lähtötietojen ja kokeellisten mittausten tulosten perusteella. Laskentamallien herkkyystarkasteluissa yläpohjan 10–20 l/h ilmanvaihtoluku vastasi parhaiten olosuhdeseurannan mittaustuloksia. Herkkyystarkastelussa havaittiin yläpohjan suhteellisen kosteuden nousevan ilmanvaihtoluvun noustessa talvikaudella, jolloin vähempi ilmanvaihtuvuus on toivotumpaa yläpohjan kosteusteknisen toimivuuden kannalta.

Pitkäaikaistarkastelulla tutkittiin yläpohjarakenteiden homeindeksiä suomalaisella homemallilla. Tulosten perusteella yläpohjan sisäpinta muodostuu rakenteessa homeriskin perusteella määrääväksi ja pitkäaikaistarkastelu voidaan kohdistaa pelkästään tähän pisteeseen. Tulosten perusteella 18 °C sisälämpötilassa homeindeksi ei ylittänyt arvoa yksi RIL 107-2022 KL2 kosteuslisällä, joka vastasi koekohteiden kosteuslisän mittaustuloksia. Yleisesti asuinhuoneiden katsotaan kuuluvan RIL 107-2022 kosteusluokkaan KL2, jolle esitetty turvallisen sisälämpötilan miniarvo on sama kuin asumisterveysasetuksessa 545/2015 esitetty toimenpideraja huoneilman lämpötilalle lämmityskaudella [7] ja jota voidaan pitää yleisenä ohjeena sisälämpötilan laskussa lämmityskaudella. Vastaavasti pienemmällä RIL 107-2022 KL3 kosteuslisällä sisälämpötilaa voidaan laskea 15,5 °C:n, jota voidaan soveltaa käytöltään rajoitettuihin tiloihin, mikäli niiden todetaan kuuluvan kosteusluokkaan KL3.

LÄHDELUETTELO

1. Ympäristöministeriö. 2023. Selvitys sisälämpötilan laskun vaikutuksesta rakenteiden homeutumiseen. Helsinki, Ympäristöministeriö.
2. Saleva, E. 2023. Sisälämpötilan laskun vaikutus homeriskisiin puurunkoisten pientalojen yläpohjarakenteissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 97 s.
3. Saleva, E., Maso, I. 2023. Sisälämpötilan laskun vaikutus homeriskisiin puurunkoisten pientalojen yläpohjarakenteissa. Tampere, Rakennusfysiikka 2023.
4. RIL 107-2022. 2022. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki, RIL ry.
5. Vinha, J., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Ojanen, T. ja Salminen, K. 2013. VTT-TTY homemallin toimintaperiaatteet ja käyttö rakenteiden kosteusteknisen toiminnan tarkasteluissa. Rakennusfysiikka 2013, s. 67-76. Tampere, Rakennusfysiikka 2013.
6. Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa IV. Helsinki, Valvira.
7. Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa II. Helsinki, Valvira.
8. Viljanen, K., Xiaoshu, L. ja Puttonen, J. 2021. Factors affecting the performance of ventilation cavities in highly insulated assemblies. Journal of Building Physics, s. 67-110. doi: <https://doi.org/10.1177/1744259121995221>
9. Sekki, P., Saleva, E. ja Laamanen, P. 2023. Study of ventilated low-slope and large span wooden element roofs in the current and future climate. Aalborg, Nordic Building Physics Symposium.
10. Vinha, J., Laukkanen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A., ja Palolahti, T. 2013. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 405 s.

RAKENNUSTEN ULKOVAIPPARAKENTEIDEN KOSTEUSTURVALLISUUS MUUTTUVASSA ILMASTOSSA

Ilkka Valovirta, Tuomas Raunima ja Juha Vinha

Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennusfysiikan tutkimusryhmä

TIIVISTELMÄ

Ilmastomuutos tulee vaikuttamaan ulkovaipparakenteisiin ilmaston lämpenemisen ja sademäärien lisääntymisen kautta. Tällöin erityisesti homeriski rakenteiden ulko-osissa sekä säälle alttiiden betonirakenteiden raudoitteiden korroosioriski kasvavat.

Ilmastomuutos pakottaa tarkentamaan rakennusvaipan uloimpien kerrosten suunnittelukriteerejä sekä tuulettuvien rakenteiden tuuletuksen järjestämistä. Osa nykyisin käytetyistä rakennetyypeistä toimii myös tulevaisuuden ilmastossa, kun taas osaan joudutaan tekemään muutoksia. Tässä artikkelissa esitetään tiivistetysti KouluKunto -hankkeessa tehdyn, eri rakennetyyppejä koskevan katsauksen tulokset ja niiden pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä. Tuloksia voidaan soveltaa oppilaitosrakennusten lisäksi muuhunkin rakennuskantaan.

ILMASTONMUUTOKSEN ETENEMINEN JA SIITÄ AIHEUTUVAT OLOSUHDEMUUTOKSET

Suomen ilmasto on lämmennyt 1900-luvun alun jälkeen noin 2 °C [1]. Mallinnuksen perusteella vuoden keskilämpötila tulee Suomessa nousemaan tämän vuosisadan loppuun mennessä vielä 1,5...5 °C, riippuen maailmanlaajuisesta kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä [2]. Talviajan lämpötilat kohoavat eniten. Ulkoilman suhteellisen kosteuden odotetaan pysyvän likimäin ennallaan, kun taas sateiden ja erityisesti viistosateiden odotetaan lisääntyvän. Ilmaston odotetaan muuttuvan likimain 2050-luvulla siinä määrin, että useiden rakenteiden toteutusperiaatteita joudutaan arvioimaan uudestaan. Eniten tarvetta toteutusperiaatteiden muuttamiseen tulee olemaan Etelä-Suomessa. Itä- ja Pohjois-Suomessa nykyisillä periaatteilla toteutetut rakenteet toimivat todennäköisimmin jatkossakin.

Rakenteiden kosteusteknistä toimintaa ajatellen suurimmat muutokset liittyvät syksyn ja talven sähän. Homeenkasvun mahdollisuudet rakenteiden ulko-osissa kasvavat syksyllä, koska lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja tutkittavan rakennusmateriaalin funktiona määräytyvä homeindeksi nousee keskilämpötilan nousun vuoksi.

Tyypillisissä rakennusmateriaaleissa homeet vaativat kasvaakseen yli 0 °C lämpötilan sekä vähintään 80...85 % suhteellisen ilmankosteuden. Tulevaisuudessa ulkoilma ja sitä myöten myös rakennusvaipan ulko-osat ovat keskimäärin aiempaa lämpimämpiä. Tämä korostuu erityisesti syksyllä, jolloin ilman suhteellinen kosteus on korkea ja homeilla on siten hyvät kasvuolosuhteet. Esimerkiksi tuuletetuissa seinäarakenteissa ulkoverhouksen ja tuuletusvälin yhdessä aikaansaama pieni lämmönvastus on tähän asti yleensä riittänyt estämään homevaurioiden muodostumisen tuulensuojalevyyn ja

lämmöneristekerrokseen. Tulevaisuudessa muun muassa tämän rakenteen toimintaa joudutaan arvioimaan uudestaan.

KouluKunto -hankkeessa on tutkittu koulurakennusten rakenteiden, talotekniikan ja sisäilmaston nykytilaa sekä selvitetty keinoja ilmastomuutoksen huomioon ottamiseen rakentamisessa, ilmanvaihdon energiatehokkaaseen käyttöön ja rakennusten painesuhteiden hallintaan [3]. Tulokset ovat yleistettävissä monenlaisiin rakennuksiin eri puolille Suomea, koska tarkastelussa on pyritty ottamaan huomioon erilaiset oppilaitosrakennukset eri puolilla maata.

BETONIN PAKKASRAPAUTUMINEN JA RAUDOITTEIDEN KORROOSIO

Ulkobetonirakenteiden raudoitteiden korroosioriski tulee kasvamaan Etelä- ja Keski-Suomessa hieman. Pohjois-Suomessa korroosioriski nousee huomattavasti nykyisestä, mutta jää kuitenkin nykyisiä Etelä-Suomen arvoja alhaisemmaksi.

Eteläisellä rannikkoalueella betonirakenteiden pakkasrasitus vähenee ilmaston lämpenemisen ansiosta vuoden 2030 jälkeen. Sisämaassa olosuhteet muuttuvat sateisuuden noustessa jopa nykyistä ankarammiksi. Nykysuositusten mukaan toteutetut betonirakenteet kuitenkin kestävätkin myös tulevan ilmaston aiheuttamat rasitukset Vanhojen betonirakenteiden pakkasrapautumisriski pysyy kutakuinkin nykytasolla, lukuun ottamatta edellä mainittua Etelä-Suomen rannikkoa.

Betonisandwich-elementit ovat jatkossakin käyttökelpoinen rakennetyyppi. Tulevaisuuden ilmastossa rakentamisaikaisen kosteuden kuivuminen kuitenkin hidastuu, mikä nostaa teoriassa homeriskiä mineraalivillaeristeen ulkopinnassa ja solumuovieristeen sisäpinnassa. Uuden betonin alkalisuus estää kuitenkin homeenkasvun käytännössä. Ulkokuorten korroosio ja pakkasrapautuminen on estettävissä nykykäytäntöjä noudattamalla.

Yhteenvedona voidaan todeta, ettei ulkobetonirakenteiden toteutukseen ole odotettavissa merkittävää muutostarvetta. Poikkeuksen saattaa muodostaa pakkasrapautumisriskin huomattava väheneminen Etelä-Suomessa, mikäli kasvihuonekaasujen päästöjä ei saada hillittyä ja maapallon keskilämpötila nousee voimakkaasti. Tällöin jäätymis-sulamissyklien määrä saattaa jäädä Etelä-Suomessa huomattavan alhaiseksi.

PUU- JA TIILIVERHOILLUT ULKOSEINÄT

Rankarakenteisissa ulkoseinissä ongelmallisin kohta on tuulensuojalevyn takana, lämmöneristeen ja rungon ulko-osissa. Tuulensuojalevyn lämmönvastus nousee entistä merkittävämpään rooliin. Sen ansiosta lämpötila tuulensuojalevyn takana nousee, jolloin suhteellinen kosteus laskee. Esimerkiksi 9 mm vahvuisen tuulensuojakipsilevyn lämmönvastus ei tule riittämään tulevaisuudessa, vaan sen ulkopuolelle on asennettava esimerkiksi 30 mm:n vahvuinen mineraalivillalevy.

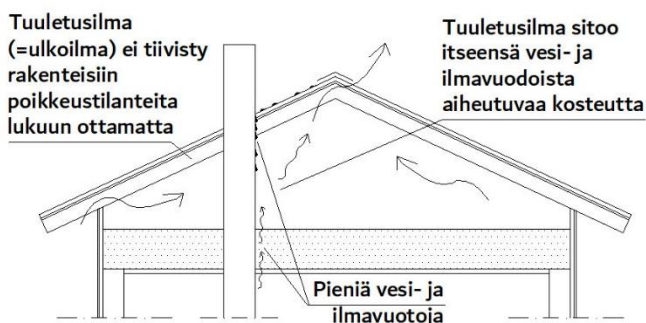
Tiilijulkisivujen suojaaminen sateelta on tulevaisuudessa nykyistäkin tärkeämpää. Julkisivutiiltien vettäytymisen läpikotaisin ja siitä aiheutuva vesihöyryn haihtuminen tiilistä tuuletusrakoon nostaa suhteellista kosteutta tuuletusraossa. Tällöin myös lämmöneristeen, sekä puurankarakenteessa myös tuulensuojalevyn ja puurungon suhteellinen kosteus nousevat, mikä voi johtaa pahimmillaan homeenkasvuun. Rakenteessa tarvitaan erittäin hyvin lämpöä eristävä tuulensuojalevy. Räystäättömässä ja/tai korkeassa julkisivussa suositeltava ratkaisu on jo nykyilmastossa ns. sadetakkipelti, joka asennetaan tuuletusraon puoliväliin. Tuuletuksen toimiessa seinän

ylä- ja alaosissa levyn molemmin puolin, poistuvat sekä tiilistä haihtuva kosteus että sisäilman kosteus, eikä tiilistä haihtuva kosteus pääse nostamaan kosteutta seinän sisemmissä osissa.

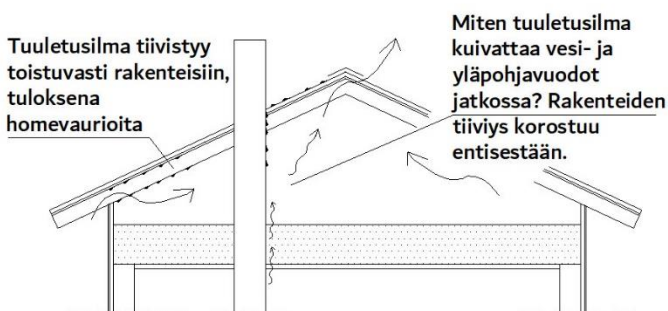
YLÄPOHJAT

Yläpohjat on tähän asti pyritty tuulettamaan mahdollisimman tehokkaasti mm. pienten vesivuotojen ja sisältä tulevan kosteuden kuivattamiseksi sekä lumen sulamisen ja siitä aiheutuvan jäänmuodostuksen estämiseksi (kuva 1). Tulevaisuuden ilmastossa ulkoa tuleva tuuletusilma muodostaa kuitenkin itsessään kosteuslähteen. Riskinä on ilman tiivistyminen kirkkaina, kylminä öinä. Tästä aiheutuneita vaurioita on jo todettu muun muassa Etelä-Ruotsissa [4]. Ilmiön odotetaan muodostuvan ongelmalliseksi Suomessa vuosien 2050 ja 2100 välillä [5]. Mahdollisia keinoja yläpohjien kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi ovat lämpöä eristävän aluskatteen käyttö, yläpohjan ilmanvaihtuvuuden optimointi, kosteutta tasaavat hygroskooppiset rakennusmateriaalit sekä vesikatteen ja yläpohjan tiiviys.

TUULETTUVAN YLÄPOHJAN TOIMINTA NYKYILMASTOSSA



TUULETTUVAN YLÄPOHJAN MAHDOLLISIA ONGELMIA TULEVAISUUDEN ILMASTOSSA



Kuva 1. Tuulettuvan yläpohjan kosteustekninen toiminta

Lämpöä eristäväksi aluskatteeksi soveltuu käytännössä 20–30 mm vahvuinen eristelevy, jonka lujuus-, pitkäaikaiskestävyys- ja palotekniset ominaisuudet ovat käyttötarkoitukseen soveltuvia. Lämpöä eristävän aluskatteen käytöllä ei ole tiedossa haittavaikutuksia, joten sen käyttö olisi mahdollista jo nykyrakentamisessa.

Tuuletusilman mukana yläpohjaan kohdistuvaa kosteusrasitusta ajatellen optimaalinen yläpohjan ilmanvaihtuvuus olisi nykytiedon mukaan 0,5–1 vaihtoa tunnissa. Tämä saavutettaisiin nykyistä huomattavasti pienemmällä yläpohjan tuuletusrakojen/-aukkojen

pinta-aloilla. Tällöin kuitenkin väistämättä heikennetäisiin yläpohjan kuivumiskykyä esimerkiksi erilaisissa vesivuototilanteissa. Tuuletusta rajoitettaessa tulisi vesikate ja aluskate sekä yläpohjan höyrynsulun tiivistys suunnitella ja toteuttaa erityisen huolellisesti. Tuuletus on toistaiseksi perusteltua toteuttaa perinteisen käytännön mukaan. Sitä on suhteellisen helppoa rajoittaa jälkeinpäin, jos tarvetta ilmenee.

Kevytsoralla tai yläpinnastaan uritetulla mineraalivillakerroksella eristetyissä, lievästi tuulettuvissa yläpohjissa ilmastomuutoksen vaikutus jää nykytiedon mukaan hyvin tuulettuvia yläpohjia vähäisemmäksi. Tämänhetkisen suunnittelu- ja toteutuskäytännön muuttamiseen ei tämänhetkisen tiedon perusteella ole aihetta. Sisäpuolisella vedenpoistolla varustettujen kattojen osalta tilanne saattaa kuitenkin muuttua. Kattokaivojen ja sadevesiviemärien suunnitteluun ja mitoittamiseen saattaa hyvinkin tulla muutostarpeita sademäärien kasvun ja erityisesti rankkasateiden lisääntymisen vuoksi.

MAANVASTAISET RAKENTEET

Tuulettuvat alapohjat ovat hyvistä puolistaan huolimatta haastava rakennetyyppi jo nykyisellään. Lisähaastetta tuottaa ilmastomuutoksen myötä kohoava kesäajan absoluuttinen ilmankosteus. Ryömintätilaisen alapohjan kosteuslähteitä ovat tuuletusilman mukanaan tuoman kosteuden lisäksi maasta haihtuva kosteus. Alapuolisen maan suuren lämpökapasiteetin takia ryömintätilaisen alapohjan lämpötila pysyy kesällä tyypillisesti ulkoilman lämpötilaa viileämpänä. Ryömintätilan ulkoilmaa alhaisempi lämpötila aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden kohoamisen ja pahimmillaan kondenssiriskin. Koska ryömintätilaisen alapohjan haasteita ovat kosteuden haihtuminen maasta sekä kylmä maanpinta kesällä, tulee maapohjan päälle asentaa jo nykysuositusten mukaan kapillaarikatko ja lämmöneriste. Tulevaisuudessakaan ei ole syytä poiketa tästä käytännöstä.

Ryömintätilan ilmanvaihtomäärä on erittäin kriittinen muuttuja. Ryömintätilan tuuletuksen tulee olla riittävä muun muassa radonin torjunnan sekä ryömintätilaan mahdollisesti pääsevien sade- ja lumensulamavesien kuivatuksen vuoksi. Toisaalta liian suuri ilmanvaihtuvuus aiheuttaa ryömintätilaan kosteusrasitusta kesäaikaan, jolloin ulkoilman absoluuttinen kosteus on suurimmillaan. Mikäli maanpinta esimerkiksi 50–200 mm:n vahvuista EPS-eristettä, lämmöneristeellä, saadaan alapohjan tuulensuojalevyn homeindeksi pysymään alle 1,0 vuoden 2050 ilmastossa. Tämä pätee, kun ryömintätilan ilmanvaihtuvuus on 0,3–0,6 1/h ja tuulensuojalevynä käytetään puukuitulevyä tai vastaavan homehtumisherkkyysluokan omaavaa materiaalia [5].

Maanvaraisessa alapohjassa sekä maanvastaisissa seinissä ilmastomuutoksen vaikutukset jäävät nykytietämyksen mukaan vähäisiksi. Sademäärien kasvun ja sään ääri-ilmiöiden vuoksi maanvastaisten seinien vedeneristys sekä hulevesien poisjohtaminen ovat tulevaisuudessakin kriittisiä tekijöitä, joten niiden toteutukseen on kiinnitettävä huomiota.

ENERGIANSÄÄSTÖTOIMENPITEET SEKÄ KORJAUSRAKENTAMINEN

Ulkovaipan lisäeristäminen on yleisesti ottaen suositeltavaa tehdä olemassa olevien rakenteiden ulkopuolelle, myös tulevaisuuden ilmastoja ajatellen. Tällöin lisälämmöneristyksellä voidaan energiansäästön lisäksi parantaa olemassa olevan rakenteen rakennusfysikaalisia olosuhteita.

Erityisesti puurakenteiden lisäeristuksen yhteydessä on varmistettava lisäeristuksen riittävä lämmönvastus ja vesihöyrynläpäisevyys. Ulkopuolisen lisälämmöneristuksen

yhteydessä on syytä kiinnittää huomiota ulkoverhouksen toimivuuteen, koska se joudutaan joka tapauksessa uusimaan. Ulkovaipan vedenpitävyyteen on syytä kiinnittää huomiota sateiden ja erityisesti viistosateiden lisääntymisen vuoksi. Työmaatoiminta on tässä avainasemassa.

Rakennusten ilmatiiviyteen on parinkymmenen viime vuoden aikana alettu tosissaan kiinnittää huomiota. Tulokset näkyvät rakennusten mitatuissa ilmavuotoluvuissa. Asiaa on kuitenkin edelleen syytä korostaa sekä energiansäästön että ulkovaipparakenteiden kosteusteknisen toiminnan vuoksi.

SADE- JA HULEVEDET

Räystäiden sekä ulkovaipparakenteiden rakennetyyppien ja detaljien merkitys korostuu entisestään erityisesti Etelä-Suomessa, missä yhä suurempi osa sateesta tulee jatkossa vetenä. Rankkasateiden yleistymisen sekä rakenteiden kuivumisen kannalta hankalan syyskauden pidentymisen myötä kattokaivojen, vesikourujen, syöksytorvien, sadevesikaivojen ja muiden sade- ja hulevesijärjestelmien osien huolto on entistä tärkeämpää. Sisäpuolisella vedenpoistolla varustettujen kattojen huolto ja kunnossapito on todettu kriittiseksi erityisesti matalissa rakennuksissa, joiden katoille kertyy herkästi lehtiä ja havunneulasia. Huomattava osa esim. oppilaitosrakennuksista edustaa tällaista rakennuskantaa.

YHTEENVETO

Nykymääräysten ja -ohjeiden mukaan kunnolla suunnitellut ja toteutetut ulkovaipparakenteet toimivat monilta osin tulevaisuudessakin. Valtakunnantason ongelmia ei ole odotettavissa lyhyellä aikavälillä.

Suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöjä joudutaan kuitenkin arvioimaan uusiksi tiettyjen rakenteiden uloimpien osien osalta. Esimerkkejä ovat tuulensuojalevyt, tiilijulkisivun tausta ja tuulettuvien yläpohjien ilmanvaihtomäärät. Sadevesijärjestelmien suunnittelua ja hulevesien hallintaa on syytä korostaa entisestään odotettavissa olevien sademäärien lisääntymisen vuoksi. Suunnittelussa ja rakentamisessa on syytä hyödyntää aina ajantasaisinta tietoa, koska ilmastonmuutoksen etenemistä ja sen vaikutusta rakenteisiin tutkitaan jatkuvasti. Esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n uusimmissa veden- ja kosteudeneristysohjeissa RIL 107-2022 [6] on jo otettu huomioon ilmastonmuutos.

Ilmastonmuutokseen varautumisen kustannusvaikutukset jäävät tämänhetkisen tiedon valossa sekä uudis- tai korjausrakentamishankkeissa suhteellisen vähäisiksi. Rakenteiden työnaikainen suojaus on jatkossa kuitenkin vielä tärkeämpää kuin nykyisin, ja tällä on väistämättä kustannusvaikutusta.

Rakennusten ulkovaipparakenteiden, pihojen ja hulevesijärjestelmien jatkuvaan kunnossapitoon on syytä suunnata resursseja. Sademäärien lisääntymisen, rakenteiden kuivumisen hidastumisen sekä rakenteiden ulko-osissa tapahtuvan homeenkasvun nopeutumisen vuoksi kaikenlaisten vaurioiden ripeä korjaaminen on entistä tärkeämpää.

LÄHDELUETTELO

1. Ruosteenoja K, Räisänen J. Evolution of observed and modelled temperatures in Finland in 1901–2018 and potential dynamical reasons for the differences. *International journal of climatology* 2021; 41(5):3374–3390. DOI: 10.1002/joc.7024.
2. Ruosteenoja K, Jylhä K. Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica* 2021; 56:39–69.
3. Tähtinen K, Vornanen C, Alapieti T, Raunima T, Valovirta I, Kero P, Miettinen H, Simpanen M, Vinha J, Salonen H. Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto. Valtioneuvoston kanslia: Helsinki, 2023.
4. Nik VM, Sasic Kalagasidis A, Kjellström E. Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden. *Building and Environment* 2012; 55:96–109. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.01.024.
5. Vinha J, Laukkarinen A, Mäkitalo M, Nurmi S, Huttunen P, Pakkanen T, Kero P, Manelius E, Lahdensivu J, Köliö A, Lähdesmäki K, Piironen J, Kuhno V, Pirinen M, Aaltonen A, Suonketo J, Jokisalo J, Teriö O, Koskenvesa A, Palolahti T. Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. 2013.
6. RIL 107-2022 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL: Helsinki, 2022.

BETONILATTIARAKENTEIDEN KOSTEUDENHALLINTA BY76

Sami Niemi¹ ja Tarja Merikallio²

¹AFRY Rakennusfysiikka

²Vison Oy

TIIVISTELMÄ

Artikkelissa esitellään uusi betonilattiarakenteiden kosteudenhallinnan oppikirja /1/, joka päivittää ja monilta osiltaan laajentaa vuonna 2007 julkaistua Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen oppikirjaa /2/. Päivitystarve oli suuri, koska kosteudenhallinnan merkitys rakentamisen terveellisyyden ja turvallisuuden varmistamisessa on kasvanut entisestään. Julkaisuun on koottu oleelliset betonilattiarakenteiden kosteudenhallintaan liittyvät tekijät ja sen tavoitteena on antaa päällystettävien ja pinnoitettavien betonilattioiden kosteudenhallintaan liittyviä käytännönläheisiä ohjeita ottaen huomioon koko rakentamisprosessi. Lopuksi kerrotaan mihin suuntaan kosteudenhallintaa ja päällystettävyyden arviointia ollaan kehittämässä käynnissä olevassa tutkimuksessa.

JOHDANTO

Rakentamisen kosteudenhallintaa on kehitetty pitkäjänteisesti jo yli 25 vuotta. Edelleen kehitettävää riittää, koska rakentamista ollaan nopeuttamassa niin tehokkuuden parantamisen kuin hiilijalanjäljen pienentämisenkin nimissä. Myös materiaalien kierrätys ja muu materiaalikehitys edellyttää lisää tietoa.

90-luvulla tapahtunut rakentamisen nopeuttaminen johti vakaviinkin kosteusongelmiin, kun rakennuksia viimeisteltiin liian kosteina sisäilma- ym. ongelmia synnyttäen. Vuonna 1997 käynnistettiin 1. kosteudenhallintaan suunnattu TEKES-hanke urakointi- ja suunnittelualan voimin. Kosteudenhallinta sanana alkoi vakiintumaan.

2000-luvun alussa alkoi Ratekolla sertifioitujen rakenteiden kosteuden mittaajien koulutus ja Betonitieto julkaisi Betonirakenteiden kosteusmittaus- ja kuivumisen arviointi- julkaisun vuonna 2002. Lisävauhtia kosteudenhallinnan kehittämiseen haettiin toisella TEKES-hankkeella, mutta silti sisäilmaongelmat tuntuivat jopa pahentuvan, joten asiaan tartuttiin vuosina 2005–2007 Betonirakenteiden päällystämisen ohjeistus (BePo) TEKES-hankkeella, jonka päätteenä betoniteollisuus ja lattianpäällystysala julkaisivat betonirakenteiden päällystämisen ohjeet ja oppikirjan /2/ lattiarakenteiden kosteudenhallinnalle.

Kuitenkin vasta RIL:in vuoden 2011 koko rakentamisprosessin kosteudenhallinnan käsittävä julkaisu ”Kosteudenhallinta ja homevaurion estäminen” käynnisti laajan kehityksen kohti nykytilaa, kun julkaisu esitti mm. mallin kosteudenhallinnan työn- ja vastuunjaolle sekä hankkeiden kosteudenhallinnan vaativuuden määrittelylle.

Maankäyttö- ja rakennuslain tarkennuttua kosteusteknistä toimintaa määrittelevään asetukseen sisällytettiin paljon uutta kosteudenhallintaan liittyvää vuonna 2017. Vuonna 2018 lanseerattiin Kuivaketju 10 kosteudenhallintatoimintatapa. Kosteusasetuksen

soveltamisohjeeseen vuonna 2019 sisällytettiin paljon hyviä kosteudenhallintaa ohjaavia seikkoja, joita 2020-luvulla muun muassa rakennusvalvontojen Topten ohjeistukset ovat tarkentaneet.

Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta kuuluu oleellisena osana koko rakennushankkeen kosteudenhallintakokonaisuuteen. Lattiarakenteiden kosteudenhallinnalla pyritään erityisesti varmistamaan, ettei betonissa oleva kosteus pääse vaurioittamaan betonirakenteen pintaan asennettavia materiaaleja. Kosteudenhallinnassa tulee kiinnittää erityistä huomiota betonin riittävään kuivumiseen ennen päällystys- tai pinnoitustyöhön ryhtymistä.

Lattiarakenteen riittävän kuivumisen varmistaminen ennen päällystämistä ja pinnoittamista vaikuttaa niin suunnitteluratkaisuihin ja työmaan toimenpiteisiin kuin hankkeen aikatauluun ja kustannuksiinkin.

Usein luullaan, että betonilattioiden ongelmat johtuvat liian tiukoista rakentamisaikatauluista. Lisäksi keskusteluihin ovat nousseet päällystemateriaalien, kuten muovimattojen ja liimojen, kemiallisten ominaisuuksien muuttumisesta johtuvat haasteet unohtamatta itse betonin koostumuksen muuttumista. Rakentamisaikataulujen pidentäminen ei ole kestävä ratkaisu, joten toimenpiteet tulee kohdistaa kosteudenhallintatoimenpiteisiin sekä rakenneratkaisu- ja materiaalivalintoihin.

Tämän By:n oppikirjan laatimisen osana syntyi vuonna 2022 erillinen Terveet tilat 2028 julkaisu Muovimattolla päällystetyt betonilattiat - Vauriot, korjaustarpeen arviointi ja korjaaminen /3/. By:n julkaisu on huomattavasti laajempi käsittäen laajan skaalan rakenteita ja pintarakenteita, joiden kosteusteknisellä toimivuudella voi olla vaikutusta sisäilman laatuun.

By76:n kirjoittajat Sami Niemi ja Tarja Merikallio vastasivat myös 2007 julkaisuista. Päivityksen ohjausryhmä koostuu Betoniyhdistyksen, Betoniteollisuuden, Lattian- ja Seinänpäällysteliiton, Talonrakennusteollisuuden ja Ympäristöministeriön edustajista.

Julkaisusta on hyötyä kaikille rakentamisen osapuolille. Vaikka kaikki oppikirjan asiat eivät suoraan liity sisäilma-asioihin, auttaa kokonaisuuden ymmärtäminen kiinnittämään huomioita oikeisiin asioihin niin ongelmien välttämässä kuin niiden selvittämisessä ja korjaamisessakin.

JULKAISUN SISÄLTÖ YLEISESTI

By:n oppikirja Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta By76 on päivitetty ja laajennettu versio Betonikeskus ry:n sekä Lattian- ja Seinänpäällysteliiton vuonna 2007 julkaisemasta oppikirjasta Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen /2/. Vuonna 2024 julkaistava oppikirja on aiempaa käytännönläheisempi sisältäen muun muassa paljon käytännön esimerkkejä ja valokuvia todellisista kohteista.

Julkaisuun on koottu laajasti oleellimmat betonilattiarakenteiden kosteudenhallintaan liittyvät tekijät sisältäen mm. betonin kosteuskäyttäytymistä eri rakenteissa, kosteudenhallinnan optimointia, mitaamista, tulosten tulkintaa, eri päällyste- ja pinnoitevaihtoehtojen toimivuutta ja vaurioitumista sekä korjaustarpeen arviointia ja elinkaariaasiaa. Tavoitteena on antaa päällystettävien ja pinnoitettavien betonilattioiden terveelliseen ja turvalliseen toteuttamiseen liittyviä käytännöllisiä ohjeita ottaen huomioon koko rakentamisprosessi kaikkine ohjeineen ja säädöksineen.

Betonin kosteuskäyttäytymisen perusasiat käsitellään pitkälti kuten aiemmassakin julkaisussa, mutta mukaan tuodaan vähähiilisemmän betonin erityispiirteitä. Käytännön kosteudenhallintatoimenpiteiden suunnittelua ja toteutusta käsitellään pitkälti uutena vanhaan julkaisuun verrattuna lähtien betonoinnista ja jälkihoidosta. Eri rakenteiden kosteudenhallinnan erityispiirteiden huomiointiin annetaan aiempaa konkreettisempia ohjeita ja rakenteissa on mukana kokonaan uusiakin, kuten betonitäytteiset teräspalkit ja erityisen paksut rakenteet.

Pintarakenteiden osalta on mukaan otettu uudet kehityssuunnat muun muassa alustaan liimattavissa muovipäällysteissä ja puupohjaisissa päällysteissä sekä haitta-aineiden hallintaa erityisen tiiviillä tuotteilla. Keraamiset laatat käsitellään kokonaisuutena käsittäen märkätilat ja kuivat tilat. Moninaiset pinnoitteet käsitellään paljon edellistä julkaisua tarkemmin ja sisältöä on synkronoitu samaan aikaan Betonilattiatyöryhmän päivityksessä olevan pinnoitusohjeen BY54/BLY12 kanssa. Lattianpäällysteiden elinkaariasioita ja kiertotaloutta on myös otettu mukaan, jotta toiminnan kehittäminen myös tässä mielessä muistetaan jatkossa entistäkin enemmän.

Julkaisu ei varsinaisesti ole päällystämisen ohjeistus, mutta se antaa paljon ohjeita, miten pitkään käytössä olevia varsin paljon yleistäviä kosteusmittausvyökyksiä ja kosteusraja-arvoja on mahdollista soveltaa tapauskohtaisesti, kuten betonirakenteiden kosteusmittauksen vuoden 2021 RT-kortti 103333 ja By:n betonirakenteiden kuivumisen arviointiohjelma By2020 sekä siihen kuuluva päällystämisen riskiarviotoiminto ohjaavat ja mahdollistavat.

NOSTOJA SISÄLLÖSTÄ

Betonilattian päällystettävyyden arviointi

Riittävän kuivumisen varmistaminen ei ole yksiselitteistä, koska eri pintarakennejärjestelmien kosteudensietokyvyissä ja siten kriittisen suhteellisen kosteuden arvoissa on huomattavia eroja. Tarkkoja kriittisen kosteuden arvoja ei ole tieteellisesti määritetty. Kriittisen suhteellisen kosteuden arvoon vaikuttaa päällystemateriaalin ja koko pintarakennejärjestelmän ominaisuudet. Lisäksi myös betonin ominaisuudet ja rakennetta ympäröivän tilan olosuhteet vaikuttavat siihen, miten kosteus rakenteessa käyttäytyy päällystämisen jälkeen. Useimmilla pintarakennejärjestelmillä kriittisen suhteellisen kosteuden arvon ajatellaan olevan 80...90 %RH, mutta joillakin materiaaleilla se voi olla huomattavasti korkeampi ja joillakin alhaisempi.

Päällystämisen kosteusraja-arvot eivät suoraan tarkoita samaa kuin pintarakennejärjestelmän kriittinen suhteellinen kosteus. Kosteusraja-arvot ovat valmistajien ilmoittamia tai yleisiä tuotekohtaisia suhteellisen kosteuden arvoja, joihin rakenne suositellaan kuivatettavan ennen päällystystyöhön ryhtymistä. Kuivattamalla betonilattiarakennetta niin kauan, että raja-arvot tietyllä syvyydellä alitetaan, pyritään varmistamaan, ettei kosteus pintarakennejärjestelmän välittömässä läheisyydessä nouse myöhemmin vaurioitumisen kannalta kriittisen korkeaksi. Raja-arvoissa on yleensä varmuusmarginaalia.

Jos päällysteen kosteusraja-arvo on esimerkiksi 85 % RH, päällysteen alta myöhemmin mitattu yli 85 % RH ei suoraan tarkoita kosteusvaurioita. Tämä tulee muistaa, kun päätetään hankkeiden kosteustavoitteita sekä sitä, minkälaisella marginaalilla

(mittausepävarmuus) raja-arvon tulee alittaa, kun riittävän alhaista päällystyskosteustasoa arvioidaan.

Urakka-asiakirjoissa ja kosteudenhallintasuunnitelmassa on syytä määrittää, perustuuko riittävän kuivumisen määrittäminen yleisiin ohjeisiin vai tarkempiin rakennusfysikaalisiin selvityksiin. Tarkemmalla rakennusfysikaalisella tarkastelulla voidaan määrittää kohdekohtaiset kosteusmittausvyödyt ja kosteusraja-arvot. Tarkastelussa otetaan rakenteen lisäksi huomioon betonin kosteudensiirto-ominaisuudet sekä päällysteen vesihöyrynvastus. Betonilaatu ja pintarakenne kokonaisuutena huomioiden on jo käytettävissä paljon tietoa, miten rakenteen turvallisen päällystettävyyden voi määritellä usein varmemmin kuin vain kaavamaisesti aina samoilta mittausvyöksiltä ja samoja kosteusarvoja käyttäen.

Julkaisussa on esimerkkinä liimattavan homogeenisen muovimaton ja parketin kohdekohtaiset merkittävässä hankkeessa noin 10 vuotta sitten onnistuneesti käytetyt rakennusfysikaaliseen analysointiin perustuvat kosteusraja-arvot (taulukko 1). Vertailuna on yleiset ns. perusraja-arvot eripaksuisille alapohjarakenteille.

Perusperiaatteena on, että arvostelumittausvyödyllä A (40 % betonin paksuudesta, max 7 cm) kosteus voi olla sitä korkeampi, mitä läpäisevämpi pintarakenne on ja mitä syvemmällä mittausvyödyys A on. Analyysiin perustuvat raja-arvot saavuttamalla lähtökohtana on, että pintarakennejärjestelmän alle tasaantuu alhaisempi kosteuspitoisuus kuin samalla marginaalilla yleiset raja-arvot alittamalla. Syy tarkemmalle analysoinnille on nopeampi ja turvallisempi päällystäminen.

Taulukko 1. Esimerkki kohdekohtaisista rakennusfysikaaliseen tarkasteluun perustuvista käytännössä toimiviksi todetuista päällystysraja-arvoista /1/.

Rakenteen paksuus (cm)	Kosteusmittausvyödyys (cm)	Homogeeninen muovimatto		Parketti	
		Yleiset kosteusraja-arvot (RH%)	Analyysiin perustuvat kosteusraja-arvot (RH%)	Yleiset kosteusraja-arvot (RH%)	Analyysiin perustuvat kosteusraja-arvot (RH%)
10	0,5	75	50	75	50
	1,5	75	60	75	65
	4	85	88	85	90
15	0,5	75	50	75	60
	2,5	75	65	75	70
	6	85	90	85	92
30	0,5	75	50	75	60
	3	75	70	75	75
	7	85	92	85	94

Aihekokonaisuus kosteusvaatimuksista on yksi esimerkki, jonka kanssa hankkeiden osapuolet joskus keskusteleivat hyvinkin vääristä lähtökohdista. Esimerkki osoittaa hyvin miten oikeita ratkaisuja voi olla muitakin kuin vakiintuneimmat.

Tasoitteiden kosteudenhallinta

Tasoitteiden käyttö on lisääntynyt monestakin syystä. Alustaan liimattavien muovipäällysteiden alla tarvitaan usein ainakin hieman normaalia paksumpaa tasoittekerrosta pH:n alentamiseksi. Massapinnoitteiden käyttöalueen laajennuttua suurta sileyttä vaativiin käyttötiloihin tarvitaan pinnoitteen alle aiempaa useammin tasoitte.

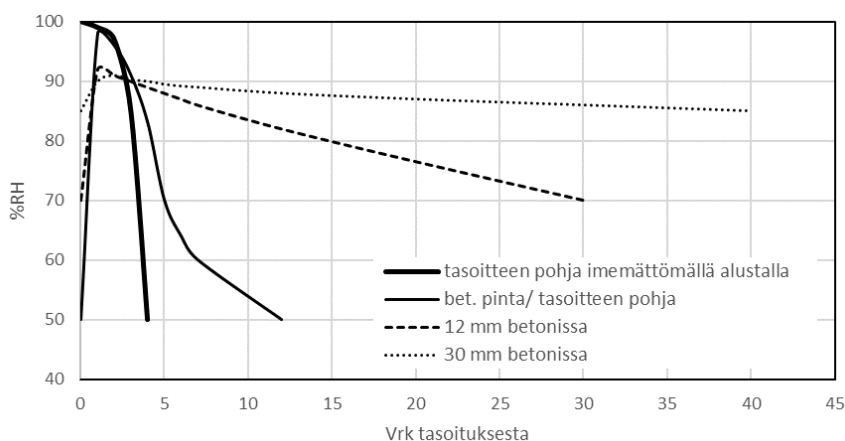
Tasoiitteet kovettuvat ja kuivuvat yleensä melko nopeasti. Vallitsevat olosuhteet, kuten huoneen lämpötila ja kosteus, tasoiitekerroksen paksuus sekä betonialustan kosteus, vaikuttavat merkittävästi kuivumiseen. Kuivumisen kannalta nopeimpia ovat ns. itsestään kuivuvat tasoiitteet, joiden kuivuminen perustuu kemialliseen kuivumiseen. Eri tuotteiden välillä voi kuitenkin olla huomattavia eroja.

Päällystetyissä ja pinnoitetuissa betonilattioissa on tärkeää huolehtia tasoiitteen riittävästä kuivumisesta ja kuivana pysymisestä. Korkea kosteuspitoisuus voi vaurioittaa päällyste- ja pinnoitemateriaalien lisäksi niiden alla olevaa tasoiitetta ja heikentää sen tartuntaa betonialustaan.

Tasoiitusajakohta on syytä ottaa huomioon betonilattiarakenteen kosteudenhallintatyössä, sillä tasoiitetyö voi pidentää koko rakenteen kuivumisaikaa muutamasta päivästä viikkoihin johtuen betoniin tartuntapohjusteen läpi imeytyvästä tasoiitteen sisältämästä vedestä. Siihen, miten paljon ja miten syvälle tasoiite kastelee alapuolista betonirakennetta ja miten nopeasti tämä kosteus poistuu, vaikuttavat merkittävästi tartuntapohjusteen ja tasoiitteen ominaisuudet, tasoiitekerroksen paksuus sekä alustabetonin tiiviys ja kosteus.

Mitä paksumpi tasoiitekerros on, sitä suurempi sen betonin kosteutta nostava vaikutus yleensä on ja sitä kauemmin yleensä kestää, että betonin pintaosien kosteus laskee tasoiitusta edeltäneeseen arvoon. Jos betonirakenteen pinta ennen tasoiitusta on hyvin kostea, ei tasoiite voi nostaa kosteuspitoisuutta juurikaan. Myös hyvin tiiviissä betonissa tasoiitteen betonirakennetta kasteleva vaikutus on yleensä vähäinen. Jos betonirakenteen pinta on riittävän kuiva ennen tasoiitteen levittämistä, ohuen tasoiitekerroksen tuoma lisäkosteus ei yleensä nosta kosteutta rakenteen pintaosissa kriittisen korkeaksi, vaikka rakenne päällystettäisiin hyvinkin nopeasti tasoiittamisen jälkeen. Myös tasoiitteen ominaisuudet vaikuttavat siihen, miten suuri sen kasteleva vaikutus on. Jollakin tasoiitteilla vaikutus on lähes olematon.

Kuvassa 1 on esimerkki, miten 10 mm tasoiituskerros kastelee alapuolista betonilattiarakennetta oleellisesti ja sen seurauksena tasoiitteen kuivuminen on hitaampaa kuin tasoiitteella yksinään (imemättömällä alustalla).



Kuva 1. Paksulla yhtenäisellä viivalla 10 mm tasoiitekerroksen kuivumisnopeus yksinään hyvissä olosuhteissa imemättömällä alustalla (vastaa tasoiitevalmistajan ilmoittamaa kuivumisnopeutta). Vertailuksi tehtiin samoihin olosuhteisiin vastaava

tasoitus primeroidulle betonilaatalle, jonka kosteus ennen primerointia oli 50 % RH aivan pinnassa, 70 % RH 12 mm syvyydellä ja 85 % RH 30 mm syvyydellä. Betonilaatta kostuu tasoituksesta voimakkaasti: pinnassa RH nousee noin 50 RH-yksikköä, 12 mm:ssä noin 20 RH-yksikköä ja 30 mm:ssä noin 5 RH-yksikköä. Betonin kuivuminen ennen tasoitusta vallinneeseen kosteuskajumaan kestää useita viikkoja: pinnassa noin 2 viikkoa, 12 mm:ssä noin 4 viikkoa ja 30 mm:ssä noin 6 viikkoa.

Paksummat tasoitekerrokset, kuten yli 10 mm paksuiset oikaisutasoitteet, voivat pitää rakenteen pintaosat kosteina huomattavasti pidempää aikoa kuin ohuet hienotasoitteet. Tasoitteen sisältämän kosteuden poistumisnopeus on riippuvainen tasoitteen ominaisuuksista sekä erityisesti tasoitekerroksen paksuudesta ja kuivumisolosuhteista.

Paksummat tasoitekerrokset suositellaan levitettävän betonin pintaan hyvissä ajoin ennen päällystämistä. Paksut tasoitteet voidaan levittää myös melko kostean betonin päälle. Betonin suhteellisen kosteuden pintaosissa tulee kuitenkin olla alle 95 %. Ennen varsinaisen lattiapäällysteen asennusta tulee vielä varmistaa, että betonin suhteellinen kosteus alittaa päällystemateriaalien ja myös tasoitteen kriittisen kosteusraja-arvon. Varhaisessa vaiheessa levitetty tasoitekerros ei hidasta betonin kuivumista merkittävästi ja kun syvemmällä betonirakenteessa on saavutettu riittävän alhainen kosteustaso, tasoitekerroskin on tällöin yleensä kuivunut riittävästi.

SEURAAVAKSI

By76 kannustaa kehittämään päällystettävyyden arviointia lähemmäksi rakenteiden todellista toimintaa ja siten pohjustaa By:n KIRA-Ympäristö hankekokonaisuuteen kuuluvaa vähähiiliset toimivat betonilattiat hanketta YM-VHTBL (2023–2024).

Hankkeella selvitetään eri betonilaatujen kosteudensiirto-ominaisuuksia, jotta kuivumisen arviointi voidaan viedä niin tarkaksi, että kosteudenhallinnan suunnittelussa on mahdollista määritellä miten pitkään rakenteen pitää olla tietyissä olosuhteissa, jotta rakenne voidaan päällystää. Tavoitteena on mahdollistaa siirtyminen rakennekosteusmittauksista enemmän olosuhteiden mittaamiseen.

LÄHDELUETTELO

1. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta By76. Betonitieto 2024.
2. Merikallio T., Niemi S., Komonen J. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Betonitieto Oy, Lattian- ja seinänpäällysteliitto ry 2007.
3. Muovimatolla päällystetyt betonilattiat - Vauriot, korjaustarpeen arviointi ja korjaaminen. Ympäristöministeriö 2022.

EFFECT OF CLEANING METHOD AND VENTILATION RATE ON CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL EXPOSURE IN ONE UNIVERSITY CLASSROOM

Emmanuelle Castagnoli, Elli Anttila, Raimo Mikkola and Heidi Salonen

Aalto University, Department of Civil Engineering

ABSTRACT

There is little knowledge on the effect of water-only cleaning on chemical and microbiological exposure indoors. Here the aim was to evaluate the effect of water-only cleaning and ventilation rates on exposure. One classroom with demand-based mechanical supply and exhaust ventilation operated normally for 8 weeks (120 – 400 L/s) and after that it was set to constant flow (260 L/s) for 8 weeks. There were 4 weeks of regular cleaning followed by 4 weeks of water-only cleaning under each ventilation condition. Chemicals, particulate matter, and microbial surface and airborne concentrations were investigated for each period. Concentrations were low throughout the 16-week study, with a slightly lower chemicals concentrations during the water-only cleaning periods. However, it was not possible to ascertain this was due to the change of cleaning practice.

INTRODUCTION

People spend approximately 90% of their time indoors which means that indoor air quality (IAQ) may have a significant effect on health /1/. Cleaning activities are known to increase volatile organic compound (VOC), particulate matter and microbiological compounds concentrations. The use of cleaning products is associated with coughing, skin and eye irritation, headaches, respiratory illnesses, and increased risk of heart attacks and death /2/.

Many different types of cleaning products may be used during cleaning activities, but the difference of exposure when using water-only instead of chemical-based cleaning was seldom researched. In Mikkola et al. the authors reported no significant difference in the indoor air quality between regular chemical-based cleaning and water-only cleaning methods /3/. Whereas in Alapieti et al. they had observed a slight increase in airborne microbiological and TVOC concentrations during the water-only cleaning /4/.

The aim of this study was to evaluate the effect of water-only cleaning and ventilation rates on exposure in one university classroom where cleaning and ventilation could be carefully monitored.

MATERIAL AND METHODS

The study took place in one 67 m² classroom between January and May 2023 in the Helsinki Metropolitan area. Exact room occupancy is unknown, but the classroom had a maximal capacity of about 45 occupants and was booked only a few hours per week.

The demand-based mechanical supply and exhaust ventilation equipped with F7 filter (efficient for particles $\geq 1 \mu\text{m}$) operated from 6 am to 6 pm on weekdays and from 9 am to 3 pm on weekends at flow rates between 120 and 400 L/s.

During the first 8 weeks of this study, the ventilation operated normally (periods 1 and 2) followed by 8 weeks at constant-flow (periods 3 and 4) rate of 260 L/s. Then firstly 4 weeks of regular cleaning (periods 1 and 3) followed by 4 weeks of water-only cleaning (periods 2 and 4).

Sampling

Total volatile organic compound (TVOC), carbon dioxide (CO_2), particulate matter (PM) of size $1 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{1.0}$) and $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), temperature (T) and relative humidity (RH) were monitored during the entire study using a real-time sensor (ECI 1.0, 3S Gas sensing solution, Germany) data were recorded at a one-minute interval.

Once every period we sampled chemicals and microbes as follows: active sampling of volatile organic compounds (VOCs) using Tenax TA (8 L at 0.2 LPM) and carbonyls using Sep-Pak C18 cartridge (100 L at 1 LPM) at a height of 1.5 m. Then microbial surfaces samples were collected from one tabletop in the middle of the room, and from four tabletops on each corner of the room with TPC (for general surface hygiene, Hygicult, Aidian Oy) and Y&F contact slides (for yeasts and moulds, Hygicult, Aidian Oy). Airborne microbes were sampled using an RCS microbial sampler (High flow Touch, Merck) by walking around the classroom while holding the sampler at a height of approximately 1.5 m. We sampled three 100 L TC total count strips and three 500 L SDX for yeast and mould strips from the classroom, and one 100 L TC and one 100 L SDX samples from outdoor. Strips and Hygicult contact slides were incubated during five days at 25°C .

Cleaning

Cleaning was done every weekday between 6 and 8 am and took approximately 10 min. Daily cleaning consisted of cleaning the floor, tabletops, and whiteboard with an all-purpose cleaning product at a dosage of 2 mL/L (composition: 15-30% alcohols, <5% 2-propanol, 1-5% C8-10 alkyl polyglucoside) and emptying bins. Chairs were wiped once a week, and dust from upper surfaces ($> 180 \text{ cm}$) were wiped once a month. Additionally cleaning using a slightly alkaline all-purpose cleaner at a dosage of 10 mL/L containing 1-5% alcohols and 1-5% 2-propylheptanol ethoxylate was done once a week.

During the 4 weeks of water-only cleaning, the cleaners could use cleaning products in case stains couldn't be removed with just water. The cleaning cloths were washed at 95°C as normally, and washed a second time without detergent to avoid the presence of cleaning agent residues during the water-only cleaning periods.

RESULTS

The data of Table 1 are the averaged values recording with a 1-min interval during weekdays between 6 am and 6 pm but excluding night-time and weekends. The change of ventilations and of cleaning methods did not significantly influence the PM and carbon dioxide concentrations, nor the temperatures or the relative humidity. The TVOC values were the lowest during periods 3 and 4 when the ventilation was set to constant flow (CF). The water-only cleaning periods (2 and 4) showed lower TVOC

values than during the regular cleaning periods, however it is not possible to conclude that this was caused by the change of cleaning methods, it could very well be due to lower usage of the classroom.

Table 1. Real-time sensor averaged values for weekdays between 6 am and 6 pm and its corresponding standard deviation.

	TVOC (µg/m³)	CO ₂ (ppm)	PM _{1.0} (µg/m³)	PM _{2.5} (µg/m³)	RH (%RH)	T (°C)
Period 1	323 ±307	473 ±71	0.7 ±0.8	0.7 ±0.8	24 ±3	20 ±0.3
Period 2	227 ±48	449 ±64	1.3 ±1.6	1.3 ±1.6	17 ±4	21 ±0.9
Period 3	185 ±293	434 ±40	0.9 ±0.6	0.9 ±0.6	20 ±5	21 ±0.6
Period 4	176 ±128	439 ±53	1.2 ±0.9	1.2 ±1	21 ±6	22 ±1

The active sampling data (Table 5) shows that TVOC values were consistently higher during regular cleaning than during water-only cleaning, but the difference was more significant under normally operating ventilation (periods 1 and 2). No significant differences were observed for carbonyls (Table 2).

Table 2. airborne concentration of detected carbonyls (µg/m³)*

	concentration (µg/m³)			
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
ventilation	demand-based		constant flow	
cleaning	regular	water-only	regular	water-only
formaldehyde	0.94	2.1	-	2.1
acetaldehyde	-	-	-	1.3
acetone	-	1.8	2.0	1.8
2-butanone	-	-	1.1	-
Total	0.94	3.9	3.1	5.2

* acrolein, propionaldehyde, crotonaldehyde, butyraldehyde, methacrolein, valeraldehyde, hexaldehyde, benzaldehyde and 3-methylbenzaldehyde were not detected in these samples.
LOD ≈ 0.90 µg/m³

Indoor airborne microbial concentration (Table 3) for total count (TC) were between 10-50 CFU/m³ and between 2-30 CFU/m³ for yeast and mould (SDX). The indoor/outdoor ratio (I/O) shows that concentrations were much higher outdoors than indoors. Surface microbial sampled from tabletops showed low surfaces contamination regardless of the ventilation or the cleaning methods (Table 4).

Table 3. Airborne microbial concentrations (CFU/m³).

	Period 1		Period 2		Period 3		Period 4	
ventilation	demand-based				constant flow			
cleaning	regular		water-only		regular		water-only	
	TC	SDX	TC	SDX	TC	SDX	TC	SDX
1	40	4	10	0	10	16	10	2
2	50	4	20	10	60	30	20	4
3	50	4	0	4	30	2	30	2
Average indoor (n=3)	47	4	10	5	33	16	20	3
Outdoor (n=1)	440	90	60	10	1070	510	230	70
Indoor/outdoor	0.11	0.04	0.17	0.47	0.03	0.03	0.09	0.04

Table 4. Surface microbial concentrations in CFU/cm²

	Period 1		Period 2		Period 3		Period 4	
ventilation	demand-based				constant flow			
cleaning	regular		water-only		cleaning		regular	
	TPC	M/Y	TPC	M/Y	TPC	M/Y	TPC	M/Y
1	1	+ / 0	1-5	+ / 0	1	+ / 1	1-5	+ / 1
2	1-5	+ / 1	1	0 / 0	1-5	+ / 0	1	0 / 0
3	1	+ / 0	1	0 / 0	1	+ / 0	1	+ / 1
4	1	+ / 1	1	+ / 0	1	+ / 0	5	+ / 1
5	1	+ / 0	1	+ / 0	1	+ / 0	1	+ / 1

Concentrations of TPC and yeasts Y (numbers) are in CFU/cm², and mould concentration M is reported as + light.

Table 5. airborne concentration of VOCs (µg/m³)

	concentration (µg/m ³)			
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
ventilation	demand-based		constant flow	
cleaning	regular	water-only	cleaning	regular
Aliphatic hydrocarbons				
Heptane	-	-	-	0.4
Nonane	0.6	-	-	-
2,2,4,4,6,8,8-heptamethylnonane	0.6	-	-	-
Aromatic hydrocarbons				
Benzene	0.5	-	-	-
Toluene	0.5	-	-	-
Xylenes (p, m)	0.4	-	-	-
Terpenes and their derivatives				
3-Carene	0.6	0.7	-	-
Limonene	1	-	-	-
α-Pinene	0.6	0.9	-	0.5
Primary alcohols				
1-Butanol	1	0.9	-	0.4
2-Ethylhexanol	1	0.6	-	0.5
Ethanol	26	-	-	2
Tertiary/Polyhydric alcohols				
Propylene glycol (propane-1,2-diol)	4	2	1	0.4
Phenols				
phenol	0.7	-	-	-
Alcohol and phenol ethers				
2-(2-butoxyethoxy)-ethanol	0.8	-	-	-
2-Butoxyethanol	0.6	-	-	-
2-(2-Ethoxyethoxy)-ethanol	0.7	-	-	-
1-Methoxy-2-propanol	1	1	1	1
Di-propanol-glycol-methyl-ether	0.5	-	-	-
2-Phenoxyethanol	1	0.4	-	-
Aldehydes				
Benzaldehyde	2	0.7	1	2
Decanal	14	2	1	4

Table 5. airborne concentration of VOCs (µg/m³) continuation

	concentration (µg/m³)			
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
ventilation	demand-based		constant flow	
cleaning	regular	water-only	cleaning	regular
Aldehydes (continuation)				
Hexanal	1	0.9	-	0.6
Heptanal	1	-	-	0.5
Nonanal	5	2	1	2
Octanal	2	0.8	-	0.7
Pentanal	0.5	-	-	-
Ketones				
Acetophenone	-	-	0.8	-
Acetone	5	-	-	2
6-Methyl-5-hepten-2-one	0.6	-	-	-
Cyclohexanone	0.4	-	-	-
Acids				
Acetic acid	14	-	-	-
Caproic acid	0.8	0.7	-	-
Propionic acid	0.9	0.7	-	0.6
Esters and lactones				
gamma-Butyrolactone	0.8	-	-	-
2-(2-Butoxyethoxy) ethyl acetate	0.8	-	-	-
2-Metoksi-1-metyyliasetatti	-	-	-	1
Nitrogen compounds				
Caprolactam	0.8	-	-	-
Silicon compounds				
Decamethylcyclopentasiloxane (D5)	2	2	14	1
TVOC	60	10	30	20

LOD ≈ 0.4 µg/m³

DISCUSSION

Detected carbon dioxide concentrations was similar to outdoor level in Helsinki area which is on average 420 ppm /5/. This shows that the ventilation system was efficient and/or that the room was seldom occupied hence good ventilation efficiency.

TVOC concentrations from active sampling were <60 µg/m³ which is under the recommend limit value from the Finnish Institute of Occupational Health (Työterveyslaitos) of 250 µg/m³ in office buildings. Values recorded by the TVOC sensor were also under or quite close to that recommended limit value.

PM concentrations were <1.5 µg/m³ which is very low and below the World Health organization (WHO) recommendation of <15 µg/m³ daily exposure. This could also explain the low microbial concentrations as most of the contaminants must have been trapped by the ventilation filters.

The results indicated that concentrations of VOCs, and TVOC were slightly lower during water-only cleaning period, and the lowest when ventilation was in constant flow mode instead of demand-based. However, considering the limited amount of data, it was

impossible to conclude whether the lower values was a consequence of the change of cleaning methods. Moreover, the high variability observed in the results might also have impaired the possibility to observe statistically significant differences between the periods.

In one study they have observed no significant difference in the indoor air quality between regular chemical-based cleaning and water-only cleaning methods /3/. Even if the current study was limited, it is consistent with our current findings.

CONCLUSION

Concentrations of chemicals, particulate matter and microbes were so low that it was not possible to conclude whether the change of cleaning practices had an impact on the air quality. However, it seems that it did not negatively impact the indoor air quality either.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the Academy of Finland (CleanSchool 330150, 330151) for funding this research.

REFERENCES

1. EPA. 2021. Indoor Air Quality. <https://www.epa.gov/report-environment/in-door-air-quality>
2. Han Y., Zhu N., Lu N., Chen J., Ding Y., Han Y. 2010. The Sources and Health Impacts of Indoor Air Pollution. Proceedings of 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5515150>
3. Mikkola R., Alapieti T., Kakko L., Täubel M., Järvi K., Andersson M.A., Reunanen E., Leppänen H., Vornanen-Winqvist C., Hyvärinen A., Salonen, H. 2020. Sisätiloissa käytettyjen siivouskemikaalien ja biosidien vaikutukset mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa.
4. Alapieti T., Täubel M., Mikkola R., Valkonen M., Leppänen H., Hyvärinen A., Salonen H. 2019. Siivouskemikaalien ja -menetelmien vaikutukset sisäym-päristön mikrobistoonja sisäilman laatuun.
5. Finnish meteorological institute (ilmatieteen laitos). visited 10.01.2024. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/ghg-concentrations#6VbMw4gMNo3n6fcM1tWnNV>

TENSIDIN JA VEDEN VAIKUTUS HOMEITIÖIDEN ITÄMISEEN ERILAISTEN SISÄTILAMATERIAALIEN PINNOILLA

Maria A. Andersson, Emmanuelle Castagnoli, Raimo Mikkola ja Heidi Salonen
Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Espoo

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin kuinka rakennusten pintamateriaalien pinnat vaikuttavat aerosolipisaroiden pintajännitykseen ja homeitiöiden itämiseen. Pesuaineissa käytetyn tensidin Genapoli -X-080:n vaikutusta vesipisaroiden pintajännitykseen ja homeitiöiden itämiseen tutkittiin hydrofobisen muovimaton pinnalla ja hydrofiilisilla hiotuilla kivi- ja puupinnoilla. Osoitettiin että muovipinnalla vesipisaran hidas haihtuminen salli homeitiöiden itämisen. Tensidin lisäys nopeutti pisaran haihtumista ja esti itiöiden itämisen. Puu- ja kivipinnoilla vesipisaran nopea kuivuminen, ilman tensidiäkin, esti itiöiden itämisen. Tulokset antoivat aihetta pohtia voisiko rakennuksen pintamateriaaleja valitsemalla vaikuttaa pintoihin tiivistyneen kosteuden kuivumiseen, homeitiöiden itämiseen ja tensidien käyttötarpeeseen sisätiloissa.

TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Kirjallisuudessa on esitetty, että kosteutta tiivistyy rakennusten sisäpinnoille ja että rakennusten sisäpinnoilla on aina mikrobeja /1,2,3/. Kun rakennuksen sisäpinnat ovat sisäilmaa viileämpiä sisäpintoihin laskeutuu nestepitoisia aerosoleja /1,2,3 4,5/. Sisäilman homeit ovat pääosin peräisin rakenteista ja ulkoilmasta, kun taas bakteerit ovat pääosin peräisin asukkaista /3/. Ei ole vielä näyttöä siitä, että pintoihin asettuneiden aerosolien sisältämät kemialliset ja mikrobiologiset altisteet heikentäisivät sisäilman laatua ja asukkaiden terveyttä, mutta sitä olisi ehkä syytä selvittää/5-8/. Tämä koskee etenkin patogeenisten mikrobien kasvua ja biofilmin muodostusta kylmille pinnoille laskeutuneissa aerosolipisaroissa /2,3/.

Kosteus pinnoilta haihtuu eri nopeudella riippuen pintamateriaalien ominaisuuksista /9/. Hydrofiiliselle pinnalle laskeutuneen vesipisaran pintajännite on pieni, pisaran ja pintamateriaalin kontaktipinta on suuri. Pisaran haihtuessa sen muoto muuttuu matalammaksi, mutta sen läpimitta säilyy ja se haihtuu nopeasti. Hydrofobisella pinnalla taas pisaran pintajännite on suuri ja kontaktipinta on pieni. Pisaran haihtuessa hydrofobisella pinnalla sen muoto säilyy, läpimitta pienenee ja se haihtuu hitaasti /9/.

Kun rakennusmateriaalin pintaan tiivistyy vesipisaroita mikrobit muodostavat niihin ns. mikropesäkkeitä. Mikroskooppikuva tällaisesta mikropesäkkeestä esitetään 1992 julkaistussa artikkelissa /1/. Pintamateriaalien aerosolien vesipisaroiden haihtumisnopeuteen vaikuttavat ominaisuudet vaikuttavat mikrobien lisääntymiseen ja mikropesäkkeiden muodostumiseen /1,3,9/. Mikrobipesäke erittää sisäilmaan uusia mikrobeja, jotka pesiytyvät uusiin vesipisariin. Kirjallisuudessa on esitetty, että sisäpinnoille muodostuneet mikropesäkkeet saattavat selittää miksi kuivankin (ei kosteusvaurion kokeneen) rakennuksen sisäilma sisältää lumipeitteen aikana joskus enemmän homeitiötä kuin ulkoilma /1, 2,3,10 /.

Rakennusten sisäpintoja puhdistetaan liasta, aerosoli-jäämistä ja mikropesäkkeistä siivoamalla. Siivoamiseen käytetyn veden suurta pintajännitettä alennetaan pinta-aktiivisten tensidien avulla. Tensidit nopeuttavat haihtumista, liuottavat lian ja useat tappavat selektiivisesti erilaisia mikrobeja /11/. Nonioniset tensidit kuten alkoholitoksylaatit ovat tavallisia siivouskemikaaleissa ja nykyään niitä esiintyy jääminä sisä- ja ulkoilmassa sekä vesistöissä ja sisätilapölyissä. Siivouskemikaalien ja tensidien haittavaikutuksista on runsaasti julkaisuja. Kirjallisuuden mukaan osa tensideistä on vain osittain tai hitaasti biohajoavia, varsinkin kuivassa pölyssä /12/. Ne lisäävät muiden myrkyllisten aineiden haittavaikutuksia, aiheuttavat astmaa, hengityselinsairauksia ja allergioita / 13,14,15/ / ovat obesinogeneja /15/ ja haitallisia vesielioille ja pölyttäjille/16,17,18,19/.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavana oli puu-, kivi- ja muovisen pintamateriaalien ominaisuuksien ja tensidin vaikutus pisan kuivumisnopeuteen ja pisaraan lisättyjen homeitiöiden itämiseen. Tavoitteena oli selvittää, voidaanko tiettyjä pintamateriaaleja suosimalla vähentää mikrobien kasvua sisäpinnoilla ja samalla synteettisten tensidien käyttötarvetta sisätiloissa.

TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

Materiaalien valitseminen: Valittiin rakennusten sisäpinnoilla käytettäviä hydrofiilisia ja hydrofobisista pintoja edustavia materiaaleja: Kova jalopuu, hiottu luonnonkivi (kova lasipintainen malakiitti) ja lattiamateriaalina käytetty vanha muovimatto.

Nestepisaran haihtumisnopeus ja koko eri pinnoilla: Nestepisaroiden haihtumisaika mitattiin 10 min tarkkuudella. Kuivumisen kriteerinä oli, että pinta ei näyttänyt kostealta, ei kostuttanut pintaa vasten painettua paperipyyhettä, ja pintaan oli jäänyt pisan reunoista näkyvä jälki. Pisaroiden ja pisaroiden kuivumisjälkien läpimitta mitattiin suurennuslasilla mm:n tarkkuudella.

Testisuspensioiden valmistus: Laskeutunutta pölyä kerättiin sisätilan pinnalta, sekoitettiin hanaveteen (n. 50 mg pölyä 1 ml:aan vettä) ja liuos autoklavoitiin. Liukokseen lisättiin 0.2 ml homeitiö-ympästä ja 0.2 ml genapoliliuosta (0.1 % v/v vesiliuos). Genapol X-080 oli Sigmalta (Sigma Aldrich Missouri USA) Kontrolliliuoksessa genapoli oli korvattu vedellä.

Home-ympäri-suspensio, käytetyt homekannat: Viidestä, hyvin itiöineistä homeviljelmistä (kasvatettu 2 viikkoa mallasuute agarilla 22 °C) valmistettiin suspensio, joka sisälsi kustakin kannasta 5 mg itiöitä per 5 ml vettä. Kannat, niiden eristäminen sisätiloista ja tunnistus on kuvattu aikaisemmassa julkaisussa /20/: *Aspergillus fumigatus* AE1, *Asp. flavus* 7D, *Asp. niger* Asp 21, *Chaetomium cochliodes* CH2, *Paecilomyces sp.* ST32.

TULOKSET

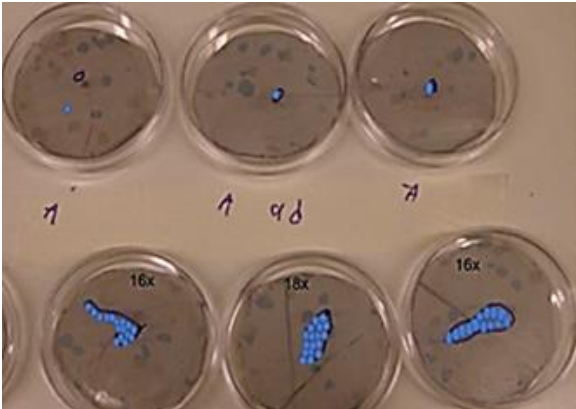
Tarkasteltavat pintamateriaalit ja niiden vaikutuksia veden pintajännitykseen ja haihtumisnopeuteen (3 mittauksen keskiarvona) esitetään Taulukossa 1. Tulokset osoittavat, että käyttämämme puun ja hiottu luonnonkiven pinnalla, vesipisaralla oli suurempi läpimitta, ja haihtumisaika oli puolet lyhyempi (3 h) kuin muovipinnalla (6 h). Tulosten perusteella pääteltiin, että puu ja luonnon kivi olivat hydrofiilisempiä pintoja kuin muovipinta joka koeasetelmassamme edusti hydrofobista pintaa. Päätelimme

myös, että materiaalien mahdollinen huokoisuus ei vaikuttanut pinnoille asettuneiden vesipisaroiden pinta-alojen eroavaisuuksiin.

Taulukko 1. Vesipisaran kuivumisen aika (min), uuden pisaran ja pisaran kuivumisjäljen läpimitat (mm) kolmen eri materiaalin pinnalla.

Vesipisara 100 µl	Puu	Kivi	Muovi
Pisaran kuivumiseen vaadittava aika (min)	147±5.0	135 ±5.0	354± 36.8
Tuoreen pisaran läpimitta (mm)	9 × 11	20×10	6 × 7
Pisaran kuivumisjäljen läpimitta (mm)	11 ×12	21×8	2.5 × 2.5

Seuraavaksi tutkittiin homeitiöiden itämistä materiaalien pinnoilla ilman tensidiä ja tensidilisäyksen jälkeen. Pinnoille lisättiin vesipisaroita, jotka sisälsivät autoklavoitunutta pölyä ja ympäinä homeitiöitä. Pisaran kuivumisjäljen koko muovipinnalla ilman tensidiä ja tensidilisäyksen kanssa näkyy Kuvassa 1. Tensidilisäys suurensi pisaran haihtumisjäljen ja näkyvästi pölyisen pinta-alan >16 kertaisesti.



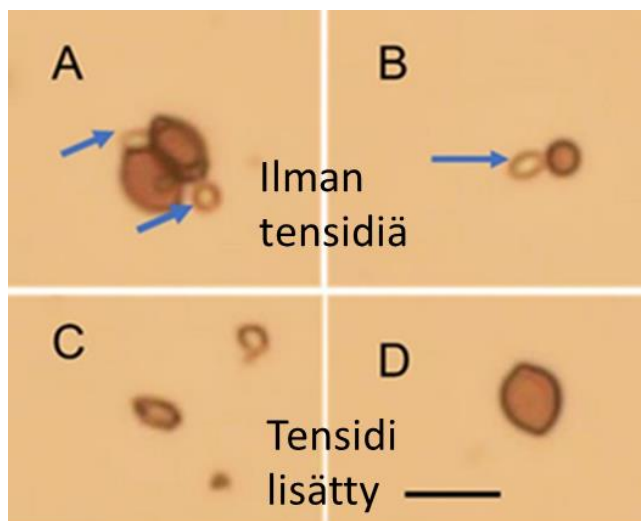
Kuva 1. Kuivuneen, 70 µl:n pisaran jälki ilman tensidin lisäystä (ylärivi) ja tensidilisäyksen kanssa (alarivi). Ylärivin pisarat koostuivat 50 µl:n pöly-vesisuspensiosta (autoklavoitu) johon lisätty home-itiöympä, 10 µl, ja 10 µl vettä. Alarivin pisaroissa vesi oli korvattu 10 µl:lla genapoliliuosta (0.1 % v/v).

Ilman tensidiä pisaran kuivumisjäljen pinta-ala muovipinnalla oli pieni, (3.2) mm², pisaran kuivuminen kesti 6 h ja 20:n mikroskoopin näkökentässä laskettiin 6 alkioputken muodostanutta itiötä (Taulukko 2). Kun tensidiä oli lisätty pisaraan, sen pinta-ala oli n. 16 kertaa suurempi, kuivuminen kesti 3 tuntia ja kaikki 20:n näkökentän itiöt olivat vielä lepotilassa, ilman näkyvää alkioputkea (Taulukko 2 ja Kuva 1).

Muovipinnalla ilman tensidiä itävät itiöt alkioputkineen näkyvät Kuvan 2 paneeleissa A ja B, (ilman tensidiä) ja lepotilassa olevia itiötä paneeleissa C ja D (tensidi lisätty). Lepotilassa ilman alkioputkia olevat itiöt paneeleissa C ja D osoittivat, että home-ympäissä olevat itiöt olivat lepotilassa. Puu- ja kivipinnoilla tensidin lisäys ei vaikuttanut pisaroiden pintaalaan ja haihtumisnopeuteen yhtä paljon kuin muovipinnoilla eikä itäviä itiöitä havaittu mikroskoopin näkökentässä (n=20).

Taulukko 2. Tensidin lisäyksen vaikutus pölyä ja homeitiöitä sisältävän nestepisaran pinta-alan kokoon, ja germinoituneiden itiöiden määrään 9 päivän inkuboinnin jälkeen.

	Likainen pinta-ala mm ² (Haihtumisaika h)	Germinoituvia itiöitä n/ 20 näkökenttää
Kontrolli- pisarat Nestepisara (pöly-homeitiö-suspensio 60 µl + 10 µl vettä)		
Puu-pinta	55.0 (3 h)	<1/20
Kivi-pinta	51.0 (3 h)	<1/20
Muovi-pinta	3.2 (6 h)	6/20
Tensidiä sisältävät pisarat Nestepisara (pöly-homeitiö-suspensio 60 µl + 10 µl genapoli 0.1 %v/v vesiliuos)		
Puu-pinta	56.1 (3 h)	<1/20
Kivi-pinta	55.0 (3 h)	<1/20
Muovi-pinta	53.0 (3 h)	<1/20



Kuva 2. Faasikontrastikuva itävistä (A,B) ja leptilassa olevista homeitiöistä (C,D). Paneeleissa näkyy kaksi alkioputken muodostanutta Chaetomium cochliodes itiötä (A) ja Aspergillus niger itiö (B). Paneeleissa C ja D näkyy leptilassa olevat Paecilomyces sp. ja Ch. cochliodes itiöt. Kuvat on otettu 9 päivän inkubaation jälkeen.

TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa tarkasteltiin tensidin lisäyksen vaikutuksia puu- kivi- ja muovipinnoille laskeutuneiden nestepisaroiden haihtumisnopeuteen ja homeitiöiden itämiseen. Tulosten perusteella todettiin, että hydrofiiliset pinnat kuten puu- ja kivipinnat, jotka kuivuivat nopeasti, oli epäedullisempi homeitiöiden itämiselle kuin hydrofobinen muovipinta.

Muovipinnalla hidas haihtuminen mahdollisti homeitiöiden itämisen. Tulosten perusteella voitiin päätellä, että muovipinnalla, ilman tensidiä, pisaran haihtuminen 6 tunnissa oli kyllin hidasta salliakseen homeitiöiden alkioputken muodostumista, joka on

itiön itämisen mikroskoopissa näkyvä kriteeri /21/. *Penicillium verrucosum* itiöt itivät $\geq$ 6 tunnin kosteuden keston jälkeen /1/. Ilman tensidiä itiöt ehtivät 6 tunnissa muodostaa alkioputkia mutta eivät 9 päivänkään jälkeen olleet kasvattaneet rihmastoja. Voi kuitenkin olettaa että, jos pisara olisi nopeasti kastunut uudestaan kasvu olisi jo hyvällä alulla. Muovipinnalla tensidin lisäys suurensi pisaran pinta-alaa, sekä nopeutti pisaran kuivumisen. Tensidin lisäys esti muovipinnoilla homeitiöiden itämisen nopeuttamalla haihtumista. Tässä tutkimuksessa käytettyjen puu- ja kivimateriaalien pinnoilla homeitiöt eivät nopean haihtumisen takia ehtineet itää, tensidi ei vaikuttanut pisaran kokoon, haihtumisnopeuteen tai itiöiden itämisen estoon. Eri puu- kivi- ja muovimateriaalit saattavat kuitenkin vaihdella huokoisuutensa perusteella ja tämä ominaisuus saattaa vaikuttaa nestepisaroiden kuivumisnopeuteen, ja kosteuden biosaatavuuteen mutta tuskin tensidin vaikutukseen nestepisaroiden pinta-alaan.

Tämä tutkimus tehtiin pienillä näytemäärillä ja yksinkertaisilla välineillä. Tulokset ovat näin hyvin alustavia, mutta ne saattavat antaa ideoita optimaalisten siivoustekniikoiden, kemikaalien käytön ja rakennusten sisäpintamateriaalien tutkimuksille. Tiettyjä hydrofiilisiä pintamateriaaleja kuten puuta ja kiveä suosimalla ja siivoustekniikoita kehittämällä voitaisiin vähentää synteettisten tensidien käyttötarvetta mikrobien kasvun estämiseen pinnoilla. Varsinkin perinteinen piilattu hirs, missä puun huokoset on isketty umpeen, pidetään vettähylykivänä nopeasti kuivuvana ja homekasvustoille resilianttina.

Tutkimuksessa käytetyn kirjallisuuden perusteella vedettiin johtopäätös, että tensidien runsas käyttö kuormittaa sekä rakennuksen käyttäjiä että ympäristöä /12-19/. Kosteuden kulkeutuminen sisätiloissa aerosolien ja mikrobien läsnäoloa sisätilapinnoilla ei voi estää /1,2,3,4/. Siksi oletamme, että sisäpintojen nopea kuivuminen on pinnoille laskeutuneiden mikrobien lisääntymisen estämisen kannalta ratkaisevaa. Pintojen nopeaa kuivumista ilman tensidejä voidaan edesauttaa pintamateriaalien valinnalla.

KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin osana Suomen Akatemian CleanSchool-hankeetta (Nr 330150).

LÄHDELUETTELO

1. Pasanen A-L et al. (1992). Fungal microcolonies on indoor surfaces-an explanation for the base-level fungal spore count. *Atmospheric Environ.* 26 B,1, pp 117-120.
2. Hwang, K.L., Jeong, Y.S. and Han, J. (2021) Indoor condensation prediction based on a surface temperature estimation. *Int J Commun Syst* 34, 1–13.
3. Adams R, et al. (2013) The diversity and distribution of fungi on residential surfaces. *PLoS One*. 2013 Nov 1;8(11):e78866.
4. Abbatt J. & Wang C. *Environ. Sci.:Processes Impacts* (2020) The atmospheric chemistry of indoor environments, 22, 25
5. Carpino C., Loukou E., Nicoletti F. et al. (2023) Risk assessment of fungal formations in historic buildings based on dynamic thermo-hygrometric analysis, *Acta IMEKO*, vol. 12, no. 4, article 14
6. Prussin and Marr. Sources of airborne microorganisms in the built environment *Microbiome* (2015) 3:78 DOI 10.1186/s40168-015-0144-z.

7. Andersen, B.; Frisvad, J.C.; Dunn, R.R.; Thrane, U. A (2021) Pilot Study on Baseline Fungi and Moisture Indicator Fungi in Danish Homes. *J. Fungi*, 7, 71.
8. Jiang Q, Ding C, Liu Y* A type of novel glass for indoor air cleaning under visible-light. *Building and Environment* 137 (2018) 226–234
9. Maureen Deleplace M., Heni Dallagi H., Thomas Dubois T. et al (2022) Structure of deposits formed by drying of droplets contaminated with *Bacillus* spores determines their resistance to rinsing and cleaning. *Journal of Food Engineering*, Elsevier, 2022, 318, pp.110873.
10. Pasanen A-L., Reponen T., Kalliokoski P., Nevalainen A. (1990) Seasonal variation in fungal spore levels in indoor and outdoor air in the subarctic climate. *Proc. 5th Int. Conf. Indoor Air Quality and Climate* 2, 39–44.
11. Falk N. Surfactants as Antimicrobials: A Brief Overview of Microbial Interfacial Chemistry and Surfactant Antimicrobial Activity. *J Surfactants Deterg.* 2019 Sep; 22(5):1119–1127. doi: 10.1002/jsde.12293
12. Krogh K., Halling-Sørensen B., B.B. Mogensen B., Vejrup K. 2003 Environmental properties and effects of nonionic surfactant adjuvants in pesticides: a review. *Chemosphere* 50 (2003) 871–901
13. Parks J, McCandless L, Dharma C, et al. Association of use of cleaning products with respiratory health in a Canadian birth cohort. *CMAJ* 2020; 192: E154–E161.
14. Svanes Ø, Bertelsen RJ, Lygre SHL, et al. Cleaning at home and at work in relation to lung function decline and airway obstruction. *Am J Respir Crit Care Med* 2018; 197:1157–63.
15. Kassotis C, Kollitz E, et al. (2018) Nonionic Ethoxylated Surfactants Induce Adipogenesis in 3T3-L1 Cells. *Toxicological Sciences* 162(1), 124–136.
16. LeFauve, M. Bérubé, R., et al. (2023) Cetyl alcohol Polyethoxylates Disrupt Metabolic Health in Developmentally Exposed Zebrafish. *Metabolites* 13, 359.
17. Dias N., Mortara R. Lima N, (2003) Morphological and physiological changes in *Tetrahymena pyriformis* for the in vitro cytotoxicity assessment of Triton X-100 *Toxicology in Vitro* 17 357–366
18. Straw E. & Brown M (2021) Co-formulant in a commercial fungicide product causes lethal and sub-lethal effects in bumble bees. *Scientific Reports* | 11:21653
19. Cardellini P & Ometto L Teratogenic and Toxic Effects of Alcohol Ethoxylate and Alcohol Ethoxy Sulfate Surfactants on *Xenopus laevis* Embryos and Tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 48, 170–177 .
20. Andersson, M.; Vornanen-Winqvist, C.; Koivisto et al. (2023) Composition of Culturable Microorganisms in Dusts Collected from Sport Facilities in Finland during the COVID-19 Pandemic. *Pathogens* 2023, 12, 339 .
21. Chitarra G. S. 2003. Germination inhibitors of fungal spores: Identification and mode of action. PhD thesis Wageningen university. Wageningen Netherlands. ISBN 90-5808-914-2

LÄMPÖOLOSUHTEET JA ENERGIA TEHOKKUUS

HOW CONVECTIVE LOCAL COOLING DEVICES INFLUENCE LOCAL THERMAL RESPONSE OF ELDERLY PEOPLE

Minzhou Chen, Velashjerdi Farahani Azin, Kosonen Risto and Kilpeläinen Simo

Department of Mechanical Engineering, Aalto University, Espoo, Finland

ABSTRACT

Ensuring the thermal comfort of elderly individuals in warm indoor environments is critical due to the greater vulnerability they have to heat stress. Local cooling devices have the potential to alleviate thermal stress. The purpose of this study was to compare the elderly's local skin temperature and thermal sensation before and after using table fan, evaporative cooling device, and air-cooled jacket under different environments. The research findings contribute to understanding the reactions of elderly individuals in hot environments, providing insights for the indoor environment design of buildings such as nursing homes. Additionally, this study aids in the enhancement of personalized cooling device design.

INTRODUCTION

Age is a focal factor in the study of thermal comfort for the human body [1]. Physiological functions decline with increasing age. Changes in physiological factors such as basal metabolic rate, cardiovascular flexibility, cardiac output, and fat distribution have been demonstrated to impact heat transfer between the human body and the environment, thereby influencing thermal comfort [2,3]. Apart from these common physiological alterations, the elderly often exhibit concurrent cardiovascular and cerebral conditions [4]. In hot weather, the body needs to enhance heat dissipation through vasodilation and sweat secretion, placing an increased burden on the heart [5]. This is particularly unfavorable for elderly individuals with cardiovascular diseases. Research indicates that heat-related illnesses and mortality among the elderly during hot weather are primarily attributed to conditions related to the heart [6]. Therefore, it is necessary to ensure the health and comfort of the elderly in thermal environments.

Elderly people spend over 90% of their time indoors. Most of them face pressure from reduced income, making it challenging for them to use high-power cooling devices such as air conditioners [7]. Additionally, some complex device control panels often pose difficulties for the elderly to comprehend. As an alternative solution, achieving thermal comfort can be realized by creating a microclimate around certain body parts [8]. Personal Comfort Systems (PCS) are controlled devices capable of generating a microclimate around occupants to provide thermal comfort. PCS can meet individual comfort requirements while reducing the total energy consumption of the building [9]. Fans are the most commonly used PCS in our daily lives. Furthermore, cooling garments are another type of PCS that can regulate the microclimate between the body and clothing by increasing air flow velocity, promoting evaporative heat loss, and effectively reducing heat stress [10]. In addition to various fans enhancing airflow, new devices, such as evaporative cooling devices, have been introduced to lower the supply air temperature [11]. These devices, with low power consumption, flexibility, and ease of control, can address the challenges faced by the elderly in hot weather. However,

there are currently few studies on the physiological and psychological responses of older adults after using these devices.

In conclusion, the study's objectives were as follows:

- 1) Evaluate changes in local skin temperature in elderly people after using different local cooling devices in different thermal environments;
- 2) Evaluate changes in local thermal sensation in elderly people after using different local cooling devices in different thermal environments;
- 3) Quantify the impact of local thermal sensations on overall thermal sensation to provide recommendations for the enhancement of local cooling devices.

METHODS

The experiments were done in a 5.50 meter long, 3.84 meter wide, and 3.20 meter high test chamber. Four conditions (28 °C 60%, 29 °C 40%, 32 °C 50%, 33 °C 40%) were selected in this experiment. 28 °C 60% and 29 °C 40% were considered as warm conditions, while 32 °C 50% and 33 °C 40% were considered as hot conditions. The chamber environment was regulated by the cold diffusion ceiling, heated windows, heat dummies, and humidifiers in the climate chamber. The experiment recruited 26 healthy elderly local residents (19 females, 7 males, average age: 70.8±5.8). Each test consisted of 3 participants and lasted 4 hours. The entire procedure was divided into six phases (each lasting 40 minutes). Three convective local cooling devices were chosen for this study: a table fan (Fan), an air-cooled jacket (Jac), and an evaporative cooling device (Eva). The test procedure depicted in Fig. 1(a). In the adaption phase and rest phases, which could be considered as uniform steady conditions, elderly people were asked to stay sedentary, using a computer or reading, to adapt to the indoor environment. In the cooling phase, elderly people could flexibly use provided local cooling devices according to their own demands, but cannot adjust the position or angle of the table fan or evaporative fan. Table fan and evaporative cooling device primarily affect the chest, arm, and hand, while air-cooled jacket mainly affect the chest, pelvis, upper back, lower back, and arm.

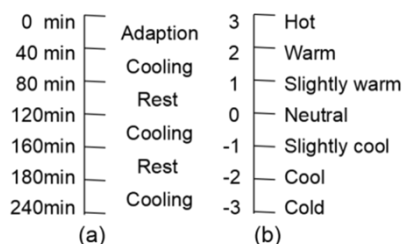


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the experimental process; (b) thermal sensation vote scale.

To explore the elderly's psychological responses, the participants were asked to describe their thermal sensation, including overall thermal sensation and local thermal sensation, by a questionnaire as Fig. 1(b) at the end of each phase. To explore the elderly's physiological responses, the participants' skin temperature of 10 body parts was measured during the entire experiment using iButton sensors (DS1923, accuracy of

$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the test range of $-10\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$). The measured body parts include forehead, chest, pelvis, upper back, lower back, forearm, palm, thigh, calf, and foot.

RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 2 and Fig. 3 depict the distribution of skin temperature in various body parts of the elderly under warm conditions and hot conditions respectively. "Neutral" represents the skin temperature of body parts when elderly people's thermal sensation is neutral. "Uniform" represents the skin temperature of body parts in a uniform thermal environment without the use of local cooling devices. "Fan", "Eva", and "Jac" represents the skin temperatures of body parts after using table fan, evaporative cooling device, and air-cooled jacket, respectively.

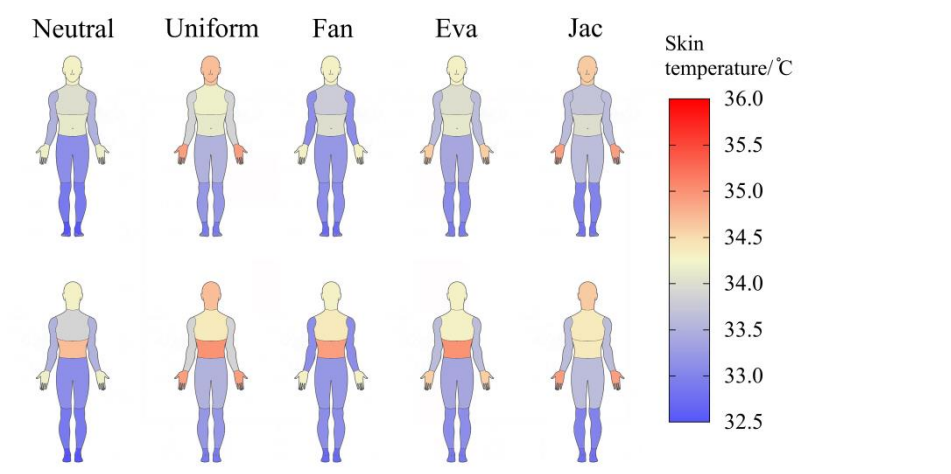


Fig. 2. Local skin temperature before and after using local cooling devices under warm conditions.

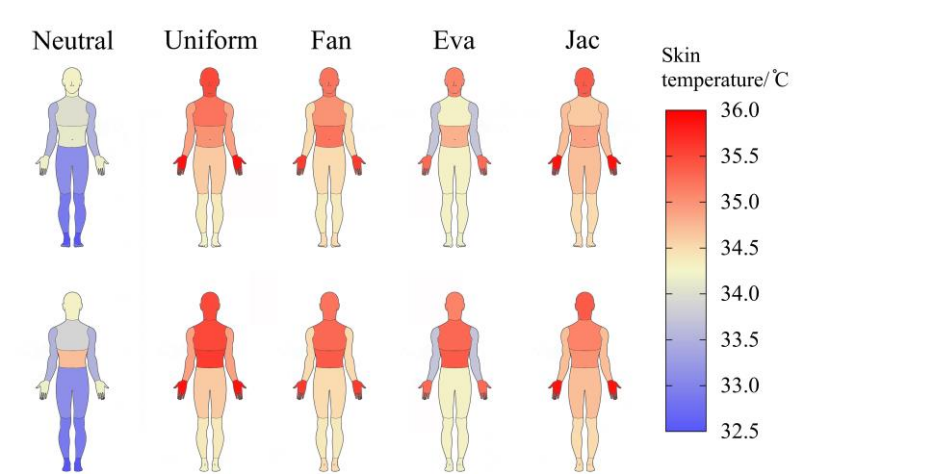


Fig. 3. Local skin temperature before and after using local cooling devices under hot conditions.

After using the three devices, the skin temperature of the exposed body parts in local cooling decreased significantly, bringing them closer to their neutral zones, whereas the skin temperature of the unexposed parts remained nearly constant, indicating that the local cooling devices used in this study can only adjust the skin temperature of the exposed parts. Using all three devices in warm environment can reduce skin temperature to a neutral state in most body parts. However, in hot environment, none of the three devices decreased skin temperature to neutral. The effect of evaporative cooling device is better than the other two devices.

Fig. 4 depict the distribution of thermal sensation vote (TSV) in various body parts of the elderly under warm conditions and hot conditions, where the exposed parts are marked with blue. After using three devices, not only the exposed parts, but some unexposed parts also experienced a significant change in thermal sensation. For example, the table fan and evaporative cooling device mainly influenced the chest, but the TSV of the pelvis and back changed similarly. The inability of the elderly participants to correctly recognize the thermal sensations of all body parts may be one of the causes of this unexpected result. However, some comparable experiments conducted on young participants reported similar results. Consequently, another possible explanation is that the questionnaires were filled out during the participants’ steady state (the end of each phase), implying that the time interval between the inquiries about local thermal sensation was long; thus, the local thermal sensation was affected by the overall thermal sensation.

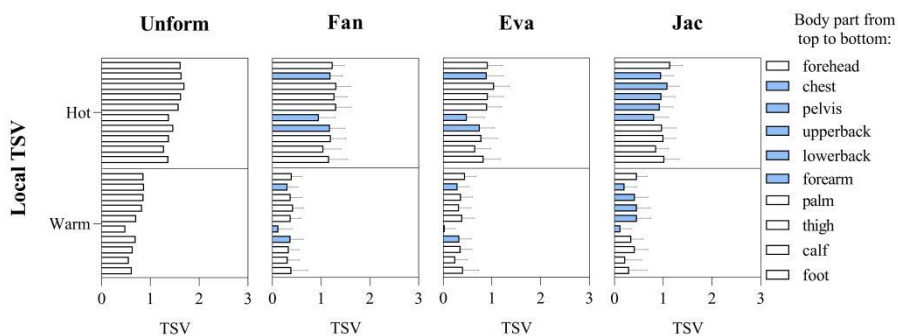


Fig. 4. Local thermal sensation before and after using local cooling devices.

Based on local TSV, we divided the human body into head, torso, upper limbs, and lower limbs to calculate their respective influence weights on the overall thermal sensation. The results are shown in Table 1. In a steady uniform thermal environment, the torso, particularly the chest and upper back, had the greatest weight. This emphasizes the primary task of cooling the torso region. The second-highest weighted area is the lower limbs, followed by the upper limbs and head. It seems that larger body areas had greater weight.

After using the table fan, there was a minimal decrease in skin temperature of the torso region, resulting in a mere 0.3 reduction in the participants’ overall TSV. This indicates that the table fan did not effectively dissipate the heat accumulated in the torso region. Consequently, the skin temperatures of the limbs (arm and leg) and extremities (head, hand, and foot) remained high to enhance heat dissipation. Meanwhile, these areas

exhibited higher thermal sensations, which may contribute to increased their weights on overall thermal sensation.

Table 1. Weight of local thermal sensation on overall thermal sensation after using three local cooling devices and linear regression results (R²).

Local thermal sensation weight				
Body part	Uniform	Fan	Eva	Jac
Forehead	0.12	0.16	0.19	0.28
Torso	0.48	0.37	0.46	0.38
Upper limbs	0.17	0.25	0.28	0.19
Lower limbs	0.24	0.23	0.06	0.14

After using the evaporative cooling device, a substantial decrease in skin temperature was observed in the chest and forearm. The overall TSV decreased by 0.9, shifting the participants' thermal sensation from "hot" to "warm." The weight of the torso and upper limbs was 0.74, reflecting the significant reduction in skin temperature in these exposed areas greatly influencing overall thermal sensation.

After using the air-cooled jacket, the reduction in skin temperature of the torso region surpassed that of the table fan and evaporative cooling device, especially in the chest and lower back. The overall TSV decreased by 0.6, transitioning the participants' thermal sensation from "hot" to "warm." Unlike the other two devices, after using the air-cooled jacket, the TSV of the head was greater than the torso, indicating that the head is the warmest part of the body. This may be attributed to the fact that the airflow from the table fan and evaporative cooling device affected the head, resulting in lower skin temperature and thermal sensation when using these two devices compared to the air-cooled jacket.

In summary, cooling the torso of elderly people is essential in the hot environment. A low-speed room-temperature airflow table fan is not effective in enhancing torso heat dissipation. Instead, evaporative cooling device with low-speed and low-temperature airflow or air-cooled jacket with high-speed room-temperature airflow could be considered. While maintaining the original airflow parameters, the improvement suggestion for the evaporative cooling device is to increase the exposed area, directing a larger airflow towards the head while allowing the descending cold air to affect the thighs. As for the air-cooled jacket, the recommendation is to enhance the airflow near the head, such as by adding an additional fan unit on the chest area of the garment.

CONCLUSIONS

After using devices, only the skin temperature of the exposed parts decreased, and local thermal sensations in both exposed and unexposed body parts of the elderly significantly decreased in steady-state. In warm environments, skin temperature and thermal sensation can be reduced to a neutral state using all three local cooling devices. Table fans are not recommended in hot environments. Evaporative cooling devices and air-cooled jackets have the potential to reduce thermal sensation.

Cooling the torso is most important, especially the chest and upper back. After that, if you can only chose one part to cool, we recommendate give priority to cooling the head.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is part of the following project: HEATCLIM (Heat and health in the changing climate, Grant Numbers. 329306, 329307) funded by the Academy of Finland within the CLIHE (Climate change and health) programme. Also, the authors gratefully acknowledge financial support from China Scholarship Council.

REFERENCES

1. Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., & Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138, 181-193.
2. Novieto, D. T. (2013). Adapting a human thermoregulation model for predicting the thermal response of older persons.
3. Blatteis, C. M. (2012). Age-dependent changes in temperature regulation—a mini review. *Gerontology*, 58(4), 289-295.
4. Santos, C. Y., Snyder, P. J., Wu, W. C., Zhang, M., Echeverria, A., & Alber, J. (2017). Pathophysiologic relationship between Alzheimer's disease, cerebrovascular disease, and cardiovascular risk: a review and synthesis. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, 7, 69-87.
5. Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., ... & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698-708.
6. Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Prescott, V., Wang, N., Zhang, Y., ... & Hu, W. (2019). Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. *Environmental research*, 177, 108610.
7. Bills, R., & Soebarto, V. (2015). Understanding the changing thermal comfort requirements and preferences of older Australians. In *Living and Learning: Research for a Better Built Environment*, 49th International Conference of the Architectural Science Association (pp. 1203-1212). The Architectural Science Association and The University of Melbourne Melbourne, Australia.
8. Melikov, A. K., & Knudsen, G. L. (2007). Human response to an individually controlled microenvironment. *HVAC&R Research*, 13(4), 645-660.
9. Vaidyanathan, A., Malilay, J., Schramm, P., & Saha, S. (2020). Heat-Related Deaths—United States, 2004–2018. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(24), 729.
10. Mokhtari Yazdi, M., & Sheikhzadeh, M. (2014). Personal cooling garments: a review. *The Journal of The Textile Institute*, 105(12), 1231-1250.
11. Dai, Y. J., & Sumathy, K. (2002). Theoretical study on a cross-flow direct evaporative cooler using honeycomb paper as packing material. *Applied thermal engineering*, 22(13), 1417-1430.

YKSILÖLLISET TEKIJÄT, VAATETUS JA LÄMPÖVIIHTYVYYS TOIMISTOTYÖSSÄ LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSKAUDELLA

Henna Maula, Jenni Radun, Arttu Sivula ja Valtteri Hongisto

Turun ammattikorkeakoulu Oy, Rakennetun ympäristön tutkimusryhmä

TIIVISTELMÄ

Tavoitteena oli selvittää, onko vaatetuksessa suuria yksilöllisiä eroja toimistoissa, sekä yksilöllisten tekijöiden vaikutusta pukeutumiseen ja lämpöviihtyvyyteen. Aineisto (N=179) on kerätty akustiseen ympäristöön keskittyvistä laboratoriokokeista (1–2 tuntia). Tämän tutkimuksen kyselylomake esitettiin osallistujille kokeen lopussa. Lämpötilat olivat ISO 7730 mukaisia. Vaatteiden keskimääräinen lämmöneristävyyks oli 0,61 clo lämmityskaudella ja 0,45 clo jäähdytyskaudella. Henkilöt, jotka arvioivat pitävänsä muita kylmemmästä lämpötilasta keskimäärin, myös pukeutuivat kevyemmin ja heillä oli korkein keskimääräinen lämpötuntemus. Näyttää siltä, että psykologiset tekijät ovat tärkeä osa yksilöllisiä eroja, jotka vaikuttavat lämpöviihtyvyyteen. Tuloksia voidaan hyödyntää yksilöllisten lämpöympäristön hallintaratkaisujen kehittämisessä.

JOHDANTO

Lämpöviihtyvyydellä on iso vaikutus ihmisen hyvinvointiin ja työsuoriutumiseen /1, 2, 3, 4/. Monet kansainväliset ja kansalliset ohjeet ja standardit liittyvät lämpöympäristöön /5/. Lämpöviihtyvyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka miellyttävänä tai epämiellyttävänä henkilö kokee lähiympäristönsä lämpöolosuhteet. Ympäristön lisäksi lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat ihmisen vaatteiden lämmöneristävyyks ja kehon lämmöntuotto /6/.

ISO 7730 -standardi antaa tavoitearvot toimiston lämpöolosuhteille /6/. Tavoitearvot perustuvat PMV (Predicted Mean Vote) malliin. Se sisältää ilman lämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden, ilman liikenopeuden, vaatteiden lämmöneristävyyksen ja aineenvaihdunnan tehon. PMV-malli tarkastelee ihmisiä ryhmänä: se ei ota huomioon yksilöllisiä tekijöitä, kuten sukupuolta tai ikää. Esimerkiksi naisten on todettu olevan miehiä tyytymättömämpiä erityisesti viileämissä olosuhteissa /4, 7, 8/.

Tuoreessa tutkimuksessa, jossa vastaajina oli 85 194 toimistotyöntekijää ympäri maailman, havaittiin, että sisäympäristötekijöistä eniten tyytymättömyyttä esiintyy lämpöolosuhteissa /9/. Standardin ISO 7730 tavoitearvot perustuvat olettamuksiin, joiden mukaan vaatteiden lämmöneristävyydet ovat 0,5 clo jäähdytyskaudella ja 1,0 clo lämmityskaudella /6/. Tutkimusalalla on viitteitä siitä, että toimistotyöntekijöiden välillä on suurta vaihtelua vaatetuksen ja aktiivisuuden suhteen /10/. Toimistotyöntekijöiden vaatetusta ei ole vastaavalla tavalla kartoitettu Suomessa. On mahdollista, että ihmiset pukeutuvat Suomessa eri tavalla kuin eteläisissä maissa, koska ulkolämpötilat Suomessa vaihtelevat paljon (-25 ... +32 °C). Pohjoismaissa on tarve tutkia enemmän yksittäisten tekijöiden vaikutusta pukeutumiseen ja lämpöviihtyvyyteen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, pitävätkö toimistoympäristön lämpötavoitearvojen olettamukset vaatetuksen suhteen paikkansa Suomessa. Toinen tavoite on selvittää, onko yksilöiden välillä suuria eroja vaatetuksen lämmöneristävyudessa. Lisäksi tarkastellaan erilaisten yksilöllisten tekijöiden, kuten sukupuolen ja yleisen lämpömieltymyksen, vaikutusta pukeutumiseen ja lämpöviihtyvyyteen. Aineisto kerättiin sekä lämmitys- että jäähdytyskausien aikana. Tutkimuksen hypoteesit ovat:

1. Vaatetus toimistoympäristössä poikkeaa tavoitearvojen olettamuksista.
2. Vaatetus vaihtelee yksilöiden välillä.
3. Yksilölliset tekijät vaikuttavat pukeutumiseen ja lämpöviihtyvyyteen.

MENETELMÄT

Aineisto kerättiin kolmen erillisen laboratoriokeksen tutkittavilta vuosina 2021–2023. Kokeet kestivät 1-2 tuntia ja käsittelivät ääniympäristöä. Kokeet tehtiin Turun ammattikorkeakoulun psykofysiikkalaboratoriossa (Turku). Huonelämpötila pidettiin aina vuodenajan mukaisella mukavuusalueella, mutta lämpötilaa ei kontrolloitu tiukasti. Lämmityskauteen liittyvät tiedot kerättiin helmi- ja maaliskuussa, ja jäähdytyskauden tiedot kerättiin toukokuusta syyskuuhun.

Psykofysiikkalaboratoriossa on kaksi samanlaista testihuonetta, joissa voidaan kontrolloida ja tallentaa sisäilman laatua, lämpöympäristöä, valaistusta ja akustiikkaa. Testihuoneet edustavat tyypillisiä toimistohuoneita, joissa on kaupallisesti saatavilla oleva sisustus ja huonekalut. Huoneen lämpötila oli lämmityskaudella 20,9–21,7 °C ja jäähdytyskaudella 22,1–24,6 °C. Nämä lämpötilat kuuluvat ISO 7730 -standardin luokkiin B ($22,0 \pm 2,0$ °C, lämmityskausi) ja C ($24,5 \pm 2,5$ °C, jäähdytyskausi) /6/ ja ovat myös Sisäilmastoluokituksen tavoitearvojen mukaisia /11/.

Tutkittavilta kysyttiin ikää, sukupuolta, vaatetusta, yleistä lämpömieltymystä, lämpötuntemusta ja toivottua muutosta senhetkiseen lämpötilaan. Yleinen lämpömieltymys on subjektiivisesti mitattavissa oleva yksilöllinen taustatekijä, jota kutsutaan tässä artikkelissa psykologiseksi tekijäksi. Vaatetuksen lämmöneristävyys arvioitiin vastausten perusteella käyttäen standardin ISO 9920 taulukoita /12/. Kysymykset vastausasteikkoineen näkyvät taulukossa 1. Vaatetusta kysyttiin alkukyselyssä. Muut kysymykset esitettiin kokeen lopussa loppukyselyssä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin yhteensä 179 vapaaehtoista (95 naista). Tutkittavat olivat 18–48-vuotiaita (keski-ikä 25 vuotta). Keskimääräinen painoindeksi oli 26,1 (15,8–46,6). Kokeiden aikana tutkittavat työskentelivät tietokoneella (aktiivisuustaso 1.1 met /6/). Vaatetusta ei kontrolloitu tutkimuksen aikana.

Aineisto analysoitiin ei-parametrisilla Mann-Whitney U tai Kruskal-Wallis -testeillä. Tilastollisesti merkitsevän muutoksen rajana oli $p < 0.05$.

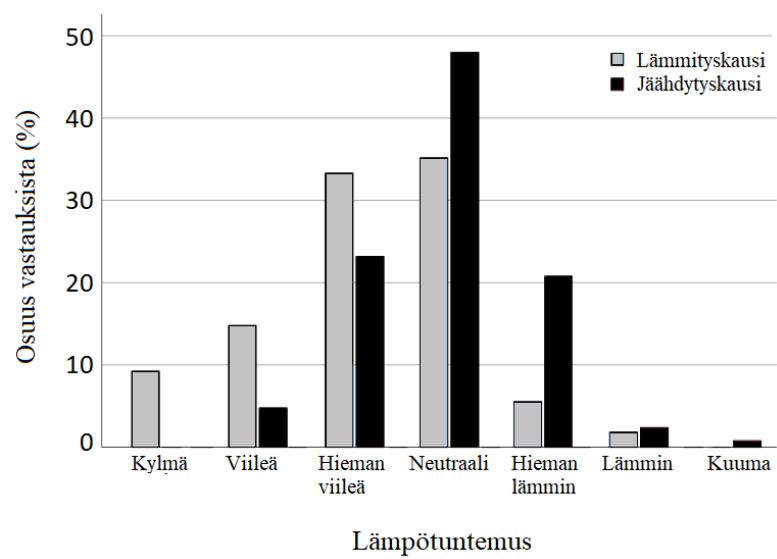
Taulukko 1. Kyselyjen kysymykset ja vastausasteikot. Lisäksi kysyttiin tutkittavien ikää, sukupuolta, pituutta ja painoa.

Muuttuja	Kysymys	Vastausasteikko
Vaatetus	Mitä vaatteita sinulla on ylläsi?	Lista tyypillisistä toimistovaatteista ja mahdollisuus kirjoittaa listalta puuttuva vaate.
Yleinen lämpömieltymys	Koen pitäväni...	1) lämpimämmästä sisälämpötilasta kuin muut keskimäärin. 2) saman lämpöisestä sisälämpötilasta kuin muut keskimäärin. 3) viileämmästä sisälämpötilasta kuin muut keskimäärin.
Lämpötuntemus	Oloni on tällä hetkellä...	-3) kylmä -2) viileä -1) hieman viileä 0) neutraali 1) hieman lämmin 2) lämmin 3) kuuma
Toivottu muutos lämpötilaan	Haluaisin huoneen lämpötilan olevan tällä hetkellä...	1) lämpimämpi kuin nyt. 2) sama kuin nyt. 3) viileämpi kuin nyt

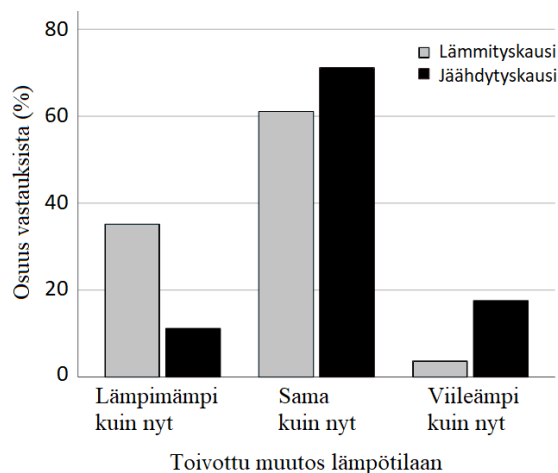
TULOKSET

Lämpötuntemus

Tutkittu lämpötila-alue oli ISO 7730 -standardin suunnittelukriteeriluokkien sisällä /6/. Suurin osa osallistujista raportoivat lämpötuntemuksen olevan lämmityskauden aikaisessa kokeessa "neutraali" tai "hieman viileä". Jäähdytyskauden kokeissa eniten ääniä sai vaihtoehto "neutraali" (kuva 1). Molempina kausina raportoidut lämpötuntemukset vaihtelivat viileästä lämpimään. Kuvassa 2 esitetään muuttujan ”Toivottu muutos lämpötilaan” jakauma lämmitys- ja jäähdytyskaudella. Suurin osa osallistujista suosivat senhetkistä lämpötilaa. Kuitenkin molempina kausina vastattiin myös vaihtoehtoja ”lämpimämpi kuin nyt” ja ”viileämpi kuin nyt” (kuva 2).



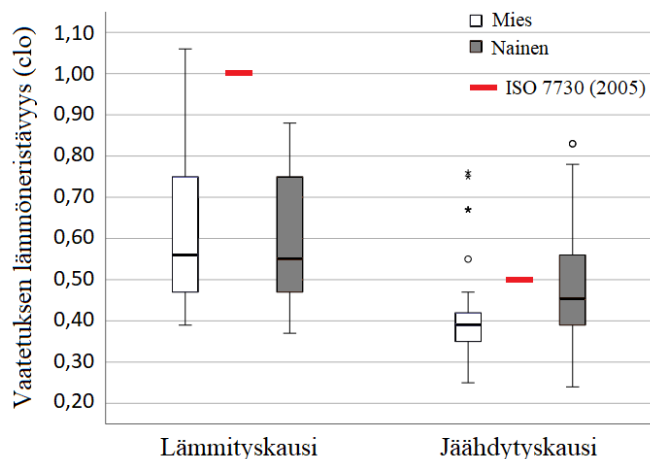
Kuva 1. Lämpötuntemusten jakaumat lämmitys- ja jäähdytyskaudella.



Kuva 2. Muuttujan ”Toivottu muutos lämpötilaan” jakaumat Lämpötuntemusten jakaumat lämmitys- ja jäähdytyskaudella.

Vaatetus

Vaatteiden keskimääräinen lämmöneristävyyttä oli 0,61 clo lämmityskaudella ja 0,45 clo jäähdytyskaudella. Keskimääräinen vaatteiden lämmöneristävyyttä poikkeaa ISO 7730 -olettamuksesta erityisesti lämmityskaudella /6/. Tämä vahvistaa ensimmäisen hypoteesin. Naiset pukeutuivat jäähdytyskaudella miehiä lämpimämmin ($p=0,001$), mutta lämmityskaudella sukupuolten välillä ei ollut eroa (kuva 3). Kuvassa 3 näkyy melko suuri vaihtelu vaatteiden lämmöneristävyydessä osallistujien välillä, erityisesti lämmityskaudella. Tämä on linjassa toisen hypoteesimme kanssa.



Kuva 3. Miesten ja naisten vaatetuksen lämmöneristävyyden jakaumat lämmitys- ja jäähdytyskaudella. ISO 7730 -standardin oletukset on merkitty punaisella viivalla.

Yleinen lämpömieltymys

Osallistujat jakautuivat yleisen lämpömieltymyksen mukaan kolmeen ryhmään: 37 ilmoitti pitävänsä lämpimämmästä, 66 saman lämpöisestä ja 76 viileämmästä sisälämpötilasta kuin muut keskimäärin. Keskimääräiset painoindeksit olivat vastaavasti 24,8, 24,9 ja 27,8.

Pukeutumisessa oli tilastollisesti merkitsevä ero yleisen lämpömieltymys -ryhmien välillä ($p=0.001$). Ryhmällä, joka ilmoitti pitävänsä viileämmästä sisälämpötilasta kuin muut keskimäärin, oli myös kevyempi vaatetus. Taulukossa 2 on esitetty lämpötuntemuksen ja muuttujan ”Toivottu muutos lämpötilaan” keskiarvot jokaiselle lämpömieltymysryhmälle. Ryhmien välillä oli eroa lämpötuntemuksessa ($p<0.05$) ja toivotussa muutoksessa lämpötilaan ($p<0.001$).

Nämä tulokset vahvistavat kolmannen hypoteesin. Yksilöllisten tekijöiden tiedetään vaikuttavan lämpöviihtyvyyteen. Kuitenkin termin ”yksilölliset tekijät” yhteydessä puhutaan tyypillisesti vain fysiologisista eroista, kuten sukupuolesta, kehon koostumuksesta, tai esimerkiksi sairauksista, jotka vaikuttavat metaboliaan. Vähemmän huomiota on kiinnitetty psykologisiin, subjektiivisesti mitattaviin tekijöihin. Tämä tutkimus näyttää, että myös psykologisilla, subjektiivisesti mitattavilla, taustatekijöillä on merkitystä lämpöviihtyvyydessä. Niitä voidaan käyttää lämpöympäristön hallintaan paremman yksilöllisen lämpöviihtyvyyden saavuttamiseksi. Tarvitaan lisää psykologisiin tekijöihin liittyviä tutkimuksia ja mittakaavaa, jota voidaan hyödyntää yksilöllisten lämpöympäristön hallintaratkaisujen kehittämisessä.

Taulukko 2. Lämpötuntemuksen ja muuttujan ”toivottu muutos lämpötilaan” keskiarvot lämpömieltymysryhmittäin. Vastausasteikot on esitetty taulukossa 1.

Yleinen lämpömieltymys -ryhmä	Lämpötuntemus	Toivottu muutos lämpötilaan
Pitää lämpimämmästä	-0,51	1,68
Pitää samasta	-0,42	1,83
Pitää viileämmästä	-0,04	2,18

JOHTOPÄÄTÖKSET

Lämpöviihtyvyyttä ja vaatteiden lämmöneristävyyttä tutkittiin toimistoympäristössä, jossa lämpötilat olivat ISO 7730 -luokkien mukaisia. Tässä tutkimuksessa vaatteiden lämmöneristävyydessä havaittiin suurta vaihtelua, ja vaatetus poikkea standardissa ISO 7730 tehdyistä olettamuksista erityisesti lämmityskaudella. Tässä tutkimuksessa käytettiin yksinkertaistettua yksilöllisen tekijän mittaria, yleistä lämpömieltymystä. Silti se pystyi osoittamaan, että psykologiset tekijät ovat tärkeä osa yksilöllisiä eroja, jotka vaikuttavat lämpöviihtyvyyteen. Tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisu tutkimuksissa, joissa keskitytään yksilöllisiin eroihin ja lämpöviihtyvyyteen. Tuloksia voidaan hyödyntää yksilöllisempien lämpöympäristön hallintaratkaisujen kehittämisessä.

KIITOKSET

Tutkimus on osa MOTTI projektia (2020-2024), jonka toteuttaa Turun ammattikorkeakoulu Oy. Sen päärahoittaja on Business Finland Oy (2682/31/2019). Muut rahoittajat ovat Audico Systems Oy, Framery Oy, Halton Oy, Martela Oy, Pietiko Oy, Rockwool Finland Oy, Suomen yliopistokiinteistöt Oy, Turun ammattikorkeakoulu

Oy, Turun teknologiakiinteistöt Oy ja ympäristöministeriö. Kirjoittajat kiittävät Iida-Kaisa Tervahartialaa ja Elisa Rantasta heidän panoksestaan aineiston keräämisessä.

LÄHDELUETTELO

1. Liu G., Chen H., Yuan Y., Song C., Indoor thermal environment and human health: A systematic review, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 191, 2024, 114164
2. Clements-Croome, D. (2006) *Creating the Productive Workplace*, 2nd edition, Abingdon, Oxon, UK, Taylor & Francis.
3. Lan L., Wargocki P., Wyon D.P., and Lian Z. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 2011, 21, 376–390.
4. Maula H., Hongisto V., Östman L., Haapakangas A., Koskela H. and Hyönä J. The effect of slightly warm temperature on work performance and comfort in open-plan office. *Indoor Air*, 2016, 26(2), 286–297.
5. Dimitroulopoulou S., Dudzińska M. R., Gunnarsen L., Hägerhed L., Maula H., Singh R., Toyinbo O., Haverinen-Shaughnessy U. Indoor air quality guidelines from across the world: An appraisal considering energy saving, health, productivity, and comfort, *Environ. Int.*, 2023, 178, 108127
6. ISO 7730 (2005) *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.
7. Karjalainen, S. Thermal comfort and gender: a literature review. *Indoor Air*, 2012 22: 96–109.
8. Schellen L., Loomans M.G.L.C., de Wit M.H., Olesen B.W., van Marken Lichtenbelt W.D., The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions — Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling, *Physiol. Behav.* 107(2), 2012, 252–261,
9. Radun J. and Hongisto V., Perceived fit of different office activities – The contribution of office type and indoor environment, *J. Environ. Psychol.* 2023, 89, 102063
10. Ukai M. and Nobe T. Required temperature distribution based on clothing insulation and metabolic rate survey in Japan. *Indoor and Built Environment*, 2019, Volume: 29 issue: 6, 775–782.
11. Rakennustietosäätiö 2018. RT 07-11297. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.
12. ISO 9920 (2007) *Ergonomics of the thermal environment. Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.

LÄMPÖOLOSUHTEIDEN KYTKETTY VIRTausLASKENTA

Antti Mikkonen

Sweco Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä etsitään hyvää kompromissia tarvittavan tarkkuuden ja toteutettavissa olevan hinnan välillä lämpöolosuhteiden kytkettyyn virtauslaskentaan. Sovelluksena käytetään matkailuauton asunto-osaa. Kytketty virtauslaskenta tarkoittaa tässä yhteydessä ilman ja kiinteiden kappaleiden, esim. seinät, lämpötilan laskentaa samanaikaisesti. Tämä mahdollistaa kylmäsiltojen yms. paikallisten yksityiskohtien huomioinnin esim. kondensoitumista tarkastellessa. Seinien huomiointi vain monivyyhykemallin tarjoamalla yhdellä lämpötilalla aiheuttaa merkittäviä virheitä. Hyväksi kompromissiksi osoittautui mallintaa vain sisäilmaa lähinnä oleva materiaalikerroksen kokonaan ja lisätä ulompien kerrosten vaikutus yksilökohtaisesti U-arvoja hyödyntäen.

JOHDANTO

Sisäilmasto-olosuhteiden arviointi virtauslaskentaa käyttäen on toistuva insinööritehtävä rakennusalaalla. Käyttäjän kokema lämpöviihtyvyys määräytyy ilman lämpötilan, pintojen lämpötilojen ja ilman liikkeen perusteella. Lisäksi käytetään vektoriskin käsitettä, joka lasketaan edellisten perusteella. Usein käytetty standardi aiheesta on EN ISO 7730 /1/.

Tyypillisiä käyttökohteita lämpöviihtyvyys tarkastelulle ovat esimerkiksi toimistot. Toimiston sijaitessa monista huoneista ja monimutkaisesta talotekniikasta koostuvassa kerrostalossa, monivyyhykemallinnus, esim. IDA-ICE, on usein välttämätön suunnittelun työkalu. Monivyyhykemallista saatava tieto jää kuitenkin usein tilan keskilämpötilan tasolle.

Virtauslaskennassa ilmatilavuus jaetaan miljooniin pienempiin tilavuuksiin, joille kaikille lasketaan paikalliset arvot lämpötilalle, nopeutelle, yms. Laskentamenetelmä tarjoaa hyvin yksityiskohtaista ja tarkkaa tietoa, mutta käytettävissä olevat resurssit rajoittavat tuloksen luotettavuutta. Virtauslaskenta on liian kallista, jotta sillä kannattaisi mallintaa kaikkia tiloja kaikissa tilanteissa. Tyypillisesti tarkastelu rajoittuu kesä- ja talvitapaukseen jossakin erityisen kiinnostavassa tilassa.

Virtauslaskenta ja monivyyhykemallinnus täydentävätkin toisiaan.

Monivyyhykemallinnuksella tuotetaan ne tapaukset, joista tarvitaan tarkempaa tietoa. Näistä muutamasta tapauksesta virtauslaskennan puolelle siirretään pintalämpötilat, ilmamäärät, lämpötehot ja muut tarvittavat tiedot. Toisinaan syntyy kuitenkin tilanteita, joihin tämä menetelmä sopii huonosti. Eräs esimerkki on säteilylämmittimet. Koska edellä kuvatussa menetelmässä pintojen lämpötilat on etukäteen asetettu vakioiksi, ei säteilyn vaikutusta saada virtauslaskentamallissa huomioitua mielekkäästi. Toinen esimerkki on tapaukset, joissa on merkittäviä pieniä yksityiskohtia, esimerkiksi kylmäsiltoja. Kriittinen tieto menetetään tässäkin tapauksessa yksinkertaistusta tehdessä.

Tähän työhön on valittu tapaus, joka helppo mallintaa myös kokonaan virtauslaskennalla hyödyntämättä monivyoikyemallinnusta. Kyseessä on tee-se-itse henkinen kevytkuorma-autoon rakennettu asunto-osa. Englanninkielisiä ilmaisia vastaavalle ratkaisulle ovat esim. box camper tai lutan camper. Auto on kuvattu ulkoa kuvassa 1 ja sisältä kuvassa 2. Asunto-osassa on käytetty hyvin yksinkertaista rakennetta, jotta se olisi helppo mallintaa. Esimerkiksi teollisuushalleissa käytetään samankaltaista yksinkertaista rakennetta.

Tätä yksinkertaista ja halvalla ratkaistavaa mallia hyödyntäen tässä työssä etsitäänkin hyvää kompromissia sopivasta mallinnuksen tasosta. Mallin tulisi ratkaista vakio pintalämpötilojen aiheuttamat ongelmat ja olla samanaikaisesti riittävän helppo ja halpa käytettäväksi toistuvissa kaupallisissa projekteissa.

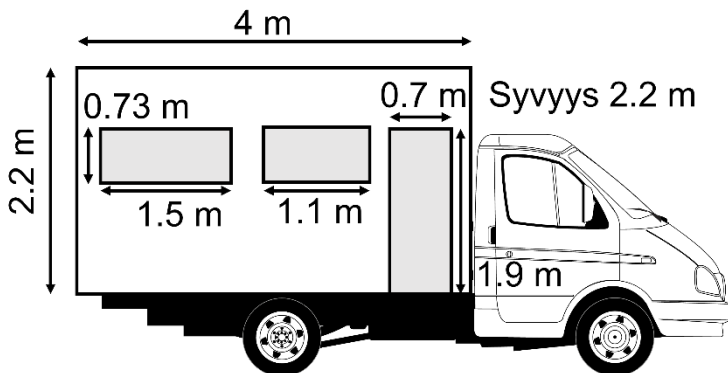
Suurin osa kytketyn virtauslaskennan lisäkustannuksista syntyy mallintamisen vaatimasta lisätyöstä mallin rakennusvaiheessa. Laskentakuorma ei kasva merkittävästi kiinteiden kappaleiden rakenteesta huolimatta. Esim. puisten rakenteiden tarkkaan piirtämiseen seinien sisään kuluu kuitenkin kohtuuttomasti aikaa. Huomioitava yksityiskohta on, että virtauslaskennassa käytettävien mallien täytyy olla täsmällisiä ja ”vesitiiviitä”. Esim. vierekkäisten osien täytyy muodostaa yksi yhtenäinen kappale.

Samoja menetelmiä voisi myös hyödyntää kytkettyyn kosteudensiirtoon. Kosteudensiirtoyhtälöt kiinteässä kappaleessa on saatavilla tässä työssä käytetylle ohjelmistolle /2/ ja kytkentä ilman liikkeisiin pitäisi onnistuva vastaavalla tavalla kuin tässä työssä on tehty lämmönsiirrolle.

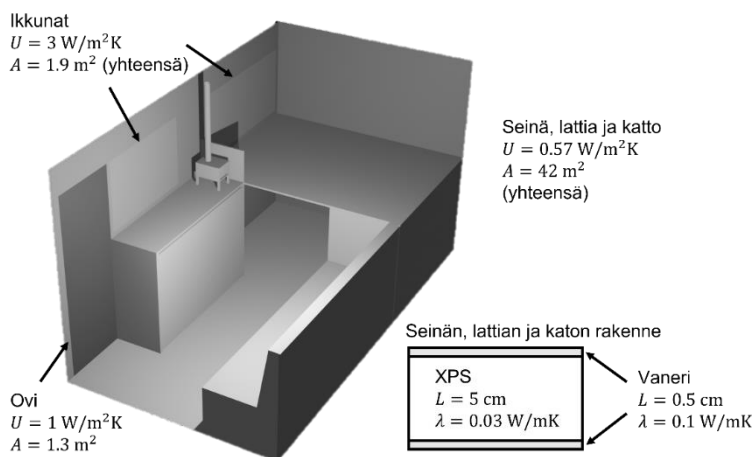
TARKASTELTAVA TAPAUUS

Tarkastellaan kevytkuorma-auton lavalle rakennettua matkailuauton asunto-osaa. Auto ja asunto-osan sisämitat ovat kuvassa 1. Asunto-osan sisäosat sekä seinissä, lattiassa ja katossa käytetty rakenne on kuvassa 2. Myös U-arvot sekä sisäpuoliset pinta-alat ovat kuvassa 2. Asunto-osassa on kaksi ikkunaa ja ovi. Muita kylmäsiltoja ei ole. Kaikki sisärakenteet ovat 2 cm paksua vaneria. Kaapin ovien ylä- ja alareunassa on 2 cm rako.

Ulkolämpötila kaikissa suunnissa on $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ulkopinnan lämmönsiirto kertoimeksi valitaan $10\text{ W/m}^2\text{K}$. Sisäpinoilla käytetään samaa arvoa. Lämpösäteilyä ei huomioida. Asunto-osaan tuodaan korvausilmaa sängyn alta lattiasta asunto-osan takaosasta ja poisto sijaitsee etuosassa katossa. Ilmanvaihto on mitoitettu vaihtamaan asunto-osan ilmatilavuus kerran tunnissa ($19\text{ m}^3/\text{h}$).



Kuva 1. Asunto-osan sisämitat.



Kuva 2. U -arvot ja pinta-alat sekä seinän rakenne (osa seinistä poistettu).

Tilassa on henkilöistä lämpökuormaa 100 W sängyllä. Tilassa on myös lämmitin penkin alla. Lämmitin ottaa ilmaa sängyn alta seinästä ja purkaa sitä tilan keskelle yhdestä 4 cm x 4 cm raosta. Lämmitysilman tilavuusvirta on 8.5 l/s ja lämpötila +60 °C.

MONIVYÖHYKEMALLINNUS

Monivyöhykemallinnusta tässä työssä edustaa käsin laskettu energiatase asunto-osan sisätilalle. Kaappien sisäosia tai esim. sängyn alusta ei ole eritelty omiksi vyöhykkeiksi. Menetelmä on kuitenkin vastaava kuin monimutkaisemmassa tilanteessa tyypillisesti käytettäisiin useille vyöhykkeille (huoneille). Tuloksena saadaan sisätilan keskilämpötila sekä pintojen keskilämpötilat. Sisäilma oletetaan täysin sekoittuneeksi. Pinnan lämpötila T_s lasketaan seuraavista yhtälöistä

$$q = U_{tot}(T_i - T_u) \quad (1)$$

$$q = h(T_i - T_s) \quad (2)$$

missä

q = lämpövirta (W/m^2)

U_{tot} = Rakenteen kokonaislämmönläpäisykerroin ($\text{W/m}^2\text{K}$)

T_i = Sisälämpötila (K)

T_u = Ulkolämpötila (K)

h = Lämmönsiirtokerroin ($\text{W/m}^2\text{K}$)

VIRTAUSLASKENTA

Virtauslaskenta toteutetaan eri tarkkuusasteilla kiinteiden kappaleiden lämpötilojen laskennan osalta. Ilmatilavuus lasketaan kaikissa menetelmissä samalla tavalla. Ilmatilavuuden laskentaan valittiin ajasta riippumaton, lämpötilan ja ilman tiheyden muutokset (nosteen) huomioiva menetelmä. Turbulenssi ratkaistaan k - ω -SST mallilla. Käytetty ohjelmisto on OpenFOAM v10 ja sen ratkaisijat buoyantFoam ja chtMultiRegionFoam.

Geometriat luotiin Blenderillä ja laskentaverkot cfMeshillä. Laskenta toteutettiin pääasiassa CSC:n Mahti-supertietokoneella. Tarkkoja laskenta-aikoja ei tarkasteltu. Uudet laskennat alustettiin vanhoista laskentakuorman pienentämiseksi.

Vakio pintalämpötilat, menetelmä (a)

Yksinkertaisin tapa huomioida kiinteiden kappaleiden lämpötilat on hyödyntää suoraan monivyoohykemallinnuksen tuottamia pintalämpötiloja. Tällöin monivyoohykemallin resoluutio määrittää paljolti virtauslaskennan tulosten tarkkuutta. Tyypillinen resoluutio virtauslaskennan yhteydessä käytettävälle monivyoohykemallille on yksi pintalämpötila per seinä. Virtauslaskennan yhteydessä ei siis tehdä lainkaan kiinteiden kappaleiden lämpötilojen laskentaa. Lämpösäteilyä ei voida huomioida lainkaan virtauslaskennan yhteydessä tätä menetelmää käyttäen.

Lämmönjohtuminen ulkopintojen läpi, menetelmä (b)

Laskennallisesti kevyt tapa huomioida ulkopintojen läpi menevä lämpövirta virtauslaskenta mallissa on ratkaista yhtälöt (1-2) jokaiselle virtauslaskennassa käytettävälle ulkoseinän pisteelle (pinta kontrollitilavuus menetelmässä). Tällöin tyypillinen resoluutio on luokkaa miljoona laskentapistettä per seinä. Tämä kasvattaa laskentaresurssin tarvetta vain marginaalisesti. Huomioitavaa kuitenkin on, että tämä menetelmä huomioi lämmönjohtumisen vain pinnan normaalin suunnassa. Tällöin pinnan vierekkäisiin laskentakoppeihin voi syntyä paljon suurempia lämpötilaeroja kuin todellisuudessa on mahdollista.

Lämmönjohtuminen pintakerroksessa kaikkiin suuntiin, menetelmä (c)

Kiinteiden kappaleiden lämmönjohtumisen laskenta on huomattavasti kevyempää ja helpompaa kuin kaasun liikeyhtälöiden ratkaisu. Laskennallisesti kiinteän kappaleen lämmönsiirron ratkaisu yhdessä virtauslaskennan kanssa ei aiheuta merkittäviä lisäkuluja. Käytännössä rajoittavaksi tekijäksi nousee kuitenkin puutteelliset tiedot käytettävistä rakenteista tai suuri käsityön määrä tarkan CAD-mallin luomiseksi. Tässä menetelmässä työn määrää vähennetään mallintamalla vain sisäpinnan materiaali (vaneri) tarkasti. Tässä kerroksessa ratkaistaan lämmönjohtuminen kaikkiin suuntiin. Muut kerrokset (eriste ja toinen vanerikerros) huomioidaan yhtälöitä (1-2) vastaavalla tavalla. Tällöin saadaan myös tilan sisällä olevien pintojen läpi tapahtuva lämmönjohtuminen huomioitua (esim. penkit ja sänky) sekä lämpösäteilyn lisääminen malliin olisi suoraviivaista.

Taulukko 1. Tulosten vertailu. Huomaa ulkolämpötila $T_u = 0\text{ °C}$.

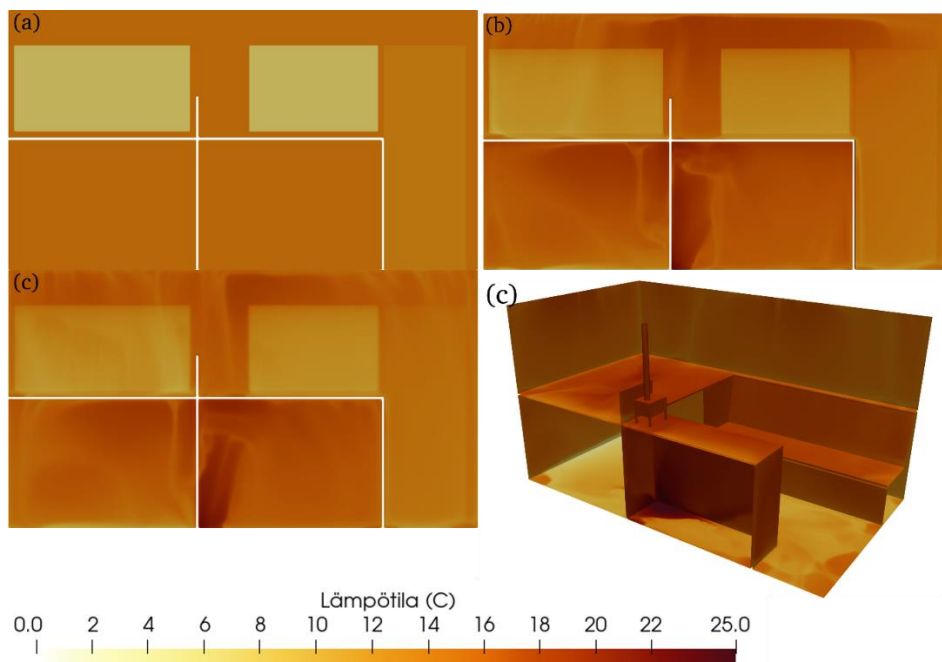
Menetelmä	Keskilämpötilaero ($^{\circ}\text{C}$) $\bar{T}_i - T_u$	Ero (%)	Laskentakopit ($\times 10^6$)
Monivyoohykemallinnus	16	-13.5	-
Virtauslaskenta + vakio pintalämpötilat (menetelmä (a))	17.4	-5.9	27
Virtauslaskenta + johtuminen läpi (menetelmä (b))	18.9	2.1	27
Virtauslaskenta + johtuminen (menetelmä (c))	18.5	-	44

TULOKSET

Taulukossa 1 on annettu keskilämpötilaero asunto osan ja ulkoilman välillä eri menetelmillä. Taulukossa on myös prosentuaalinen ero verrattuna menetelmään (c), joka on tässä työssä käytetyistä tarkin. Kaikkien virtauslaskentamallien antama keskilämpötila ero on merkittävästi suurempi kuin monivyyöhykemallinnuksen antama tulos. Selittäviä tekijöitä ovat mm. lämmityslaitteen vuotolämmön huomioita jättäminen monivyyöhykemallissa, kaappien yms. eristävä vaikutus ja monivyyöhykemallin yleinen epävarmuus.

Keskilämpötilaero menetelmillä, joissa pintojen lämpötilat ratkaistiin virtausmallinnuksen yhteydessä, menetelmät (b) ja (c), oli hyvin lähellä toisiaan. Huomattavaa kuitenkin on, että kun kiinteän kappaleen lämpötiloja ei ratkaista muihin kuin pinnan normaalin suuntaan (menetelmä (b)) voi tulokseen syntyä pistemäisiä hyvin kuumia tai kylmiä kohtia. Esim. kondenssia tarkastellessa tällaiset virheet ovat hyvin merkittäviä. Tässä tapauksessa tätä ongelmaa ei kuitenkaan merkittävästi esiintynyt. Vakio pintalämpötilojen käyttö (menetelmä (a)) johti merkittävään virheeseen keskilämpötilassa, josta seuraa myös merkittäviä paikallisia virheitä.

Vaikka laskentakoppeja oli kiinteän kappaleen johtumisen huomioivassa mallissa (menetelmä (c)) huomattavasti enemmän, oli laskenta kuorma vain hieman suurempi. Tämä johtuu kiinteän kappaleen lämmönjohtumisen laskennan keveydestä.



Kuva 3. Sisäpinnan lämpötila eritavoin laskettuna ikkunaseinälle. (a) Vakio pintalämpötilat. (b) Lämmönjohtuminen ulkopintojen läpi. (c) Lämmön johtuminen kaikkiin suuntiin vanerissa. (d) Yleiskuva pintalämpötiloista muilla seinillä menetelmää (c) käyttäen.

Sisämateriaalin huomioiminen CAD mallissa (menetelmä (b)) aiheutti jonkin verran lisää käsityötä, mutta paljon vähemmän kuin rakenteen tarkka huomioiminen vaatisi. Vastaava ohut kerros olisi helppo lisätä useimpiin kaupallisiin sovelluksiin. Monimutkaisen mallin rakentamisessa käsityön osuuden vaikutus kasvaisi merkittävästi, tehden siitä liian kalliiksi useimmissa tapauksissa.

Vain pinnan normaalin suuntaisen lämmönjohtumisen huomioiminen (menetelmä (b)) ei kasvata käsityön määrää juuri lainkaan verrattuna vakio pintalämpötilojen käyttöön (menetelmä (a)). Tässä työssä käytetyn tapauksen kaltaisissa tapauksissa työmäärä voi olla jopa pienempi, sillä erillistä monivyöhykemallia ei tarvita

Ikkunaseinän paikalliset lämpötilat on annettu kuvassa 3. Kuvassa (a) on menetelmän (a) vakio pintalämpötilat. Kuvissa (b) ja (c) on vastaavien menetelmien pintalämpötilat. Nämä tulokset ovat hyvin samankaltaiset eikä tässä tapauksessa saavuteta merkittävää eroa energiayhtälön ratkaisusta. Virtauslaskenta tulokseen ajasta riippumatonta muotoilua käyttäen jää aina värähtelyä. Kuvassa 3d on pintalämpötilat muille sisäpintoille menetelmällä (c) laskettuna. Menetelmän (c) etu on sen kyky huomioida myös tilan sisäisten kappaleiden lämmönjohtavuus. Tässä tapauksessa kyseessä ovat esim. sänky ja pöytä. Erityisen kiinnostavaa tämä olisi, jos kamina olisi käytössä.

Virtauskentät olivat kaikissa tapauksissa laadullisesti samankaltaiset.

Kosteuden siirron huomiointi rakenteissa olisi myös melko suoraviivaista yhdistää laskentaan, jos kiinteät kappaleet on valmiiksi mallinnettu.

YHTEENVETO

Tässä työssä vertailtiin eri tapoja ratkaista pintojen lämpötilat sisäilmasto-olosuhteiden virtauslaskentaa varten. Tavoitteena oli löytää käytännön projektityön kannalta tehokas ja riittävän tarkka menetelmä. Vertailussa oli monivyöhykemallinnuksesta saadun vakio lämpötilan asettaminen pinnalle, pinnan normaalin suuntaisen lämmönjohtumisen huomiointi jokaisessa pinnan pisteessä erikseen sekä lämmönjohtumisen ratkaisu kaikkiin suuntiin sisäpinnan pintamateriaalissa.

Vakio pintalämpötilojen käyttö johti suuriin virheisiin. Pinnan normaalin suuntaisen lämmönjohtumisen huomioiminen tuotti keskimääräiselle lämpötilalle hyvän tuloksen, mutta paikallisesti tulos voi olla epävakaa. Laskentakuorma ei kasvanut ja käsityön määrä mallia luodessa voi olla jopa pienempi kuin vakio lämpötiloja käytettäessä. Paras kompromissi monissa tapauksissa on kuitenkin sisäpintamateriaalin lämmönjohtumisen huomioiminen. Tulokset ovat luotettavia. Laskenta kuorma ei merkittävästi kasva ja esimerkiksi säteilyn huomiointi olisi suoraviivaista.

LÄHDELUETTELO

1. International Organization for Standardization, Switzerland 1994 ISO 7730:1994. Moderate thermal environments – determination of the pmv and ppd indices and specification of the conditions for the thermal comfort.
2. <https://github.com/amikkonen/hamFoam>

ENERGIANKULUTUS, SISÄYMPÄRISTÖN LAATU JA ASUKKAIDEN KÄYTTÄYTYMINEN ENERGIAPARANNUSKOhteissa

Santeri Schroderus¹, Elmeri Sorsa¹, Pentti Kuurola¹, Filip Fedorik¹, Virpi Leivo², Minna Kempe¹ ja Ulla Haverinen-Shaughnessy¹

¹Oulun yliopisto

²Tampereen yliopisto

TIIVISTELMÄ

Suomalaisissa asuinrakennuksissa tehty pitkän ajan seurantatutkimusten tulokset antavat viitteitä mm. asukkaiden käyttäytymisen muutoksista energiaparannuskohteissa tehtyjen korjausten jälkeen. Muutokset, jotka liittyvät esim. ikkunatuuletukseen sekä patteritermostaattien säätöihin voivat olla yhteydessä paitsi koettuun sisäympäristön laatuun, myös energiankulutukseen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin asukkaiden käyttäytymisen muutoksia suhteessa koettuun sisäympäristön laatuun ja terveellisuuteen 1) ennen energiaparannuksia, 2) noin vuosi energiaparannusten jälkeen, sekä 3) 5–10 vuotta energiaparannusten jälkeen. Aineistona on tarkasteluajankohdan mukaan 1–2) Insulate-projektin aineisto sekä 3) osassa alkuperäisiä kohteita Balance-projektissa kerätty pitkän ajan seuranta-aineisto. Lisäksi selvitimme ”tyyppitalossa” tehtyjen tarkempien mittausten tuloksia suhteessa laskennalliseen energiankulutukseen. Tarkastelemalla laskennallisen ja todellisen energiankulutuksen eroja voimme arvioida rakennuksiin, rakenteisiin ja rakennuksen käyttöön liittyviä tekijöitä, jotka saattavat osaltaan selittää odotettua suuremman energiankulutuksen.

JOHDANTO

Rakennusten energiatehokkuuteen ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseen pyritään vaikuttamaan energiatehokkuusdirektiivillä (EU/27/2012). Direktiiviin on tehty muutos vuonna 2018 ja vuonna 2021 Euroopan komissio julkaisi ehdotuksen uudesta muutoksesta direktiiviin. Uudessa ehdotuksessa kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon, ja energian loppukulutuksen vähennystavoitetta nostaa 36 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. Jäsenvaltioille asetettaisiin vuotuinen 1,5 prosentin energiasäästö tavoite vuosille 2024–2030. Ehdotuksessa perusteella energiatehokkuutta parannettaessa ja sopeuduttaessa ilmastomuutokseen on huomioitava myös terveelliset sisäolosuhteet. Lisäksi uusissa- ja mahdollisuuksien mukaan korjattavissa rakennuksissa tulisi olla sisäilman laadun seurantaan ja säätelyyn soveltuvat mittaus- ja valvontalaitteet. (COM/2021/802 final).

Energiaparannusten vaikutusta sisäilmaston laatuun on tutkittu aikaisemmin Suomessa mm. INSULAtE-projektissa, jossa tarkasteltiin vuosina 1960–1980 valmistuneita asuinrakennuksia ennen energiaparannuksia ja noin vuosi energiaparannusten jälkeen. Alkuperäisessä projektissa oli mukana 45 asuinrakennuskohdetta (240 asuntoa), joissa arvioitiin energiakorjausten vaikutuksia energiankulutukseen ja asunnoissa mitattuun sekä asukkaiden kokemaan sisäympäristön laatuun ja terveyteen /1/. Vuonna 2022

toteutetun jatkotutkimuksen tavoitteena on tarkastella energiaparannusten vaikutuksia pidemmällä (5–10 vuoden) aikavälillä. Tutkimuksia tehtiin alkuperäisen protokollan mukaisesti pääosin lämmityskaudella yhteensä 13:n asuinkerrostalon 47 asunnossa, joissa samat tutkimukset oli tehty osana INSULAtE-projektia vuosina 2010–2015. Näiden kohteiden mittauksista on raportoitu alustavia tuloksia /2/. Koska tämä jatkotutkimus on osa laajempaa Balance-projektia, on sen osana tehty myös tarkempia mittauksia tyyppitaloiksi valituissa kohteissa. Näiden mittausten yhtenä tavoitteena on simuloimalla arvioida rakennuksiin, rakenteisiin ja rakennuksen käyttöön liittyviä tekijöitä, jotka saattavat osaltaan selittää energiankulutuksen kohdekohtaista vaihtelua.

METODIT

Seurantatutkimukset

Asukkaita pyydettiin täyttämään asumisterveyskysely (1 / asunto). Lopullinen kyselylomake koostui 49 rakennukseen ja asuinympäristöön liittyvästä kysymyksestä, ml. fyysiset, biologiset ja kemialliset olosuhteet, hygienia, asukkaiden käyttäytyminen, terveys ja hyvinvointi sekä taustatiedot. Alustavat tulokset analysoitiin ristiintaulukoimalla sekä laskemalla jatkuville muuttujille keskiarvot ja keskihajonnat. Lisäksi täysi-ikäisiä asukkaita pyydettiin täyttämään asumisterveyspäiväkirjaa päivittäin kahden viikon ajanjaksolla, joiden tulokset raportoidaan myöhemmin.

Tyyppitalossa mitattiin sisäilman lämpötila (T), suhteellinen kosteus (RH), hiilidioksidipitoisuus (CO₂) ja paine-ero (ΔP) ulkovaipan yli jatkuvana mittauksena kahden kuukauden ajan mittausresoluutiona 5 minuuttia. Mittauslaitteena käytettiin Miran DLS olosuhdevalvontajärjestelmää. Kussakin kohteessa käytettiin neljää lähetintä, jotka ovat yhteydessä keskusyksikköön. Yksi lähetin mittaa kaikkia neljää edellä mainittua sisäilman olosuhdetta, mittauksarkkuuksilla $T \pm 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} \pm 2,5\%$ +0,5% RH hystereesi (0 - 90 %RH), $\Delta P \pm 3\%$ lukemasta, $\text{CO}_2 \pm 30 \text{ ppm} \pm 3\%$ lukemasta.

Lähettimet sijoitettiin samoihin paikkoihin kuin aikaisemmassa INSULAtE-projektissa. Yksi lähetin sijoitettiin makuuhuoneeseen, kaksi muuta lähetintä sijoitettiin olohuoneeseen oleskeluvyöhykkeelle ja sisätilan kylmimpään kohtaan mittaamaan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Viimeinen lähetin sijoitettiin paine-eron mittaamiseksi ulkoseinän viereen, jotta lähetimestä saatiin vietyä letku ikkunan välistä ulkovaipan toiselle puolelle. Letkun läpivientiin ulkovaipan läpi käytettiin valmistajan paine-eron mittaamiseen tarkoitettua kuparikapillaariputkea, joka sijoitettiin tuuletusikkunan alanurkkaan. Anturit lähettivät tulokset Miranlink -pilvipalveluun, josta ne vietiin Exceliin.

Laskennallinen energiankulutus

Laskennallinen energiankulutus simulointiin dynaamisella IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) -monivyöhyke simulointiohjelmalla. Ohjelmalla on validoitu onnistuneesti aikaisemmin mitattua ja simuloitua energiankulutusta riittävällä tarkkuudella /3, 4/. Ohjelmalla on mahdollista simuloida koko rakennuksen energiankulutusta parametrisesti, jolloin esimerkiksi ikkunan U-arvoa tai tilan ilmanvaihtolukua muuttamalla voidaan määrittää muutoksen vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen vuoden aikana. 3D ArchiCAD BIM-malli tuotiin ohjelmaan sisään IFC-tiedostona, jolloin luotoa BIM-mallia pystyttiin käyttämään tehokkaasti mallinnusvaiheessa hyödyksi tarkan geometrian ja tilojen määrittelyn osalta.

Malliin asetettiin rakennuspiirustuksia vastaavat parametrit arvoineen. Lämmitysmuoto oli kaukolämpö.

Simuloinnissa luotiin mallit asuinkerrostalokohteesta ennen energiaparannusta ja energiaparannuksen jälkeen. Energianparannusmalliin asetitiin korjaukset, joita olivat ikkunoiden vaihto, IV- ja/tai lämmitysjärjestelmien parannus sekä ulkovaipan lisäeristäminen 50 mm /5/. Korjaukset parametreineen on esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Energiakorjauksen muutokset ohjelmaan syötettäviin parametreihin

Energiakorjaus:	ennen	jälkeen
Ikkunoiden vaihto	U= 2.1 W/m ²	U= 1.0 W/m ² , g-arvo
IV-järjestelmän parannus	-	energiatehokkaampi
Lämmitysjärjestelmän parannus	-	energiatehokkaampi
Ulkovaipan lisäeristäminen	-	50 mm, missä λ=0.037
Ilmativeys	1.2–2.5 h ⁻¹	0.6–2.3 h ⁻¹
Ilmanpaine-ero ka. ulkoilmaan nähden [Pa]	(-13.8 koneellinen) (-7 painovoimainen)	(-14 koneellinen) (-7.9 painovoimainen)
Ilmanvaihtuvuus 1/h	(0.43 koneellinen) (0.25 painovoimainen)	(0.48 koneellinen) (0.25 painovoimainen)

Ikkunatuuletuksen ja patteritermostaattien parametrisoinnilla tutkittiin mahdollisia eroavaisuuksia mitattuun kokonaisenergiankulutukseen.

TULOKSET JA POHDINTA

Pitkänajan seurantakyselyyn (3. kysely) vastaukset saatiin 34 asunnosta. Vastaajat olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta samoja kuin 1. kyselyssä (ennen energiaparannusta) ja 2. kyselyssä (noin vuosi energiaparannuksen jälkeen). Vastaajien raportoimissa taustatiedoissa ei ollut suuria poikkeamia aikaisempien kyselykertojen tuloksiin (Taulukko 2), lukuun ottamatta vastaajan ikää: 1. kyselyssä vastaajien keski-ikä oli 57,9 vuotta, kun se 2. kyselyssä oli 58,2 vuotta ja 3. kyselyssä vastaavasti 65,4 vuotta. Aukkaat olivat myös asuneet nykyisessä asunnossa keskimäärin pidempään 3. kyselyssä (21 vuotta) verrattuna 1. ja 2. kyselyyn (13 vuotta).

Taulukko 2. Vastaajien taustatiedot.

	1. kysely	2. kysely	3. kysely
	N (%)	N (%)	N (%)
Sukupuoli, nainen	127(63)	101(63)	22(65)
Asunnossa tupakointi, ei koskaan	187(94)	142(90)	34(100)
Asunnossa lemmikkieläimiä	27(14)	22(14)	6(18)
Asumiseen käytetty osuus tuloista <35%	151(74)	105(70)	28(82)
Hallintamuoto			
Omistusasunto	138(68)	111(70)	32(94)
Vuokra-asunto	65(32)	46(29)	2(6)
Asunnossa			

Lasitettu parveke	96(47)	99(62)	24(71)
Koneellinen poistoilmanvaihto	62(31)	49(30)	13(38)
Koneellinen tuloilmanvaihto	16(8)	34(21)	8(24)
Raitisilmaventtiilit	31(15)	66(41)	19(56)
Sauna	86(42)	85(53)	16(47)
Vastaajan ikä [vuotta], keskiarvo (keskihajonta)	57,9(19,4)	58,2(17,4)	65,4(18,9)
Asunut nykyisessä asunnossa [vuotta], keskiarvo (keskihajonta)	13,0(12,5)	13,2(12,5)	21,3(15,9)

Lämpöviihtyisyyteen liittyvät vastaukset on esitetty Taulukossa 3. Vastauksista voidaan havaita, että 3. kyselyssä asukkaat raportoivat hieman alhaisempia sisälämpötiloja lämmityskaudella aikaisempiin kyselyihin verrattuna, vaikka mittauksen perusteella vastaavaa eroa ei havaittu /2/. Kesällä liian kuumaa ja talvella liian kylmää raportoivien osuus oli aikaisempia kyselyitä pienempi, mutta sopivana lämpötilaa pitävien osuus oli lähes samalla tasolla. Makuuhuoneen ikkunan avaaminen talvella lämpötilan hallitsemiseksi oli yleisempää 3. kyselyssä aikaisempiin kyselyihin verrattuna, mikä voi viitata mahdollisuuteen pienentää energiankulutusta lämpötilojen säädöillä. Toisaalta aikaisempaa pienempi osuus vastaajista raportoi termostaattien säätämistä 3. kyselyssä, mikä voi viitata siihen, että osa asukkaista ei itse pysty säätämään asuntonsa lämpötiloja.

Myös kosteuden tiivistymistä ikkunoihin ja tunkkaista sisäilmaa sekä rakennuksen sisä- ja ulkopuolelta kuuluvaa melua raportoi pienempi osa 3. kyselyyn vastanneista. Asuntoon tyytyväisten osuus oli 2. ja 3. kyselyissä suurempi verrattuna 1. kyselyyn, mutta sisäilman laatuun tyytyväisyys oli 3. kyselyssä palannut lähelle 1. kyselyn tasoa. Jatkossa parittaiset tarkastelut ja (otoskoon salliessa) monitasomallit antavat tarkempaa tietoa mahdollisista muutoksista eri tutkimuskertojen välillä sekä niiden yhteydestä energiaparannuksiin sekä mitattuihin olosuhteisiin.

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus laski 21 % korjausten ansioista /5/. Simuloinnin perusteella saatava lämmitysenergiankulutus esitetään seminaariesityksessä. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu asukkaiden toiminnalla ja lukumäärällä olevan yhteys mitatun ja simuloidun energiankulutuksen eroavaisuuksille /6, 7/.

Taulukko 3. Asukkaiden raportoima lämpöviihtyisyys ja sisäympäristötekijät.

		1. kysely	2. kysely	3. kysely
		N (%)	N (%)	N (%)
Tyypillinen lämpötila lämmityskaudella				
	<18°C	3(2)	0(0)	0(0)
	18-20°C	33(17)	19(12)	6(18)
	20-22°C	108(55)	96(61)	24(71)
	22-24°C	46(23)	39(25)	4(12)
	>24°C	7(4)	4(3)	0(0)
Lämpöolosuhteet kesällä				

Sopivan lämmin		111(58)	92(57)	20(59)
Liian kylmä		2(1)	3(2)	0(0)
Liian kuuma		103(51)	68(42)	10(29)
Vetoisaa		5(3)	6(4)	0(0)
Kylmiä lattiapintoja yms.		5(3)	2(1)	0(0)
Lämpöolosuhteet talvella				
Sopivan lämmin		130(64)	105(65)	23(68)
Liian kylmä		45(22)	36(22)	2(6)
Liian kuuma		17(8)	13(8)	0(0)
Vetoisaa		58(29)	34(21)	3(9)
Kylmiä lattiapintoja yms.		53(26)	39(24)	3(9)
Avaa ikkunoita päivittäin lämpötilan hallitsemiseksi (talvella)				
Keittiössä		29(14)	18(11)	5(15)
Makuuhuoneessa		79(39)	59(37)	16(47)
Olohuoneessa		37(18)	22(14)	4(12)
Ei yrittänyt säätää termostaatteja viimeisen 12 kk aikana		85(43)	70(44)	19(56)
Kosteuden tiivistymistä ikkunoihin talvella		75(37)	52(32)	8(24)
Tunkkaisuutta		33(19)	12(8)	2(6)
Melua rakennuksen ulkopuolelta		52(28)	26(18)	4(12)
Melua rakennuksen sisältä (LVIS laitteet, hissit, ym.)		22(12)	26(18)	3(9)
Tyytyväinen asuntoon		82(41)	82(52)	17(50)
Tyytyväinen sisäilman laatuun		42(22)	65(41)	10(29)

Odotetun ja mitatun energiankulutuksen eroavaisuudeksi on havaittu olevan jopa 12 % luokkaa rakennuksen käyttäjien toiminnasta ja lukumäärästä johtuen /8/. Laskentaan liittyviä epävarmuuksia voivat aiheuttaa useat tekijät, kuten LVI-järjestelmien todellinen energiatehokkuus, valaistuksen lämpökuorman muuttuminen, henkilömäärä, rakennuksen sijainti ja auringon säteilyn vaikutus (puut kasvaneet varjostamaan enemmän, ympäristöstä purettu rakennuksia tai uusia rakennettu tilalle tai julkisivun maalipinnan väri vaihdettu korjauksen yhteydessä).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiaparannustoimet paransivat lämpöviihtyvyyttä sekä kyselytutkimusten että mittauksen perusteella. Vedon tunteesta, kylmistä pinnoista, kosteuden kondensoitumisesta ikkunoihin ja epämiellyttävästä ilman lämpötilasta raportoivien osuudet pienenevät energiaparannusten jälkeen. Muutokset olivat nähtävissä myös pitkän ajan seurannassa. Ikkunatuuletus lämpötilan hallitsemiseksi myös talviaikaan on yleistä, mikä voi viitata mahdollisuuteen pienentää energiankulutusta lämpötilojen säädöillä.

KIITOKSET

Tutkimusta rahoitti Suomen Akatemia osana yhteishanketta Ympäristöä säästävät ja terveyttä edistävät rakennukset muuttuvassa ilmastossa: kustannusten ja hyötyjen vertailu (BALANCE 339665).

LÄHDELUETTELO

1. Du, L., Leivo, V., Prasauskas, T., Täubel, M., Martuzevicius, D., & Haverinen-Shaughnessy, U. (2019). Effects of energy retrofits on Indoor Air Quality in multifamily buildings. *Indoor air*, 29(4), 686-697.
2. Sorsa, E., Leivo, V., Kempe M., Haverinen-Shaughnessy, U. Energiaparannusten pitkäaikaisvaikutukset asuinkerrostalokohteiden sisäilmastoon. Rakennusfysiikkaseminaari 2023, Tampere 24-26.10.2023.
3. La Fleur, L., Moshfegh, B., & Rohdin, P. (2017). Measured and predicted energy use and indoor climate before and after a major renovation of an apartment building in Sweden. *Energy and Buildings*, 146, 98-110.
4. Molin, A., Rohdin, P., & Moshfegh, B. (2011). Investigation of energy performance of newly built low-energy buildings in Sweden. *Energy and Buildings*, 43(10), 2822-2831.
5. Du, L., Leivo, V., Martuzevicius, D., Prasauskas, T., Turunen, M., & Haverinen-Shaughnessy, U. (2016). INSULAtE-project results: Improving energy efficiency of multifamily buildings, indoor environmental quality and occupant health.
6. Ryan, E. M., & Sanquist, T. F. (2012). Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions. *Energy and buildings*, 47, 375-382.
7. Hoes, P., Hensen, J. L., Loomans, M. G., de Vries, B., & Bourgeois, D. (2009). User behavior in whole building simulation. *Energy and buildings*, 41(3), 295-302.
8. Dar, U.I., Georges, L., Sartori, I. et al. Influence of occupant's behavior on heating needs and energy system performance: A case of well-insulated detached houses in cold climates. *Build. Simul.* 8, 499–513 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12273-015-0230-y>

OPERATIIVISEN LÄMPÖTILAN MITTAUKSIA TOIMISTORAKENNUKSESSA

Sami Lestinen ja Lari Eskola

A-Insinöörit Suunnittelu Oy

TIIVISTELMÄ

Ilmaston muutoksen haasteet näkyvät tulevaisuudessa entistä enemmän sisäympäristön lämpöolosuhteissa, erityisesti pitkällä hellejaksoilla. Tässä tutkimuksessa selvitettiin seurantamittauksilla avotoimiston operatiivista lämpötilaa kesätilanteessa tilan sisävyöhykkeellä ja ikkunavyöhykkeellä, jossa auringon lämpösäteilyn kuormitus vaikuttaa eri aikaan eri julkisivuilla. Mitatun avotoimiston sisävyöhykkeen lämpötila ja operatiivinen lämpötila olivat jäähdytyskaudella jopa varsin matalalla tasolla verrattuna Sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin. Operatiivinen lämpötila nousi suurten ikkunoiden lähivyöhykkeellä useana päivänä yli annetun luokituksen enimmäisarvon. Sen vuoksi työntekijöiden lämpöviihtyvyys saattaa huonontua ikkunavyöhykkeen työpisteillä, vaikka ihmisen yksilölliseen lämpötuntemukseen vaikuttaakin moni tekijä.

JOHDANTO

Ilmastonmuutoksessa lämpöenergian lisääntyminen ilmakehässä aiheuttaa entistä suurempaa sään vaihtelua ja ääriolosuhteita. Tällöin myös sisäilmaston mittaaminen muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa on tilojen käyttäjien lämpöviihtyvyyden kannalta tärkeää. Vaatimukset lämpöviihtyvyydelle perustuvat kansainvälisissä standardeissa operatiiviselle lämpötilalle, joita ovat esimerkiksi standardit ISO EN 7730, EN 16798-1, ISO 17772-1, ASHRAE 55 /1/. Tutkimuksissa on löydetty todisteita muuttuvan operatiivisen lämpötilan vaikutuksesta muun muassa keskittymiseen ja yleiseen hyvinvointiin /2/.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin uuden Sisäilmastoluokituksen S1-luokan toimistorakennuksen operatiivista lämpötilaa avotoimistoissa ikkunavyöhykkeellä ja sisävyöhykkeellä kesäajan jäähdytyskaudella. Käytännössä operatiiviseen lämpötilaan vaikuttavat merkittävästi lämpösäteily, ilman lämpötila ja ilman nopeusolosuhteet mittauskohdassa. Karkeasti arvioiden operatiivisen lämpötilan tavoitearvot ovat Sisäilmastoluokituksen S1-luokassa noin 22-25°C ($\sim \pm 0.5^\circ\text{C}$) riippuen kesätilanteen ulkoilman lämpötilan 24 tunnin liukuvasta keskiarvosta (Rakennustietosäätiö, 2018). Tämän sijasta voidaan periaatteessa kohtuullisella tarkkuudella käyttää Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoaseman ulkoilman päivälämpötilaa. Lisäksi Sisäilmastoluokituksessa on annettu tilan lämpötilalle asetusalue 23-25°C jäähdytyskaudelle. Näitä arvoja voidaan verrata Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetukseen, jossa lämpötilojen toimenpiderajat ovat jäähdytyskaudella 18°C-32°C /3/,/4/.

MENETELMÄT

Tutkimusmenetelmänä oli sisäilman seurantamittaukset, jotka toteutettiin vuonna 2023 uudessa toimistorakennuksessa. Operatiivista lämpötilaa mitattiin mustapalloantureilla,

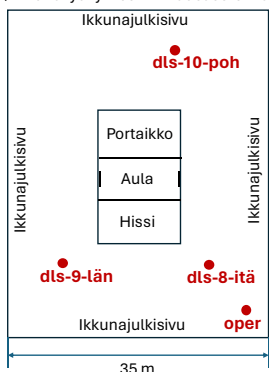
ilman lämpötilaa seurantamittareilla ja pintalämpötiloja termopariantureilla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Käytetyt seurantamittauslaitteet.

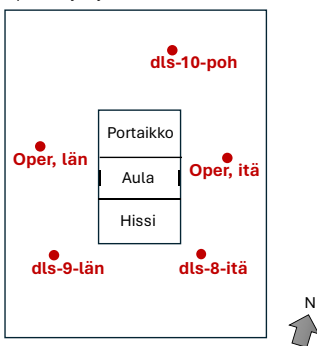
Mittari	Suure	Tarkkuus
Miran dls Wp.4tc-K (G2)	Lämpötila	Lämpötila (sisäinen): $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ Lämpötila (termopari*): $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ Lämpötilan ja termoparin mittaussväli 15 s
Gemini TGU-4500 – Tinytag Ultra 2 dataloggeri	Lämpötila	Lämpötila: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Lämpötilan mittaussväli: 5 min.

Tutkimuksessa selvitettiin avotoimiston lämpötiloja ja operatiivista lämpötilaa kesätilanteessa tilan sisävyöhykkeellä ja ikkunavyöhykkeellä, joka kattaa karkeasti yhden työpisteen alueen ulkoseinän vieressä (Kuva 1).

a) Ikkunavyöhykkeen mittausasetelma

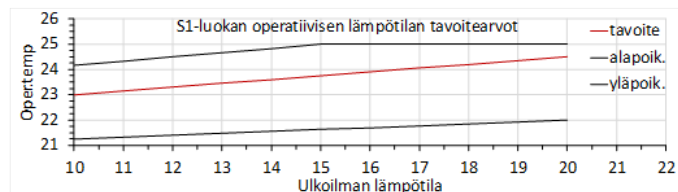


b) Sisävyöhykkeen mittausasetelma



Kuva 1. Mittausasetelman periaate avotoimistossa: a) ikkunavyöhyke ja b) sisävyöhyke. ”oper” tarkoittaa operatiivisen lämpötilan mittauspistettä ja ”dls” lämpötilan mittauspistettä.

Kuvassa 2 on havainnollistettu operatiivisen lämpötilan tavoitearvoja.



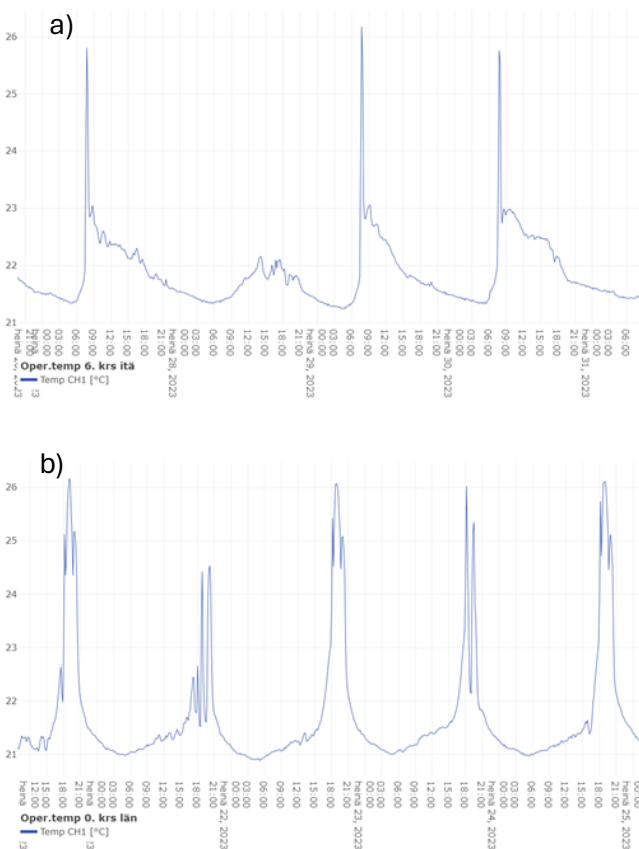
Kuva 2. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot Sisäilmastoluokituksen 2018 S1-luokassa. Ulkoilman lämpötila 24 tunnin liukuva keskiarvo tai kohtuullisella tarkkuudella vuorokauden keskilämpötila.

Rakennuksessa oli sekoittava ilmanjako. Tilajärjestelmien lämpötilan asetusarvo oli 22°C . Uusissa avotoimistoissa ei ollut mittausjaksolla sälekaihtimia eikä toimistokalusteita. Ikkunajulkisivussa on laadukkaat auringonsuojausominaisuudet.

TULOKSET

Operatiivinen lämpötila avotoimiston sisävyöhykkeellä

Kuvassa 3 on avotoimiston itä- ja länsijulkisivulla mitattu operatiivinen lämpötila karkeasti noin 4 päivän ajanjaksolta.

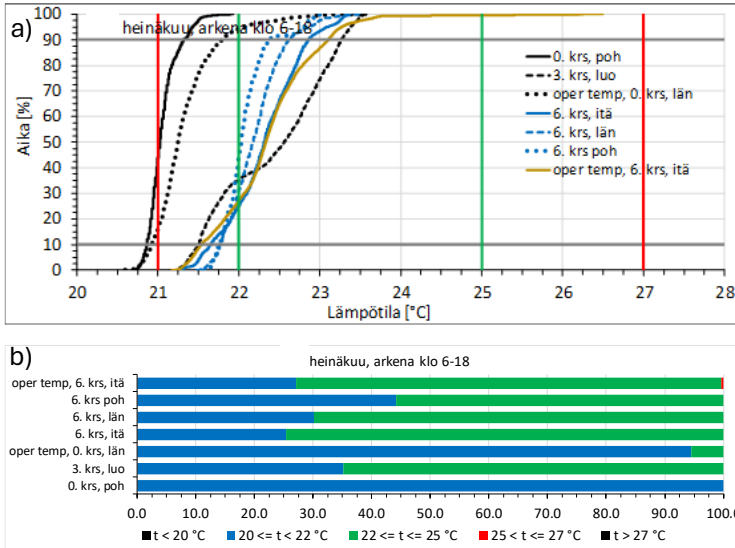


Kuva 3. Avotoimiston operatiivinen lämpötila: a) itäjulkisivu ja b) länsijulkisivu.

Edellä olevista kuvaajista voidaan havaita, että operatiivinen lämpötila nousi itäjulkisivun sisävyöhykkeellä aamulla (Kuva 3a) ja länsijulkisivun sisävyöhykkeellä illalla (Kuva 3b). Tulos johtuu auringon lämpösäteilyn vaikutuksesta, kun aurinko paistaa eri puolille avotoimistoa eri aikaan päivästä (kts. Kuva 1b).

Kuvassa 4 on avotoimistojen sisäilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan pysyvyys ja vaihteluvälien osuuksia kokonaisajasta heinäkuun tarkastelujaksolta arkipäivinä klo 6-18. Kuvasta 4 nähdään, että ilman lämpötila ja operatiivinen lämpötila olivat avotoimistojen sisävyöhykkeellä kaiken kaikkiaan varsin matalalla tasolla jäähdytyskaudelle, jossa operatiivisen lämpötilan tavoitelämpötilan vaihteluväli on luokkaa 22-25°C, kun ulkoilman päivälämpötila on 15-20°C. Lämpötilakäyrät pysyvät suurimmaksi osaksi melko tasaisina pääsääntöisesti parin asteen sisällä. Kun tarkastellaan operatiivisen lämpötilan kuvaajia ajan suhteen, avotoimistotilojen

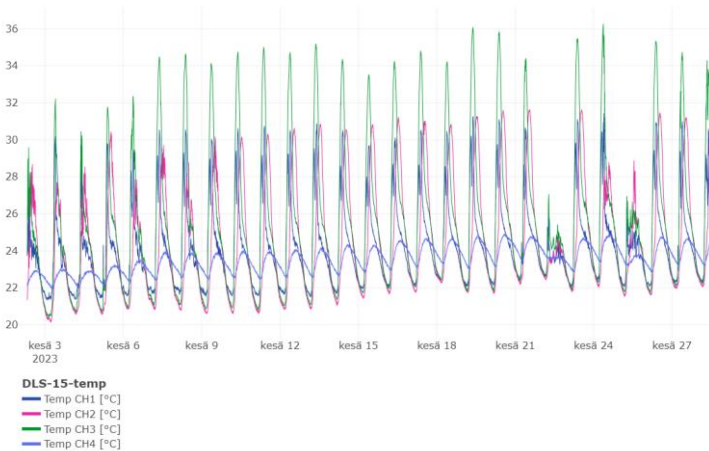
sisävyöhykkeen operatiivinen lämpötila kasvaa ajoittain suuremmaksi tai pienemmäksi kuin sisäilman lämpötila, mikä johtuu todennäköisesti lämpösäteilyn olosuhteiden muutoksista.



Kuva 4. Avotoimistojen lämpötila ja operatiivisen lämpötila (oper.temp) eri julkisivuilla heinäkuussa arkena klo 6-18: a) pysyvyyskäyrä ja b) lämpötilan eri vaihteluvälit.

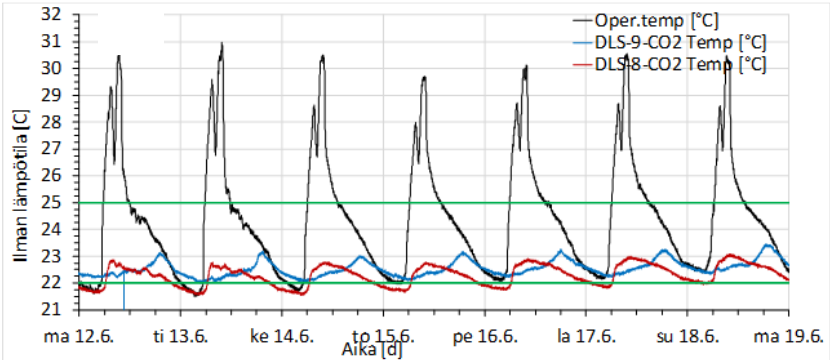
Operatiivinen lämpötila ikkunavyöhykkeellä

Kuvassa 5 on operatiivisen lämpötilan ja pintalämpötilojen tulokset avotoimiston itä-etelä-kulmauksen ikkunavyöhykkeellä kesäkuussa. Ulkoilman vuorokauden keskilämpötila oli mittausjaksolla vaihteluvälillä 10-20°C.



Kuva 5. Operatiivinen lämpötila ja pintalämpötiloja avotoimiston kulmavyöhykkeellä: CH1 on operatiivinen lämpötila, CH2 on eteläikkunan pintalämpötila, CH3 on itäikkunan pintalämpötila ja CH4 on kulmauksessa olevan betonipilarin pintalämpötila.

Kuvasta 5 voidaan havaita, että itäikkunan lasi lämpenee aamupäivällä. Itäikkunan lämpötila nousi hellejaksolla enimmillään noin 36°C asteeseen. Eteläikkunan lasi lämpeni puolestaan noin 31°C asteeseen, kun taas betonipilarin pintalämpötila oli enimmillään noin 25°C astetta. Operatiivinen lämpötila oli useana päivänä yli 30°C astetta keskipäivällä, joka todennäköisesti vaikuttaa tilojen käyttäjien lämpötuntemukseen kulmavyöhykkeen työpisteillä (kts. Kuva 1a). Kuvassa 6 on verrattu operatiivista lämpötilaa sisäilman lämpötilaan avotoimistossa viikon seurantajaksolla.



Kuva 6. Operatiivinen lämpötila (Oper.temp) avotoimiston kulmavyöhykkeellä verrattuna avotoimiston sisäilman lämpötilaan (DLS-9-länsi ja DLS-8-itä).

Kuvasta 6 nähdään, että operatiivinen lämpötila on ajoittain merkittävästi korkeammalla tasolla kuin sisäilman lämpötila. Aurinkokuorman vaikutusta operatiiviseen lämpötilaan voidaan pienentää käyttämällä ikkunoissa aurinkosuojausta, kuten erilaisia kaihdinratkaisuja. Taulukossa 2 on mitattujen lämpötilojen tilastoa.

Taulukko 2. Mittaustulokset, ikkunavyöhykkeen mittausasetelma, kesäkuu.

Avotoimistot	DLS-8-itä	DLS-9-län	DLS-10-poh	Oper.temp
mittausarvojen lkm	38006	37995	38006	38006
keskiarvo [°C]	22.3	22.5	22.3	24.2
min [°C]	21.4	21.9	21.8	21.3
max [°C]	23.4	23.7	23.4	31.5
keskihajonta [°C]	0.4	0.3	0.3	2.2
22 <= t <= 25 °C [%]*	73.1	99.7	87.3	62.5
20 <= t < 22 °C [%]	26.9	0.3	12.7	11.1
25 < t <= 27 °C [%]	0.0	0.0	0.0	14.1

*vaihteluvälin osuus [%]

POHDINTA

Auringonsäteilyn kuormittava vaikutus sisäympäristössä on kaiken kaikkiaan varsin dynaaminen ilmiö, jolloin avotoimistotilojen lämpötilat voivat päivällä tilojen käytön aikana vaihdella eri osissa oleskeluvyöhykettä auringon lämpösäteilyn vaikutuksesta. Jos olosuhteiden hallinnassa halutaan ottaa huomioon suurten ikkunapintojen vaikutusta oleskeluvyöhykkeellä, pelkkä ilman lämpötilan mittaaminen ei ole riittävä toimenpide, koska ikkunapinnat voivat olla talvella sisäympäristöä kylmempiä ja kesällä lämpimämpiä. Silloin käytännön keinona on mitata operatiivista lämpötilaa, joka ottaa

huomioon lämpötilan ohella myös lämpösäteilyä ja ilman liikkeen vaikutusta mittauskohdassa. Silloin mittauksen periaatteessa heijastelee ihmisen todennäköistä lämpötuntemusta paremmin kuin pelkkä sisäilman lämpötilan mittaaminen. Käytännössä toimistotyöntekijän lämpötuntemukseen voi vaikuttaa esimerkiksi se mihin aikaan päivästä työntekijä on toimistolla, koska työpisteen ympäristössä olevat ikkuna- ja seinärakenteiden lämpötilat sekä auringon suora lämpösäteily vaihtelevat päivän aikana.

Huomionarvoista on, että onko rakennuksen järjestelmät vielä nykyisellään sillä tasolla, että ne pystyvät hallitsemaan sisäympäristön lämpötilojen muutoksia eri puolilla avotoimistoa erilaisten lämpökuormien vaikutusalueilla. Lisäksi voidaan pohtia mitä haasteita luonnonvalon käyttö valaistuksessa voi tuoda lämpöviihtyvyyden ja lämpötilojen hallinnan osalta, jos auringon lämpösäteilyn kuormitus kasvaa sisätiloissa.

YHTEENVETO

Seurantamittauksilla selvitettiin avotoimiston operatiivista lämpötilaa kesätilanteessa uuden rakennuksen avotoimiston sisävyöhykkeellä ja ikkunavyöhykkeellä.

Tuloksissa havaittiin merkittävä aurinkokuorman vaikutus avotoimistojen oleskeluvyöhykkeen operatiiviseen lämpötilaan, auringon paistaessa tiloihin eri aikaan eri julkisivuilla.

Suurten ikkunoiden viereisellä työpisteellä operatiivinen lämpötila nousi ajoittain selvästi yli S1-luokan suositustason enimmäisarvon 27°C, jolloin toimistotyöntekijän lämpöviihtyvyys voi huonontua.

Aurinkokuorman vaikutusta operatiiviseen lämpötilaan voidaan pienentää käyttämällä ikkunoissa aurinkosuojauksia, kuten erilaisia kaihdiratkaisuja.

LÄHDELUETTELO

1. Olesen, B. W., Wang, H., Kazanci, O. B. & Coakley, D. 2019 The Effect of Room Temperature Control by Air-or Operative Temperature On Thermal Comfort And Energy Use. In Building Simulation 2019 (Vol. 16, pp. 2086-2093). IBPSA.
2. Kolarik, J., Toftum, J. R., Olesen, B. W., & Shitzer, A. 2009 Occupant responses and office work performance in environments with moderately drifting operative temperatures (RP-1269). *Hvac&R Research*, 15(5), 931-960.
3. Rakennustietosäätiö RTS sr. (2018). Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Ohjekortti, RT 07-11299, LVI 05-10629, SIT 05-610149, Ratu 444-T, KH 27-00662, Rakennustietosäätiö RTS sr, Espoo.
4. Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asetus 545/2015. Helsinki.
5. Valvira. 2016 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa I: Asumisterveysasetus § 1-10. Ohje, Dnro 2731/06.10.01/2016, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Helsinki.

HIUKKASET JA HAITTA-AINEET

RAKENNUSMATERIAALIEN SISÄLTÄMIEN PAH-YHDISTEIDEN VAIKUTUS SISÄILMAN LAATUUN

Jarno Komulainen¹, Miia Pitkäranta¹, Pauli Sekki¹, Paula Wuokko¹ ja Jevgeni Parshintsev²

¹AFRY Rakennusfysiikka

²Työterveyslaitos

TIIVISTELMÄ

Artikkelissa esitellään Työsuojelurahaston rahoittaman Rakennusmateriaalien sisältämien PAH-yhdisteiden vaikutus sisäilman laatuun -tutkimushankkeen tuloksia. Hankkeessa selvitettiin polyaromaattisia hiilivetyjä (PAH) sisältävien rakennusmateriaalien sisäilmavaikutuksia kohteissa tehdyin mittauksin sekä laboratorio-tutkimuksin. Tutkimuksen perusteella rakennusmateriaalin sisältämien PAH-yhdisteiden pitoisuus ei ole ensisijainen tekijä sisäilmariskin kannalta, vaan materiaalin ominaisuuksilla, PAH-yhdistekirjolla sekä sijainnilla ja laajuudella rakenteessa on suurempi merkitys. Myös ilmanvaihto ja lämpötila voivat vaikuttaa hajuaistimuksiin ja sisäilmasta mitattaviin pitoisuuksiin. Tulosten perusteella on esitetty etenemismallia PAH-yhdistepitoisten rakennusmateriaalien sisäilmariskien arviointiin sisäympäristössä.

JOHDANTO

PAH-yhdistepitoisia kivihiilitervapohjaisia rakennusmateriaaleja käytettiin aina 1960-luvun loppuun saakka, mutta PAH-yhdistepitoisten materiaalien aiheuttaman sisäilmariskin arviointiin ei ole yksiselitteistä ohjeistusta, ja tutkimustieto aiheesta on niukkaa. PAH-yhdistepitoisten materiaalien aiheuttamiin sisäilmariskeihin liittyvä epävarmuus on lisännyt sisäilmalaatuun liittyvää huolta ja aiheuttanut toisinaan vanhojen rakenteiden tarpeetonta purkua. Tästä syystä on tarpeen tuottaa tieteellistä perustaa PAH-yhdisteisiin liittyvien sisäilmaongelmien ratkaisemiseen sekä korjaus- ja purkutarpeen arviointiin. Tässä tutkimuksessa panostettiin koetun hajun voimakkuuden, luonteen ja häiritsevyyden arviointiin, sekä mitattujen tulosten (rakennusmateriaalien PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuus, kokonais- ja pintaemissiot ja sisäilman pitoisuus) ja aistinvaraisten arvioiden korrelaation arvioimiseen. Hajukynnysarvojen määrittäminen on hankkeen yhteydessä päivitetty naftaleenin osalta. Rakennusalaalla yleisesti analysoitavasta, ja purkujätteen käsittelyn arviointiin käytettävästä PAH(16)-listasta, naftaleeni ja fenantreeni on todettu hyviksi rakennusmateriaaliperäisiksi markkeriyhdisteiksi sisäilmariskien osalta. Tutkimustulosten perusteella pyrittiin lisäksi tuottamaan laskennallista lisäarvoa kokonaisanalyysiin sisäilmariskin arvioimiseksi.

TUTKIMUS

Tutkimuskohteina oli viisi eri ikäistä rakennusta. Kohteissa oli lähtötietojen perusteella joko yksi tai useampi aiemmissa tutkimuksissa todettu PAH-yhdistepitoinen rakennusmateriaali. Materiaaleja tarkasteltiin jaoteltuina ne massamaisiin materiaaleihin sekä huokosiin materiaaleihin perustuen aiemmassa tutkimuksessa tehtyyn havaintoon rakennusmateriaalin tyypin vaikutuksesta materiaalin emissiopotentiaaliin /1/.

Kuhunkin analyysisarjaan PAH(16)-yhdisteille sisältyvät materiaalinäytteet (mg/kg); sisäilmanäytteet normaalissa käyttötilanteessa, alipaineessa ja PAH-yhdistepitoista materiaalia purettaessa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); PAH-yhdisteiden kokonaisemissipotentiaali bulkmenetelmällä ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$) sekä kammiotekniikalla suoritettu pintaemissionopeustutkimus ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Lisäksi materiaalinäytteistä analysoitiin kuusi PAH(16)-listan ulkopuolista PAH-yhdistettä ja ilmanäytteistä analysoitiin kaksi PAH(16)-listan ulkopuolista yhdistettä.

Tutkimustuloksista vertailtiin rakennusmateriaalien PAH-yhdistepitoisuuksia ja mitattuja PAH-yhdisteiden pintatuottoja tilojen sisäilmasta eri olosuhteissa mitattuihin pitoisuuksiin ja aistinvaraisesti arvioituun sisäilmanlaatuun, sekä tarkasteltiin tuloksia laskennallisesti. Tarkastelujen perusteella sisäilmapitoisuuksiin vaikuttaneita tekijöitä arvioitiin kokonaisuutena.

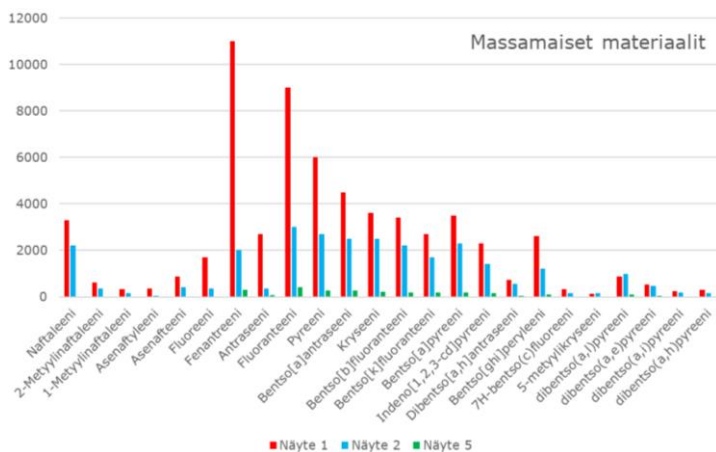
Lisäksi tutkimuskokonaisuudessa määritettiin erillisenä tehtävänä naftaleenin hajukynnysarvo, jota hyödynnettiin emissiolaskennassa.

Kokeellisen osion lisäksi tutkimusraporttiin /2/ on koottu aihepiiriin kirjallisuuskatsaus, joka sisältää tietoa mm. PAH-yhdistepitoisten materiaalien ominaisuuksista ja käytöstä Suomessa.

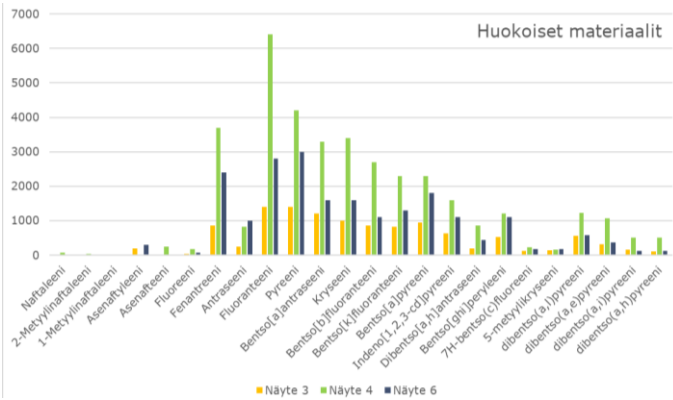
TULOKSET

Materiaalinäytteiden PAH-yhdistepitoisuudet

Kuvassa 1 on esitetty tutkittujen massamaisten rakennusmateriaalien yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet ja kuvassa 2 on esitetty vastaavat pitoisuudet huokoisille rakennusmateriaaleille.



Kuva 1. Tutkittujen massamaisten rakennusmateriaalien PAH-yhdisteiden pitoisuudet (mg/kg).

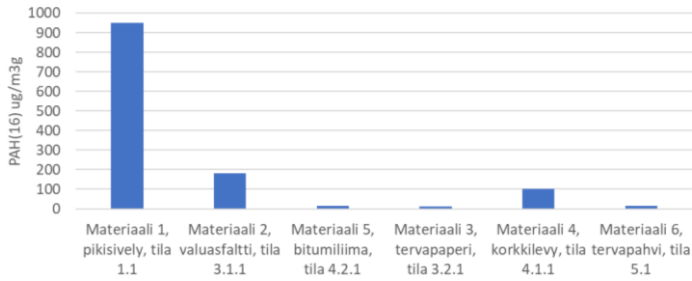


Kuva 2. Tutkittujen huukoisten rakennusmateriaalien yksittäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet (mg/kg).

PAH-yhdisteiden jakaumien perusteella voitiin todeta vastaava havainto kuin aiemmassa tutkimuksessa /1/. Massamaiset kivihiilitervapohjaiset materiaalit sisälsivät paitsi huomattavia PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuuksia, myös selvästi suurempia pitoisuuksia haihtuvia PAH-yhdisteitä kuin huukoiset materiaalit.

Materiaalinäytteiden kokonaisemissiot (bulk)

Kuvassa 3 on esitetty materiaalinäytteiden mikrokammiotekniikalla todetut PAH(16)-yhdisteiden summaemissiot sekä materiaalinäytteiden kuvaukset.

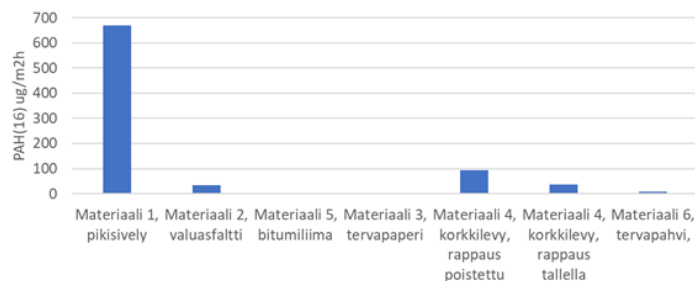


Kuva 3. Materiaalinäytteiden bulk-mikrokammioanalyysissä todetut PAH(16)-yhdisteiden summaemissiot (ug/m³g).

Tulosten mukaan materiaalin PAH-yhdistepitoisuuteen suhteutettuna massamaisten materiaalien päästöt olivat suurempia suhteessa huukoisiin materiaaleihin.

Materiaalien pintaemissiot koekammiossa (SER)

PAH-yhdistepitoisten materiaalikappaleiden emissiokammiossa tehtyjen pintaemissiomittausten PAH(16)-yhdisteiden summaemissiotulokset (area specific emission rate, SER) on esitetty kuvassa 4. Näytteen 4 osalta emissiotulokset on esitetty sekä ilman rappauksa, että rappauksen kanssa.

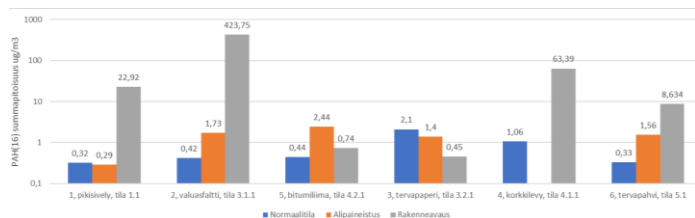


Kuva 4. PAH(16)-yhdisteiden pintaemissioiden summat ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$).

Tulosten mukaan pintaemissioiden pitoisuudet vaihtelivat suuresti ja varsinkin materiaalin 1 korkeaan emissioon vaikuttivat näytteenotossa mahdollisesti syntyneet mikrohalkeamat näytteen pinnassa.

Tutkittujen tilojen sisäilmapitoisuudet eri olosuhteissa

Kuvassa 5 on esitetty tutkittujen tilojen sisäilman PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet eri olosuhteissa: normaalitilanteessa / alipaineessa / rakenneavauksen aikana.



Kuva 5. Tutkittujen tilojen sisäilman PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet eri mittausolosuhteissa. Huomaa vertailussa y-akselin logaritminen asteikko.

Normaalitilanteessa sisäilman PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet vaihtelivat välillä $0,3\text{--}2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naftaleenipitoisuudet olivat normaalitilanteessa $0,2\text{--}2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Alipaineistuksen aikana PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet nousivat useimmissa näytteessä noin 3–5-kertaisiksi normaalitilanteeseen verrattuna, tasolle $1,4\text{--}2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kahdessa tilassa alipaineistus laski sisäilman PAH-yhdistepitoisuuksia.

Rakenneavaustilanteessa PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet nousivat useimmissa tiloissa selvästi, tasolle $8,6\text{--}424 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Voimakkain nousu tapahtui tilassa, jossa valuasfalttia irrotettiin vesijähdytteisellä timanttikorauksella. Kahdessa tilassa pitoisuudet laskivat rakenneavauksen aikana. Näissä tiloissa materiaalin PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet olivat matalimpia.

Tiloissa, joissa havaittiin PAH-yhdisteiden hajua, naftaleenipitoisuus ei pääosin ylittänyt hajukynnystä $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naftaleenin hajukynnystarkastelun perusteella voidaan todeta, että tiloissa voi olla selvästi aistittavaa PAH-yhdisteiden hajua, vaikka naftaleenin mitattu pitoisuus alittaisi hajukynnyksen.

Naftaleenin hajukynnyksen määrittäminen

Naftaleenin hajukynnysarvo määritettiin tasolle $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 (\pm 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3)$. Tämä on noin 50 % pienempi kuin kirjallisuudesta löydetty pienin hajukynnysarvo naftaleenille (7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$) /3/. Vaikka tutkimuksen määritysmenetelmälle ei pystytty johtamaan kokonaisepävarmuusarviota, on todennäköistä, että 50 % epävarmuus on myös vähittäisin epävarmuusarvio-oletus, joka on suositeltavaa huomioida tulosta tulkittaessa.

Laskennalliset tarkastelut

Laskenta tehtiin esimerkin omaisesti käyttäen tarkasteltavana yhdisteenä naftaleenia, joka on PAH-yhdisteistä haihtuvin. Sisäilmapitoisuudesta takaisin lasketun SER-pintatuoton ja SER-kammiokokeen tuloksia vertaamalla sekä laskennallisen pintarakenteiden diffusiviteetin perusteella pystyttiin selvittämään, ovatko tulokset loogisia osoittaen mahdollisen haitan aiheuttajan olevan tutkittu PAH-yhdistepitoinen materiaali, vai viittaako tulos johonkin toiseen PAH-lähteeseen. Lisäksi laskennallisen naftaleenille määritetyn diffusiviteetin perusteella voitiin arvioida ensisijaista siirtymismuotoa diffuusio/konvektio. Sen sijaan hajukynnyksen perusteella määritetyt teoreettiset kriittinen tuottotekijä ja -pitoisuus eivät antaneet mittaustulosten analysointiin lisäarvoa. Verrattaessa hajuhavaintoihin materiaalipitoisuus ei selittänyt tilojen hajuhavaintoja.

TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen aineisto oli pieni, mutta edusti melko kattavasti erityyppisiä, yleisesti käytettyjä PAH-yhdistepitoisia rakennustuotteita. Myös tutkittujen materiaalien PAH(16)-yhdisteiden kokonaispitoisuudet edustivat tyypillisiä kivihiilitervapohjaisia aineita sisältäviä materiaaleja. Tutkimuksessa oli mukana myös yksi tuote (näyte 5), joka oli pääosin bitumipohjainen.

Tutkimuksessa analysoitiin PAH(16)-listan yhdisteiden lisäksi kahdeksan listan ulkopuolisen yhdisteen määriä materiaalinäytteissä. Listan ulkopuolisia yhdisteitä todettiin materiaaleissa yleisesti. Mukana oli yhdisteitä, joilla voi olla haihtuvuutensa perusteella sisäilmavaikutuksia. Alalle vakiintunut PAH(16)-lista ei sovellu sellaisenaan PAH-yhdisteiden sisäilmavaikutusten arviointiin. Materiaalinäytteissä PAH(16)-listan ulkopuolisten raskaampien PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat niin korkeita, että ne tulisi ottaa huomioon PAH-yhdistepitoisen jätteen luokittelussa. Tutkittavien PAH-yhdisteiden listaa tulisi tarkastella kriittisesti viranomaistyönä sekä niiden sisäilmavaikutusten että kaatopaikkakelpoisuuksien perusteella.

Materiaalien PAH-yhdistepitoisuudella (PAH(16), naftaleeni tai haihtuvat PAH-yhdisteet) ei ollut suoraa yhteyttä kohteiden sisäilmasta mitattuihin pitoisuuksiin. Esimerkiksi tilassa, jossa materiaalin PAH(16)-summapitoisuus oli tutkimuksen suurin (59 000 mg/kg) oli sisäilmassa normaaleissa käyttöolosuhteissa todettu PAH(16)-yhdistepitoisuus erittäin matala ($0,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sisäilmanäytteissä PAH-yhdistekirjon pääkomponentteina olivat PAH(16)-yhdisteistä naftaleeni ja fenantreeni. PAH(16)-listan ulkopuolisista yhdisteistä sisäilmassa todettiin yleisesti metyylnaftaleeneja. Ilmanäytteissä ei todettu tilojen normaalissa käyttöolosuhteessa tai alipaineistuksen aikana hiukkasfaasin PAH-yhdisteitä.

Alipaineistuksen aikana PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet sisäilmassa nousivat tiloissa melko vähän. Kahdessa tilassa alipaineistus laski sisäilman PAH-yhdistepitoisuuksia, mikä johtuu alipaineistuksen ilman vaihtuvuutta voimistavasta vaikutuksesta ja tilaan kulkeutuneen korvausilman suhteellisesta puhtaudesta. Alipainetilanteessa sisäilman PAH-yhdistekirjoissa ei tapahtunut suuria muutoksia.

Rakenneavauksen aikana PAH(16)-yhdisteiden summapitoisuudet sisäilmassa nousivat useissa tiloissa selvästi. Kahdessa tilassa pitoisuus laski rakenneavauksen aikana. Näissä tiloissa materiaalin PAH(16)-yhdistepitoisuus oli matalin. Lasku johtui rakenneavauksia varten tehdyn osastoinnin ja alipaineistavan tuuletuksen pitoisuuksia laimentavasta vaikutuksesta yhdistettynä materiaalin vähäiseen päästöön rikkoutuneenakin. Rakenneavauksen aikana sisäilmasta mitattiin yleensä suurempi kirjo eri PAH-yhdisteitä. Rakenneavausten aikana kahdessa tilassa todettiin sisäilmamittauksessa myös hiukkasfaasin PAH-yhdisteitä.

Tutkimuksen yhtenä alkuperäisenä tavoitteena oli arvioida materiaalien aiheuttamia sisäilmariskejä selvittämällä ehjien materiaaalipintojen PAH-yhdisteiden pintatuottoja. Erityisesti massamaisten materiaalien irrottaminen ehjänä emissiokammiokeita varten osoittautui kuitenkin käytännössä mahdottomaksi, eikä myöskään pintaemissiomittaus FLEC-laitteella ollut tehtävissä pintojen epätasaisuuden vuoksi. Kammiokokeiden tulosten voidaan siksi arvioida edustavan karkeasti ottaen tilannetta, jossa PAH-yhdistepitoinen materiaali on otettu esiin rakenteesta, jolloin sen pinta on jonkin verran rikkoutunut. Kammiokokeissa todettujen päästöjen todettiin olevan pääosin huomattavasti tilasta mitattuja sisäilmapitoisuuksia suurempia, joten rajoittavilla materiaalikerroksilla voitiin todeta olleen merkittävä vaikutus materiaalien emissiotasoihin.

Laskennallisella tarkastelulla pystyttiin tuottamaan lisäarvoa kokonaisriskin tarkasteluun riskin aiheuttavan materiaalin selvittämiseksi laskennallisen pintatuoton ja kammiotuloksen vertailulla sekä todennäköisen PAH-yhdisteiden siirtymismuodon arvioimisella. Hajukynnykseen perustuva kriittisen materiaaalipitoisuuden määrittäminen ei kuitenkaan tuottanut odotettua tulosta.

Sisäilman naftaleenipitoisuus korreloi heikosti hajuaistimusten kanssa, PAH(16)-yhdisteiden kokonaispitoisuus jonkin verran paremmin. Karkeasti ottaen PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuuden ylittäessä $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PAH-yhdisteiden haju oli selvästi aistittavissa. PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuuden ollessa $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sisäilmassa aistittujen hajujen voimakkuus vaihteli voimakkaasti. Tutkimusaineistossa tiloissa, joiden sisäilmassa esiintyi naftaleenien sijaan tai lisäksi raskaampia PAH-yhdisteitä, sisäilmassa aistittu PAH-yhdisteiden haju oli mitattuihin kokonaispitoisuuksiin nähden voimakas. Sen sijaan tiloissa, joiden sisäilmassa todettiin vain naftaleeneja, aistinvaraisesti arvioitu haju oli selvästi vähäisempi suhteessa mitattuihin kokonaispitoisuuksiin.

Rakennusmateriaalien PAH(16)-yhdisteiden kokonaispitoisuutta ei voida käyttää sisäilmapitoisuuden arvioimiseen eikä sen perusteella voida päätellä mahdollisesta hajuhaitasta tai korjaustarpeesta. PAH-yhdisteiden tutkimusten etenemismallia PAH-yhdistepitoisten rakennusmateriaalien sisäilmariskien arviointiin sisäympäristössä /2/.

LÄHDELUETTELO

1. Komulainen J, Sallinen P, Parshintsev J, Tuomi T. 2018 Rakennusmateriaaliperäisten PAH-yhdisteiden vaikutus sisäilman laatuun. Sisäilmastoseminaari 2018. Sisäilmayhdistys, 395-400.
2. Komulainen et al. Rakennusmateriaalien sisältämien PAH-yhdisteiden vaikutus sisäilman laatuun (PAHSIS)-hankkeen loppuraportti, julkaisematon
3. Moriguchi Y., Kojima Y., Orii R. 1983 The Report of Investigative Methods of Olfactive Materials and their Sources in the Environment of and Ironworks. Proc. VIth World Congress on Air Quality, Paris 1983, 2:401-408

ASBESTIN KÄYTTÖ RAKENNUKSISSA, NYKYTILAN KARTOITUS

Timo Turunen, Leif Wirtanen ja Jukka Lahdensivu

Ramboll Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Kartoituksen taustalla on EU komission tiedonanto koskien lähestymistapaa, jonka tavoitteena on päästä asbestista kokonaan eroon ja edesauttaa asbestialtistuksen riskien hallintaa. Kartoituksessa muodostettiin arvio sekä asbestia sisältävien rakennusten että niissä olevien asbestipitoisten materiaalien määrästä. Kartoituksen perusteella asbestia voidaan arvioida olevan jäljellä 50 000–80 000 tonnia, mikä vastaa 25–40 %:a rakennuksiin käytetystä alkuperäisestä asbestin määrästä. Asbestipurkutöitä koskevan lainsäädännön todettiin olevan nykyisin Suomessa toimiva ja yksityiskohtainen, mutta sen noudattamisessa havaittiin esiintyvän puutteita. Rakennusten käyttäjät eivät altistu asbestille, ellei rakennuksessa ole rikkoutuneita asbestipitoisia rakennusmateriaaleja. Kartoitus toteutettiin osana Terveet tilat 2028 -toimenpideohjelmää.

JOHDANTO

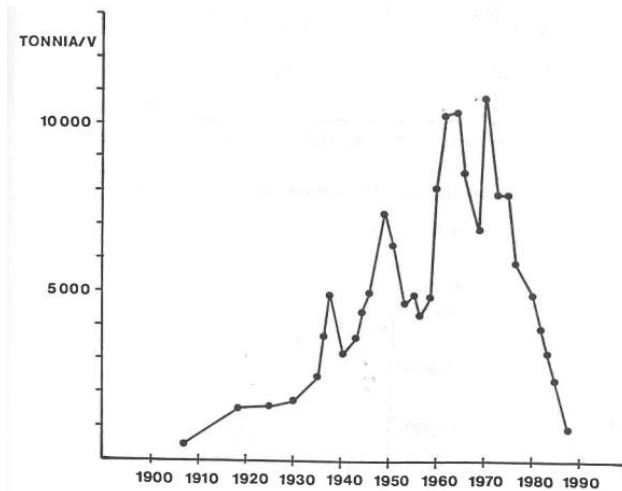
Asbesti on yleisnimi useille luonnosta saataville kuitumaisille silikaattimineraaleille. Teknisiltä ominaisuuksiltaan asbesti on monipuolinen materiaali, jonka käyttöä on aiemmin lisännyt mineraalin alhainen hinta verrattuna muihin vastaaviin materiaaleihin. Asbestin ominaisuuksia ovat esimerkiksi suuri vetolujuus, helppo käsiteltävyys, muotoiltavuus ja jalostettavuus, hyvä korkeiden lämpötilojen kestävyys, hyvä lämmöneristävyys ja hyvä kemiallinen kestävyys.

Vuosina 1905–1988 asbestia käytettiin Suomessa yhteensä noin 300 000 tonnia (ks. kuva 1), josta arviolta noin 200 000 tonnia rakennusten materiaalina.

ASBESTIN ESIINTYMINEN SUOMEN RAKENNUSKANNASSA

Asbestia sisältävien rakennusten määrä

Rakennuskannan tarkastelu rajattiin ennen vuotta 1990 valmistuneisiin rakennuksiin, koska sen jälkeen valmistuneissa rakennuksissa esiintyvän asbestin määrä on hyvin vähäinen aiempiin vuosikymmeniin verrattuna. Määrätiedot kerättiin Tilastokeskuksen tilastotietokannasta ”Rakennukset käyttötarkoituksen ja valmistumisvuoden mukaan” vuodelta 2022 /2/. Ennen vuotta 1990 valmistuneiden rakennusten määrä oli vuonna 2022 yhteensä 1 017 182 kappaletta (kaikkien rakennusten määrä 1 541 943 kappaletta), eli ne muodostavat noin kaksi kolmasosaa (66 %) nykyisestä rakennuskannasta. Mitään yleistä tietokantaa peruskorjattujen rakennusten määrästä ei ole saatavilla, joten tarkastelussa tukeuduttiin muutamilta suurilta kiinteistönomistajilta saatuihin tietoihin. Kiinteistönomistajien tiedot rakennuskantaan tehtyjen peruskorjausten ajankohdasta ja sisällöstä olivat kuitenkin osin puutteellisia.



Kuva 1. Asbestin käyttö Suomessa vuosina 1905–1988. /1/

Asbestin esiintymisen arvioinnin osalta rakennukset jaettiin seuraaviin ryhmiin:

- Esiintyy varmasti: ennen vuotta 1990 rakennetut, peruskorjaamattomat rakennukset ja ennen vuotta 1990 peruskorjatut rakennukset
- Esiintyy mahdollisesti: 1990-luvulla peruskorjatut ja valmistuneet rakennukset
- Ei esiinny/esiintyy hyvin paikallisesti: 2000-luvulla peruskorjatut ja valmistuneet rakennukset.

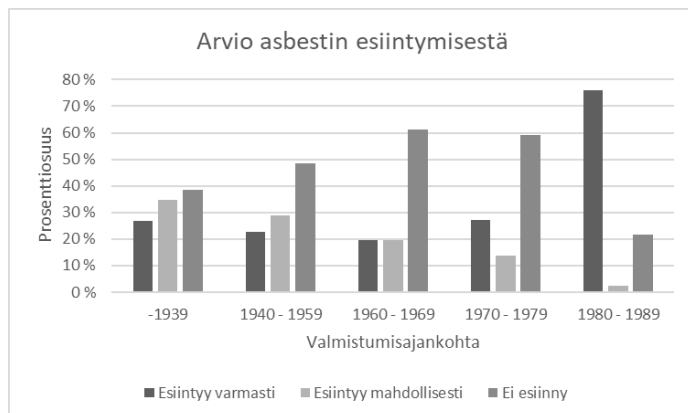
Ensimmäiseen ryhmään kuuluvissa rakennuksissa voidaan lähes varmasti olettaa esiintyvän asbestia, koska asbestipitoisia materiaaleja valmistettiin vielä 1980-luvulla, erityisesti sen alkupuolella, yleisesti. Toisaalta on olemassa 1980-luvulla valmistuneita rakennuksia, joissa ei ole lainkaan käytetty asbestipitoisia materiaaleja.

Toiseen ryhmään kuuluvissa rakennuksissa esiintyy mahdollisesti asbestia. 1990-luvulla toteutetuissa peruskorjauksissa käytäntö asbestia sisältävien rakennusmateriaalien poistamisen suhteen vaihteli huomattavasti. Osassa ne poistettiin kauttaaltaan, osassa ne poistettiin joistakin rakennusosista (esimerkiksi helposti irrotettavat rakennuslevyt purettiin väliseinistä, mutta vaikeasti poistettava lattialiima jätettiin), mutta joissakin kohteissa niitä ei poistettu lainkaan.

Kolmanteen ryhmään kuuluvissa rakennuksissa ei lähtökohtaisesti esiinny asbestia. 2000-luvun alusta alkaen on peruskorjauksissa yleensä pyritty poistamaan asbestipitoiset materiaalit, mutta näin ei ole kaikissa tapauksissa toimittu, koska velvoitetta ehjien asbestipitoisten materiaalien poistamisesta ei ole. Lisäksi on mahdollista, että kaikkia asbestia sisältäviä materiaaleja ei ollut havaittu kohteisiin tehtyjen asbestikartoitusten yhteydessä eikä niitä sen vuoksi ole poistettu.

Kuvassa 2 on esitetty esimerkkinä arvio asbestipitoisten materiaalien esiintymisestä ennen vuotta 1990 valmistuneissa palvelurakennuksissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että ennen 1970-lukua valmistuneissa rakennuksissa on keskimäärin vähemmän asbestipitoisia materiaaleja kuin 1970- ja 1980-luvun rakennuskannassa. Ero johtuu siitä, että vanhemman rakennuskannan peruskorjaukset ovat ajoittuneet 2000-luvun puolelle. Poikkeuksen muodostavat 1900-luvun alkuvuosikymmeninä valmistuneet

rakennukset, joita on peruskorjattu ensimmäisen kerran 1970- ja 1980-luvulla, mutta joihin ei vielä ole tehty toista peruskorjausta.



Kuva 2. Arvio asbestipitoisten materiaalien esiintymisestä ennen vuotta 1990 valmistuneissa palvelurakennuksissa.

Arvio asbestin määrästä nykyisessä rakennuskannassa

Rakennuksissa jäljellä olevan asbestin määrää selvitettiin käymällä läpi eri-ikäisistä ja erityyppisistä rakennuksista laadittuja asbesti- ja haitta-ainetutkimusraportteja. Tarkastelu tehtiin 1950-luvun oppilaitosrakennuksille, 1960–1970-luvun kerrostaloille ja 1970–1980-luvun palvelurakennuksille.

Raporteista kerättiin kohdekohtaisesti asbestipitoisten rakennusmateriaalien määrät. Sen jälkeen laskettiin kunkin rakennusmateriaalin sisältämän asbestin määrä [kg], kun tiedetään kunkin materiaalin paksuus, tiheys ja asbestipitoisuus. Asbestisementtilevyt sisältävät 10–15 %, putkieristeiden magnesiaeristysmassat noin 15 %, asbestisementtiselluloosalevyt 15–20 %, vinyliasbestilaatat 15–25 %, magnesiattiamassat 20–40 % ja asbestiruiskutusmassat jopa 60–65 % asbestia. Edellä mainitut materiaalit ovat painavimpia asbestia sisältävistä rakennusmateriaaleista ja niiden paksuudet ovat tyypillisesti suurempia kuin esimerkiksi asbestia sisältävillä maaleilla, liimoilla, laasteilla ja pahveilla. Näin ollen ne muodostavat massaltaan suurimman osan rakennuksissa esiintyvän asbestin määrästä. Apuna arvioinnissa käytettiin julkaisua Asbesti asuinkerrostaloissa /3/.

Tämän jälkeen laskettiin edellä mainittujen tyyppirakennusten asbestin määrä rakennuksen pinta-alaa kohti [kg/m²]. Tulokset olivat tyyppirakennuksittain seuraavat:

- 1950–1960-luvulla valmistunut tai peruskorjattu oppilaitosrakennus keskimäärin 0,35 kg/br-m² (vaihteluväli 0,32–0,59 kg/br-m²)
- 1960–1970-luvulla valmistunut kerrostalo keskimäärin 0,31 kg/br-m² (vaihteluväli 0,13–0,45 kg/br-m²)
- 1970–1980-luvulla valmistunut palvelurakennus keskimäärin 0,40 kg/br-m² (vaihteluväli 0,25–0,68 kg/br-m²).

Joukossa oli yksittäisiä kohteita, joissa jokin käytetty tuote (esimerkiksi palosuojaruiskutus, lattiamassa) nosti määrän jopa 4,4 kg/br-m². Kartoituksessa

tarkasteltujen käyttötarkoitukseltaan erilaisten rakennusten välillä ei ollut asbestin määrän suhteen merkittäviä eroja.

Rakennuksen bruttopinta-alaa kohti lasketun asbestin määrän, kartoituksessa tarkasteltujen rakennusten valmistumis- ja peruskorjausajankohdan sekä koko Suomen rakennuskannan erityyppisten rakennusten pinta-alatietojen perusteella tehtiin arvio rakennuksissa jäljellä olevan asbestin määrästä. Pientaloissa esiintyvän asbestin (lähinnä julkisivuverhouksissa ja katteissa) määrä arvioitiin kokemukseräisesti, koska niistä ei ollut saatavilla asbesti- ja haitta-ainetutkimusraportteja.

Kartoituksen perusteella Suomen rakennuskannassa on jäljellä asbestia yhteensä 50 000–80 000 tonnia, mikä vastaa 25–40 % kaikesta Suomessa rakennuksiin käytetystä asbestista.

ASBESTI RAKENNUKSIA JA RAKENTAMISTA KOSKEVASSA LAINSÄÄDÄNNÖSSÄ

Rakennuksen terveydelliset olosuhteet

Asumisterveysasetuksen /4/ mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä. Lisäksi asetuksessa säädetään, että sisäilman asbestikuitujen pitoisuus ei saa ylittää 0,01 kuitua/cm³. Asetuksessa määritelty toimenpideraja koskee siis asbestikuitujen esiintymistä sisäilmassa eikä ehjien ja kiinteiden rakennusmateriaalien sisältämää asbestia.

Asbestikartoitus

Asbestikartoituksia alettiin tehdä ensimmäinen kerran 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa. Tuolloin annettujen ohjeiden mukaan käytössä oli kustannusten säästämiseksi kaksi kartoitustyyppiä: kiinteistön normaalista käytöstä aiheutuvan asbestialtistumisen kartoitus ja peruskorjausta varten tehtävä täydellinen asbestikartoitus /3/. Ensimmäisessä tapauksessa tarkistettiin silmämääräisesti asbestipitoisten helposti pölyävien tarvikkeiden kunto. Jälkimmäiseen kartoitustyyppiin sisältyi tilojen, taloteknisten järjestelmien, rakennuksen vaipan ja rakenteiden sisältämän asbestin kartoitus. Silmämääräiseen tarkasteluun perustuvia kartoituksia tehtiin kuitenkin joissakin peruskorjaushankkeissa vielä 2010-luvun alkupuolella.

Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta /5/ mukaan rakennuttajan on huolehdittava asbestikartoituksen tekemisestä. Käytännössä kaikissa ennen vuotta 1994 valmistuneissa rakennuksissa tulee varmistaa, sisältävätkö purettavat rakenteet asbestia. Asbestikartoituksen tekemiseen on nykyisin olemassa erittäin kattavat RT-ohjekortit niin tutkimuksen tilaajaa /6/ kuin tutkimuksen tekijää /7/ varten. Asbestin esiintyminen rakennusmateriaalissa on varmistettava laboratorioanalyysin perusteella.

Tämän hankkeen yhteydessä kysyttiin aluehallintoviraston työsuojelun vastuualueiden näkemystä asbestikartoitusten nykytilanteesta: Asbestikartoitukset ovat olleet pääsääntöisesti vaatimustenmukaisia, mutta joissakin kohteissa kartoitusten kattavuudessa on ollut puutteita tai kartoitus on jätetty tekemättä ennen purkutöiden aloittamista. Tyypillisesti kartoitus puuttui kerrostalohuoneistojen keittiö- ja kylpyhuoneremonteissa, vesivahinkokorjauksissa, pientalojen purkutöissä sekä teollisuustilojen sisäpuolisissa purkutöissä.

Asbestikartoituksen tekijältä edellytetään riittävää perehtyneisyyttä asbestiin, sen esiintymiseen ja rakenteiden purkamiseen sekä suunnitellun kartoituksen laadun ja laajuuden edellyttämää ammatillista osaamista /5/. Kartoittajan pätevyys voidaan osoittaa esimerkiksi rakennusterveysasiantuntijan (RTA) koulutuksella, asbesti- ja haitta-aineasiantuntijan (AHA) koulutuksella tai muulla tavoin. Lainsäädännössä ei siis ole mitään yksityiskohtaista koulutus- ja kokemusvaatimusta asbestikartoituksen tekijälle.

Asbestipurkutyö

Asbestipurkutyöhön ryhtyvän työnantajan on tehtävä asbestipurkutyötä varten asbestikartoituksen sekä työn vaarojen selvittämisen ja arvioinnin perusteella kirjallinen turvallisuussuunnitelma. Asbestipurkutyöstä on tehtävä kirjallinen asbestipurkutyön ennakoilmoitus työsuojeluviranomaiselle. Työsuojelun vastuualueille tehdyn kyselyn tulosten perusteella turvallisuussuunnitelmat on laadittu kohtalaisen asianmukaisesti. Yleisimmät puutteet olivat liittyneet ennakoilmoitusten toimittamisen viivästymiseen sekä purkutyön suorituksessa purkutyöalueen osastointiin ja alipaineistukseen.

Asbestipurkutyötä saavat tehdä sekä luvan saaneet luonnolliset henkilöt että oikeushenkilöt. Asbestipurkutyöhön saa käyttää vain sellaista työntekijää, jolla on vaadittu pätevyys ja joka on rekisteröity asbestipurkutyöhön pätevistä henkilöistä pidettävään rekisteriin. Pätevyysvaatimuksena asbestipurkutyöntekijällä on soveltuva ammattitutkinto tai sen osa.

Maankäyttö- ja rakennusasetuksen /9/ mukaan rakennuksen tai sen osan purkamista koskevassa lupahakemuksessa tai ilmoituksessa on esitettävä selvitys rakennusjätteen määrästä ja laadusta sekä sen lajittelusta. Niissä on erikseen ilmoitettava terveydelle tai ympäristölle vaarallisesta rakennus- tai purkujätteestä ja sen käsittelystä. Asiakirjasta käytetään yleisesti nimitystä purkujäteselvitys. Myös asbestipurkutyön suorittajan velvollisuutena on ilmoittaa asbestipurkutyön ennakoilmoituslomakkeessa asbestin sijainti, määrä ja laatu asbestikartoitukseen perustuen.

Korjaus- ja muutostyön käyttöönoton yhteydessä rakennuttajan on kirjattava tiedot rakenteisiin jäävistä asbestia sisältävistä materiaaleista rakennuksen huoltokirjaan /8/.

ASBESTIN TERVEYSVAIKUTUKSET

Asbestikuidut aiheuttavat asbestoosia, keuhkopussin hyvänlaatuisia sairauksia, keuhkosityöpää ja mesoteliomaa.

Tällä hetkellä ja tulevaisuudessa altistuminen asbestille on Suomessa yleisintä kaivosteollisuuden työntekijöiden ja asbestipurkuun osallistuvien rakennustyöntekijöiden keskuudessa. Nykyisen asbestilainsäädännön ja asbestipurkutyön turvallisten työtapojen myötä voidaan olettaa, että asbestisairaudet vähenevät entisestään tulevina vuosina ja vuosikymmeninä. Pitkän latenssin vuoksi asbestiin liittyviä sairauksia, erityisesti syöpätapauksia, voi kuitenkin syntyä vuosikymmenienkin viiveellä altistumisesta. /10/

YHTEENVETO

Tämän kartoituksen tulosten perusteella asbestia voidaan arvioida olevan jäljellä 50 000–80 000 tonnia, mikä vastaa 25–40 %:a alkuperäisestä asbestin määrästä. Lisäksi

noin 40–50 %:ssa ennen vuotta 1990 valmistuneista rakennuksissa voidaan arvioida esiintyvän asbestia.

Asbestia sisältävistä rakenteista sisäilmaan irtoavat vähäiset määrät asbestikuituja eivät käytettävissä olevan tutkimustiedon mukaan aiheuta merkittävää terveysriskiä. Rakennusten käyttäjät eivät altistu asbestille, ellei rakennuksessa ole rikkoutuneita asbestipitoisia rakennusmateriaaleja.

Asbestipurkutöitä koskeva lainsäädäntö on nykyisin Suomessa toimiva ja erittäin yksityiskohtainen. Työsuojeluviranomaisten näkemyksen mukaan asbestipurkutöitä tehdään kuitenkin ns. luvatta edelleen varsin yleisesti, kyselyn perusteella useita satoja vuosittain. Todennäköisesti syynä on joko tietämättömyys (lähinnä yksityishenkilöt) tai halu välttää purun aiheuttama lisäkustannus.

Asbestin määrä on ilmoitettava sekä rakennuslupahakemuksen liitteenä olevassa purkujäteselvityksessä että asbestipurkutyön ennakoilmoituksessa. Olisi suositeltavaa kehittää yhtenäiset valtakunnalliset lomakkeet ja järjestelmät, jolloin tietojen hyödyntäminen, tilastointi ja linkittäminen mahdollistuisi. Olisi myös seuraavien korjausten kannalta tärkeää, että rakennuksen huoltokirjaan (esim. kerroskohtaisiin paikannuskaavioihin) sisällytettäisiin tiedot rakennukseen mahdollisesti jäävästä asbestista, ja tämä tarkastettaisiin rakennusvalvonnan loppukatselmuksessa.

LÄHDELUETTELO

1. Työministeriö. 1990. Asbestikomitean mietintö. Helsinki, Valtion painatuskeskus. 75 s.
2. Tilastokeskus. 2022. Tilastotietokanta Rakennukset käyttötarkoituksen ja valmistumisvuoden mukaan. Tulostettavissa: https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_rakke/statfin_rakke_pxt_116g.px/.
3. Vikström, K. 1993. Asbesti asuinkerrostaloissa. Rakennustieto Oy. 155 s.
4. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.
5. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta (798/2015). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798>.
6. RT 103500 Haitalliset aineet rakennuksissa. Tilaaajan ohje. 2022. Rakennustietosäätiö RTS.
7. RT 103501 Haitalliset aineet rakennuksissa. Tutkijan ohje. 2022. Rakennustietosäätiö RTS.
8. Työsuojeluhallinto. 2022. Asbestiasetuksen soveltamisohje. Ladattavissa: <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti/soveltamisohje-valtioneuvoston-asetus-asbestityon-turvallisuudesta>.
9. Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>.
10. Työterveyslaitos. 2023. Lausunto koskien asbestille altistumista ja asbestisairauksien ilmaantuvuutta Suomessa.

EU DECISION ON THE LOWERING OF THE OCCUPATIONAL EXPOSURE LIMIT OF ASBESTOS FIBRES – EFFECTS ON SAMPLING AND ANALYSIS OF FIBRES

Jussi Lyyräinen

Finnish Institute of Occupational Health (FIOH)

ASBTRACT

In this study the effect of the new occupational exposure limit (OEL) for asbestos fibres on sampling and fibre analysis was studied. The new OEL limit is divided in to two parts: if thin fibres ($d_p < 0.2 \mu\text{m}$) are included in the counting analysis the maximum OEL limit is set to $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ from the former $0.1 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$. On the other hand, if thin asbestos fibres are excluded from the counting analysis the maximum OEL limit is set to $0.002 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$. The lowering of the OEL limit will require either increasing the sampled air volume (flow rate and/or sampling time) or increasing the number counted view fields in the microscope or increasing both to preserve a reasonable limit of detection. The number of analysed view fields on the filter may increase 300 % or even more when the magnification of the SEM needs to be increased to detect the thin fibres. On the other hand, this can be compensated by collecting a larger volume of air: doubling the collected volume of air halves the analysed area and still preserves the same limit of detection. With higher flow rate the collection time may also be reduced.

INTRODUCTION

A new occupational exposure limit (OEL) for asbestos fibres has been agreed on by EU Council and Parliament on July 22nd, 2023. The new OEL limit is divided in to two parts: if thin fibres ($d_p < 0.2 \mu\text{m}$) are included in the counting analysis the OEL limit is set to $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ from the former $0.1 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$. On the other hand, if thin asbestos fibres are excluded from the counting analysis the OEL limit is set to $0.002 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ /1, 2/. This new OEL limit should not be confused with the current clean room limit of $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ for residential premises. There is, thus a peculiar situation where the OEL limit may be the same or even lower than the limit for residential premises.

To be able to analyse fibres with a diameter equal or less than $0.2 \mu\text{m}$ electron microscopy (EM) methods are required. Therefore, the member states have a transition period of 6 years to implement EM methods for fibre analysis instead of e.g., phase contrast microscopy. It should be noted that both ISO 14966 /3/ and VDI 3492 /4/ standards state that the number and concentration of these thinner fibres ($d_p < 200 \text{ nm}$) may be determined and reported but currently they should be reported separately from thicker fibres ($d_p \geq 200\text{-}250 \text{ nm}$, LM-limit). In addition, the member states have a period of two years to include all the provisions of the directive to their national legislation /2/. Lowering the OEL limit to 1/10 or even to 1/50 from the former $0.1 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ will require modifications to e.g., analysis area, microscope parameters (magnification, view of field), sampling time and/or sample flow rate to be able to preserve a reasonable limit of detection to ensure reliable fibre counting analysis. The effect of the new OEL limit to sampling and/or analysis parameters without sacrificing limit of detection and reliability of the analysis will be presented and discussed.

METHODS

The limiting asbestos fibre concentrations (c_f) are calculated by equation (1) /5/

$$c_f \left(\frac{f_{asb}}{cm^3} \right) = \frac{N_f A_F}{V_a N_v A_v} 10^3 \quad (1)$$

N_f [#] = Number of fibres

A_F [mm^2] = Effective filter area

V_a [dm^3] = Sampled air volume

N_v [#] = Number of view fields

A_v [μm^2] = Area of a one view field (FOV)

The field of view (FOV) and magnification (M) of the electron microscope (EM) k and l are related by equation (2) /6/ with a special case when $k=l$ (same microscope k) that leads to $M_{ij,kl} = 1$ and $n=j$, $m=i$. When $n=m$ (same M_{tot}) the $M_{e,ij}$ in Table 1 are obtained.

$$\frac{FOV_{i,k}}{FOV_{j,l}} = \left(M_{ij,kl} \frac{M_{tot,n,l}}{M_{tot,m,k}} \right)^2 \equiv C_{FOV,ij,kl} \equiv C_{M_{tot,nm,lk}} \quad (2)$$

The equations and definitions for limit of detection and confidence limits for particle and fibre samples obeying Poisson distribution are presented elsewhere /5/.

The relative standard deviation i.e., constant of variation for a property i is defined by equation (3a). For fibre samples obeying Poisson distribution with 95 % confidence limit ($2\sigma_{rel,P}$) this is defined by equation (3b) /3, 7/

$$\sigma_{rel,i} = CV_i \equiv \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad (3a)$$

$$2\sigma_{rel,P} \equiv \frac{2\sigma_{Poisson}}{N_f} = \frac{2\sqrt{N_f}}{N_f} \quad (3b)$$

Increasing the sample flow through the straight-through pore membrane filters increases the pressure drop over the filter. The pressure drop can be calculated from the Hagen-Poiseuille equation, when the flow is assumed to be stationary, tubular, laminar flow with constant density, and the fluid behaves like continuum with no slip at the walls and obeys Newtonian viscosity law /8/. The pressure drop over the filter becomes /9/

$$\Delta p_f = \frac{128\eta_{air} L_f \dot{V}}{\pi d_{pore}^4 N_{\phi f}} \quad (4a)$$

$$N_{\phi f} = \frac{\phi_f A_F}{\pi \left(\frac{d_{pore}}{2} \right)^2} \quad (4b)$$

η_{air} [Pas] = Dynamic viscosity of air

L_f [m] = Filter thickness

$\dot{V}$ [m^3/s] = Pump flow rate

d_{pore} [m] = Diameter of pores of the filter

$N_{\phi f}$ [#] = Number of pores on the filter

ϕ_f [#] = Porosity of the filter

RESULTS AND DISCUSSION

When the limiting asbestos fibre concentration is set to $0.01 f_{asb}/cm^3$ and analysing an area of $0.75 mm^2$ of the filter with $FOV=5254 \mu m^2$ (Table 1) requires that an air volume

of minimum 152 dm³ must be collected. However, to detect asbestos fibres with diameter less than 0.2 µm this magnification may not be sufficient /6/. From our experience a FOV of at least 1313 µm² is required. This turns in to 143 number of view fields for 5254 µm² and 571 for 1313 µm² (Fig. 1a, 1b), an increase of 300 % in the number of calculated view fields. This can be compensated by collecting a larger volume of air 1500 dm³ and analysing 0.38 mm² of the filter that turns into 289 view fields, a decrease of 49 %.

Table 1. Field of views (FOV) of 6 SEMs and corresponding total magnification ($M_{tot,i}$) /6/.

Property	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	Property
Electron source	FEG	W-hairpin	W-hairpin	W-hairpin	FEG	FEG	
$M_{e,ij}$ (ref. SEM 1)	1	2.31	2.27	2.27	2.61	2.67	
FOV=5254 µm ²	3465	1500	1529	1529.	1326	1299	$M_{tot,i}$
FOV=1313 µm ²	6929	3000	3059	3059	2651	2599	

Setting the limiting asbestos fibre concentration to 0.002 f_{asb}/cm³ and and analysing an area of 0.75 mm² (143 view fields) of the filter with FOV=5254 µm² a minimum of 758 dm³ sample must be collected. With this limiting concentration fibres with diameter less than 0.2 µm are not required to be analysed according to the new EU OEL limit. Therefore, there the FOV (magnification of the SEM) need not necessarily to be increased. With a current “standard” flow rate of the pump this turns in to 4 h 13 min collection time. By increasing the pump flow rate to, e.g. 10 lpm this reduces to 1 h 16 min. The shaded area below analysis area of 0.25 mm² (Fig. 1a, 1b) is the minimum area to be analysed recommended by ISO 14966 /3/ and HSE-SEMS /10/. This is by no means large enough to guarantee consistent and reliable analysis.

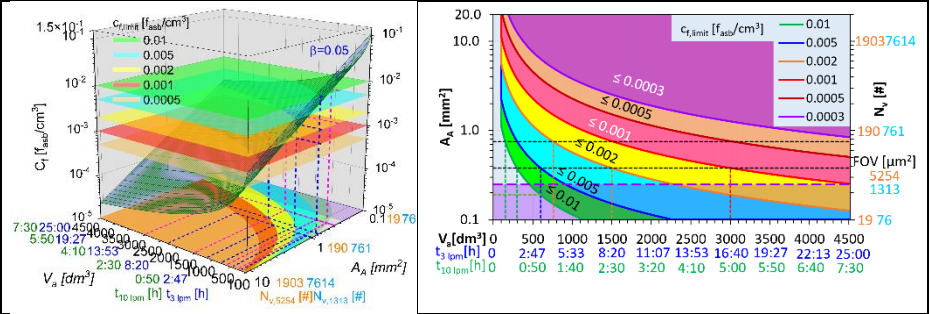


Fig. 1a. The effect of analysed filter area (A_A) and sampled air volume (V_a) on fibre concentration (c_f). Different planes represent different limiting fibre concentration levels.

Fig. 1b. The effect of analysed filter area (A_A) and sampled air volume (V_a) on fibre concentration (c_f). Limiting fibre concentrations projected on a V_a - A_A plane (Fig. 1a).

The presented values are examples of minimum values that should be applied to reach the new limiting OEL for asbestos fibre concentration. It is usually recommended that the limit of detection (LOD) should be clearly lower than the set limiting (OEL) value. If we, e.g., halve the detection limit we need to double the sampled air volume if we analyse the same area of the filter of double the analysis area if we collect the same air volume (Fig. 1a, 1b).

The effect of the new OEL limits to the number of analysed view fields (N_v) on the SEM was briefly touched above. The six different FOVs from 739 to 5254 µm² representing typical magnification scale in SEM /6/ (Table 1) are presented as solid lines inside the selected limiting asbestos fibre concentration (Fig. 2a). Similar

information as in Figs. 1a and 1b may be obtained but instead of two FOVS for all the six different FOVs. If we select the limiting concentration of $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$, which requires a minimum FOV of $1313 \mu\text{m}^2$, a total of 571 view fields need to be analysed (Fig. 2a, 2b). If the limiting concentration would be to $0.002 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$, a sample of 2.3 m^3 (Fig 2a, 2b) would need to be collected if the analysis area is the same 0.25 mm^2 , which by far too low and below recommendations. The recommendations of the ISO 14966 and VDI 3492 standards /3,4/ and HSE-SEMS /10/ limit the combination of selected analysis area, sampled volume and SEM FOV (magnification). As noted earlier the minimum analysed area should be at least 0.25 mm^2 /3, 10/. In addition, the current recommendations for the magnification (FOV) of the SEM are not necessarily adequate for the new dimensional requirements of the counted fibres ($d_p < 200 \text{ nm}$). To keep the number of counted FOVs and counting time reasonable the collected sample volume should be sufficient. This basically leads to an optimisation problem: optimise the collection and analysis time with certain boundary conditions that have to be met. These include magnification of the microscope (FOV), analysis area of the filter and number of view fields (linked to FOV and M).

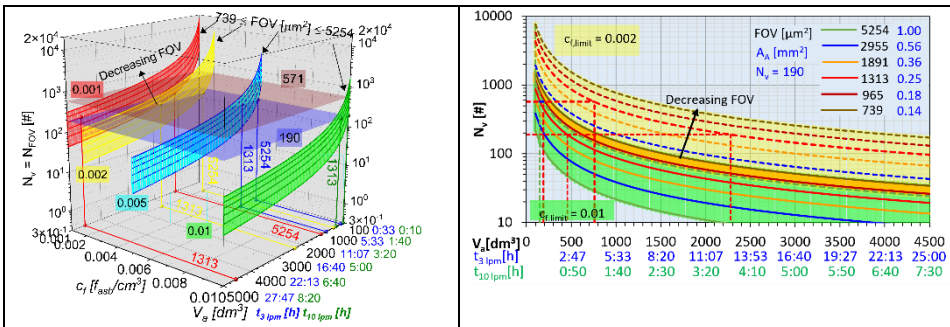


Fig. 2a. The effect of sampled air volume (V_a) and fibre concentration limit ($c_{f,\text{limit}}$) on the number of counted view fields ($N_v = N_{\text{FOV}}$).

Fig. 2b. The effect of sampled air volume (V_a) and two fibre concentration limits 0.01 and $0.002 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ ($c_{f,\text{limit}}$) on the number of counted view fields ($N_v = N_{\text{FOV}}$).

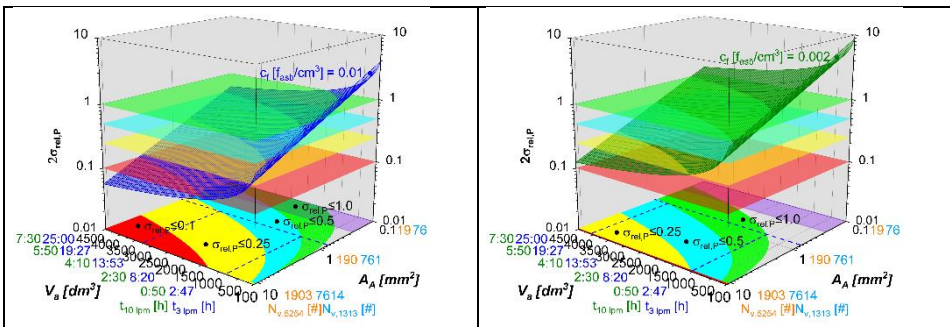


Fig. 3a. Relative standard deviation of Poisson distribution ($\sigma_{\text{rel},P}$) as a function of sampled air volume (V_a) and analysed filter area (A_a), fibre concentration limit $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$.

Fig. 3b. Relative standard deviation of Poisson distribution ($\sigma_{\text{rel},P}$) as a function of sampled air volume (V_a) and analysed filter area (A_a), fibre concentration limit $0.002 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$.

To study the reliability and consistency of the results of the counted fibres based on Poisson distribution a relative standard deviation with 95 % confidence limit ($2\sigma_{\text{rel},P}$; eq. 3) is studied. Assuming a limiting fibre concentration of $0.01 f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ and an analysis

area of 0.75 mm² a sample volume of 3.2 m³ (811 dm³) need to be taken to reach 2σ level of 0.25 (0.5) (Fig.3a). This corresponds to an analytical fibre concentration level smaller than 0.0005 f_{asb}/cm³ and for 2σ level of 0.5 analytical fibre concentration level smaller than 0.002 f_{asb}/cm³ (Fig. 1a, 1b). For limiting fibre concentration of 0.002 f_{asb}/cm³ and an analysis area of 0.75 mm² the 2σ level of 0.25 is not even reachable within the studied sampled volume (100-4500 dm³) and analysed filter area range (0.1-11 mm²). For 2σ level of 0.5 the sampled volume should be over 4 m³ with analysed filter area of 0.75 mm² (Fig. 3b). This corresponds to an analytical fibre concentration level smaller than 0.0005 f_{asb}/cm³ (Fig. 1a, 1b).

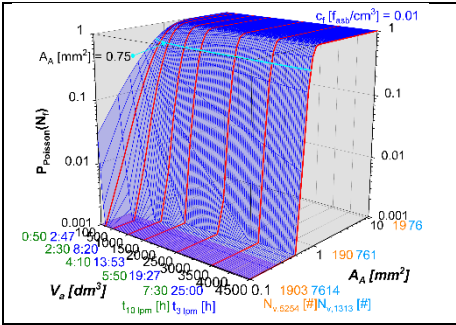


Fig. 4a. Probability of Poisson distribution ($P_{Poisson}$) as a function of sampled air volume (V_a) and analysed filter area (A_A), fibre concentration limit 0.01 f_{asb}/cm³.

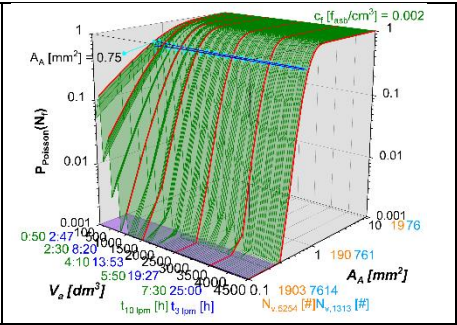


Fig. 4b. Probability of Poisson distribution ($P_{Poisson}$) as a function of sampled air volume (V_a) and analysed filter area (A_A), fibre concentration limit 0.002 f_{asb}/cm³.

The Poisson probability ($P_{Poisson}$) plot for a limiting fibre concentration of 0.01 f_{asb}/cm³ as function of analysed filter area and collected sample volume indicates that the probability of finding / counting particles at approx. 50 % probability through the studied sampled volume range requires that the analysis area is at least 0.75 mm² (Fig. 4a). When analysing at least 1 mm² the probability increases from 74 % to 100 % through the studied sampled volume range. Similar trend is observed for limiting fibre concentration of 0.002 f_{asb}/cm³ but with lower probability with corresponding analysed filter areas. The results of Poisson distribution a relative standard deviation and probability clearly signify the recommendations given in the ISO 14966 and VDI 3492 standards: the minimum recommended analysed filter area should be approx. 1 mm².

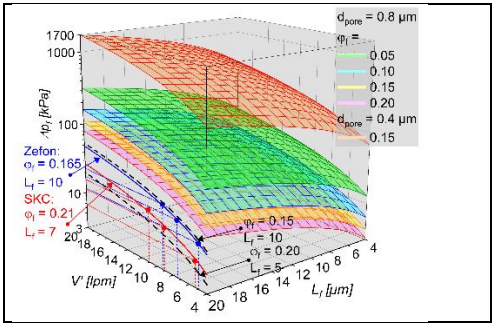


Fig. 5. Pressure drop over the 25 mm diameter (nominal) straight-through pore membrane filter with pore diameter of 0.8 μm as function of filter thickness (L_f) and flow rate (V').

To compensate for increased sampled volume the pump flow rate may be increased. Flowrate of polycarbonate filter type ATTP with 0.8 μm pore diameter is defined by the manufacturer being 10 lpm/cm². ISO 14966 and VDI 3492 both specify the flow rate being 2 lpm/cm² when sampling for 8h. However, there is no hindrance to apply higher flow rate if the capacity of the pump is adequate for the increased pressure drop. The pressure drop over the SKC and Zefon filter was measured and fitted with eq. 4. This resulted in

filter thickness of 10 μm and porosity 0.165 for Zefon and 7 μm and 0.21 for SKC filters, respectively. The absolute relative error for the fitted pressure drop values varies from 2% to 7% (Fig. 5). Increasing the flow rate from 3 lpm to, e.g. 10 (8) lpm increases the relative pressure drop 233 (167) %, which is a significant increase but not a problem with an applicable sample pump.

CONCLUSIONS

The new occupational exposure limit (OEL) for asbestos fibres agreed on by EU Council and Parliament leads to a peculiar situation where the OEL limit is the same as the clean room limiting value for residential premises 0.01 $f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$ when thin fibres ($\leq 0.2 \mu\text{m}$) are included in the counting analysis. Excluding thin fibres further lowers the OEL limit to 0.002 $f_{\text{asb}}/\text{cm}^3$. Current recommendations for the magnification (FOV) of the SEM are not adequate for the new dimensional requirements of the counted fibres ($dp < 200 \text{ nm}$). To keep the number of counted view fields and counting time reasonable the collected sample volume should be sufficient. ISO 14966 /3/ recommends a flow rate of 2 lpm/cm² per filter area (7.6 lpm for 25 mm filter) and VDI 3492 /4/ 8 lpm. VDI 3492 also states that minimum sampling time should be 3 h, which totals to minimum sampled volume of 1.4 m³. It should be noted that these recommendations were given before the new OEL limit. If the sampling conditions are very dusty a much smaller sampled volume may need to be collected to avoid filter overloading, on the order of 300 dm³. Both standards recommend a minimum analysis area of 1 mm², which is clearly justified based on the results of this study on relative standard deviation and probability of the Poisson distribution. However, to save precious and expensive analysis time on the microscope smaller analysis area may be applied by compensating the smaller analysis area by collecting a larger sampled volume. It should be noted that the minimum analysed area should never be lower than 0.25 mm² /3, 4, 10/, which by far too low also demonstrated in this study. On the order magnitude scale the analysis area should be in the range of 0.5-0.75mm² at minimum.

REFERENCES

1. European Commission (2023, June 22nd). Asbestos: Council and Parliament strike deal on new rules protecting workers. Retrieved from EU Commission website.
2. European Commission (2023, Oct 23rd). Protection from asbestos at work: Council votes to reduce exposure limits. Retrieved from EU Commission website.
3. ISO 14966:2019 (2019), 42 p.
4. VDI 3492:2013-06 (2013), 63 p.
5. Lyyrinen, J. (2022). Sisäilmäseminaari 2022, pp. 317-322.
6. Lyyrinen, J. (2023). Sisäilmäseminaari 2023, pp. 197-192.
7. Hogg, R. V., Tanis, E. A. and Zimmerman, D. L. (2015). Probability and statistical inference, 9th edition, Pearson, 544 p.
8. Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N. Transport phenomena, second edition, John Wiley & Sons Inc., 2002, 895 p.
9. Sioutas, C. (1999). Aerosol Science and Technology, 30:1, 71-83.
10. HSE – SEMS (14/2021). Scanning electron microscope fibre counting scheme – Information book for participants, 13 p.

MITEN KUITUONGELMA RATKAISTIIN SOVELTAMISOHJEEN PÄIVITYKSELLÄ?

Vesa Koskinen, Vuokko Lappalainen, Timo Murtoniemi, Suvi Kajanen ja Milla Rantanen

Sirate Group Oy

TIIVISTELMÄ

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksissä 2020–2021 teollisten mineraalikuitujen näytteenotto ohjeistettiin ensimmäistä kertaa virallisesti, kuitenkin vallinneen käytännön vastaisesti. Laskentakriteerien ja näytteenoton muutokset eivät ole vaikuttaneet yksittäisten näytteiden tuloksiin. Sen sijaan tulkintavaatimus, jossa toimenpiderajaan tulee tilakohtaisesti verrata vähintään 3 näytteen keskiarvoa mittausepävarmuus vähentäen, on romahduttanut toimenpiderajan ylitykset murto-osaan aiemmasta. Muutos johtuu kuitulaskeuman noudattaman Poissonin jakauman ominaisuuksista, jotka on esitetty mm. kansainvälisessä standardissa ja johon ohjepäivityksen perusteena olleessa kuitukatsauksessa toistuvasti ja osin virheellisesti on viitattu.

JOHDANTO

Asumisterveysasetusta /1/ sovelletaan asunnon ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olosuhteiden valvontaan ts. terveyshaitan arviointiin. Siinä annettujen toimenpiderajojen sekä sen soveltamisohjeen /2/ perusteella tehdään päätöksiä, jotka voivat johtaa mm. rakennusten käyttökieltoihin, korjauksiin ja jopa purkuun, väistötiloihin siirtymisiin sekä asuntokaupan purkuihin. Lainsäädäntöstatuksensa vuoksi asetusta ja sen tulkittamiseksi laadittua viranomaisohjetta sovelletaan käytännössä myös muissa kuin yllä mainituissa rakennuksissa. Tämän vuoksi asetuksen ja ohjeen muutoksia tehtäessä tulisi huolellisesti arvioida muutoksen merkitys.

Kuten asetuksessa mainitaan, riskinarvioinnissa mittausepävarmuus tulee huomioida vaatimustenmukaisuutta määrittäessä. /3/ Ohjeen /2/ tulkinta mittausepävarmuuden huomioimisesta on kuitenkin päinvastainen yleiseen riskinarvioinnin käytäntöön verrattuna: toimenpideraja tulee ylittyä varmuudella ts. epävarmuus vähentää mittautuloksesta (normaalisti lisätään). Tulkinta tuottaa ongelmia erityisesti teollisten mineraalikuitujen ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) tuloksia arvioitaessa.

Teollisten mineraalikuitujen osalta tilanne konkretisoitui Työterveyslaitoksen kuitukatsauksen /4/ suositusten perusteella tehtyjen soveltamisohjeen päivitysten yhteydessä. ISO-standardiin /5/ virheellisesti viitaten katsauksessa esitettiin, että kuitunäytteiden tuloksena tulisi käyttää vähintään samasta tilasta otetun kolmen näytteen keskiarvo. Standardin mukaan usean näytteen keskiarvon käyttö soveltuu vain vertailuun kahden sellaisen pinnan välillä, joilla kummallakin kuitulaskeuma on homogeeninen (vaatimus ei täyty ohjeen mukaisesti otettaville kuitunäytteille). Tämä johtuu lähinnä kuitulaskeuman noudattaman ns. Poissonin jakauman ominaisuuksien vaikutuksesta keskiarvon luottamusväliin, käytännössä siis mittausepävarmuuteen.

Yhtenä perusteena ohjeen päivitykselle esitettiin laboratorioden välillä todettuja eroja. Ohjeistamatta jäi esim. kuitukimppujen ja katkenneiden kuitujen laskenta, jotka ohuimpien kuitujen havaitsemisen vaikeuden lisäksi ovat laboratorioilta saadun tiedon mukaan merkittävämmät ongelmat analysoinnissa.

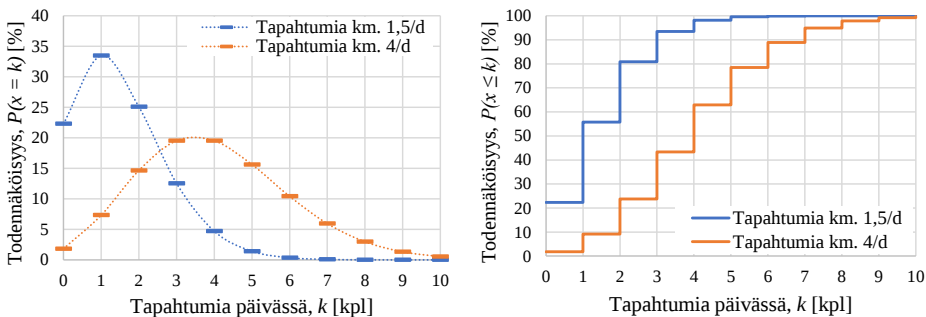
TEOLLISET MINERAALIKUIDUT JA POISSONIN JAKAUMA

Teollisten mineraalikuitujen pääasiallisina lähteinä sisäilmassa ovat mineraalivillaiset äänenvaimennusmateriaalit niin tilojen sisäpinnoilla kuin ilmanvaihtojärjestelmässä. Kuitujen irtoamiset materiaalista ja laskeutumisasettumisasettumis tietyllä huonepinnalle ovat harvinaisia, satunnaisia ja toisistaan riippumattomia. Tällaista tapahtumaketjua kutsutaan tilastolaskennallisessa käsittelyssä Poisson-prosessiksi, jonka tuottama todennäköisyysjakauma kertoo todennäköisyydet näiden tapahtumien lukumäärälle tietyllä aikavälillä. Tätä jakaumaa kutsutaan Poissonin jakaumaksi.

Esimerkki Poissonin jakaumasta

Arkisena esimerkkinä Poisson-prosessille voisi olla kivijalkaliike, jossa käy harvakseltaan asiakkaita. Jos tiedetään esimerkiksi, montako asiakasta liikkeessä käy keskimäärin päivässä, Poissonin jakauma antaa todennäköisyydet sille, että päivän aikana käy $k = 0, 1, 2, \dots$ asiakasta, merkitään $P(X = k)$. Kuvassa 1a) on esitetty Poissonin jakaumat, jos asiakaskäyntejä (tapahtumia) on keskimäärin 1,5 kpl tai 4 kpl päivässä. Koska todellisten tapahtumien määrä k saa vain kokonaislukuarvoja (todellisuudessa ei ole puolikasta käyntiä) jakauma on epäjatkuvuus. Kuvaajasta voidaan lukea esimerkiksi, että todennäköisyys sille, että tapahtumia on päivän aikana tasan 2, on 25 %, jos asiakkaita käy keskimäärin 1,5 päivässä ja 15 %, jos käyntejä on keskimäärin 4. Vastaavat todennäköisyydet tasan 4 tapahtumalle ovat 5 % ja 25 %.

Kuvan 1b) kertymäfunktio kertoo puolestaan todennäköisyydet sille, että tapahtumia on enintään k kappaletta päivän aikana, merkitään $P(X \leq k)$. Vähentämällä 100 %:sta kertymäfunktion arvo, saadaan todennäköisyys sille, että tapahtumia on päivän aikana enemmän kuin k kpl, eli $P(X > k) = 100 \% - P(X \leq k)$. Esimerkin tapauksessa on selvää, että jos liikkeen viereen avataan toinen samanlainen liike, ei liikkeissä yhteensä käyvien asiakkaitten lukumäärä kaksinkertaistu, mikä olisi edellytys sille, että kahden liikkeen kävijämäärien keskiarvo pysyisi samana kuin alkuperäisen liikkeen. Sama pätee myös yksittäisten kuitunäytteiden keskiarvolle.



Kuva 1. a) Esimerkki Poissonin jakaumasta, kun tapahtumia on keskimäärin 1,5 tai 4 päivässä. b) Kertymäfunktio antaa todennäköisyyden sille, että tapahtumia on enintään k kpl päivässä.

Todennäköisyydet eri kuitutuloksille

Todennäköisyydet eri kuitutuloksille voidaan laskea ns. tiheysfunktion avulla. Matemaattisesti ilmaistuna diskreetin satunnaismuuttujan X sanotaan noudattavan Poissonin jakaumaa parametrilla $\lambda > 0$, jos sen tiheysfunktio on muotoa

$$f(x) = P(X = k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}, \lambda > 0, k = 0, 1, 2, \dots$$

Myös Poissonin jakaumaa noudattavien muuttujien summa noudattaa Poissonin jakaumaa. Laskettaessa kuitutuloksia yhteen summajakauman parametrina on 3λ .

Tapahtumien lukumäärien laskemiseksi tiheysfunktion avulla käytetään parametrille λ lähteessä /6/ esitetyn näyteaineiston (3562 kpl) keskiarvoa 1,557 k/näyte (0,11 k/cm²). Taulukossa 1 on esitetty tiheysfunktioita käyttäen lasketut todennäköisyydet sille, että yhdelle näytteelle saadaan tasan k kuitua.

Taulukko 1. Poissonin jakauman tiheysfunktion antamat todennäköisyydet $P(k, \lambda)$ tasan k kuidulle yhdellä näytteellä, kun 14 vrk laskeumajaksolla kuituja laskeutuu keskimäärin 1,557 kpl, ts. $\lambda = 1,557$.

Kuituja, k	$P(k, \lambda)$	Kuituja, k	$P(k, \lambda)$	Kuituja, k	$P(k, \lambda)$
0	21,1 %	3	13,3 %	6	0,42 %
1	32,8 %	4	5,2 %	7	0,09 %
2	25,6 %	5	1,6 %	8	0,02 %

Laskemalla yhteen todennäköisyydet 0, 1 ja 2 kuidulle saadaan todennäköisyydeksi, että näytteellä on alle 3 kuitua, 79,4 %. Vähentämällä tämä 100 %:sta saadaan yksittäisen näytteen toimenpiderajan (3 k/näyte = 0,21 k/cm²) ylitykselle todennäköisyydeksi 20,6 %. Tulos vastaa lähteen /6/ tuloksia, joissa yksittäisten toimenpiderajan ylittävien näytteiden osuudet kaikista näytteistä (n. 5000) sekä aiemman että nykyisen ohjeistuksen mukaisesti otettuna oli 20 %.

Vastaavasti voidaan laskea todennäköisyydet sille, että kolmella näytteellä on vähintään k kuitua. Jotta kolmen näytteen keskiarvo ylittäisi toimenpiderajan, pitäisi kolmella näytteellä olla yhteensä vähintään 9 kuitua, minkä todennäköisyys mittausepävarmuutta huomioimatta on enää 4,9 %.

Mittausepävarmuuden huomioimiseksi tulisi tarkastella standardin /5/ mukaisesti keskiarvon luottamusväliä käyttäen Poissonin ja χ^2 -jakaumien välistä yhteyttä. Näin menetellen toimenpiderajan ylittäminen kolmen näytteen keskiarvona ja mittausepävarmuus soveltamisohjeen mukaisesti huomioituna (vähennettynä) edellyttää, että näytteissä havaitaan yhteensä vähintään 16 kuitua. Tämän todennäköisyydeksi saadaan 0,003 %.

Huomioitavaa on, että tässä luottamusvälien laskennassa ei huomioida mitenkään kuitujen laskennassa tapahtuvia virheitä ts. laboratorioden määrittämiä sisäisiä tarkkuuksia (tai näytteenoton virheitä). Nämä ovat olleet pääasiassa välillä 25–30 % (pienimmillään 14 %) ja osa laboratorioista käyttääkin analyyseissään mittausepä tarkkuutena pelkästään tätä sisäistä tarkkuutta.

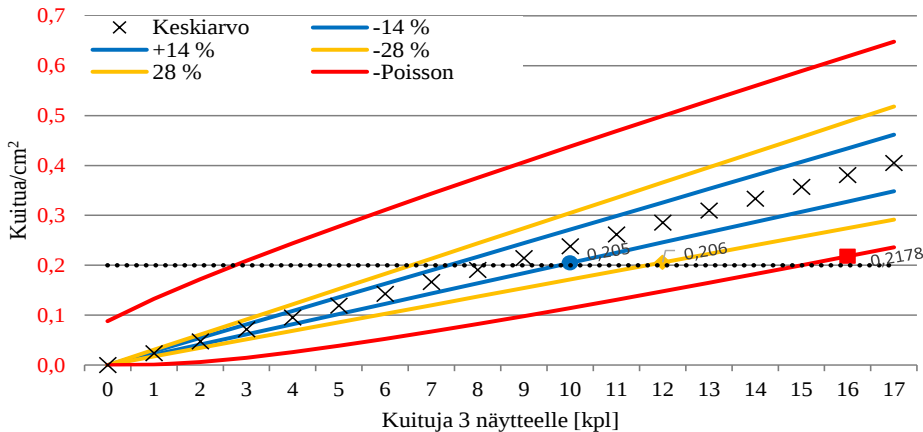
SOVELTAMISOHJEEN MUUTOKSEN VAIKUTUS TODELLISISSA NÄYTTEISSÄ

Erot toimenpiderajan ylittymiseen vaadittavien kuitujen määrissä

Rakennusterveystietokanta -hankkeen /6/ yli 7000 kuitunäytteeseen perustuvan selvityksen perusteella mittausmenetelmän ja laskentakriteerin muutos ei aiheuttanut tilastollisesti merkitsevää yhteisvaikutusta tuloksiin: yksittäisten toimenpiderajan ylittävien näytteiden osuus kaikista näytteistä säilyi muuttumattomana (20 %). Tulkintaperusteiden muutoksella oli sen sijaan merkittävä vaikutus:

- Keskiarvoistus vähensi pääosin kuituepäilykohteista otettujen toimenpiderajan ylitysten määrän 20 %:sta 13 %:iin.
- Mittausepävarmuuden huomioimisen jälkeen enää 9 % tiloista ylitti toimenpiderajan (näissä mittausepävarmuutena oli käytetty laboratoriodien määrittämiä sisäisiä tarkkuuksia, jotka vaihtelivat välillä 14–30 %).

Käytetyn mittausepävarmuuden vaikutus toimenpiderajaan on esitetty kuvassa 2. Mikäli epävarmuutena käytetään keskiarvosta vähennettynä 14 % mittausepävarmuutta, edellyttää toimenpiderajan ylittäminen kolmelle näytteelle vähintään 10 kuitua. Pääsääntöisesti laboratoriodien ilmoittama sisäiseen tarkkuuteen perustuva mittausepävarmuus on välillä 25–30 %. Käytettäessä 28 % epävarmuutta toimenpiderajan ylittyminen edellyttäisi jo yhteensä 12 kuitua kolmelle näytteelle. Mikäli käytetään Poissonin jakauman mukaista keskiarvon luottamusväliä, vaaditaan jo vähintään 16 kuitua. Koska kaikki edellä esitetyt mittausepävarmuuden arviointeja on käytetty todellisissa kuituanalyseissä, on laboratoriodien väliset erot kasvaneet entisestään: toimenpiderajan ylittymiseen vaadittava kuitumäärä kolmella näytteellä voi eri laboratoriodien epämääräisyystulkintojen takia vaihdella jopa 60 %.



Kuva 2. Eri mittausepävarmuuksien vaikutus toimenpiderajan ylittymiseen, kun tilakohtaisena tuloksena käytetään kolmen näytteen keskiarvoa.

Kohde-esimerkki

Todellisessa tutkimuskohteessa vuonna 2023 tehdyssä tutkimuksessa otettiin rakennuksen 5 tilasta yhteensä 15 näytettä, joiden mediaanipitoisuuskin (0,21 k/cm²) oli

toimenpiderajaa suurempi. Yksittäisistä näytteistä toimenpiderajan lukuarvon ylitti 8 näytettä (taustavärjätty Taulukossa 2).

Taulukko 2. Todellisen kohteen kuitunäytteiden tulkinta yksittäisinä näytteitä (aiempi käytäntö) sekä keskiarvona eri laboratorioden käyttämin mittaasepäätarkkuuksin. Toimenpiderajan lukuarvon 0,2 ylittävät tulokset on taustavärjätty.

Tila	1			2			3			4			5		
Kuituja [k/cm ²]	0,21	0,07	0,14	0,07	0,07	0,36	0,21	0,29	0,36	0,00	0,36	0,21	0,21	0,00	0,07
Tulos (ka, 14 % virhe) [k/cm ²]	0,12			0,14			0,25			0,16			0,08		
Tulos (ka, 14 % virhe) [k/cm ²]	0,10			0,12			0,20			0,13			0,07		
Tulos (ka, 14 % virhe) [k/cm ²]	0,05			0,07			0,11			0,08			0,03		

Aiemman käytännön mukaisesti yksittäisinä näytteinä tulkittuna kohteessa olisi ollut selkeä kuituongelma, sillä yli puolet näytteistä ylitti toimenpiderajan ja kuituja havaittiin 13/15 näytteestä. Nykyohjein keskiarvona tulkittuna vain yhdessä tilassa ylittyisi toimenpideraja, mikäli näytteet analysoidaan laboratoriossa, jonka ilmoittama mittaasepävarmuus on pieni. Ilmoitetun mittaasepävarmuuden ollessa vähintään 30 %, ei toimenpideraja ylity enää yhdessäkään tilassa. Poissonin jakaumaan perustuvaa mittaasepävarmuutta käyttävässä laboratoriossa korkeinkin tilakohtainen tulos on vain noin puolet toimenpiderajasta.

POHDINTA

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksen vaikutukset teollisten mineraalikuitujen sisäilmapitoisuuksien arviointiin ovat olleet merkittävät, vaikka näytteenoton ohjeistuksella sekä kuitujen laskentakriteerien muuttamisella ja yhtenäistämällä ei ole ollut vaikutusta yksittäisen näytteiden tuloksiin. Keskiarvojen käyttö tuloksena sekä mittaasepävarmuuden huomioiminen soveltamisohjeen mukaisesti, on vähentänyt merkittävästi toimenpiderajan ylitysten määrää. Yli 4000 kuitunäytteen aineistossa ylitysten määrä putosi 20 %:sta 9 %:iin. Mikäli olisi käytetty laboratoriota, jossa mittaasepävarmuus määritetään ISO-standardin mukaisesti, ylitysten määrä olisi lähestynyt nollaa.

Päivitys mahdollistaa sen, että valitsemalla laboratorion sopivasti voidaan aikaisemmin kuituongelman osoittaneella tuloksilla saavuttaa nykyisin täysin toimenpiderajan vaatimukset täyttävä tulos.

LÄHDELUETTELO

1. Sosiaali- ja terveysministeriö (2015) Asumisterveysasetus, Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.
2. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Valvira (2016) Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016
3. Mittaasepävarmuus osana tulosten tulkintaa, verkkosivu viitteineen, FINAS, <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Mittaasep%C3%A4varmuus-osana-tulosten-tulkintaa.aspx>

4. Tuomi T., Wallenius K., Mahiout S., Rautiala S., Lappalainen S., Teolliset mineraalikuidut toimistotyyppisissä työtiloissa–Esiintyminen, altistumisen arviointi, terveysvaikutukset ja päästöjen hallinta, Työterveyslaitos 2020.
5. ISO 16000-27:2014, Indoor air–Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (scanning electron microscopy) (direct method), International Organization for Standardization, 2014
6. Koskinen V., Lappalainen V., Murtoniemi T. ja Vehviläinen T., Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksen vaikutus mineraalikuitunäytteisiin. Rakennusfysiikka 2023-seminaari, Tampereen yliopisto 2023.

TEOLLISTEN MINERAALIKUITUJEN MÄÄRÄT JULKISISSA RAKENNUKSISSA EIVÄT OLE VÄHENTYNEET

Vesa Koskinen, Vuokko Lappalainen ja Timo Murtoniemi

Sirate Group Oy

TIIVISTELMÄ

Ärskytysoireita aiheuttavien teollisten mineraalikuitujen lähteitä on lähes jokaisessa julkisessa rakennuksessa. Toisin kuin vuonna 2020 julkaistussa kuitukatsauksessa on näyteaineistonsa vastaisesti esitetty, kuitujen määrät julkisissa rakennuksissa eivät ole vähentyneet. Kun selvästi poikkeavien arvojen vääristävä vaikutus keskiarvioihin huomioidaan, ei esitetyn aineiston tunnusluvuissa ole merkittäviä muutoksia vuoden 2012 jälkeen. Samanaikaisesti kuituja analysoivien laboratoriodien määrä ja vuosittain analysoitavien kuitunäytteiden määrät ovat moninkertaistuneet. Tämän tutkimuksen neljässä eri laboratoriossa analysoidun lähes 7000 näytteen aineistossa yksittäisten toimenpiderajan lukuarvon ylittävien näytteiden määrä on jopa lievästi kasvanut vuodesta 2014 alkaen.

JOHDANTO

Teollisten mineraalikuitujen esiintyminen julkisten rakennusten sisäympäristössä on yleinen ja merkittävä, joskin usein selkeästi aliarvioitu tekijä koetussa sisäilman laadussa sekä sisäilmaan liitettyssä oireilussa. Mineraalikuitujen ihon, silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireita aiheuttavat vaikutusmekanismit tunnetaan tieteellisessä kirjallisuudessa hyvin. Päivittäisessä altistuksessa koetuilla ärsytysoireilla on merkittävä vaikutus työkykyyn, -tehokkuuteen ja -viihtyvyyteen, vaikka mineraalikuitujen ei tiedetä aiheuttavan pysyviä sairauksia.

Mineraalivillan käyttö yleistyi rakentamisessa voimakkaasti 1950-luvulta alkaen ja julkisesta rakennuskannastamme edelleen yli puolet on valmistunut kuituongelman kannalta kaikkein riskialttiimpana ajanjaksona 1950–2000 /1/. Tämä näkyy selvästi eri aikakausina valmistuneiden rakennusten kuntotutkimuksissa havaittujen merkittävien kuituongelmien esiintymisessä. Vuonna 2009 julkaistussa tutkimuksessa todettiin lähes puolessa ennen 1960-lukua ja yli 80 % tämän jälkeen valmistuneen tai peruskorjatun rakennuksen pintapölyssä mineraalikuituja /2/. Yli 300 julkisen rakennuksen laajaan kuntotutkimukseen perustuneessa tutkimuksessa merkittäviä kuituongelmia esiintyi 30–60 %:ssa vuosien 1960–2000 aikana valmistuneista rakennuksista /3/.

Työterveyslaitoksen (TTL) vuonna 2020 julkaiseman katsauksen /4/ aineiston perusteella on esitetty, että teollisten mineraalikuitujen esiintyminen olisi vähentynyt toimistotyyppisissä sisäympäristöissä. Havainnon esitetään perustuvan TTL palvelutietokannan kuitunäytteiden (5773 kpl) analyysituloksiin vuosilta 2007–2019. Katsauksessa julkaistun sekä tämän tutkimuksen aineiston analyysit eivät tue väitettä.

Näytteenottomenetelmä ja toimenpideraja Suomessa

Ennen vuotta 2015 käytössä olleissa Asumisterveysoppaassa ja -ohjeessa ei ole mainintaa geeliteippimenetelmästä. Teippinäytteet otettiin TTL:n aloitteesta käyttöön

vähitellen vuodesta 2007 alkaen. Näytteet kerättiin aluksi suoraan huonepinnoilta tai eri alustoilta noin 2 viikon laskeumista. Marraskuusta 2012 alkaen siirryttiin vähitellen käyttämään laskeuma-alustoina muovisia petrimaljojen kansia /5/. Menetelmä vakiintui käyttöön ja virallistettiin ohjeistamatta toimenpiderajan asettamisella Asumisterveysasetuksessa 2015. Toimenpiderajaksi määritettiin 0,2 kuitua/cm².

Kuitukatsauksen /4/ suosituksesta Asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta päivitettiin kahteen otteeseen joulukuussa 2020 ja maaliskuussa 2021. Päivityksessä ohjeistettiin vallinneesta käytännöstä poiketen keräämään tutkittavaa tilaa kohden vähintään 3 näytettä suoraan huonepinnoilta. Lisäksi kuitujen laskentakriteereitä muutettiin ja tulkinta tuli tehdä tilakohtaisten keskiarvojen perusteella mittausepävarmuus tuloksesta vähentäen. Toimenpiderajaa ei muutettu.

Ilmanvaihtojärjestelmän (IV) näytteiden ohjearvona on käytetty vaihtelevin tavoin TTL:n keskimääräiseksi esittämää pitoisuutta 10–30 k/cm².

AINEISTO

Tutkimuksen aineisto perustuu Työsuojelurahaston Rakennusterveystietokanta-hankkeessa (RTTK) julkisten rakennusten kuntotutkimuksissa otettuihin 6888 näytteeseen (Taulukot 1 ja 2). Näytteitä on kerätty vuosina 2012–2023 sekä 14 vrk pölylaskeumista että tuloilmakanavista kulloinkin voimassa olleen ohjeistuksen mukaisesti. Näytteet on otettu kohteista, joissa aistinvaraisten havaintojen tai IV-järjestelmän iän ja muiden tietojen perusteella epäilty olevan kuituongelmaa.

Taulukko 1. Kahden viikon laskeumanäyteaineiston tunnusluvut vuosittain: näytemäärät, poikkeavina (>0,7 k/cm²) hyläytyjen näytteiden määrät, keskiarvot, mediaanit sekä toimenpiderajan lukuarvon 0,2 k/cm² ylittävien näytteiden määrät.

Vuosi	Koko	Lkm	Hylätyt	KA [k/cm ²]	Mediaani [k/cm ²]	>0,2 k/cm ²
2012	L>20 µm	88	4,5 %	0,13	0,14	22 %
2013	L>20 µm	194	5,2 %	0,14	0,14	25 %
2014	L>20 µm	286	1,0 %	0,13	0,14	19 %
2015	L>20 µm	399	0,3 %	0,09	0,07	10 %
2016	L>20 µm	332	2,1 %	0,09	0,07	12 %
2017	L>20 µm	386	9,1 %	0,12	0,07	25 %
2018	L>20 µm	608	2,8 %	0,10	0,07	20 %
2019	L>20 µm	575	3,0 %	0,11	0,07	17 %
2020	L>20 µm	493	3,7 %	0,13	0,07	26 %
2021	L>20 µm	201	6,0 %	0,15	0,07	32 %
2021*	L>3 µm, L:D>3:1	490	1,8 %	0,11	0,07	21 %
2022	L>3 µm, L:D>3:1	554	2,2 %	0,11	0,07	21 %
2023	L>3 µm, L:D>3:1	315	2,9 %	0,07	0,07	15 %
YHT	L>20 µm	3562	3,5 %	0,11	0,07	20 %
YHT	L>3 µm, L:D>3:1	1359	2,2 %	0,10	0,07	20 %
YHT	Kaikki	4921	3,1 %	0,11	0,07	20 %

Taulukko 2. Tämän tutkimuksen tuloilmajärjestelmästä otettujen näytteiden tunnusluvut vuosittain: näytemäärät, poikkeavina hylättyjen näytteiden määrät, keskiarvot, mediaanit sekä tuloksen 30 k/cm² ylittävien näytteiden määrät.

Vuosi	Koko	Lkm	Hylätty	Keskiarvo [k/cm ²]	Mediaani [k/cm ²]	>30 k/cm ²
2012	L>20 µm	46	4,3 %	16,1	8,3	22 %
2013	L>20 µm	73	5,5 %	17,8	7,5	26 %
2014	L>20 µm	120	2,5 %	9,9	5,1	8 %
2015	L>20 µm	174	6,3 %	12,1	3,5	18 %
2016	L>20 µm	141	2,1 %	5,6	2,5	6 %
2017	L>20 µm	183	4,9 %	15,8	5,8	24 %
2018	L>20 µm	288	7,6 %	15,0	6,9	24 %
2019	L>20 µm	301	5,3 %	10,5	4,6	15 %
2020	L>20 µm	231	8,2 %	14,7	8,6	22 %
2021	L>20 µm	81	4,9 %	12,4	6,9	14 %
2021*	L>3 µm, L:D>3:1	116	5,2 %	12,1	5,5	15 %
2022	L>3 µm, L:D>3:1	132	2,3 %	9,8	4,3	13 %
2023	L>3 µm, L:D>3:1	81	4,9 %	12,9	4,2	22 %
YHT	L>20 µm	1638	5,7 %	12,7	5,3	18 %
YHT	L>3 µm, L:D>3:1	329	4,0 %	11,4	4,7	16 %
YHT	Kaikki	1967	5,4 %	12,5	5,1	18 %

Katsauksen /4/ aineisto vuosilta 2007–2019 tunnuslukuineen (näytemäärä, keskiarvo, mediaani, P90-persentiili sekä suurin arvo) on saatavilla pysyvästi verkosta.

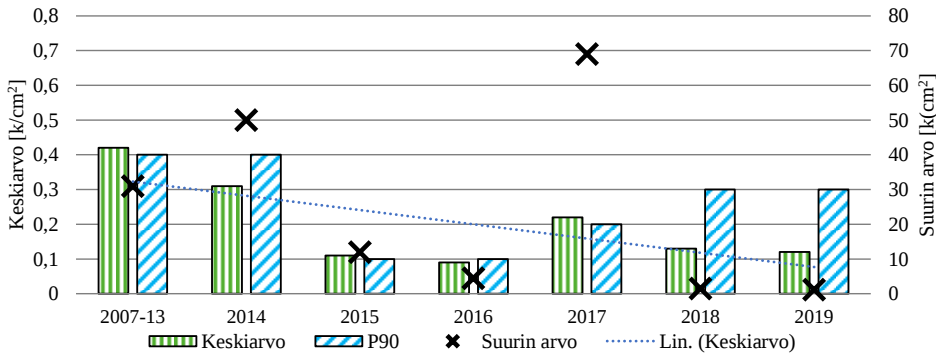
TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Kuitumäärän muutosten arviointi keskiarvojen perusteella

Katsauksen /4/ aineistossa (esitetty graafisesti Kuvassa 1) ainoa kuitujen vähenemistä tukeva tulos on keskiarvon pieneneminen tarkastellulla ajanjaksolla arvosta 0,42 k/cm² arvoon 0,12 k/cm². Tulokinnassa on kuitenkin jäänyt huomioimatta siihen oleellisesti vaikuttavat tekijät:

- Erityisesti tarkastelujakson alussa esiintyy selkeästi tavanomaisesta poikkeavia arvoja, jotka vääristävät erityisesti vuosittaisia keskiarvoja
- Korkein keskiarvo tuloksissa on esitetty 7 vuoden jaksolta 2007–2013, jolla kuitunäytteitä on vähemmän kuin yhtenäksään seuraavana yksittäisenä vuotena.
- Näytteenottomenetelmää on muutettu marraskuusta 2012 alkaen siten, että näytteet on alettu keräämään huonepintojen sijaan petrimaljojen kansilta.

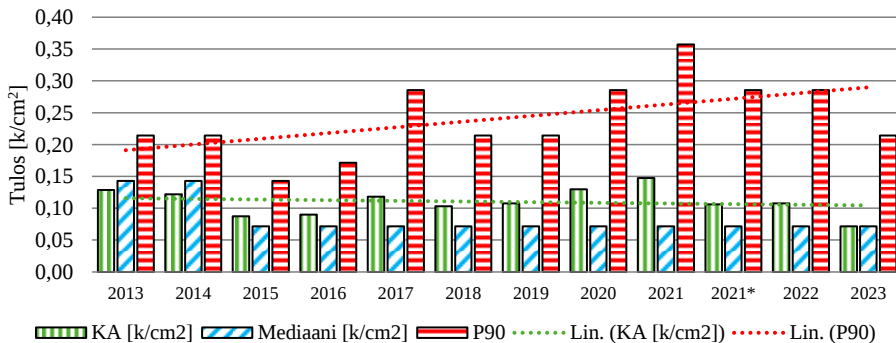
Poikkeavien arvojen vaikutus keskiarvoihin käy hyvin ilmi kuvasta 1, jossa esitetyt suurimmat pitoisuudet ovat vähintään 10-kertaisia ja pahimmillaan yli 300-kertaisia keskiarvoihin nähden. Esimerkiksi vuoden 2017 aineistossa vain yksi 69 k/cm² tulos riittää nostamaan keskiarvon 0,1 kuidusta 0,2 kuituun/cm². Vuosien 2007–2015 ja 2017 aineistossa keskiarvo on suurempi kuin 90 % näytetuloksista (P90).



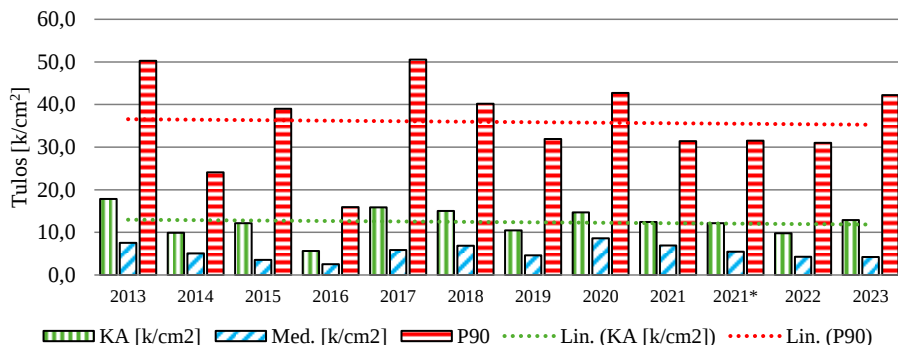
Kuva 1. Katsauksen /4/ kuitunäytteiden keskiarvot, trendi, P90 arvot sekä suurimmat pitoisuudet aikajaksolta 2007–2019. Suurimmat arvot on esitetty 100-kertaisella asteikolla keskiarvoihin nähden. Yksittäisten poikkeavan suurten tulosten takia keskiarvo on usealla ajanjaksolla suurempi kuin 90 % tuloksista (P90).

Jaksolla 2007–13 näytemäärät ovat olleet pieniä ja jakson lopussa menetelmä muuttui. Näyteenottoajaksi oli ohjeistettu noin 2 viikkoa, joten oletettavasti niissä oli 2010-luvun alussa nykyistä enemmän vaihtelua. Ajanjakson 2007–2013 tulosten käyttö kuitumäärien muutostrendien arvioinnissa onkin erittäin kyseenalaista. Tarkasteltaessa jaksoa vuodesta 2014 alkaen, muutos keskiarvoissa on huomattavasti pienempi. Näyteaineistoa luotettavammin kuvaavissa mediaaneissa ei ole koko tarkastellulla jaksolla tapahtunut muutosta (alle määrittäysrajan 0,1 k/cm²).

Taulukossa 1 esitetyt RTTK-hankkeen 14 vrk laskeumanäytteiden määrät vuosina 2014–2017 ovat kasvaneet yhdestä kolmasosasta lähes puoleen TTL aineiston näytemääristä, tämän jälkeen näytemäärät ovat olleet hyvin vertailukelpoiset. Keskiarvotarkastelua varten näytteistä hylättiin tulokset, joissa kuitupitoisuus oli yli 0,71 k/cm². Tarkasteltaessa aineiston tunnuslukuja (Kuva 2) mediaani on vuodesta 2015 ollut 0,07 k/cm² eikä vuosittaisten keskiarvojen perusteella ole havaittavissa minkäänlaista muutostrendiä. P90-persentiilejä tarkasteltaessa trendi näyttäisi vähenemisen sijaan olevan kasvava. Kuvassa 3 on esitetty vastaavat tunnusluvut IV-järjestelmänäytteiden osalta. Vaikka vuosittainen vaihtelu on näissä suurempaa, ei muutostrendejä ole havaittavissa.



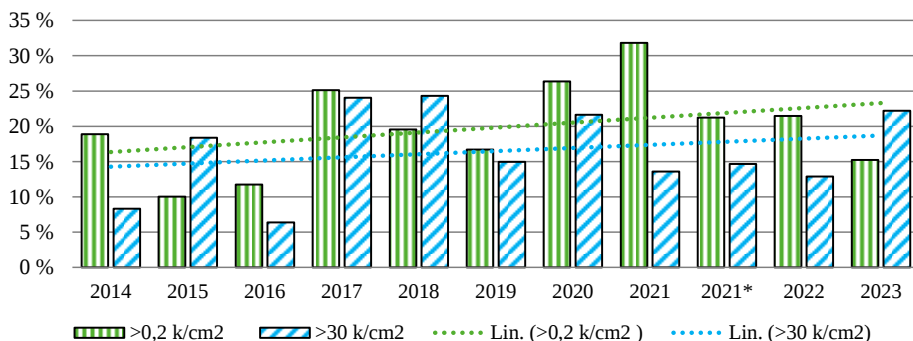
Kuva 2. RTTK:n kahden viikon laskeumanäytteiden (4921 kpl) vuosittaiset tunnusluvut: keskiarvo, mediaani ja P90 -persentiilit.



Kuva 3. RTTK:n tuloilmajärjestelmän kuitunäytteiden (1967 kpl) vuosittaiset tunnusluvut: keskiarvo, mediaani ja P90 -persentiilit.

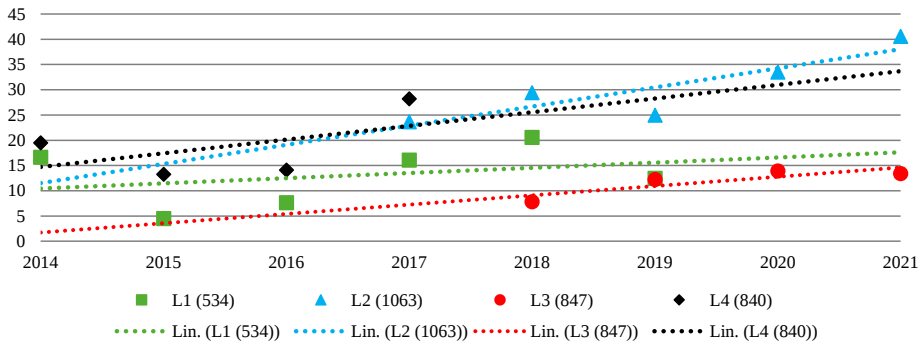
Kuitumäärien muutosten arviointi toimenpiderajaan verrattuna

Käytännössä keskiarvoja merkittävämpi tekijä kuitunäytteissä ovat toimenpiderajan ylitykset. Kuvassa 4 on esitetty vuosittain laskeumanäytteistä rajan $0,2 \text{ k/cm}^2$ ylittävien näytteiden osuudet kaikista näytteistä sekä vastaavasti kanavanäytteistä arvon 30 k/cm^2 ylittävien osuudet. Vuodesta 2014 alkaen näissä on havaittavissa lievä kasvava trendi huolimatta siitä, että ohjeistusta muutettiin Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksillä 2021.



Kuva 4. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan $0,2 \text{ k/cm}^2$ ylittävien laskeumanäytteiden sekä viitearvon 30 k/cm^2 ylittävien kanavanäytteiden osuudet RTTK:n näytteistä vuosittain jaksolla 2014–2023.

Tarkasteltaessa Rakennusterveystietokannan eri laboratorioiden näytteitä erikseen jaksolla 2014–2021 (vanha menetelmä), havaitaan sama kasvava trendi jokaisen laboratorion analysoimissa tuloksissa (Kuva 5).



Kuva 5. Toimenpiderajan ylittävien yksittäisten näytteiden %-osuudet kaikista, neljän eri laboratorion L1–L4 analysoimista näytteistä jaksolla 2014–2021.

POHDINTA

Viimeisen kymmenen vuoden aikana kuituja analysoivien laboratoriorien ja sekä vuosittain otettavien kuitunäytteiden määrät ovat moninkertaistuneet. Sekä Työterveyslaitoksen kuitukatsauksen että RTTK-hankkeen yhteensä yli 12 000 näytteen aineistoissa ei ole havaittavissa, että yksittäisten kuitunäytteiden pitoisuudet olisivat pienemässä. Teolliset mineraalikuidut ovat ja tulevat vielä pitkään olemaan rakennuskannassamme merkittävä sisäilman altiste, jonka tiedetään tunnetulla vaikutusmekanismilla aiheuttavan ärsytysoireita. Päivittäin toistuvina näillä on merkittävä vaikutus työkykyyn, -tehokkuuteen ja -viihtyvyyteen. Mikäli ongelmaa ei tunnisteta, huolta lisää herkästi syntyvä epäily oireiden liittymisestä kosteus- ja mikrobivaurioihin.

LÄHDELUETTELO

1. Mäkiö O., Malinen M., Neuvonen P., Sinkkilä J., Tuunanen A.-M. ja Saarenpää J., Kerrostalot 1940–1960, Rakennustietosäätiö, Rakennustieto Oy, Helsinki 1989.
2. Salonen H. J., Lappalainen S. K., Riuttala H. M., Tossavainen A. P., Pasanen P. O. ja Reijula K. E., Man-made vitreous fibers in office buildings in the Helsinki Area, J. Occup. Environ. Hyg. 6:10, 624-631, 2009.
3. Koskinen V., Lappalainen V., Murtoniemi T. ja Vehviläinen T., Kuntoarviot vääristävät tieteellisten sisäilmatutkimusten tuloksia? Rakennusfysiikka 2023-seminaari, Tampereen yliopisto 2023, 155-160.
4. Tuomi T., Wallenius K., Mahiout S., Rautiala S., Lappalainen S., Teolliset mineraalikuidut toimistotyyppisissä työtiloissa–Esiintyminen, altistuminen arviointi, terveysvaikutukset ja päästöjen hallinta, Työterveyslaitos 2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:9789522619167>.
5. Kuitunäytteen ottaminen teippimenetelmällä. Näytteenotto-ohje, Työterveyslaitos, marraskuu 2012.

TYÖNTEKIJÖIDEN ALTISTUMINEN SISÄILMAN RADONILLE

Katja Kojo, Tuukka Turtiainen, Olli Holmgren ja Päivi Kurttio

Säteilyturvakeskus

TIIVISTELMÄ

Säteilyturvakeskus (STUK) lähetti vuonna 2018 suomalaisille työsuojeluvaltuutetuille ja -päälliköille kyselyn työpaikan sisäilman radonista. Kyselyyn vastanneet työpaikat saivat kutsun osallistua radonmittauksiin. Tutkimuksessa 700 työpaikkaa mittasi radonpitoisuuden. Tulosten perusteella tehdyn arvion mukaan Suomessa on yli 30 000 työntekijää, joiden työpaikoilla työnaikainen radonpitoisuus ylittää viitearvon 300 becquereliä kuutiometrissä (Bq/m^3). Työpaikan radon on siten merkittävin työperäisen säteilyaltistuksen lähde Suomessa. Vaikka tulosten perusteella keskimääräinen radonpitoisuus oli suomalaisilla työpaikoilla pieni ($41 \text{ Bq}/\text{m}^3$), osa työntekijöistä altistuu silti liian suurille radonpitoisuuksille.

JOHDANTO

Radon on luonnossa esiintyvä radioaktiivinen kaasu, jota syntyy jatkuvasti maankuoressa uraanin hajotessa. Kaasuna radon on erittäin liikkuva, ja voi helposti päästä rakennusten sisäilmaan. Altistuminen sisäilman radonille on toiseksi merkittävin keuhkosyövän syy /1/. Työntekijöiden suojeleminen liialliselta radonaltistukselta on tärkeä osa työsuojelua. Työntekijöiden radonaltistus on arvioitava parhaalla käytettävissä olevalla menetelmällä, jotta voidaan varmistaa riittävät ja tehokkaat suojelutoimenpiteet. Työperäisen radonaltistumisen arviointi on kuitenkin vaikeaa, koska radonpitoisuudet muuttuvat jatkuvasti esimerkiksi sääolosuhteiden ja rakennusten teknisten järjestelmien säätöjen vuoksi.

Suomessa työpaikkojen sisäilman radonpitoisuuksia säännellään säteilylain perusteella /2/. *Radonpitoisuus* työtiloissa, joissa työ on säännöllistä (yli 600 tuntia vuodessa), ei saa ylittää viitearvoa $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Radonpitoisuus määritellään *vuotuisena keskimääräisenä pitoisuutena työaikana*. Myös vuotuiselle *radonaltistukselle* työpaikalla on annettu viitearvo: altistuminen ei saa ylittää 500 000 becquereltuntia kuutiometrissä ($\text{Bq h}/\text{m}^3$). Radonaltistus lasketaan vuoden aikana kaikissa työtiloissa kertyneiden altistusten summana.

Suomalaisten työpaikkojen radonpitoisuuksia arvioitiin vuonna 2005 tutkimuksessa, jossa radonpitoisuutta mitattiin 333 työpaikalla ja keskimääräiseksi radonpitoisuudeksi työaikana arvioitiin $30 \text{ Bq}/\text{m}^3$ /3/. Tämä arvio oli suhteellisen likimääräinen, koska työaikana radonpitoisuuden oletettiin olevan 50 % tuloksesta, joka saatiin kahden kuukauden mittauksesta radonpurkeilla. Radonpurkin tulos ilmoittaa koko mittausjakson keskiarvon (integroitu mittaus). Lisäksi mitattujen työpaikkojen määrä oli melko pieni.

Suomalaisen radonmittauskäytännön mukaan työpaikan radonpitoisuus selvitetään aluksi integroiduilla mittauksilla, jossa radonpurkki (Kuva 1.) on tyypillinen mittauslaite. Radonpurkkien etuna on niiden pienuus, edullisuus ja helppokäyttöisyys.

Purkit sijoitetaan työpaikalle vähintään kahdeksi kuukaudeksi mittauskauden aikana, eli syyskuun alusta toukokuun loppuun /4,5/.



Kuva 1. Radonpurkki.

Radonpurkin tulos on radonpitoisuuden aritmeettinen keskiarvo mittausjakson aikana. Työpaikoilla, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, purkkimittauksen tuloksesta voidaan suoraan arvioida työnaikaisen radonpitoisuuden keskiarvo. Osassa Suomen työpaikkarakennuksista käytetään kuitenkin, joka on ohjelmoitu toimimaan suurella teholla työaikana ja pienellä tai nolllateholla työajan ulkopuolella. Näin ollen työaikana sisäilman radonpitoisuus voi poiketa huomattavasti purkilla mitatusta radonpitoisuuden keskiarvosta /6/.

Jos työpaikoilla, joissa on jaksotettu ilmanvaihto, purkkimittauksen tulos osoittaa, että viitearvo saattaa ylittyä (purkkimittauksen tulos $>333 \text{ Bq/m}^3$), voidaan tehdä lisämittaus jatkuvatoimisella mittalaitteella. Jatkuvatoimisessa radonmittauksessa radonpitoisuus tallennetaan lyhyin väliajoin viikon ajan, jotta havaitaan radonpitoisuuden ajallinen vaihtelu. Radonpitoisuuksien ajallinen vaihtelu on kuitenkin tyypillistä, joten pelkästään viikon mittauksesta määritetty radonpitoisuus ei ole luotettava arvioitaessa radonpitoisuuden vuosikeskiarvoa työaikana. Työnaikaisen ja kokoaikaisen radonpitoisuuden suhde sitä vastoin vaihtelee selvästi vähemmän /6/. Suomessa arvioidaankin työaikaisen radonpitoisuuden vuosikeskiarvo (C_a) hyödyntäen sekä radonpurkilla tehdyn mittauksen että jatkuvatoimisesta mittauksesta saatuja tuloksia (jos sellainen on tehty). Jatkuvatoimiselle mittaukselle määritellään arviointijakso, jonka kesto on tasan viikko tai sen monikerta. Määräyksessä STUK S/6/2022 /5/ on esitetty yhtälö radonpitoisuuden vuotuisen keskiarvon arvioimiseksi työaikana seuraavalla tavalla:

$$C_a = C_T \frac{C_{wo}}{C_{wh}} k_s = C_T k_v k_s \quad (1)$$

jossa

C_T radonpitoisuuden keskiarvo vähintään 2 kk mittauksesta radonpurkilla,

C_{wo} radonpitoisuuden keskiarvo *työaikana* jatkuvatoimisen mittauksen mittausjaksolla,

C_{wh} radonpitoisuuden keskiarvo koko jatkuvatoimisen mittauksen jaksolta (168 h tai sen monikerta),

$k_s = 0,9$. Tämä luku on korjauskerroin vuodenaikaisvaihtelun huomioimiseksi.

Suhdeluku C_{wo}/C_{wh} on ns. ilmanvaihdon korjauskerroin k_v .

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli saada kattavaa tietoa radonpitoisuudesta, jolle suomalaiset työntekijät työaikana altistuvat. Monissa aiemmissa tutkimuksissa työntekijöiden radonaltistuspitoisuuksia on arvioitu pelkästään integroitujen mittausten tulosten perusteella. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa määritettiin työpaikkarakennusten radonpitoisuudet integroitujen mittausten lisäksi myös jatkuvatoimisilla mittauksilla.

MENETELMÄT

Työpaikkojen valinta ja niissä tehdyt radonmittaukset

Työpaikkojen yhteyshenkilöiksi valittiin työsuojeluvaltuutetut ja -päälliköt. Suomessa kaikilla työpaikoilla on oltava nimetty työsuojelupäällikkö, ja työpaikoilla, joilla työskentelee säännöllisesti vähintään kymmenen työntekijää, on oltava työsuojeluvaltuutettu. Marraskuussa 2018 kaikkiin Suomen työsuojeluhenkilöihin ($n = 15\,031$) otettiin yhteyttä sähköpostitse ja lähetettiin kyselylomake. Kyselyssä oli työpaikan radoniin liittyviä kysymyksiä, kuten oliko työpaikalla tehty radonmittauksia ja työskentelivätkö työntekijät pääasiassa rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa. Kyselyyn vastattiin 2 875 työpaikan osalta. Työpaikat, joissa suurin osa (75 % tai enemmän) työntekijöistä työskenteli rakennuksen toisessa tai ylemmissä kerroksissa, jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska radonpitoisuudet ovat yleensä pienet näissä työtiloissa. Lopuille 1 893 työpaikalle lähetettiin kutsu osallistua radonmittauksiin.

Kullekin tutkimukseen osallistuneelle työpaikalle lähetettiin kaksi STUKin radonlaboratorion radonpurkkia. Purkit ohjeistettiin sijoittamaan eniten käytössä oleviin ensimmäisen kerroksen työtiloihin kolmeksi kuukaudeksi. Osallistuvia työpaikkoja kannustettiin tilaamaan tarvittaessa lisää purkkeja. Määräyksessä STUK S/6/2022 määritellään vähimmäisvaatimukset radonmittausten lukumäärälle työpaikoilla, joilla radonmittaukset ovat säteilylain mukaan pakollisia /5/.

Jatkuvatoimisia radonmittauksia tehtiin 334 satunnaisesti valitulla työpaikalla. Mittauksen kestoksi oli suunniteltu joko yksi viikko tai kolme kuukautta. Jatkuvatoimisessa mittauksessa käytettiin RadonEye Plus2- tai RadonEye RD200 -mittalaitteita (RadonFTLab, Korean tasavalta). Laite ohjeistettiin sijoittamaan mittaamaan yhden radonpurkin viereen. Työpaikat täyttivät myös kyselylomakkeen, jossa tiedusteltiin mm. työaikaa koskevia tietoja.

Radonpitoisuuksien arviointi ja aineiston analysointi

Kunkin osallistuvan työpaikan sisäilman radonpitoisuus laskettiin kahden tai useamman radonpurkin aritmeettisena keskiarvona. Radonpurkkien mittaustuloksia painotettiin kahdella eri tavalla. Ensinnäkin mittaustuloksia painotettiin työpaikkojen todellisella lukumäärällä kussakin maakunnassa. Näin otettiin huomioon mahdollinen ero osallistumisaktiivisuudessa maakuntien välillä, eli korkean radonriskin maakunnissa sijaitsevat työpaikat mittaavat yleensä todennäköisemmin kuin matalan radonriskin maakunnissa sijaitsevat työpaikat. Myös työpaikkarakennuksen tyyppi saattaa vaihdella alueittain; maakunnissa, jotka ovat enimmäkseen kaupunkimaisia, on todennäköisesti enemmän monikerroksisia toimistorakennuksia kuin enimmäkseen maaseutumaisissa maakunnissa. Työpaikkojen lukumäärä maakunnittain saatiin Tilastokeskuksesta.

Toiseksi laskettiin painokerroin, jolla huomioitiin työntekijöiden todellinen lukumäärä kussakin Suomen 19 maakunnassa.

Tämä tutkimus on julkaistu kansainvälisessä tieteellisessä artikkelissa /7/. Julkaisussa kuvataan tarkemmin aineiston analysointi, ilmanvaihdon ja vuodenaikaisen vaikutuksen huomioon ottaminen sekä *työnaikaisen radonpitoisuuden, jolle työntekijät altistuvat* C_a , laskeminen. Altistumista arvioitiin sekä deterministisillä, että probabilistisillä menetelmillä. Arvioinnissa huomioitiin suomalaisten työntekijöiden jakautuminen pääasiallisesti sisä- tai ulkotyöhön ja sisätyössä pääasiassa ensimmäisessä tai ylemmissä kerroksissa työskentely. Tässä analyysissä C_a arvioitiin 2 282 460 suomalaiselle työntekijälle. Näistä arvioitiin niiden työntekijöiden määrä, jotka altistuvat viitearvoa 300 Bq/m³ ylittävälle C_a :lle.

TULOKSET

Osallistuneet työpaikat, mitatut työpaikkojen radonpitoisuudet sekä ilmanvaihdon korjauskerroin

Kaikkiaan 772 työpaikkaa hyväksyi kutsun radonmittauksiin. Tutkimukseen osallistuneet työpaikat edustivat erityyppisiä työpaikkoja eli esim. toimistoja, teollisia työpaikkoja sekä myymälöitä. Vähintään yhden radonpurkin tulokset saatiin 700 työpaikalta. Työpaikat, joilla radonmittauksia tehtiin, sijaitsivat yhteensä 178 kunnassa. Kunnat, joissa mitattiin vähintään yksi työpaikka, jakautuivat melko tasaisesti eri puolille maata (kuva 2).

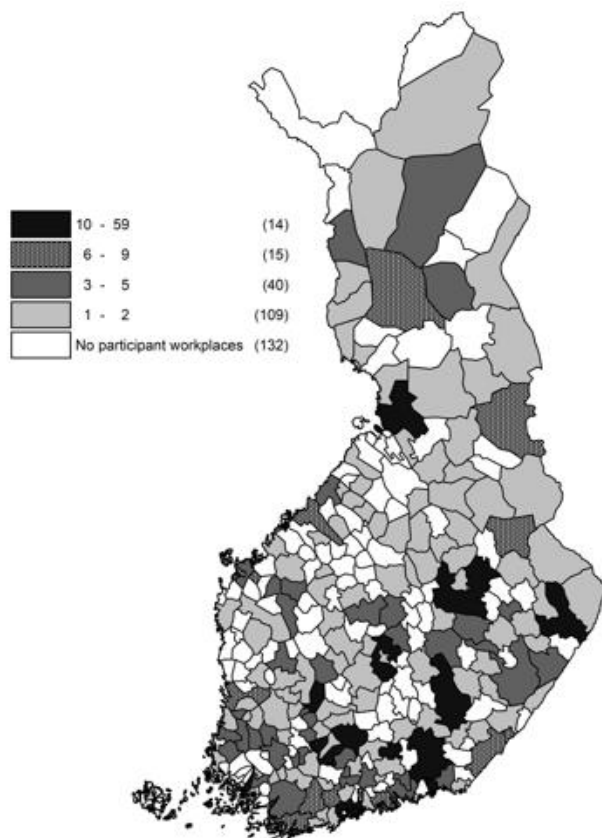
Purkkimittauksilla mitatut työtilojen sisäilman radonpitoisuudet olivat pääsääntöisesti pieniä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Radonpurkeilla mitattujen työpaikkojen radonpitoisuuksien painottamattomat ja painotetut (työpaikkojen määrällä maakunnassa) tunnusluvut.

	Painottamaton	Painotettu
Mitattuja työpaikkoja	700	700
Aritmeettinen ka (95% CI) Bq/m ³	78 (65;91)	91 (91;91)
Geometrinen ka (95% CI) Bq/m ³	34 (31;37)	41 (41;41)
Mediaani (95% CI) Bq/m ³	33 (30;37)	-
Suurin arvo Bq/m ³	2605	-

Radonpitoisuuden todennäköisyysjakauma noudatti log-normaalijakaumaa. Painotettu geometrinen keskiarvo oli 41 Bq/m³ ja geometrinen keskihajonta 3,3 Bq/m³.

Ilmanvaihdon korjauskertoimen C_{wo}/C_{wh} aritmeettinen keskiarvo oli 0,87 ja keskihajonta 0,31. Ilmanvaihdon korjauskerroin ei ollut riippuvainen työpaikan radonpitoisuudesta. 156 tapauksessa radonpitoisuudet olivat kuitenkin niin pieniä (verrattavissa ulkoilman pitoisuuksiin), että jatkuvatoimisesta mittauksesta laskettuun ilmanvaihdon korjauskertoimen k_v arvoon liittyi hyvin suuri epävarmuus, yli 40 % ($k=2$), joten näitä tuloksia ei huomioitu analyysissä.



Kuva 2. Mitattujen työpaikkojen määrät kunnittain.

Radonpitoisuudet, jolle työntekijät työaikana altistuvat

Deterministisellä menetelmällä suomalaisten työntekijöiden arvioitiin altistuvan keskimäärin (aritmeettinen ka, painotettu maakunnan työntekijämäärällä) 33 Bq/m^3 radonpitoisuudelle. Geometrinen keskiarvo vastaavasti oli 19 Bq/m^3 . Probabilistisen todennäköisyysarvioinnin tuloksena saatiin todennäköisyysjakauma, joka edustaa 900 870 työntekijää, jotka työskentelevät tavanomaisilla työpaikoilla, maanpintatason- tai kellarikerroksen tiloissa. Heidän joukossaan radonpitoisuuden geometrinen keskiarvo työaikana oli 30 Bq/m^3 . Näistä työntekijöistä 3,8 % eli 34 000 altistui työaikana yli 300 Bq/m^3 :n radonpitoisuudelle. Ylempien kerrosten työntekijöillä viitearvoa 300 Bq/m^3 suuremmat altistukset ovat hyvin epätodennäköisiä.

POHDINTA JA PÄÄTELMÄT

Tässä tutkimuksessa sovellettiin aikaisemmin julkaistujen /6/ tulosten perusteella arviointimenetelmää, joka antaa parhaan tarkkuuden arvioitaessa työnaikaisia radonpitoisuuksia, joille työntekijät Suomessa altistuvat.

Radonpitoisuus, joka mitataan radonpurkilla, on usein suurempi kuin radonpitoisuus, jolle työntekijät altistuvat. Tämän vuoksi työaikana vallitseva radonpitoisuuden vuosikeskiarvo arvioidaan tässä kuvatulla menetelmällä. Joskus tilanne voi olla myös

päinvastainen: työnaikainen tehokkaiden kohdepoistojen käyttö esim. höyryjen, kemikaalien ja pölyn poistoon vai aiheuttaa rakennukseen alipaineen työnaikana, mikä lisää radonvirtauksia rakennuksen sisäilmaan.

Radonpitoisuudet, joille työntekijät altistuvat, ovat keskimäärin melko pieniä. Kuitenkin yli 30 000 työntekijää altistuu radonpitoisuuksille, jotka ylittävät viitearvon 300 Bq/m³. Vaikka näiden työntekijöiden osuus kaikista suomalaisista työntekijöistä on pieni, on työntekijöiden absoluuttinen määrä kuitenkin suuri verrattuna säteilytyöntekijöiden määrään, joka Suomessa on 14 700. Työpaikan radonaltistus on siis yleisin työperäisen säteilyaltistuksen lähde Suomessa.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella toimivaltainen viranomainen voi paremmin suunnitella resurssejaan ja pyrkiä riskiperusteiseen lähestymistapaan työntekijöiden suojelemiseksi säteilyaltistukselta. On erittäin tärkeää tunnistaa, millä työpaikoilla työpaikan radonpitoisuus on viitearvoa suurempi. Säteilylaki velvoittaa työnantajia radonpitoisuuksien selvittämiseen ja tarvittaessa jatkotoimiin työntekijöiden radonaltistumisen rajoittamiseksi.

LÄHDELUETTELO

1. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Man-made Mineral Fibres and Radon. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 43. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1988. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK316365/>
2. Säteilylaki 859/2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180859>
3. Mäkeläinen I., Moisio S., Reisbacka H., Turtiainen T. 2005 Indoor occupancy and radon exposure in Finland. *Radioactivity in the Environment* 7, 687-693. doi.org/10.1016/S1569-4860(04)07084-6.
4. Turtiainen T., Holmgren O., Kojo K., Kurtio P. 2018 What is the optimum season and length for radon measurement in Finnish homes? Kirjassa: Salomaa S., Lusa M., Vaaramaa K. (Toim.). *Cores Symposium on Radiation in the Environment – Scientific Achievements and Challenges for the Society*. STUK-A261. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 151-154. <https://www.julkari.fi/handle/10024/136620>
5. Säteilyturvakeskuksen määräys luonnonsäteilylle altistavasta toiminnasta STUK S/6/2022. <https://www.stuklex.fi/fi/maarays/stuk-s-6-2022>
6. Turtiainen T., Kojo K., Laine J-P., Holmgren O., Kurtio P. 2021 Improving the assessment of occupational exposure to radon in above-ground workplaces. *Radiat Prot Dosimetry* 196, 44-52. doi: 10.1093/rpd/ncab127.
7. Kojo K., Turtiainen T., Holmgren O., Kurtio P. 2023 Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces. *Health Phys* 125, 92-101. doi: 10.1097/HP.0000000000001692.

MITATTU JA KOETTU SISÄILMASTON LAATU

SUOMALAISTEN KOULURAKENNUSTEN KUNTO JA SISÄILMASTO

Camilla Vornanen¹, Katja Tähtinen^{1,2}, Tuomas Alapieti¹, Tuomas Raunima³, Ilkka Valovirta³, Juha Vinha³, Paavo Kero⁴, Heikki Miettinen⁴, Mikko Simpanen⁵ ja Heidi Salonen¹

¹Aalto-yliopisto

²Rakennustietosäätiö RTS sr.

³Tampereen yliopisto

⁴FCG Finnish Consulting Group Oy

⁵Kuntaliitto

TIIVISTELMÄ

Tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää suomalaisen oppilaitosrakennuskannan kuntoa ja sisäilmaston tilaa, sääolosuhteiden ja energiansäästötavoitteiden vaikutuksia tutkittuihin rakennuksiin, sekä sitä, kuinka kiinteistökannan hallintaa voidaan ohjata tulosten perusteella. Tutkimusaineistona käytettiin koulurakennuksista aiemmin ja hankkeen yhteydessä kerättyjä aineistoja. Hankkeen tuloksina tuotettiin tietoa koulurakennusten kunnosta sekä annettiin suosituksia kuntien koulukiinteistöhallinnan kehittämiseksi, ilmanvaihdon hallintaan ja ilmastomuutoksen huomioimiseksi rakentamisessa. Hanke toteutettiin osana valtioneuvoston vuoden 2022 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (VN TEAS).

JOHDANTO

Suomen rakennuskannan ikärakenne edellyttää uudisrakentamisen laadun parantamisen lisäksi nykyisen rakennuskannan korjaamista ja ennakoivaa kiinteistönpitoa. Kunnissa on paljon korjausissässä olevia tai sen ylittäneitä rakennuksia ja niiden perusparannustarve on yli 16 miljardia euroa /1/. Tarkoituksenmukaisesti ja oikea-aikaisesti korjaamalla taloudelliset resurssit kohdistetaan järkevästi ja samalla ylläpidetään laadukasta sisäympäristöä ja tilojen käyttäjien hyvinvointia. Kunnat ovat aiemmissa selvityksissä raportoineet sisäilmaongelmia erityisesti peruskouluissa ja lukioissa, ja niitä kokevatkin erityisesti kunta-alan työntekijät ja heistä opetustyötä tekevät /2/. Kiinteistökannan ikärakenne ja riittämättömät investoinnit ovat sisäilmaongelmien merkittävimpiä taustasyitä /3/.

Kuntien haasteena on toimivan ja energiatehokkaan ilmanvaihdon ylläpitäminen. Tällä hetkellä käytännöt vaihtelevat suuresti. Osassa rakennuksista ilmanvaihto on päällä jatkuvasti ja osassa käyttöaikojen mukaan /4/. Osittaisilla pysäytyksillä voi kuitenkin olla epäsuotuisia vaikutuksia paine-eroihin /5/ ja ratkaisuksi onkin esitetty myös erillispoistojen sammuttamista poissaoloaikoina /6/. Kaiken kaikkiaan asiasta tarvitaan vielä uutta tutkimustietoa.

Tulevaisuudessa kuntien on myös varauduttava entistä tarmokkaammin ilmastomuutoksen ja sen myötä muuttuvien sääolojen vaikutuksiin rakennuksiin. Rakennusten energiantarvetta ja rakennusfysikaalista toimintaa on tarkasteltava

pisimmillään vuoden 2100 ilmastossa, jotta kosteustekninen toiminta ja vikasietoisuus varmistetaan /7/.

Kunnissa on ollut kattavasta lainsäädännöstä huolimatta käytännössä vaikeaa laatia yhtenäisiä toimintaohjeita sen selvittämiseksi, miten rakenteet ja talotekniikan järjestelmät vaikuttavat sisäilmasto- ja altistumisolosuhteisiin /8/. Kuntotutkimuksiin liittyvissä asiakirjoissa on ollut puutteita ja lausuntojen laadussa huomattavaa vaihtelua /9/. Tämä on vaikeuttanut rakennuskannan korjaustarpeiden hahmottamista ja priorisointia. Lisäksi kokonaiskuvan puute on voinut vaikuttaa suuren yleisön käsityksiin sisäilmasto-ongelmien määrästä, laadusta ja syistä /10/.

Tämän hankkeen tavoitteena oli tuottaa kokonaiskuva Suomen koulurakennuskannan kunnosta ja sisäilmaston nykytilasta, sekä tietoa ilmastomuutoksen, ilmanvaihdon käytön ja paine-erojen vaikutuksesta rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen, sisäolosuhteisiin ja rakenteiden kosteusturvallisuuteen. Lisäksi perehdyttiin rakennuskannan tietojen hallintaan kunnissa. Tutkimuksen kohteena olivat peruskoulu- ja lukiorakennukset. Hankkeen toteuttivat Aalto-yliopisto, Rakennustietosäätiö RTS sr., Tampereen yliopisto ja Kuntaliitto. Tutkimushanke toteutettiin osana valtioneuvoston vuoden 2022 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (VN TEAS).

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koulurakennusten kokonaismäärää, ikää ja investointitilannetta tarkasteltiin laajan rekisteriaineiston avulla. Aineistoja olivat kuntien kiinteistökanta ja oppilaitosrakennuksiin liittyvät Tilastokeskuksen, Valtiokonttorin ja Maakuntien tilakeskuksen rekisterit. Lisäksi hyödynnettiin FCG Finnish Consulting Group Oy:n keräämää teknistä aineistoa rakennusten kuntotiedoista ja tulevista korjauskustannuksista.

Koulurakennusten perustietoja sekä rakenteiden ja ilmanvaihdon nykykuntoa ja tietoa rakennusten sisäilmaston laadusta ja altistumisolosuhteista tarkasteltiin aineistosta, johon kerättiin kuuden eri puolilla Suomea sijaitsevan kunnan kaikkien koulurakennusten tiedot vuosilta 2016–2022. Aineistossa oli 496 koulurakennusta, joista Uudellamaalla sijaitsi 185, Kanta-Hämeessä 53, Pohjanmaalla 36, Pirkanmaalla 83, Varsinais-Suomessa 78 ja Päijät-Hämeessä 61 rakennusta.

Rakennusten kuntoon, sisäilman laatuun ja altistumisolosuhteisiin liittyvä aineisto muodostettiin koulurakennuksista saatavilla olevista kuntotutkimusraporteista, jotka noudattivat oppaan Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus /11/ mukaan tehtyjä kuntotutkimuksia, sekä muista kuntotutkimustasoisesti tehdyistä selvityksistä. Lisäksi aineistoon kerättiin saatavilla olevat rakennusten altistumisolosuhteiden arvioinnin /12/ raportoidut tulokset. Tutkijoilla oli pääsy kuntien tietokantoihin tai muihin tiedonhallintakanaviin, joihin erilaiset suunnitelmat, selvitykset, raportit ja päätökset tallennetaan. Näin saatiin samalla kattavaa tietoa myös tietojen hallinnasta ja saatavuudesta kuntien järjestelmissä.

Ilmanvaihdon säätöä käsittelevässä osuudessa käytettiin aineistona Tampereen yliopiston COMBI- ja Future Spaces -hankkeisiin /5/6/ liittyen kirjoitettuja julkaisuja. Vaipparakenteita käsittelevässä osuudessa aineistona käytettiin julkaistuja oppaita ja opinnäytetöitä /13/.

TULOKSET

Tutkimuksen perusteella koulurakennuksista valtaosa (36 %) oli valmistunut 1950- ja 1960-luvuilla. Rakennuksista 20 % oli valmistunut vuosina 2000–2020.

Rakennuskannan rakennustekniikan korjaustilanteesta oli saatavilla tietoa vain hieman yli puolesta aineiston rakennuksista. Niistä rakennuksista, joista oli tehty kosteus- ja rakennustekninen kuntotutkimus, oli myös useimmiten saatavilla tieto tehdyistä peruskorjauksista. Jokaisessa tarkastellussa kunnassa oli myös tehty koulurakennuksiin kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia, joissa käytetyt menetelmät ja tutkimustuloksista tehdyt tulkinnat vastasivat hyvin tai melko hyvin Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -oppaassa /11/ esitettyjä periaatteita.

Kunnista kerättyjen aineistojen ajantasaisuudessa esiintyi puutteita tai epävarmuutta, ja kaikista rakennuksista tietoa ei ollut systemaattisesti samoissa paikoissa tai järjestelmissä.

Yleisellä tasolla rakennuksissa (N=452) oli todettu poikkeavaa kosteutta noin viidenneksessä, mikrobivaurioita lähes 30 %:ssa sekä poikkeavia materiaali päästöjä 8 %:ssa koulurakennuksista. Yli 70 %:ssa tarkastelluista kohteista (N=54) korjauskustannukset ylittävät 1000 €/m² ja jopa puolessa tapauksista korjauskustannukset nousevat yli 1500 €/m². Altistumisolosuhteiden arviointeja /12/ oli tehty sekä vanhaan että uuteen rakennuskantaan. Niissä rakennuksissa, joissa altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty, arvioinnin tulos kertoi tavanomaisesta poikkeavan olosuhteen olevan useimmiten todennäköinen.

Tieto ilmanvaihtojärjestelmistä löytyi alle 40 %:sta aineiston rakennuksista (N=496) ja yleisin ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä. Tilojen painesuhteet ympäröiviin tiloihin tai vaipan yli ulkoilmaan eivät olleet hallinnassa yli 70 %:ssa rakennuksista, joissa tilannetta oli tutkittu (n=88). Luokkatilojen ilmanvaihdon ilmapirrat eivät vastanneet suunnitelmia 75 %:ssa niistä kohteista, joissa ilmanvaihtojärjestelmiin oli kohdistunut selvityksiä.

Koulujen sisäilma on kuivaa. Koulurakennusten sisäilman suhteellinen kosteus jää talviaikaan alle mitoitusarvojen ja tilojen kosteuslisä pysyy tiukimman kosteusluokan raja-arvojen alapuolella. Tutkimuksen perusteella koulujen sisäilman lämpötila on melko vakaa ympäri vuoden.

Ilmanvaihdon yöaikaisen kokonaan pysäyttämisen vaikutus rakennuksen tilojen paine-eroihin ulkovaipan yli vaikutti rakennuksen alipaineisuuteen enemmän kuin oletettiin, mikä korostaa menettelyyn liittyviä moninaisia haasteita. Sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteisiin ilmanvaihdon yöaikaisella pysäyttämällä ei ollut merkittävää vaikutusta. Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) ja osittain radonpitoisuuden havaittiin nousevan yöaikaan ilmanvaihdon ollessa pysäytettynä. Ilmanvaihdon päälle kytkeminen laski TVOC- ja radonpitoisuudet normaalille tasolle 2–3 tunnissa.

Tulevaisuuden ilmaston sateiden lisääntyminen ja lämpötilojen nousu vaikuttavat rakenteisiin, ja muun muassa ulkoseinien tuulensuojalevyjen lämmönvastuksen ja vesihöyrynläpäisevyyden tulee olla riittävällä tasolla, jotta rakenteisiin ei muodostu otollisia olosuhteita mikrobikasvulle. Lisäksi ulkoseinien puurankarakenteet ovat alttiita julkisivun tuuletusvälin ilmankosteudelle, joka kohoo esimerkiksi kosteusrasitetun julkisivutiilen kautta. Tulevaisuuden ilmastossa tuulettuvien harja- ja pulpettikattojen

yläpohjaan tuleva ilma muodostaa kosteuslähteen. Ongelmaksi muodostuu kosteuden tiivistyminen yläpohjan tuuletustilan kylmille pinnoille.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimushanke vahvisti aiempia havaintoja siitä, että kuntien tiedonhallintajärjestelmät ovat monimuotoisia ja niissä oleva tieto on hajanaista, jolloin kokonaiskuvan muodostaminen kuntien yksittäisten rakennusten ja kiinteistöjen sekä koko Suomen koulurakennuskannan kunnosta ja sisäilmaston laadusta on käytännössä mahdotonta. Tiedonhallintajärjestelmien ja -menetelmien yhdenmukaistaminen paitsi mahdollistaisi ennakoivan kunnossapidon ja korjaamisen sekä resurssien järkevän kohdentamisen, myös edistäisi rakennuskannan käytettävyyttä ja muunneltavuutta sekä rakennusten ja rakennusosien uudelleenkäyttöä ja kierrätystä.

Tutkimuksen tuloksia rakenteiden kunnosta ja sisäilmaston tilanteesta ei voida yleistää koskemaan koko Suomen tai minkään yksittäisen maakunnan oppilaitosrakennuskantaa. Toisaalta tulokset vahvistavat usean aiemman tutkimuksen tuloksia. Mikäli oletetaan, että koko Suomen oppilaitosrakennuskannan tilanne olisi suurin piirtein vastaava kuin tämän tutkimuksen rakennuksissa, vain noin puolesta koulurakennuksista olisi saatavilla luotettavaa tietoa rakennusten kunnosta. Vastaavasti kokonaisvaltaiseen, kuntotutkimuksiin perustuvaa tietoa koulurakennusten sisäilmastoon vaikuttavista tekijöistä ja sisäilman laadusta oli saatavilla vain vähän eikä ilmanvaihtotekniikan selvityksiä tehdä aina järjestelmällisesti kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä. Tällöin kokonaisvaltainen kuva rakennuksen rakenteiden ja järjestelmien toiminnasta ja sisäilmastosta jää puuttumaan.

Altistumisolosuhteiden arviointi tehdään useimmiten vasta silloin, kun rakennuksessa on jo pitkälle edenneitä kosteus- ja mikrobivaurioita ja muita sisäilmaan laatuun vaikuttavia tekijöitä. Näitä voitaisiin välttää rakennuksen suunnitelmallisella huollolla, ylläpidolla ja ennakoivalla sekä oikea-aikaisella korjaamisella ja säännöllisten kuntoarvioiden, katselmusten ja tarpeellisten kuntotutkimusten avulla. Peruskorjauspäätöksiä ja osittaisia korjauksia näyttävät tutkimuksen perusteella ohjaavan usein todetut kosteuspoikkeamat ja mikrobivauriot sekä altistumisolosuhteiden arvioinnin tulokset.

Ilmavirtojen suunnitelmien mukaisuus ja ilmamäärien tasapainottaminen on tutkimuksen perusteella heikkoa kaikenikäisissä rakennuksissa eikä se näytä paranevan merkittävästi peruskorjauksien jälkeen. Ilmanvaihdon tasapainottaminen on vaikeaa erityisesti hyvin ilmatiiviissä rakennuksissa. Vastaavasti painesuhteiden hallinta tilojen välillä ja rakennuksen vaipan yli osoittautui vaikeaksi riippumatta rakennuksen iästä. Ilmavirtojen suunnittelussa, varmentamisessa ja säätämisessä on aina otettava huomioon koko rakenteiden ja järjestelmien toiminta sekä tilojen käyttö ja toiminnot. Koulujen talviajan kuivaan sisäilmaan liittyen suositellaan jatkotutkimuksia esimerkiksi ylipaineisuuden sallimisesta tai sisäilman kostuttamisesta.

Tutkimuksen mukaan ilmanvaihdon poissaolonaikainen pysäyttäminen on käytönaikaisen sisäilman laadun kannalta turvallista, kunhan se suunnitellaan ja toteutetaan huolellisesti rakennuksen ja sen järjestelmien ominaisuudet huomioiden. Ilmanvaihto on myös käynnistettävä uudelleen riittävän aikaisin ennen rakennuksen käyttäjien saapumista mahdollisten kohonneiden epäpuhtauspitoisuuksien poistamiseksi. Ilmanvaihdon lämmitysenergiesästä voi olla jopa 26 % yönaikaisella pysäytyksellä.

Kuntien on varauduttava ilmastomuutokseen myös rakennusten ylläpidon ja rakentamisen osalta, sillä kosteusrasitukset lisääntyvät ja kuivumismahdollisuudet heikkenevät. Moniin nykyisiin rakennetyyppeihin joudutaan tekemään muutoksia niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Erityisesti ulkobetonirakenteiden raudotteiden korroosioriski ja puurunkorakenteiden kosteus- ja homehtumisriski kasvavat merkittävästi Etelä-Suomessa, jossa sademäärät lisääntyvät ja lämpötila nousee. Muutostarpeet kohdistuvat myös tuulettuviin yläpohjiin, joissa on jatkossa optimoitava tuuletustilan ilmanvaihtuvuutta. Toistaiseksi nykykäytännöissä kuitenkin pitäydytään tuetuksen rajoittamiseen liittyvien riskien vuoksi. Paikalliset olosuhteet on otettava huomioon, sillä ilmastomuutos vaikuttaa eri puolilla Suomea eri tavoin.

Yleisesti ottaen nykyinen rakennuskanta selviää kuitenkin tulevaisuuden olosuhteista ja nykyään hyvin toimivat rakenteet toimivat pääosin tulevaisuudessakin. Muuttuvan ilmaston rasitus lisää entisestään tarvetta huolelliseen rakenteiden, järjestelmien ja rakennuksen kunnon seurantaan ja ennakoivaan kiinteistönpitoon. Ajantasaista tutkimustietoa on syytä seurata rakentamisessa ja kiinteistönhallinnan ohjauksessa.

Tutkimushankkeen tulokset ovat luettavissa kokonaisuudessaan hankkeen loppuraportissa /14/.

LÄHDELUETTELO

1. ROTI 2021. Rakennetun omaisuuden tila 2021. Saatavilla: <https://www.ril.fi/fi/alan-kehitys/roti-2023/taustat/roti-raportit.html>
2. Tähtinen K., Remes J., Karvala K., Salmi K., Lahtinen M., Reijula K. 2020. Perceived indoor air quality and psychosocial work environment in office, school and health care environments in Finland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 33(4), 479–495. Saatavilla: <https://bibliotekanauki.pl/articles/2116581>
3. Kero P., Salmela A., Jalkanen K., Niemi J., Mäntynen K., Lindqvist H., Skön N., Hyvärinen A., Koramo M., Lahdenkauppi L., Korhonen E., Oksanen R., Miettinen H. 2021. Sisäilmaongelmien korjaamiseen liittyvät investoinnit, priorisointitarpeet ja päätöksenteko kunnissa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:45. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163213/VNTEAS_2021_45.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuistio 14.3.2019.
5. Vinha J., Laukkanen A., Kaasalainen T. ym. 2019. Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings (COMBI). Tutkimushankkeen johdanto- ja yhteenvetoraportti. Tutkimusraportti 168, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio, Rakennetekniikka. 45 + 111 s. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116607>
6. Tampereen yliopisto. 2020. Future Spaces -tutkimushanke. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/future-spaces/>

7. Jylhä K., Ruosteenoja K., Böök H. ym. 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säättietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos. Raportteja - Rapporter - Reports 2020:6. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/321164>
8. Tähtinen K. 2020. Perceived indoor environment and probability of abnormal indoor air exposure in health care workplaces. Aalto University publication series doctoral dissertations, 125/2020. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/46635>
9. Marttila T., Annala P., Kero P., Suonketo J., Heino S., Pentti M. 2015. HKPro3 – valtion tukemien homekorjaushankkeiden arviointi. Jatkotutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 163. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116586>
10. Huttunen K. 2021. Sisäilma, terveys ja riskikäsitykset. Ympäristö ja Terveys -lehti, 5;2021. Vsk 52.
11. Pitkäranta M. (toim.). 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>
12. Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K. ym. 2017. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. Työterveyslaitos. Helsinki. Saatavilla: <https://www.julkari.fi/handle/10024/131872>
13. Laukkarinen A., Jokela T., Vinha J., Pakkala T., Lahdensivu J., Lestinen S., Jokisalo J., Kosonen R., Lindfors A., Ruosteenoja K., Jylhä K. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet: RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 3. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>
14. Tähtinen K., Vornanen C., Alapieti T., Raunima T., Valovirta I., Kero P., Miettinen H., Simpanen M., Vinha J., Salonen H., 2023. Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:57. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-023-3>

SISÄILMASTON LAATU SUOMALAISISSA UIMAHALLIRAKENNUKSISSA

Stefanos Liappas¹, Camilla Vornanen², Raimo Mikkola² ja Heidi Salonen²

¹Caverion Suomi Oy

²Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää sisäilmaston laatua suomalaisissa uimahallirakennuksissa. Tutkimus tehtiin osana Aalto-yliopiston ENSIHALLI-hanketta. Uimahalleissa mitattiin sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksia, mikrobien kokonaispesäkemääriä sekä pintojen mikrobipitoisuuksia. Lisäksi tehtiin jatkuvatoimisia olosuhde- ja paine-eromittauksia SmartWatcher Oy:n paine-eroantureilla ja SmartSensor-mittalaitteilla. Tutkimuksen perusteella suomalaisissa uimahalleissa esiintyvien epäpuhtauksien pitoisuudet ovat kansainvälisiin tuloksiin verrattuina vähäisiä, vaikka olosuhteet ja paine-erot eivät täyttäneet ohjearvoja kaikkien hallien osalta.

1. JOHDANTO

Uimahallien sisäilmaston laatua on tutkittu melko vähän verrattuna muihin julkisiin tiloihin kuten koulu- ja toimistorakennuksiin. Uimahallien sisäilmanlaatututkimukset ovat pääosin keskittyneet klooratusta vedestä peräisin olevien desinfiointiaineiden sivutuotteiden selvittämiseen. Muista epäpuhtauksista julkaistu tutkimustieto on melko vähäistä ja lisätutkimuksia tarvitaan. Uimahalleissa esiintyvät epäpuhtaudet ja niiden määrä ovat riippuvaisia käytetyistä kemikaaleista, rakennustekniikasta ja materiaaleista sekä ihmisten henkilökohtaisesta hygieniasta. Myös lämpötilan ja suhteellisen kosteuden huomioiminen altistumiskysymysten arvioinnissa on tärkeää, koska niillä on merkittävä vaikutus koettuun sisäilmaan sekä materiaaliemissioihin. /1/.

Uimahalleissa suurinta huolta aiheuttavat erityisesti haihtuvat desinfiointin sivutuotteet kloroformi (CHCl_3) ja typpitrikloridi (NCl_3). Ne on yhdistetty useisiin eri ärsytysoireisiin allastyöntekijöillä ja uimareilla. Yhdisteitä syntyy, kun ihmisestä irtoava orgaaninen aines ja typpiyhdisteet reagoivat desinfiointissa käytetyn kloorin kanssa. Vaikka edellä mainittujen epäpuhtauksien terveysvaikutukset ja lähteet ovat tiedossa, niille altistumisesta tutkimustietoa on rajoitetummin. /1/. Tämän tutkimuksen pää tavoitteena oli lisätä tietoa suomalaisten uimahallien sisäilmaston laadusta. Työssä tutkittiin tilankäyttäjien altistumista mikrobiologisille, kemiallisille ja hiukkasmaisille epäpuhtauksille uimahallirakennuksissa. Lisäksi selvitettiin uimahalleissa esiintyvien epäpuhtauksien mahdollisia lähteitä, keinoja haitallisen altistumisen vähentämiseksi sekä uimahallien fysikaalisia olosuhteita.

2. TUTKIMUSAINEISTO JA – MENETELMÄT

2.1. Tutkimusaineisto

Tutkimus tehtiin osana ENSIHALLI-hanketta, joka oli pääkaupunkiseudun kaupunkien ja Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksen yhteistyössä toteuttama ja Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama hanke (OKM/141/626/2019).

Tutkimuskohteina oli kolme pääkaupunkiseudun uimahallirakennusta.

2.2. Tutkimusmenetelmät

2.2.1. Sisäilman kemialliset yhdisteet

Sisäilman VOC-näytteiden avulla mitattiin kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia sisäilmassa ja sitä, kuinka paljon sisäilmassa on haitalliseksi luokiteltua ns. indikaattoriyhdisteeksi kutsuttua kloroformia. Ilmanäytteet kerättiin yhdistelmäkeräinputkiin (Tenax TA–Carbograph 5TD). Jokaisesta uimahallista kerättiin viisi VOC-ilmanäytettä oleskeluvyöhykkeeltä tilan keskialueelta, noin metrin korkeudesta tai lattian rajasta.

2.2.2. Ilman ja pintojen mikrobipitoisuudet

Ilmanäytteitä kerättiin kolme kappaletta jokaisesta uimahallista sekä yksi ulkoilmavertailunäyte hallia kohden. Näytteet kerättiin RCS High Flow Touch Microbial Air Sampler -ilmakeräimellä tilavuusvirralla 100 l/min. Mikrobit kerättiin kahdelle kasvatusalustalle, sienet ja hiivat omalle sekä bakteerit omalle elatusalustalleen. Näytteenottoaika sienille ja hiivoille oli 10 min sekä bakteereille 1 min oletetun suuremman bakteeripitoisuuden vuoksi. Näytteitä kasvatettiin 7 vuorokautta huoneenlämmössä noin 23 °C:ssa. Kasvatuksen jälkeen syntyneiden pesäkkeiden määrät laskettiin.

Pintanäytteitä kerättiin Hygicult TPC -hygieniatestillä uimahallien allas-, pesu- ja pukuhuoneiden pinnoilta sekä oven kahvoista ja suihkusekoittajista. Kasvatus tehtiin samoin kuin ilmanäytteille. Näytteitä kerättiin 13 kpl/halli.

2.2.3. Olosuhdemittaukset

Jatkuvatoimiset seurantamittaukset tehtiin SmartWatcher Oy:n paine-eroantureilla ja SmartSensor-mittalaitteilla. SmartSensor on sisäilman laadun mittaukseen tarkoitettu jatkuvatoiminen seurantamittari, jolla voidaan mitata lämpötilaa (°C), suhteellista kosteutta (% RH), hiilidioksidi- (ppm) ja pienhiukkaspitoisuutta (PM1, PM2.5, PM4.0 ja PM10 µg/m³) sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta (TVOC ppb). Paine-eroa ulkovaipan tai rakenteiden yli mitattiin erillisellä paine-eroanturilla. Mittarit asennettiin tiloissa noin 1–1,5 metrin korkeudelle. Seurantamittarit mittasivat seurantajaksolla (2 kk) allastilojen hiilidioksidipitoisuutta, lämpötilaa, suhteellista kosteutta, TVOC- ja pienhiukkaspitoisuutta sekä valvomon ja allastilan välistä paine-eroa 10 minuutin välein. Yhdessä uimahallissa mitattiin myös sisäilman ja ulkoilman välistä paine-eroa. Yhdet olosuhdemittarit asennettiin myös jokaisen uimahallin isoa allastilaa palvelevan ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanaviin.

3. TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

3.1. Sisäilman kemialliset yhdisteet

Taulukossa 1 on esitetty VOC-ilmanäytteiden kloroformipitoisuudet yhdisteen omalla vasteella laskettuna eri uimahallien eri allastiloissa. Uimahallien sisäilman kloroformipitoisuudet (36–110 µg/m³) olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa suomalaisissa mittauksissa (6–84 µg/m³) /2–3/ ja osin pienempiä kuin ulkomaisissa tutkimuksissa (28–906 µg/m³) /5–8/. Kaikkien VOC-ilmanäytteiden kloroformipitoisuudet jäivät selvästi kloroformin HTP-arvosta 10 mg/m³. Myöskään asumisterveysasetuksen toimenpideraja 50 µg/m³ yksittäiselle yhdisteelle tolueenivasteella laskettuna ei ylittynyt minkään yhdisteen osalta. Allastilojen ilmanäytteiden kloroformipitoisuudet olivat suurimpia omalla vasteella laskettuna. TVOC-pitoisuudet olivat 30–190 µg/m³ välillä.

Taulukko 1. Kloroformipitoisuudet µg/m³ mittaushetkillä yhdisteen omalla vasteella laskettuna.

	Valvomo	Allastila 25 m, keskeltä	Terapia-allastila	Allastila 25 m, lattialta	Suihkutilat
Töölö	12	47	68	44	17
	Valvomo	Allastila (25 m ja opetus)	Monitoimi-allastila	Hieronta-allastila	25 m altaan päädyistä
Kerava	15	77	60	110	58
	Valvomo	Allastila (25 m ja opetus)	Terapia-allastila	Poreallastila	Hyppyallas-tila
Leppävaara	10	40	36	40	79

3.2. Ilman ja pintojen mikrobipitoisuudet

Kaikissa uimahalleissa allastilojen sieni-itiöpitoisuudet olivat vähäisiä (0–39 pmy/m³), kuten aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa /2–3/. Kaikissa näytteissä sieni-itiöpitoisuudet jäivät ulkoilmavertailunäytteen alle lukuun ottamatta yksittäistä suihkutilaa, jossa pitoisuus oli 15 pmy/m³ vertailunäytettä korkeampi. Myös asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen riittämätöntä ilmanvaihtoa indikoivalle bakteeripitoisuudelle annettu ohjearvo 4500 pmy/m³ ylittyi (5030 pmy/m³) kyseisen suihkutilan osalta, kun tilassa oli paljon uimareita. Muuten bakteeripitoisuudet jäivät pieniksi (20–510 pmy/m³).

Pintanäytteiden pitoisuudet olivat pieniä ja jäivät selvästi alle asuntojen pintanäytteille annetun mikrobivaurioon viittaavan raja-arvon 1000 pmy/cm² /4/. Suurin osa pintojen mikrobipitoisuuksista jäi välttävään puhtaustasoon 20–100 pmy/puoli (71 % näytteistä ≤ 45 pmy/puoli). Vain yksittäinen suihkutilan käytävän lattian pintanäyte ylitti huonon puhtaustuloksen ja kosteissa tiloissa käytetyn omavalvonnan toimenpiderajan 100 pmy/puoli. Yhdeksän näytteen pitoisuudet olivat hyvällä tasolla alle 20 pmy/puoli. Hyvän puhtaustuloksen näytteet painoutuivat ruostumattoman teräksen pinnoille eli oven kahvoihin ja suihkusekoittajiin. Yhdessä uimahallissa puhtaan tuloksen näytteet painoutuivat suihkutilan lattian roiskevesialueelle.

3.3. Olosuhdemittaukset

Paine-eroa mitattiin valvomoiden ovista kaikissa uimahalleissa sekä ulkovaipan yli yhdessä uimahallissa. Yhden uimahallin valvomo oli suurimman osan ajasta lievästi

ylipaineinen (0,7–1,3 Pa) ja toisen suurimman osan ajasta alipaineen puolella vaihdellen $\pm 0,5$ Pa:n välillä. Kolmannen uimahallin valvomon paine-ero vaihteli pääosin -5–0 Pa:n välillä, mutta mittauksessa havaittiin noin viikon ajanjakso, jossa paine-ero vaihteli 100–60 Pa:n alipaineesta 5–30 Pa:n ylipaineeseen. Tutkittu allastila oli ylipaineinen (0–10 Pa) ulkoilmaan nähden suurimman osan mittausajasta.

Kahden uimahallin allastilojen hiilidioksidipitoisuudet vaihtelivat suurimman osan ajasta sisäilmastoluokkien S1 (yksilöllinen tavoitetaso ≤ 750 ppm) ja S2 (hyvä ≤ 950 ppm) välillä. Yhdessä uimahallissa pitoisuudet vaihtelivat suurimman osan ajasta hyvän ja tyydyttävän tason (≤ 1200 ppm) välillä. Valvomoissa havaittiin enemmän tyydyttävän tason ylittäviä pitoisuuksia ja yhdessä valvomossa ylitettiin sisäilmastoluokituksen tyydyttävä taso 1200 ppm päivittäin käyttöaikoina. Kyseinen valvomo oli pinta-alaltaan pienin tutkimuksissa mukana olleista, mikä on voinut vaikuttaa tulokseen, sillä käyttäjät olivat lähempänä anturia.

Uimahallien lämpötilat olivat suurimman osan ajasta noin 27–29 °C käyttöaikoina. Yhdessä uimahallissa havaittiin suurempaa lämpötilojen vaihtelua yö- ja päiväsaikaan. Hieronta-allastiloissa lämpötilat olivat pääsääntöisesti korkeampia kuin muissa allastiloissa. Yhden uimahallin allastilojen lämpötilat olivat paremmin ohjearvojen rajoissa. Veden lämpötiloja ei tutkimuksessa mitattu, mutta havaintojen mukaan allasvesien lämpötilat olivat 30–32 °C hieronta- ja terapia-allastiloissa sekä 26–28 °C pää- ja hyppyallastiloissa. Myös osassa valvomoissa havaittiin suhteellisen korkeita lämpötiloja (21–31 °C), joista yhdessä lämpötila oli lähes päivittäin noin 27–28 °C päiväsaikaan. Kahdessa muussa valvomossa lämpötilat olivat pääosin 23–26 °C.

Suhteellinen kosteus oli suurimmassa osassa allastiloista noin 40–60 % RH. Yli 60 % RH ylittyi hetkellisesti yksittäisillä kerroilla kahdessa uimahallissa. Yhden hallin hieronta-allastilassa ylitettiin 60 % RH hetkellisesti päivittäin ja havaittiin myös yksi muutaman tunnin ajanjakso, jossa suhteellinen kosteus oli yli 60 % RH. Kyseisessä allastilassa suhteellinen kosteus ylsi myös hetkellisesti 70 % RH tasolle, mikä on mikrobikasvun mahdollistava olosuhde. Valvomoissa suhteellinen kosteus oli selvästi alhaisempi (20–40 % RH). Yhden uimahallin tulo- ja poistoilmakanavissa lämpötila (0–20 °C) ja suhteellinen kosteus (60–90 % RH) poikkesivat selvästi kahden muun hallin tuloksista (24–32 °C ja 30–45 % RH).

Uimahallien allastilojen TVOC-pitoisuudet olivat 0–11 900 ppb, mutta suurimman osan ajasta 0–250 ppb. Selkeästi korkeimpia TVOC-pitoisuuksia ja säännöllisiä pitoisuuksien nousuja havaittiin uimahallien valvomoissa. VOC-ilmanäytteiden ja jatkuvatoimisten mittalaitteiden VOCien kokonaispitoisuuksien todettiin korreloivan noin puolessa otetusta näytemäärästä. Yli puolessa antureista pitoisuus oli merkittävästi ilmanäytteen pitoisuutta suurempi. Korkeimpia ja säännöllisiä TVOC-pitoisuuksia antureilla mitattiin valvomoissa, mikä antoi viitteitä, että laitteet reagoivat ihmisiin.

Laitteilla mitatut pienhiukkaspitoisuudet olivat allastiloissa 0,1–25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valvomoissa 0,1–12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ilmanvaihtokanavissa 0,1–1733 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ollen kuitenkin suurimman osan ajasta 0,1–5 tai 0,1–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tilasta riippuen. Hieronta-allastilojen pitoisuudet olivat pääosin korkeampia muihin allastiloihin verrattuna. Yhden uimahallin ilmanvaihtokanavan tuloksista voitiin havaita selkeä ero tulo- ja poistokanavien pitoisuuksien välillä siten, että poistossa on havaittavissa kohonneita pitoisuuksia päivittäin. Muiden hallien osalta ei havaittu selkeää eroa ilmanvaihtokanavien välillä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kloroformin pitoisuuden noususta saatiin viitteitä veden pisaroidessa sekä suhteellisen kosteuden noustessa. Useimmiten korkea ilman suhteellinen kosteus on seurausta korkeasta lämpötilasta ja huonosta ilmanvaihdesta. Allasveden lämpötilan havaittiin vaikuttavan allastilan kloroformipitoisuuteen nostavasti erityisesti yhdessä sekä osin myös kahdessa muussa uimahallissa.

Valvomoiden todettiin vähentävän työtekijöiden altistumista desinfiointiaineiden sivutuotteille ja parantavan työolosuhteita. Ilmastoitujen valvomoiden osalta on kuitenkin hyvä huolehtia, että valvomo pysyy tasapaineisena tai lievästi ylipaineisena allastilaan nähden, jotta epäpuhtaudet eivät kulkeudu allastiloista valvomoon.

Tutkimuksessa ei havaittu poikkeavia mikrobipitoisuuksia allastilojen ilmanäytteissä tai pinnoilla /4/. Ilmanäytteiden pitoisuuksia ei voida kuitenkaan suoraan verrata asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen ohjearvoihin, koska käytössä on ollut eri ilmanäytteenottomenetelmä ja poikkeava ympäristö. Voidaankin todeta, että lisää menetelmävertailua tarvitaan Andersen 6-vaiheimpaktorin ja RCS High Flow Touch Microbial Air Samplerin välillä. Laite voi tarjota kustannustehokkaamman vaihtoehdon sisäilman mikrobinäytteenottoille kokonaisvaltaisessa kosteus- ja sisäilmatutkimuksessa, mikäli lajiston tunnistaminen elatusliuskoilta on mahdollista sekä poikkeavat pesäkeluvut ovat luotettavasti arvioitavissa.

Pintamikrobinäytteissä puhtaimmat tulokset painottuivat oven kahvoihin sekä suihkusekoittajiin, mikä viittaa siivouksen tehostamiseen usein kosketeltavilla pinnoilla COVID-19-tartuntataudin ehkäisemiseksi.

Lämpötilat ja suhteelliset kosteudet eivät täyttäneet ohjearvoja kaikkien allastilojen osalta /9/. On tärkeää varmistua siitä, että uimahallien ilmanvaihto on riittävä. Lisäksi on huolehdittava, että hallit pysyvät jatkuvasti alipaineisina ulkoilmaan nähden, koska halli- ja suihkutilojen ilman absoluuttinen kosteus on erittäin korkea ja ylipaineen on todettu aiheuttavan vakavia kosteus- ja lahovaurioita muun muassa uimahallien yläpohjarakenteisiin.

Allastilojen sisäilman lämpötilat olivat suurimman osan ajasta ohjearvojen alapuolella kahdessa uimahallissa /9/. Allastilojen lämpötilat olivat allasvesiä alaisemmat tai samalla tasolla, mikä vähentää veden ja epäpuhtauksien haihtumista sekä parantaa tilojen energiatehokkuutta. Liian alhaiset lämpötilat voivat kuitenkin heikentää uimareiden viihtyvyyttä allastiloissa.

Ilmanvaihtokanaviin asennettujen jatkuvatoimisten mittareiden tuloksista havaittiin lämpötilojen ja suhteellisten kosteuksien vaihtelevan eri uimahallien välillä, ja tulokset poikkesivat selvästi yhden uimahallin ilmanvaihtokanaviin asennetuissa mittareissa. On syytä varmistua myös ilmanvaihtojärjestelmän lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta, jottei järjestelmään pääse muodostumaan otollisia kasvuolosuhteita mikrobeille, erityisesti likaisissa ilmanvaihtokanavissa.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden hiilidioksidimittausten perusteella ilmanvaihtuvuus oli riittävä tilojen käyttöön nähden kaikissa tiloissa eivätkä asumisterveysasetuksen toimenpiderajat ylittyneet minkään tilan osalta. Myös valvomoissa on hyvä varmistua riittävästä ilmanvaihdesta tilojen käyttäjämääriin nähden.

Jatkuvatoimisten mittareiden TVOC- ja pienhiukkaspitoisuuksien tulosten vertailun perusteella anturit vaikuttivat toimivan pitoisuuksien vaihtelun seurannassa, mutta eivät

luotettavasti absoluuttisten pitoisuuksien mittauksessa. Lisää mittaushetkiä tarvitaan, jotta saataisiin luotettava arvio jatkuvatoimisten mittalaitteiden soveltuvuudesta erityisesti hiukkas- ja TVOC-pitoisuuksien mittaamiseen.

Tutkimuksen perusteella suomalaisissa uimahalleissa esiintyvät epäpuhtauspitoisuudet ovat muihin maailmalla julkaistuihin uimahallitutkimuksiin verrattuna vähäisiä, vaikka olosuhteet ja paine-erot eivät täyttäneet ohjearvoja kaikkien hallien osalta.

5. KIITOKSET

Kiitokset Rakennustekniikan laitokselle, pääkaupunkiseudun kaupungeille sekä opetus- ja kulttuuriministeriölle tutkimuksen mahdollistamisesta ja rahoittamisesta.

6. LÄHDELUETTELO

1. Salonen H., Salthammer T. ja Morawska L. 2020. Human exposure to air contaminants in sports environments. *Indoor Air*, vol. 30, no. 6, s. 1109-1129.
2. Valkeinen R., Kalliokoski P., Päivinen M., Patovirta R., Putus T., Jauhiainen T., Reiman M., Rautiala S., Rantio T., Mäkinen M., Hyttinen M., Tarhainen J., Kokkoti H., Korpi A. ja Tukiainen H. 2007. Uimahallien allastilojen työolosuhteet ja henkilökunnan hengityselinoireet. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitosten monistesarja 5/2007
3. Kokkoti, H., Jauhiainen, T., Yli-Pirilä, T., Hirvonen, A., Halonen, R., Korpi, A., Kesikuru, T., Kujanpää, L., Reiman, M. 2007. Air quality in indoor swimming pools: associations with air distribution, water treatment, aerosols and airway symptoms. The 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference, Crete Island, Sept. 27-29.2007.
4. Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa IV Asumisterveysasetus § 20.
5. Fantuzzi G., Righi E., Predieri G., Giacobazzi P., Mastroianni K ja Aggazzotti G. 2010. Prevalence of ocular, respiratory and cutaneous symptoms in indoor swimming pool workers and exposure to disinfection by-products (DBPs). *Int J Environ Res Public Health*. 2010;7:1379-1391.
6. Font-Ribera L., Kogevinas M. ja Zock JP. ym. 2010. Short-term changes in respiratory biomarkers after swimming in a chlorinated pool. *Environ Health Perspect*. 2010;118:1538-1544.
7. Gouveia P., Felgueiras F., Mourão Z., Fernandes EDO., Moreira A ja Gabriel MF. 2019. Predicting health risk from exposure to trihalomethanes in an olympic-size indoor swimming pool among elite swimmers and coaches. *J Toxicol Environ Health, Part A*. 2019;82:577-590.
8. Manasfi M., Termine-Roussel B., Coulomb B., Vassalo L. ja Boudenne JL. 2017. Occurrence of brominated disinfection byproducts in the air and water of chlorinated seawater swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Volume 220. s. 583-590.
9. RIL 235-2009. Uimahallin rakenteiden suunnittelu ja kunnonhallinta. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SISÄLIIKUNTATILOJEN KOETTU JA MITATTU SISÄYMPÄRISTÖN LAATU

Marko Hyttinen, Linda Luostarinen, Isla Hahl ja Pertti Pasanen

Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos

TIIVISTELMÄ

Sisäilman laadulla on merkittävä vaikutus erilaisten liikunta- ja monitoimihallien käyttökokemukseen, joissa käyttäjämäärät voivat olla suuria ja toiminnot vaihtelevat liikuntaharrastuksista erilaisiin messutapahtumiin. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kahden sisäliikuntapaikan koettua ja mitattua sisäympäristön laatua tilojen normaalien liikuntaharrastusten aikana. Tutkimuksen perusteella käyttäjät kokivat useimmiten oireita tai epämukavuutta, jotka liittyivät kurkun ärsytykseen, kuivaan ilmaan, tunkkaiseen ja huonoon ilmanlaatuun, riittämättömään ilmanvaihtoon sekä pölyyn tai likaun. Ilmanlaatu liittyen hiukkasiin, haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (esim. TVOC, 20–74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), lämpötilaan, kosteuteen ja hiilidioksidiin oli kuitenkin tutkimuksen mukaan hyväksyttävällä tasolla, ja ne olivat pääsääntöisesti viitearvojen alapuolella.

JOHDANTO

Sisäliikunnan suosio on kasvanut merkittävästi terveyden ja liikunnan edistämisen myötä ja se on johtanut sisäliikuntapaikkojen määrän voimakkaaseen kasvuun viimeisten vuosikymmenten aikana. Suomessa on tällä hetkellä yli 7 000 toiminnassa olevaa sisäliikuntapaikkaa, jotka voidaan jaotella niiden käyttötarkoituksen mukaan mm. monitoimi-, urheilu-, jalkapallo- ja jäähalleihin, kuntosaleihin, keilahalleihin sekä koulujen liikuntasaleihin /1/. Sisäliikuntapaikkoja käyttävistä asiakkaista merkittävä osa on työikäisiä aikuisia, mutta tiloja käyttävät myös nuoret liikunnan harrastajat. Tämän lisäksi sisäliikuntapaikat toimivat monien liikunta-alan ammattilaisten, kuten liikunnanopettajien ja -ohjaajien, valmentajien sekä siivoajien, työympäristöinä /2/.

Sisäliikuntapaikkojen sisäympäristöt poikkeavat paljon aiemmin tutkituista sisäympäristöistä mm. materiaalivalintojen, käyttäjämäärien, huonekorkeuden ja ihmisten käyttäytymisen osalta, jonka vuoksi ihmisten altistuminen sisäilman epäpuhtauksille on erilaista mihinkään muuhun sisäympäristöön verrattuna /3/. Sisäliikuntapaikoissa käytetään myös paljon erilaisia muovi- ja kumimateriaaleja, kuten juoksualustoja ja mattoja, joiden vaikutuksista sisäilman laatuun ja siten myös ihmisten terveyteen ei ole vielä tarkkaa tietoa /4/.

Hengitystiealtistumisen kannalta laadukas sisäilma on tärkeää kuormittavien urheiluasuoritusten aikana, jolloin sisään hengitetyn ilman määrä on suurempi ja hengitys tapahtuu pääasiassa suun kautta. Tällöin nenän suodatusmekanismit ohittuvat ja lisääntynyt ilmavirta kuljettaa epäpuhtaudet syvemmälle hengitysteihin. Hengitystiheyden ollessa suurempi pienten hiukkasten lisäksi myös suurempien hiukkasten ja kaasumaisten epäpuhtauksien on havaittu kulkeutuvan syvemmälle hengitysteihin. /2,3,4,5/ Altistuminen korkeille hiukkaspitoisuuksille urheiluasuorituksen aikana on huomattu laskevan urheilijoiden suoritusta jopa 3–5%, ja he väsyvät nopeammin /6/. Kilpaurheilun ja liikunnan harrastajat ovat tuoneet esille liikuntapaikkojen sisäympäristön laatuun liittyviä puutteita ja kokeneet sen vaikuttavan

harjoittelun laatuun ja viihtyisyyteen tiloissa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kahden sisäliikuntapaikan mitattua ja koettua sisäympäristön laatua.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Sisäilmamittaukset ja käyttäjäkyselyt tehtiin kahdessa sisäliikuntapaikassa kevään 2023 aikana. Mittauskohde 1 oli monitoimihalli, jossa pystyi harrastamaan monenlaisia liikunta-aktiviteetteja ja tila mahdollisti myös erilaisten tapahtumien järjestämisen. Mittauskohde 2 oli rakennettu alun perin väestönsuojaksi. Tutkimuksessa selvitettiin käyttäjien kokemaa viihtyvyyttä ja oireilua kyselyn avulla. Käyttäjäkyselyä jaettiin satunnaisesti tiloja käyttäville sähköisesti tai paperisena tutkimuspäivien aikana. Sisäilmamittaukset sisälsivät hengittyvän pölyn (alle 100 µm) pitoisuuksien mittaamisen IOM-keräimillä sekä hiukkasten massa- ja lukumääräpitoisuuksien määrittämiseen jatkuvatoimisilla hiukkasmittareilla (TSI DustTrak DRX ja DustTrak II) kokoluokissa PM1, PM2.5 ja PM10. Lisäksi kohteissa mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuuksia, lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta ja ilman suhteellista kosteutta.

TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Kyselyyn saatiin vastauksia 89 kpl ja kyselyn vastausprosentti oli 85,1 %. Vastaajista naisia oli 45 kpl ja miehiä 44 kpl. Suurin osa vastaajista ilmoitti olevansa kilpaurheilijoita (38 kpl) tai satunnaisia tilojen käyttäjiä (30 kpl), kun taas pieni osa oli valmentajia (9 kpl) ja työntekijöitä (10 kpl). Vastaajien ikä vaihteli 15 vuodesta 82 vuoteen ja koko kyselyyn vastaajien keski-ikä oli 40 vuotta. Kaikki kyselyyn vastanneet ilmoittivat, etteivät tupakoi. Vastauksia verrattiin viitearvoihin ja oireilua tai viihtyvyyshaittaa kokeneiden tuloksissa huomioitiin kaikki vastaukset, joissa käyttäjät ilmoittivat kokevansa ”kyllä, aina” ja ”kyllä, joskus”, koska vastaajien oireilu oli melko vähäistä ja pelkkiä ”kyllä, aina” -vastauksia tuli hyvin vähän. Tulokset on esitetty taulukossa 1. Käyttäjät kokivat useimmiten oireita tai epämukavuutta, jotka liittyivät kurkun ärsytykseen, kuivaan ilmaan, tunkkaiseen ja huonoon ilmanlaatuun, riittämättömään ilmanvaihtoon sekä pölyyn tai likaan. Oireilua ja viihtyvyyttä alentavia tekijöitä koettiin kuitenkin lähinnä joskus, mutta liian ja pölyn osalta ylitettiin viitearvot (viihtyvyyttä alentavia tekijöitä koettiin aina). Lisäksi esim. homeen tai kellarin hajun sekä hengitystieoireiden osalta ylittyi viitearvot toisessa kohteessa.

Liikuntapaikkojen sisäilmasta mitatut hengittyvän pölyn pitoisuudet vaihtelivat eri mittauspisteissä, ollen kohteessa 1 0,04–0,10 mg/m³ ja kohteessa 2 0,09–0,13 mg/m³. Jatkuvatoimisilla mittalaitteilla mitatut hiukkaspitoisuudet vaihtelivat eri mittauspisteissä kohteessa 1 0,005–0,018 mg/m³ (PM10) ja 0,003–0,011 mg/m³ (PM2,5) välillä ja alittivat Asumisterveysasetuksen 545/2015 raja-arvot sekä WHO:n ohjearvot 7/. Kohteessa 2 hiukkaspitoisuudet vaihtelivat 0,002–0,031 mg/m³ (PM10) ja 0,008–0,030 mg/m³ (PM2,5) välillä, alittaen raja- sekä ohjearvot PM10-pitoisuuksien osalta, mutta PM2,5-pitoisuuksille määritetty raja-arvo sekä ohjearvo ylittyivät osassa mittauspisteistä.

Liikuntapaikkojen mitatut sisälämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidipitoisuudet vaihteluväleineen eri mittauspäivinä on esitetty taulukossa 2. Sisälämpötila oli keskimäärin 19–20 °C ja suhteellisen kosteuden määrä vaihteli välillä 20–35%. Liikuntapaikkojen hiilidioksidipitoisuus oli tilojen käytön aikana keskimäärin 440–570 ppm. Hetkelliset korkeat arvot johtuivat mittarin lähellä käyneiden ihmisten

hetkellisestä läsnäolosta. Mitatut sisäilman hiilidioksidipitoisuudet alittivat Asumisterveysasetuksen toimenpidearvon ja olivat Sisäilmastoluokituksen S2-S3 mukaisia. Vaikka hiilidioksidipitoisuudet alittivat toimenpide- ja enimmäisarvot, koki 51-71 % käyttäjäkyselyyn vastanneista henkilöistä sisäilman tunkkaiseksi tai huonoksi joko aina tai joskus. Sisäilmaa piti tunkkaisena aina 10-24 % tilojen käyttäjistä. Ilmanvaihtoa piti riittämättömänä aina tai joskus 38-52 % käyttäjistä.

Taulukko 1. Liikuntapaikkojen käyttäjien kokemat viihtyvyystekijät ja oireilu (%), sekä viitearvot /8/. n=89

Viihtyvyystekijät / oireilu	Kohde1 Aina/ joskus	Kohde1 Aina	Kohde2 Aina/ joskus	Kohde2 Aina	Viitearvo (%)
Liian korkea sisälämpötila	19	1	24	14	9,6
Liian alhainen sisälämpötila	26	1	19	0	15,4
Vaihteleva sisälämpötila	15	1	24	0	13,1
Veto	29	1	14	5	16,7
Kostea ilma	3	0	19	10	-
Kuiva ilma	66	25	24	5	27,7
Tunkkainen/huono ilma	51	10	71	24	30
Homeen tai kellarin haju	10	4	48	14	8,5
Muut epämiellyttävät hajut	16	3	43	5	12,2
Riittämätön ilmanvaihto	38	9	52	14	25
Pöly tai lika	60	18	67	52	16,6
Riittämätön valaistus	10	0	10	10	8,2
Liian kirkas/häikäisyä	31	6	0	0	8,2
Kova melu	51	1	5	0	15,1
Väsymys/suoritustehon lasku	18	3	24	0	14,6
Päänsärky	22	0	29	0	9,2
Hengenahdistus/muut hengitysoireet	24	0	24	5	3
Yskä	25	0	33	0	7,6
Silmien ärsytysoireet	19	6	24	5	21,4
Kurkun ärsytysoireet, kuiva kurkku	37	10	38	0	19,2
Nenän ärsytysoireet, vuoto tai tukkoisuus	22	4	10	5	21,5
Iho-oireet (punoitus, kutina)	6	0	10	5	10,7

Taulukko 2. Sisäliikuntapaikkojen mitatut lämpötilat (T), suhteellinen kosteus (RH) ja hiilidioksidipitoisuus (CO₂) vaihteluväleineen eri mittauspäivinä.

Mittauspäivä/kohde	T (°C)	RH (%)	CO ₂ (ppm)
31.1.2023/K1	20,0 (18,4–22,5)	25 (17–31)	500 (406–2138)
1.2.2023/K1	19,9 (18,4–20,5)	23 (22–28)	498 (334–684)
7.2.2023/K2	19,1 (17,5–19,6)	27 (25–31)	442 (414–514)
8.2.2023/K2	19,7 (19,2–19,9)	35 (34–40)	449 (392–626)
16.3.2023/K1	20,0 (18,9–20,4)	20 (19–22)	567 (508–675)

Taulukossa 3 on esitetty liikuntapaikkojen VOC-yhdisteiden pitoisuuksia. Taulukkoon on nostettu vain joitakin merkittävimpiä yhdisteitä. Orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat melko alhaisia TVOC-pitoisuuden ollessa 20–74 µg/m³. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta eri puolilla liikuntapaikkoja melko tasaisia, vaikka mittauspisteiden lattiamateriaalit olivat erilaisia. Kohteissa esiintyi joitakin aromaattisia yhdisteitä, kuten bentsotiatsolia, bifenyylä ja naftaleeniä.

Taulukko 3. Kohteen 1 ja kohteen 2 (väestönsuoja) VOC-pitoisuuksia (µg/m³) eri mittauspisteissä. (1=valvomo, 2=jalkapallokenttä, 3=salibändyalue, 4=pituushyppypaikka 5=etusuora, 6=alkuosa, 7=keskiosa, 8=pääty, 9=kuntosali)

Yhdisteet	Pitoisuus-sisäliikuntapaikoissa (µg/m ³)								
	Kohde 1					Kohde 2			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dekanaali	2,4	2,4	5,8	2,2	5,6	1,3	1,8	6,2	4,8
Nonanaali	2,2	2,5	4,5	2,3	4,5	1	1,8	4	3,8
Oktanaali	0,6	0,9	1,5	0,7	1,6	0,4	0,6	1,5	1,3
2-Etyyli-1-heksanoli	6,7	8,4	7,9	6,5	8,1	0,7	0,8	1,7	0,9
Bentsyylialkoholi	5,0	6,7	6,6	5,2	6,3	-	-	0,2	0,2
Bentseeni	1,5	2	1,9	2,3	2,2	1,6	1,4	1,6	1,4
Ksyleenit	2,9	1,8	1	2,4	1,5	0,8	0,1	0,5	0,4
Naftaleeni	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,8
Styreeni	-	-	-	-	-	1,6	1,7	2,5	2,1
Bifenyylä	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	-	-	-	-
Tolueeni	1,1	0,9	0,9	0,9	1	1,1	1,1	1	1,3
Bentsotiatsoli	4,4	5,9	5,3	4,6	5,3	0,5	1,1	3,5	1
Trimetyylibentseenit	0,7	0,5	1,2	0,5	1,3	0,3	0,3	0,3	0,4
D5*	3	2,9	2,8	2,5	2,9	1,6	5,7	2,6	1,3
2-Butanoni	0,5	0,7	1	0,4	0,8	-	-	-	0,8
Sykloheksanoni	0,8	1	0,9	0,8	0,9	-	0,3	0,5	-
TVOC	53	58	64	52	74	21	38	44	51

*D5 (dekametyylisyklopentasiloksaani)

Kyselyn perusteella yleisimmät käyttäjien kokemat oireet tai viihtyvyyteen liittyvät tekijät olivat kurkun ärsytysoireet, kuiva ilma, tunkkainen ja huono ilma, riittämätön ilmanvaihto sekä pöly tai lika. Molempien sisäliikuntapaikkojen sisäilman laatu oli

mittausten perusteella kuitenkin joko hyvä tai tyydyttävä, eikä kaikkia käyttäjien kokemia oireita ollut selitettävissä mittaustuloksien. Tämä voi johtua siitä, että sisäilmassa on sellaisia altisteita tai altisteiden yhdistelmiä, joita tavanomaiset sisäympäristöstä tehtävät mittaukset eivät osoita. Sisäilman hiukkaspitoisuudet olivat alhaisia, mutta hiukkaspitoisuuksien välillä oli eroja paitsi eri halleissa myös eri mittauspisteiden välillä riippuen käyttäjämääristä.

Ilmassa esiintyi jonkin verran aromaattisia hiilivetyjä. Bentsotiatsolin lähteenä voivat olla erilaiset kumia sisältävät materiaalit (esim. juoksumatot ja kuntosaleilla käytettävät kumimatot). Bentsotiatsoli-yhdisteitä on käytetty mm. maalien ja muidenkin tuotteiden homeen ja bakteerin kasvun estäjinä. Liikuntapaikassa 1 esiintyi bifenyylejä, jonka lähdeä on vaikea arvioida. Kohteesta 2 mitattiin myös naftaleenia ja styreeniä, mutta kyseisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alle viitearvojen. Kohteissa esiintyi yleisesti myös 2-etyyli-1-heksanolia, mutta myös sen osalta pitoisuudet olivat alle viitearvojen. Yhdistettä on esiintynyt myös muissa sisäliikuntapaikkoihin liittyvissä tutkimuksissa ja kohteissa, joissa on tekonurmikenttiä /9, 10/.

YHTEENVETO

Tutkimuksen perusteella todettiin, että tutkittujen sisäliikuntapaikkojen soveltuvuus käyttötarkoitukseensa on hyvä, ja sisäilman laatu oli pääosin myönteinen, kuten ilmenee tehtyjen mittausten ja kyselyjen perusteella. Kuitenkin alun perin väestötilaksi suunnitellussa mittaushaasteissa ilmeni haasteita, kuten pölyä/likaa, homeen hajua ja tunkkaisuutta. Jatkossa suositellaan pidempiaikaisten mittausten toteuttamista myös lämmityskauden ulkopuolella ja suuremman otannan käyttämistä kyselyjen osalta, jotta saataisiin tarkempi kuva epäpuhtauksien pitoisuuksista ja olosuhteiden vaihtelusta sekä käyttäjien kokemuksista. Lisäksi käyttäjien kokemien oireilujen ja viihtyvyshaitan luonteen tarkempi analyysi sekä näiden perusteella tehtävät parannukset tilojen ilman laatuun ja ylläpitoon lisäisivät liikuntatilojen viihtyisyyttä.

LÄHDELUETTELO

1. Pudas, M. 2017. Liikuntapaikkojen koetun riittävyyden yhteys aikuisväestön fyysisen aktiivisuuden laatuun ja määrään. Opinnäytetyö. Jyväskylän yliopisto. doi: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:juu-201708293601>
2. Vornanen, C. (toim.) 2023. Liikuntatilojen sisäilman ja sisäympäristön laatu ja mahdolliset vaikutukset työntekijöiden hyvinvointiin ja terveyteen (LIIKU). Työsuojelurahaston hanke. doi: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-1184-2>
3. Ramos, C.A., Wolterbeek, H.T., Almeida, S.M. 2014. Exposure to indoor air pollutants during physical activity in fitness centers. *Building and Environment*. 82: 349-360. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.08.026
4. Salonen, H., Salthammer, T. ja Morawska, L. 2020. Human exposure to air contaminants in sports environments. *Indoor Air*. 30:1109–1129. doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12718>
5. Kuskowska, K., Rogula-Kozłowska, W., Rogula-Kopiec, P. 2018. Particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons in a selected athletic hall: Ambient concentrations, origin and effects on human health. *E3S Web of Conferences*, Volume 28. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20182801020>

6. Szulc, J., Cichowicz, R., Gutarowski, M., Okrasa M. ja Gutarowska B. 2023. Assessment of Dust, Chemical, Microbiological Pollutions and Microclimatic Parameters of Indoor Air in Sports Facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(2):1551. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph20021551>
7. WHO World Health Organization (WHO). 2013. Health Effects of Particulate Matter: Policy Implications for Countries in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. Regional Office for Europe, UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen. ISBN 978 92 890 0001 7. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344854>
8. Tähtinen K, Remes J, Karvala K, Salmi K, Lahtinen M, Reijula K. 2020. Perceived indoor air quality and psychosocial work environment in office, school and health care environments in Finland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 33(4):479–495. doi: <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01565>
9. Salonen, R.O., Pennanen, A., Pulkkinen, A-M., Asikainen, A., Jalkanen, K., Täubel, M., Kammonen, O., Leikas, M., Närhi, P., Säämänen, A., Vainiotalo, S. ja Tuomi, T. 2015. Tekonurmikenttiin liittyvät sisäilmaongelmat jalkapallohalleissa. TekoNurmi -projektin loppuraportti. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. doi: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-425-0>
10. Bralewska, K., Rogula-Kozłowska, W. & Bralewski, A. 2022. Indoor air quality in sports center: Assessment of gaseous pollutants. *Building and Environment*, 208, s. 108589. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108589>.

COMMUNITY BASED MONITORING OF INDOOR ENVIRONMENTS

Anna-Kaisa Viitanen, Alonso Espinosa Mireles de Villafranca and Jonathon Taylor
Tampere University, Department of Civil Engineering, Faculty of Built Environment

ABSTRACT

Indoor Environment Quality (IEQ) problems such as poor thermal conditions and exposure to particulate matter pose health and well-being concerns for occupants. The increasing availability of low-cost sensors enable community-based monitoring (CBM) of IEQ, providing increased data coverage but with trade-offs for data quality. To better understand the usefulness and related data processing needs, we present an initial analysis of CBM data. The analysis includes 124 indoor sensors across central Europe from which 80 passed the exclusion criteria. The analysis revealed some lacks in meta data concerning the sensor placement, slight differences between urban and non-urban areas, and extensive need for data cleaning but also the significant potential to gain insights into historic and real-time IEQ exposures for large numbers of buildings.

INTRODUCTION

Indoor air quality (IEQ), including thermal comfort and air pollution, has an important role in health and wellbeing. Exposure to heat can lead to negative health effects /1/, and the design and construction of buildings can modify heat exposure with potential health outcomes /2/. Similarly, exposure to air pollution such as particulate matter (PM) has negative health effects, and indoor environments are shown to be a significant contributor to personal exposure to PM /3/.

Studies that examine population exposure to environmental hazards such as heat and air pollution typically rely on sparse networks of outdoor sensors, but do not capture information on the indoors environments where Europeans spend most of their time /4/. When IEQ is studied, the measurement instruments used are typically designed for professional use and require standardized well-documented procedures which provide accurate and reliable results on IEQ and occupant exposure. However, this is not conducive to the large-scale monitoring campaigns that can capture the highly heterogenous nature of indoor environments and their spatial and temporal variations.

In recent years, low-cost sensors able to monitor environmental parameters such as temperature (T), relative humidity (RH), and air pollution such as PM have gained popularity due to technical development and reducing component prices. This has led to their increasing use in citizen science projects, where crowdsourced environmental data are collected and shared through community-based monitoring (CBM). These initiatives include PurpleAir /5/ and Sensor.Community (previously Luftdaten) /6/. Previously, low-cost sensor data collected through CBM have been used to study outdoor PM levels

/7/, and to improve PM exposure predictions /8/, for example. IEQ approaches include studies of PM infiltration /9/, and spatial variation of indoor PM /10/, but in general, such studies are still scarce. In Finland, CBM based continuous PM monitoring is not yet widespread, and the above-mentioned platforms provide access to only a few sensors to date.

CBM offers attractive opportunities for IEQ studies, where large numbers of sensors may enable population exposure assessment, however there is a need to understand the reliability of the sensors, coverage, representativeness of the locations and populations that they monitor, and the subsequent opportunities and limitations of data. In this paper, we perform an initial analysis of long-term PM_{2.5}, T and RH data provided by the Sensor.Community examining their locations and assessing the data. The results of the analysis are presented, and the sensors possibilities, limitations, and required data processing to better understand the processes related to IEQ are discussed.

METHODS AND DATA

Sensor.Community data used in this study has been collected by citizen scientists using low-cost sensors of different makes and models: optical PM sensors, capacitive type humidity sensors, and both thermistors and bandgap temperature sensors. The PM sensors measure both PM_{2.5} and PM₁₀, i.e., particles with the diameter below 2.5 µm and 10 µm, respectively. We concentrate only on PM_{2.5} since previous studies have questioned the accuracy of the low-cost sensors for measuring PM₁₀ /11/. We have limited the timespan to cover the year 2022 and the study area to Belgium, The Netherlands, Germany, and Poland.

Available data was downloaded from the Sensor.Community platform for all sensors in the selected countries active any number of days during 2022 as well as on 10th of November 2023 (the date of the download), since complete metadata is only available for currently active sensors. As a first pass, the PM sensor data was cleaned by excluding concentrations higher than 500 µg/m³ since the sensor measurements are unreliable at higher concentrations /12/. We required data from days with sufficient coverage, defined by at least 288 timestamps per day (equivalent to 1 timestamp every 5 min), and kept data from sensors with a minimum of 109 days of 2022 (30%) for both PM and T. The PM sensors operate ideally inside the T and RH ranges of -10-50 °C and 0-70%, respectively, to avoid the influence of the high humidity to particle growth. PM measurements outside these ranges were excluded by calculating a 1-hour rolling average T and 5-minute rolling average RH, both centred around the PM measurement timestamp. Finally, the coverage criteria were checked again with further days and sensors excluded.

To be able to report descriptive statistics for the sensor data disaggregated into urban and non-urban areas, sensor coordinates were compared with the high-resolution Natural Earth urbanised region dataset /13/, to check whether sensors lie within the boundaries of urbanised areas.

To uncover the weekly patterns in changes to indoor PM_{2.5} concentrations we used non-zero matrix factorisation (NMF) /14/. NMF, a dimensionality reduction method, allows decomposing the sensor timeseries into signal components /15/, that have a high chance

of corresponding to causal trends related to both environmental and behavioural aspects affecting indoor PM concentrations. The timeseries were converted into 5-minute length intervals (by averaging $PM_{2.5}$ values falling in each interval) for all available days. For each sensor the data was grouped by weekday, corresponding intervals were averaged across days and then smoothed with a 1-hour window. The data was arranged in a matrix, where each row is the pattern for a sensor, with the columns corresponding to the 5-minute intervals composing an average week. We decomposed the data into four components based on exploratory analysis focusing on retaining interpretability. The NMF outputs are a coefficient matrix and a component matrix. The rows of the component matrix are the signal components, which, superposed using the weights from the coefficient matrix, approximate each sensor's timeseries.

RESULTS AND DISCUSSION

From the initial list of 163 indoor PM sensors, there were a total of 124 sensors co-located with additional temperature and humidity sensors. From those 80 sensors passed the exclusion criteria, with a breakdown by model of: 71 SDS011, 5 PMS5003, 2 SPS30, and 2 PMS7003. It has been shown that different makes and models have different responses although the measurement principle is the same /11,12/. Thus, the fact that almost all the sensors rely on the same instrument type (SDS011) improves the comparability between the measurements here, although variation between the same model has been reported for low-cost sensors in general /12/. However, the fact that 65% of sensors passed the exclusion criteria indicates issues with data reliability.

Of the included sensors, 61% were in urban areas and 39% in non-urban areas, meaning urban areas are comparably over-represented. Averaged daily means of indoor $PM_{2.5}$, T and RH are shown in Fig 1a-c for urban and non-urban areas the median values for all sensors being $4.3 \mu g/m^3$, $21.6^\circ C$ and 49%, respectively. The variation is stronger for $PM_{2.5}$ and weaker for T in urban areas than non-urban areas, and about the same for RH. These results align with a low-cost sensor study in California /9/ which reports: $2.1 \mu g/m^3$ $PM_{2.5}$, $26.4^\circ C$ and 35% RH. For temperature, some sensors exhibited low mean values, particularly in rural areas. This suggests that some sensors are not located in residential buildings or even indoors, or they may be located in otherwise unsuitable places as discussed in /16/.

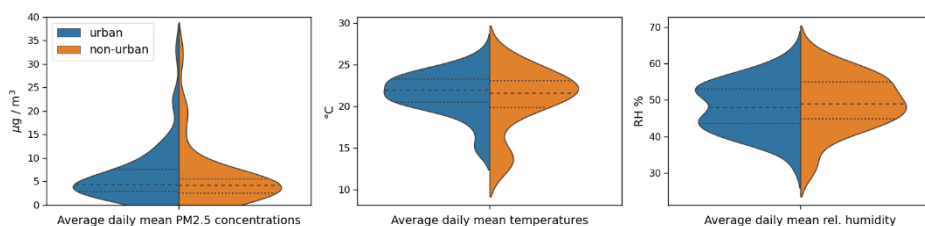


Figure 1. Average daily mean $PM_{2.5}$ concentrations, temperatures, and RH in urban (blue) and non-urban (orange) areas measured with the indoor sensors in 2022. The dashed line shows the median and the dotted lines 25 and 75 percentiles of the daily means.

The results of the NMF analysis for $PM_{2.5}$ are shown in Fig. 2. The first component shows similar patterns for all days with clear concentration peaks starting in the morning and decreasing in the evening, likely indicating domestic activities as well as infiltration from outdoors during the daytime when outdoor concentrations are typically higher than during the nighttime. The second component consists of a more stable concentration with drops around midday. No realistic explanation for this behaviour is evident, and since the drops occur at the same times as the peaks of component 1, component 2 is likely an inverse of component 1 resulting from the factorization process. Component 3 captures ordinary weekday patterns with increased concentrations during daytime and lower at night, with a conspicuous absence of weekend peaks. The increased PM concentration during daytime on weekdays likely indicates indoor activities and infiltration from outdoors. It is possible that office-like spaces where there are no indoor activities during the weekend be mainly represented by component 3. Component 4 shows low nighttime concentrations which rise towards the evening indicating indoor activities and distinct from infiltration.

In earlier studies, diurnal concentration patterns that peak in the mornings and evenings, and a weekly pattern with higher concentrations during the weekends than the weekdays have been reported for residential buildings by /17/. On a weekly basis, the highest $PM_{2.5}$ concentrations outdoors have been most likely occurred on Saturday and most unlikely on Monday and Sunday according to /18/. This kind of behaviour is not clearly seen in the weekly patterns here, and the reason might be e.g., effective filtration of outdoor air or the location in rural areas when typical traffic related behaviour of PM concentrations is not as strong as in urban areas, as well as different study settings.

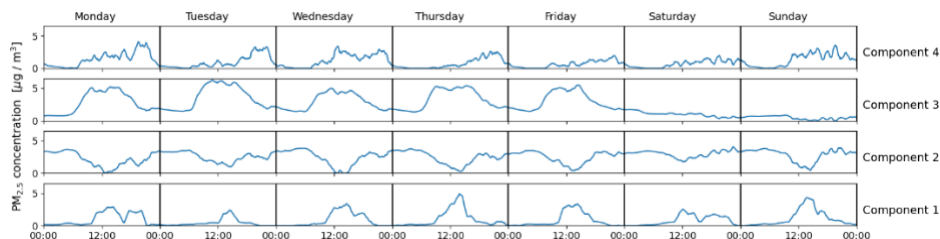


Figure 2. Weekly patterns of $PM_{2.5}$ data obtained from NMF. Each sensor's weekly pattern can be broken down to a superposition of these concentration signals. Components 3 and 4 are more easily interpretable than the others.

Whilst it is not possible to evaluate the comparability of the low-cost sensors against a reference instrument nor each other since the uniqueness of every indoor environment, in general, the correlation between different low-cost sensors has been reported to vary, depending on the study, from poor to excellent /12/. Gitahi and Hanh /19/ compared SDS011 outdoor measurements in Stuttgart, Germany and found out that correlation between $PM_{2.5}$ sensors against a reference instrument is better during the summer (R^2 0.62-0.71) than during the winter (R^2 0.38-0.58) and discussed this to be due to the higher humidity during winter. Here, the average daily mean RH is mostly around 50% (Fig 1c) thus the accuracy of the sensors is most likely comparable with the warm period R^2 values, however studies in indoor environments are needed to confirm this assumption. Generally, $10 \mu g/m^3$ LLOD have been proposed for sensors operating in ambient air, but studies have showed that with proper data cleaning and long-term averaging, the use of sensors with lower concentrations, like here, is justified /12/.

CONCLUSIONS

We have analyzed the PM_{2.5}, temperature and relative humidity data provided by the CBM platform Sensor.Community to study the possibilities, limitations, and data processing requirements of this emerging IEQ data source. We found that 65% of the sensors fulfilled our exclusion criteria showing that a large share of data is lost when using strict exclusion criterion to improve the data quality. We showed that with some advanced data processing, it is possible to clean data, remove self-selection bias in the data samples, identify trends and patterns in the data, and to evaluate IEQ in a number of different environments. Also, the results showed moderate indoor RH values which diminish the effects of humidity to PM measurements compared to e.g., humid outdoor conditions and support the use of sensors indoors. Currently, incomplete metadata poses a challenge for the data analysis, and information of the type of the indoor environment (e.g., office vs. residential building), placement of the sensor (e.g., kitchen vs. warehouse) as well as ventilation would enable classification of the sensors and to improve the analyses further. Based on the results and despite recognized limitations, CBM projects like Sensor.Community provide access to long term IEQ data that is useful and otherwise unavailable. The potential of CBM platforms for IEQ studies should be studied further, and the measurement and data processing protocols be further developed. Future work will also continue to assess the location and representativeness of station locations across Europe.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge partial funding from the Research Council of Finland project: T-Winning Spaces 2035.

REFERENCES

1. Ebi K. L. et al. 2021 Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, 398, 698–708.
2. Taylor J. et al. 2015 Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Climate*, 14, 517–528.
3. Morawska L. et al. 2013 Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment. *Indoor Air*, 23, 462–487.
4. Schweizer C. et al. 2007 Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 17, 170–81.
5. PurpleAir. 2023 <https://www2.purpleair.com/products/list> [12.12.2023]
6. Sensor.Community. 2023 <https://sensor.community/en/> [12.12.2023]
7. Chauhan A. and Singh R.P. 2020 Decline in PM_{2.5} concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. *Environmental Research*, 178, 109634.
8. Bi J. et al. 2022 Publicly available low-cost sensor measurements for PM_{2.5} exposure modeling: Guidance for monitor deployment and data selection. *Environment International*, 158, 106897.

9. Bi J. et al. 2021 Characterizing outdoor infiltration and indoor contribution of PM_{2.5} with citizen-based low-cost monitoring data. *Environmental Pollution* 276, 116763.
10. Wallace and Zhao 2023 Spatial Variation of PM_{2.5} Indoors and Outdoors: Results from 261 Regulatory Monitors Compared to 14,000 Low-Cost Monitors in Three Western States over 4.7 Years. *Sensors*, 23, 4387.
11. Kuula J. et al. 2020 Laboratory evaluation of particle-size selectivity of optical low-cost particulate matter sensors, *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 2413–2423.
12. Giordano M. et al. 2021 From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors. *Journal of Aerosol Science*, 158, 105833.
13. Natural Earth. <https://www.naturalearthdata.com/> [10.1.2024]
14. Wang Y.-X. and Zhang Y.-J. 2013 Nonnegative Matrix Factorization: A Comprehensive Review. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 25, 1336-1353.
15. Aledavood T. et al. 2022 Quantifying Daily Rhythms with Non-Negative Matrix Factorization Applied to Mobile Phone Data. *Scientific Reports*, 12, 5544.
16. Chen L.-J. et al. 2017 An Open Framework for Participatory PM_{2.5} Monitoring in Smart Cities. *IEEE Access*, 5, 14441–14454.
17. Ferro A.R. et al. 2022 Residential Indoor and Outdoor PM Measured Using Low-cost Monitors during the Heating Season in Monroe County, NY. *Aerosol and Air Quality Research*, 22, 220210.
18. Zhao N. et al. 2018 Day-of-week and seasonal patterns of PM_{2.5} concentrations over the United States: Time-series analyses using the Prophet procedure. *Atmospheric Environment*, 192, 116-127.
19. Gitahi J. and Hahn M. 2022 Evaluation of Crowd-Sourced PM_{2.5} Measurements from Low-Cost Sensors for Air Quality Mapping in Stuttgart City. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-92096-8.

TIETOMALLIPOHJAINEN VIITEKEHYS SISÄILMAN LAATUUN JA SISÄILMASTOON LIITTYVÄN TIEDON KÄSITTELYYN - TAPAUSTUTKIMUS SUOMALAISESSA PÄIVÄKODISSA

Hannu Liedes, Thuzar Win Shwe, Pentti Kuurola, Heikki Kaikkonen, Santeri Schroderus, Filip Fedorik ja Ulla Haverinen-Shaughnessy

Oulun yliopisto

TIIVISTELMÄ

Tietoa rakennuksista ja rakennetusta ympäristöstä tuotetaan ja tallennetaan sekä yksityisellä että julkisella sektorilla. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää viitekehys sisäympäristöön ja rakennuksen käyttäjiin liittyvän monitahaisen tiedon käsittelyyn. Se sisältää "staattista" tietoa rakennuspaikasta ja rakennuksesta, mutta myös reaaliaikaisesta seurannasta saatuja tietoja jatkuvasti muuttuvista olosuhteista rakennuksen sisällä ja ympärillä sekä tietoja rakennuksen sisällä liikkuvista objekteista, kuten rakennuksen käyttäjistä. Viitekehystä havainnollistetaan tapaustutkimuksella.

JOHDANTO

Sisäympäristöön vaikutetaan rakennuksen elinkaaren kaikissa vaiheissa. Sisäympäristön laatuun vaikuttavissa teknisissä ratkaisuissa hyödynnetään muiden tuottamaa tietoa ja tuotetaan tietoa muiden käyttöön. Tietojen käytettävyyttä vaikeuttaa se, että tiedot ovat eri paikoissa, joita hallinnoivat useat eri toimijat, eikä tieto välttämättä ole keskenään yhteensopivaa. Hyvän sisäilmaston varmistamiseksi on tärkeää, että rakennetun ympäristön hallinnassa erityisesti sisäilmastoon vaikuttavissa toimenpiteissä käytetään ja tuotetaan laadukasta tieto-omaisuutta. Näiden tietojen hallinta on osa hyvän sisäilman laadun ylläpitämistä sekä kestävien ja terveellisten sisäympäristöjen kehittämistä.

Tiedonhallinta

Tiedonhallinnalla tarkoitetaan ”tietoprosessien järjestäminen siten, että tietojen saatavuus, löydettävyyden ja hyödynnettävyys eri tarkoituksiin pyritään varmistamaan tiedon elinkaaren ajan.” Tietoprosessi on ” prosessi, jonka tavoitteena on tiedon tuottaminen, käsittely tai jakaminen” /1/.

Tiedon hallintaan käytetään eri toimijoiden perustamia ja ylläpitämiä tietojärjestelmiä erilaisia käyttötarkoituksia varten. Tietojärjestelmätyön ohjauksella pyritään toteuttamaan tietoturvallisia ratkaisuja sekä mahdollistamaan erilaisten tietojärjestelmien yhteistoiminta. Tietojärjestelmätyötä ohjataan mm. lainsäädännön ja erilaisten standardien avulla.

Tiedot tulee tallentaa jollain tavalla tietojen saatavuuden ja löydettävyyden varmistamiseksi. Suurten tietomäärien tallentamiseen käytetään tietokantoja. Tietokantajärjestelmät koostuvat itse tietokannan lisäksi tiedonhallintajärjestelmästä

sekä tietokantasovellutuksesta /2/. Nykyisin on käytössä monenlaisia tietoratkaisuja, joissa voidaan yhdistää eri lähteissä olevaa tietoa.

Kun tietoaaineisto sisältää henkilötietoja, tulee noudattaa tietosuojalainsäädännön mukaisia tietosuojaperiaatteita. ”Tietoturva on yksi tietosuojan toteuttamisen keino. Sen tarkoitus on suojata tietoaaineisto ja tietojärjestelmät. Tietoturva tarkoittaa muun muassa organisatorisia ja teknisiä toimenpiteitä, joilla varmistetaan tiedon luottamuksellisuus ja eheys, järjestelmien käytettävyys sekä rekisteröidyn oikeuksien toteutuminen” /3/. Tämä perustuu EU:n yleiseen tietosuojasetukseen, 2016/679 (GDPR).

Tietoja käsitellään ohjelmistoilla erilaisten rajapintojen kautta. Ohjelmistojen kesken käytetään ns. ohjelmointirajapintaa (API), jonka kautta tietoa siirretään. Rajapinnat voivat olla avoimia rajapintoja, jolloin ohjelmistoon voidaan rakentaa yhteys ilman rajoitteita /4/.

Rakennetun ympäristön elinkaaren aikainen tietovaranto

Rakennetun ympäristön elinkaaren aikana tuotetaan, varastoidaan ja hyödynnetään tietoa niin yksityisellä kuin julkisella sektorilla. Muodostunut tietovaranto voidaan käsitellä tieto-omaisuudeksi. Rakennetun ympäristön elinkaari voidaan olettaa alkavan alueiden kehittämisestä. Perinteisesti rakennuksien elinkaari on katsottu alkavan materiaalien raaka-aineiden ostopaikoista ja päättyvän materiaalien hävittämiseen /5/.

Rakentamisen aikana käytetään rakentamista ohjaavia asiakirjoja, missä voidaan myös hyödyntää eri viranomaisten hallinnoimia tietojärjestelmiä. Lisäksi tuotetaan uusia hankkeissa tarvittavia asiakirjoja kuten erilaiset suunnitelmat ja sopimukset. Tänä päivänä rakennuskohteet suunnitellaan tietomallintamisella (BIM), eli kohteesta tuotetaan 3D malli, joka voi sisältää tietoa myös rakennusmateriaaleista, aikataulusta, kustannuksista, jne. Suunnittelijat voivat käyttää itsenäisesti erilaisia ohjelmia, jotka pystyvät tuottamaan BIM malleja. Suunnittelutyön aikana BIM mallit ovat ns. ohjelman natiivimuodossa eli ohjelmistoilla tuotetut suunnitelmat eivät ole yleensä yhteensopivia. Tämän vuoksi tarvitaan yhteinen tiedostomuoto, johon eri suunnitelmat tulee tallentaa, että hankkeen osapuolet voivat hyödyntää toistensa BIM tietomalleja. Yhteisenä tiedostomuotona käytetään IFC tiedostomuotoa, josta on kehitetty useita versioita /6/.

Rakennetun ympäristön tietojohdattamisessa johdetaan muodostunutta tieto-omaisuutta ja varmistetaan tieto-omaisuuden käytettävyys. Ympäristöministeriön ja Suomen ympäristökeskuksen RYHTI hankkeessa toteutetaan uusi valtakunnallinen Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä (RYTJ), jonka tarkoituksena on koota yhteen rakentamiseen ja kaavoitukseen liittyvät tiedot. Uuden tietojärjestelmän vastuuviranomaisena toimii Suomen ympäristökeskus (SYKE) /7,8/.

Tämän artikkelin tavoitteena on esitellä rakennetun ympäristön tiedonhallinnan eri vaihteita ja osoittaa, kuinka sisäilmaston hallinta on osa suurempaa rakennetun ympäristön tiedonhallinnan kokonaisuutta. Lisäksi tavoitteena on esitellä kuinka sisäilmaston hallintaan liittyvät asiat kuten rakennusfysikaaliset tarkastelut, sisäilmaston ja epäpuhtauksien leviämisen mallintaminen, sekä altistuksen ajallinen ja paikallinen mallintaminen ovat osa rakennetun ympäristön yhteistä tieto-omaisuutta. Tätä tietomallipohjaista viitekehystä havainnollistetaan esimerkillä päiväkotikohteesta.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Tapaustutkimuskohteena on päiväkotirakennus pohjoissuomesta. Siihen kuuluu useita siipiä, mutta tutkimusalueeksi rajautui B- ja C-siivet, joista B-siivessä työskentelee noin 42 lasta sekä 10 työntekijää ja C-siivessä 48 lasta sekä 12 työntekijää.

Tilojen ilmanvaihto oli hoidettu tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, jota ohjattiin valvontajärjestelmän havaitsemilla hiilidioksidipitoisuuksilla (CO₂).

Ilmanvaihtonopeudet tarkistettiin molempien siipien suunnitteluarvojen mukaisesti. C-siiven ilmanvaihtojärjestelmään lisättiin höyrykostutin ja kosteutta siirtävä lämmöntalteenottojärjestelmä, joiden avulla tuloilman suhteellinen kosteus (RH) nostettiin käyttöaikana 25 %:een osana laajempaa tutkimusta.

Ensin rakennuksesta laadittiin 3D-tietomalli perinteisten rakennuspiirustusten pohjalta. Mallia täydennettiin yksityiskohtaisilla tiedoilla huonekaluista, mm. lasten ja henkilökunnan käytössä olevat pöydät ja tuolit. Rakennuksen sijainti voidaan kiinnittää koordinaateilla olemassa oleviin avoimiin tietolähteisiin. Esimerkiksi SYKE tarjoaa avointa dataa ja tietoa kestävän ympäristön ja yhteiskunnan rakentamiseen /9/. Digi- ja väestötietovirasto ylläpitää yleistä avoimen datan palvelua, josta löytyy esimerkiksi rakennetun ympäristön ja infrastruktuurin tietoaaineistoja, rajapintoja ja sovellutuksia /10/. Myös Ilmatieteen laitos tarjoaa avointa dataa yleisesti hyödynnettäväksi /11/.

Monitoimianturit, jotka mittaavat sisäilman lämpötilaa (T), suhteellista kosteutta (RH), hiilidioksidipitoisuutta (CO₂), haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOCs) ja hiukkasia (PM), asennettiin jokaiseen opetustilaan, oleskeluvyöhykkeelle (sisäseinään 1,5-1,8 m korkeudelle lattiasta). Anturit toimivat esineiden internet (IoT) verkossa 10 minuutin mittausrésoluutiolla. Ulkoilman T, RH ja PM pitoisuudet perustuvat Ilmatieteen laitoksen mittaamiin tietoihin. Antureista kerätty data tallennetaan tietojärjestelmäämme hyödynnettäväksi.

Anturit mittaavat yleensä olosuhteita tai epäpuhtauksia paikallisesti, mutta kun mittauspisteitä on riittävästi, mallinnusolosuhteilla tai epäpuhtauspitoisuuksilla voidaan arvioida esimerkiksi rakennuksen osiin kohdistuvaa ympäristökuormitusta sekä rakennuksen käyttäjien altistumistodennäköisyyksiä rakennuksen eri tiloissa.

Tässä kohteessa analysoitiin lisääntyneen sisäilman kosteuden vaikutusta rakennuksen vaippaan hygrotermisen numeerisen simulaation ja homeen kasvuriskin arvioinnin avulla. Hygrotermiset simulaatiot suoritettiin WUFI-simulointiohjelmistolla, ja saatujen tulosten perusteella mikrobien kasvun ennusteen analysointiin sovellettiin suomalaista homemallia /12/.

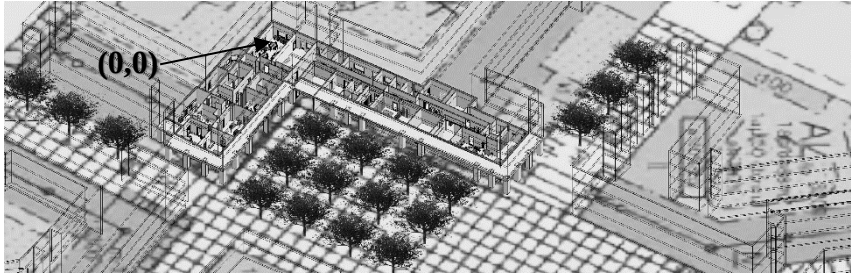
Erilaisilla liikkuvilla ja/tai puettavilla sensoritekniikoilla voidaan kerätä sijaintitietoja liikkuvista kohteista, kuten rakennuksen käyttäjistä. Tutkimuksessamme tiedot rakennuksen käyttäjien sijainnista (± 1 m tarkkuus, 20 millisekunnin aikaresoluutio) kerättiin Blueiot-sisäpaikannusjärjestelmän langattomilla seurantalaitteilla. Henkilökunnan keskuudessa seurantalaitte oli integroituna aktiivisuusrannekkeeseen, joka mittasi samanaikaisesti sykettä. Seurantalaitteiden käyttö perustui vapaaehtoisuuteen. Ennen tietojen keräämistä jokaiselta henkilöltä kysyttiin kirjallinen suostumus tutkimukselle myönnetyn eettisen luvan mukaisesti.

Sisäpaikannusjärjestelmä koostuu laitteisto- ja ohjelmistokomponenteista. Kattoon kiinnitettävät ankkurit tunnistavat ja vastaanottavat seurantalaitteiden lähettämää tietoa. Tiedon keräämisen edellytyksenä on tarkan sijaintimallin laatiminen, jonka avulla sisätila voidaan kartoittaa tarkasti ja kohdistaa se paikannustietoihin. Paikannustiedot

tallennetaan SQL-tietokantaan, jonka kanssa vuorovaikutuksessa Navicat 16 for MySQL -ohjelmistoa käytetään paikannustietojen viemiseen CSV-muotoon.

TULOKSET JA POHDINTA

Kuvassa 1 on esitetty tutkittavan kohteen 3D malli ja sen suhde lähiympäristöön (asemakaava).



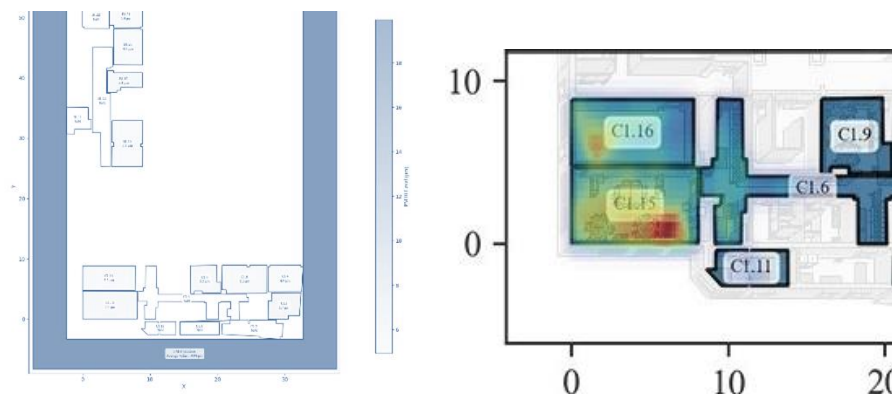
Kuva 1. Tutkittavan kohteen 3D malli. Origona (0,0) käytetty nurkkapiste on merkitty nuolella.

Sisäilmaston hallinta

Sisäilmastoon vaikuttavia toimenpiteitä tehdään rakentamisen elinkaaren alusta asti. Rakennuspaikka vaikuttaa rakennuksiin kohdistuneisiin rasituksiin. Rakennuksen ympärillä vallitseva ilmasto vaikuttaa rakennuksen energian kulutukseen ja rakennusfysikaaliseen toimintaan. Maaperän radon on merkittävä sisäilmastoon vaikuttava tekijä. Sisäilmastossa vaikuttavat epäpuhtaudet voivat olla peräisin ympäristön lähteistä kuten liikenteestä, teollisuudesta, ympäristön kasvillisuudesta ja mikrobeista. Näitä tekijöitä voisi rakennuspaikan sijaintiin liittyvän tiedon avulla tarkastella jo ennen rakennushankkeeseen ryhtymistä, suunnitteluvaiheessa sekä myös rakennuksen käytön aikana. /13/

Kuvassa 2a esitetään päiväkodin sisäilman keskimääräisiä huonekohtaisia PM₁₀ pitoisuuksia suhteessa Ilmatieteen laitoksen raportoimiin ulkoilman pitoisuuksiin. Sisätiloissa käytetyt jatkuvaan mittaamiseen soveltuvat pienhiukkasanturit eivät ole vielä mittaustarkkuuden ($\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) osalta sillä tasolla, että tuloksia voitaisiin pitää luotettavina. Toisaalta koska Ilmatieteen laitoksen mittauspiste sijaitsee yli 4 km päässä tutkimuskohteesta, voi paikalliset ulkoiset tekijät (liikenne, rakennuksen ympärillä tapahtuva muu toiminta) vaikuttaa lyhytkestoisiin tarkasteluihin. Lisäksi sisä- ja ulkoilman pitoisuuseroihin voivat vaikuttaa myös sisälähteet ja rakennuksen käyttö sekä ilmanvaihto. Joka tapauksessa kehittyneemmät tietojärjestelmät ja analytiikka voivat edesauttaa rakennuksen terveellistä ylläpitoa ja käyttöä.

Kuvassa 2b) havainnollistetaan Blueiot järjestelmän avulla mitattu yhden päiväkotirakennuksen käyttäjän yhden päivän oleskelun ”heatmap”, jonka perusteella voidaan arvioida hänen oleskelevan pääasiassa tiloissa C15 (90 %) ja C16 (8 %). Tarkka 3D BIM malli auttaa tulkitsemaan tulosta, jonka mukaan henkilö oleskelee suurimman osan ajasta ryhmätyöpöydän lähistöllä. Yhdistämällä käyttäjän ajankäyttö sisäilman laadun mittausdataan, voidaan arvioida käyttäjäkohtainen ilmanlaatu ja sitä kautta esimerkiksi tarkempi malli käyttäjän altistumisesta sisäilman epäpuhtauksille. Lisäksi rakennusten eri käyttäjien jatkuvatoimista sijaintidataa vertaamalla voidaan arvioida esimerkiksi lähikontaktien määrää ja kestoa (mm. infektioriskin kannalta) /14/.



Kuva 2. a) Päiväkodin huonetiloissa mitattuja PM_{10} pitoisuuksia suhteessa ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin b) Esimerkki rakennuksen käyttäjän ajankäytöstä päiväkodissa yhden päivän ajanjaksoilla.

Rakennuksen käytön aikana voidaan siis antureiden avulla kerätä, analysoida ja simuloida tietoa rakennuksen ympäristöstä, rakenteista ja sisäilmastosta. Tämän lisäksi tiedon kerääminen ja mallintaminen voi kohdistua rakennuksen käyttäjiin ja rakennuksessa tapahtuvaan toimintaan. Jatkossa kerättyä tietoa voidaan hyödyntää monipuolisesti kehitettäessä rakennusten tietopohjaista hallintaa huomioiden sekä ympäristön että käyttäjien asettaman vaatimukset. Tietojärjestelmän kriittisiä komponentteja ovat tietolähteet, tietokantajärjestelmät, yleinen tiedostomuoto, avoimen lähdekoodin rajapinnat (esim. ohjelmointirajapinta, API), ohjelmistot, mahdollisimman tarkat sensorit sekä tietosuojat.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tulokset tukevat yleisiä havaintoja: Keskeistä rakennetun ympäristön tiedonhallinnassa on tiedon jakaminen eri toimijoiden kesken. Toimijoiden yhteiset tietovarannot eivät ole välttämätön edellytys toimivalle tiedonhallinnalle. Toimijoiden eri tietojärjestelmien välinen tekninen rajapinta tulisi kuitenkin toteuttaa koneluettavassa muodossa, joka mahdollistaa automaattisen tiedon jakamisen eri tietojärjestelmien välillä. Perustettaessa uusia tietojärjestelmiä tulisi varmistaa siihen liittyvien tietojärjestelmien yhteistoiminta. Osana sisäilmaston hallintaprosessien kehittämistä on tärkeää osallistua rakennetun ympäristön tiedonhallinnan kehittämiseen.

KIITOKSET

Tutkimusta rahoitti Suomen Akatemia (päätos 342403). Tulosten analysointia rahoitettiin osittain EU Horizon -ohjelmasta (InChildHealth-hanke). Swegon tarjosi resurssit rakennuksen ilmankostutukseen ja sisäilman laadun monitorointiin tutkimuskohteessa. Blueiot-järjestelmän asennuksen toteutti Koulutuskuntayhtymä OSAO Janne Lylyn johdolla. Kiitokset päiväkodin henkilökunnalle, lapsille sekä heidän vanhemmilleen tutkimukseen osallistumisesta.

LÄHDELUETTELO

1. Kansalliskirjasto 2023. Finto - Suomalainen asiasanasto- ja ontologiapalvelu. Saatavissa: <https://finto.fi/yso/fi/> [Viitattu 3.1.2023]
2. Elmasri, R., Navathe, S. (2004) Fundamentals of database systems. Boston, Addison-Wesley
3. Tietosuoja-valtuutetun toimisto (2023) TIETOSUOJA [Verkkosivu]. Helsinki. Saatavissa: <https://tietosuoja.fi/tietosuoja> [Viitattu 5.1.2023]
4. Hovi A., Huotari, J., Lahdenmäki, T. (2005) Tietokantojen suunnittelu & indeksointi. Jyväskylä, Docendo Oy, WSOY
5. Rakli ry (2023) Rakennetun ympäristön elinkaari [Verkkosivu]. Helsinki. Saatavissa: <https://www.rakli.fi/rakentamisen-laatu-ja-tuottavuus/rakennetun-ympariston-elinkaari/> [Viitattu 5.1.2023]
6. Rakennustieto Oy (2012) RT 10-11066 YLEISET TIETOMALLIVAATIMUKSET 2012 Osa 1. Yleinen osuus. Helsinki
7. Ympäristöministeriö (2023) Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä [Verkkosivu]. Helsinki. Saatavissa: <https://ym.fi/ryhti/rytj> [Viitattu 6.1.2023]
8. Suomen ympäristökeskus (2023) Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä – RYTJ [Verkkosivu]. Helsinki. Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Rakennetun_ympariston_tietojarjestelma_RYTJ [Viitattu 6.1.2023]
9. Digi- ja väestötietovirasto (2023) Avoindata.fi [Verkkosivu]. Helsinki. Saatavissa: <https://www.avoindata.fi/fi> [Viitattu 6.1.2023]
10. Ilmatieteenlaitos (2023) Ilmatieteen laitoksen avoin data ja lähdekoodi Helsinki. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data> [Viitattu 6.1.2023]
11. Sisäilmayhdistys ry (2023) Epäpuhtaudet ja niiden torjunta [Verkkosivu]. Espoo. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Epapuhtaudet-ja-niiden-torjunta> [Viitattu 6.1.2023]
12. Viitanen, H. and Ojanen, T. (2007) Improved model to predict mold growth in building materials. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X–Proceedings CD, pp.2-7.
13. Vuolle, M., & Sahlin, P. (2000). IDA indoor climate and energy application. In Proceedings of Healthy Buildings (Vol. 2, pp. 523-528).
14. Win Shwe, T., Shaheen, A., Kuurola, P., Noponen, K., Seppänen, T., Jaakkola, J., Hugg, T., Haverinen-Shaughnessy, U. Introducing innovative technologies for studying occupant health: respiratory function, position, and heart rate of occupants in a daycare. Submitted.

OPPAITA JA OHJEITA

OPAS TILAAJALLE SISÄILMASTO-ONGELMAN RATKAISEMISEEN

Pietarinen Veli-Matti, Turunen Timo ja Wirtanen Leif

Ramboll Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Tilaajan opas sisäilmasto-ongelman ratkaisemiseen on julkaistu Terveet tilat 2028 -ohjelmassa syksyllä 2023. Tilaajan opas ohjaa tilaajaa selkeän ja järjestelmällisen toimintamallin avulla hallitsemaan rakennuksissa esiintyviä sisäilmasto-ongelmia. Toimintamallissa esitellään sisäilmasto-ongelman ratkaisemiseen liittyvät eri vaiheet sekä korostetaan tilaajan tärkeimpiä tehtäviä eri vaiheissa. Toimintamallin eri vaiheita sekä tilaajan tehtäviä on selvennetty oppaassa neljän erityyppisen sisäilmasto-ongelmatapauksen avulla. Oppaan pääpaino on julkisissa ja yksityisissä palvelu- ja toimistorakennuksissa sekä asunto-osakeyhtiöissä. Opasta voidaan soveltaa myös pientalojen sisäilmasto-ongelmien ratkaisussa.

JOHDANTO

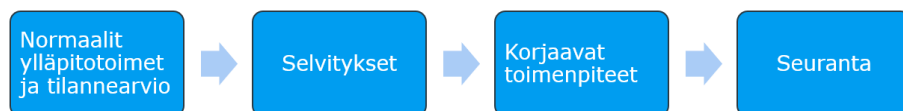
Rakennusten hyvän sisäilman laadun ylläpitäminen edellyttää selkeää toimintamallia sekä moniammatillista yhteistyötä. Tilaaja on keskeisessä roolissa rakennuksen sisäilmasto-ongelman ratkaisemisessa. Tilaajalla tarkoitetaan tässä oppaassa rakennuksen omistajaa, kiinteistön omistajan edustajaa / kiinteistöstä vastaavaa henkilöä. Lainsäädännössä olevat käsitteet rakennushankkeeseen ryhtyvä ja rakennuttaja tarkoittavat usein tilaajaa.

Tilaajan on ryhdyttävä toimenpiteisiin sisäilmaston laadun parantamiseksi viimeistään silloin, kun rakennusten terveellisyyttä koskevassa lainsäädännössä esitetyt vaatimukset eivät täyty.

Tilaajan tulisi valita rakennuksen korjaustapa ja laajuus huomioiden rakennukselle suunniteltu elinkaari ja kiinteistöstrategia. Korjaustavan valinnalla vaikutetaan sisäilmaston laadun ja rakennuksen elinkaaren lisäksi myös rakennuksen korjaus- ja ylläpitokustannuksiin sekä tilojen käytettävyyteen ja energiatehokkuuteen.

SISÄILMASTO-ONGELMIEN RATKAISEMISEN TOIMINTAMALLI

Syksyllä 2022 päivitetystä Työterveyslaitoksen sisäilmaongelmien selvitys- ja ratkaisun toimintamallissa on esitetty selvitysprosessin päävaiheet /1/. Kyseisten päävaiheiden sisältö ja tilaajan tehtävät eri vaiheissa on kuvattu yksityiskohtaisesti sisäilmasto-ongelmien ratkaisua käsittelevässä oppaassa /2/.



Kuva 1. Sisäilmasto-ongelman selvitysprosessin päävaiheet /1/.

Sisäilmasto-ongelman selvitys ja korjausvaiheessa tilaajan edustajana ja edunvalvojana voi toimia ulkopuolisia asiantuntijoita, joiden pääasiallisia tehtäviä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Sisäilmasto-ongelman selvitys- ja korjausvaiheessa tilaajan edustajina ja edunvalvojina toimivia ulkopuolisia asiantuntijoita.

Kuntotutkijat	Rakennuksen ja sen tekniikan kunnon ja toimivuuden selvittäminen
Johtava asiantuntija*	Kuntotutkimusten ohjaaminen
Työterveyshuolto, työterveyslääkäri	Tilojen terveydellisen merkityksen arviointi
Eri tekniikka-alojen korjaussuunnittelijat	Korjaussuunnittelu
Rakennuttajakonsultti**	Suunnittelun ja korjausten ohjaaminen
Rakennustyön valvoja	Rakentamisen laadun ja sopimusten mukaisuuden varmistaminen
Kosteuden- ja puhtaudenhallinnan asiantuntijat	Työmaavaiheen olosuhteiden hallinta
Turvallisuuskoordinaattori	Rakennustyön turvallisuuden ja terveellisyyden varmistaminen
Terveydensuojeluviranomainen	Terveydensuojelulain toteutumisen valvonta

**Oppaassa esitetty johtava asiantuntija on tilaajan tukena selvitys- ja kuntotutkimusvaiheessa toimiva asiantuntija. Johtavalle asiantuntijalle on käytössä myös muita nimityksiä, kuten projektipäällikkö, vastaava kuntotutkija, johtava kuntotutkija yms.*

***Sopimusteknisten asioiden ja projektinjohton osalta tilaajan edustaja ja edunvalvoja. Rakennuttajakonsultti varmistaa yhdessä tilaajan kanssa, että rakennushankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtävät sekä tilaajan velvollisuudet ja vastuut tulevat suoritetuiksi.*

NORMAALIT YLLÄPITOTOIMET JA TILANNEARVIO

Haitta- ja poikkeamailmoitus

Toimintamalli ohjaa tilojen käyttäjiä ilmoittamaan rakennuksessa koetuista haitoista tai poikkeamista tilaajan organisoimaan ja ylläpitämään ilmoitusjärjestelmään. Rakennuksen rakenteisiin ja taloteknisiin järjestelmiin liitetty haitta- tai poikkeamailmoitukset selvitetään ensin kiinteistöhuollossa tilaajan laatimien ohjeiden ja käytäntöjen mukaisesti.

Jos tilojen käyttäjä epäilee koettujen oireiden liittyvän rakennukseen ja sen sisäilmastoon, haittailmoitus tehdään terveydenhuoltoon. Terveydenhuollon tehtävänä on arvioida oireilevan henkilön jatkotutkimus- ja hoitotarvetta yksilötasolla sekä sisäilmasto-ongelmaan liittyviä oireita ja niiden määrää ryhmätasolla /1, 3/.

Kiinteistöhuollon ja terveydenhuollon selvitykset

Kiinteistöhuollon tekemien selvitysten perusteella tilaaja päättää tarvittavista huolto- ja kunnossapitotoimenpiteistä sekä tiedottaa niistä tilojen käyttäjiä. Jos sisäilmasto-

ongelma ratkeaa teknisten selvitysten avulla, tilaaja määrittää seurantatoimenpiteet olosuhteiden ylläpitämiseen. Jos sisäilmasto-ongelma ei ratkea teknisten selvitysten perusteella, tilaaja perustaa kohdekohtaisen sisäilmaryhmän.

Terveystarkastus arvioi osana kohdekohtaista sisäilmaryhmää tilojen käyttäjien oireilmoitusten perusteella tarkempien tutkimusten ja selvitysten tarpeellisuutta. Työnantajan vastuulla on selvittää myös mahdollisten muiden kuin rakennuksesta johtuvien haittatekijöiden vaikutusta koettuun sisäilmaston laatuun /1/.

SELVITYKSET

Tutkimukset sisäilmaston laadun parantamiseksi

Tilaaja päättää kuntotutkimusten tilaamisesta, tai tarvittaessa päätös tehdään yhteistyössä sisäilmaryhmän kanssa. Tilaaja laatii kuntotutkimusten tarjouspyynnön ja vastaa lähtötietoaineiston kokoamisesta. Puutteelliset lähtötiedot heikentävät kuntotutkimusten lopputuloksen laatua.

Tilaaja määrittää tutkimusten tavoitteet, jotka perustuvat rakennuksen tiedossa oleviin käyttöikä- ja elinkaaritavoitteisiin. Tilaaja vastaa, että valitut kuntotutkijat ovat riittävän päteviä rakennuksen erityispiirteet huomioiden. Tutkimustarjoukset voivat poiketa toisistaan merkittävästi sekä sisällöllisesti että kustannuksiltaan ja tilaajan on suositeltavaa hyödyntää asiantuntijaa tarjouspyynnön laadinnassa, tarjousten ja tekijöiden pätevyyden arvioinnissa ja sopimusten laadinnassa.

Tilaaja vastaa tutkimusten ohjauksesta sekä sopimuksen mukaisuudesta. Tilaaja tarkastaa ja hyväksyy kuntotutkijoiden laatimat tutkimussuunnitelmat sekä -raportit yhteistyössä sisäilmaryhmän kanssa. Riittävän kattavan ja syy-seuraussuhteen selvittämiseen keskittyvän kuntotutkimuksen perusteella korjaussuunnittelijan on mahdollista määrittää soveltuvia korjausvaihtoehtoja.

Työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien terveydellistä merkitystä arvioi sisäilmaryhmässä työterveyshuollon asiantuntija. Asuntojen sekä julkisten rakennusten terveyshaitan ja tilojen käytettävyyden arviointi kuuluu terveydensuojeluviranomaiselle. Tilaaja ohjaa sisäilmaryhmässä viestintäsuunnitelman laatimista, ohjaa kuntotutkimussuunnitelman laatimista ja vastaa kuntotutkimustulosten sekä korjaavien toimenpiteiden tiedottamisesta tilojen käyttäjille. Tilaaja myös välittää kuntotutkimustulokset työterveyshuollolle ja terveydensuojeluviranomaiselle.

Korjaustavan valinta

Korjausten ensisijaisena tavoitteena on poistaa kosteus- ja mikrobivaurioista ja/tai muista sisäilman epäpuhtauksista aiheutuva haitta sisäilman laadulle. Tilaaja määrittää korjaussuunnittelulle rakennuksen käyttöikätaavoitteen, jonka perusteella korjaussuunnittelija määrittää tapauskohtaisesti soveltuvia korjausvaihtoehtoja /4, 5/.



Kuva 2. Korjaustavan valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Eri korjausvaihtoehdoista tilaaja valitsee rakennuksen suunnitellulle elinkaarelle soveltuvimman korjausvaihtoehdon ja päättää käytettävistä korjaustavoista ja korjausten laajuudesta yhteistyössä sisäilmaryhmän tai kohteeseen perustetun hankesuunnitteluryhmän kanssa. Tilaaja vastaa korjaustavan ja laajuuden tiedottamisesta tilojen käyttäjille.

KORJAAVAT TOIMENPITEET

Korjaussuunnittelu

Sisäilmasto-ongelmaa poistettaessa vaikutetaan rakennuksen käyttäjien terveydellisiin oloihin, jolloin voidaan tarvita rakennuslupa. Tilaaja selvittää rakennusluvan tarpeellisuuden ja sitä kautta pääsuunnittelijan tarpeellisuuden. Tilaaja määrittelee korjaustyön toteutusmuodon, huolehtii rakennuttajalle kuuluvien lakisääteisten tehtävien hoitamisesta sekä laatii korjaushanketta varten suunnittelu- tai projektiohjelman sekä suunnittelualakohtaisiin tehtäväluetteluihin pohjautuvat suunnittelutarjouspyynnöt. Tilaajan on huolehdittava siitä, että suunnitteluun valitaan riittävän pätevyyden omaavat suunnittelijat korjausten sisältö ja vaatimuusluokka huomioon ottaen.

Saaduista tarjouksista tilaajaa valitsee kokonaisuuden kannalta sopivimmat suunnittelijat ja asiantuntijat. Korjaushankkeen kosteudenhallintakoordinaattori ja puhtaudenhallinta-asiantuntija on suositeltavaa valita viimeistään korjaushankkeen toteutussuunnitteluvaiheessa. Tilaaja toimittaa valituille suunnittelijoille tarvittavat suunnitelma-asiakirjat sekä ohjaa suunnittelua. Tilaaja organisoii tiedottamisen korjaussuunnittelun etenemisestä tilojen käyttäjille sekä hyväksyy toteutussuunnitelmat.

Purku- ja korjaustyö

Suunnitelmien laadinnan ja hyväksymisen jälkeen käynnistyy rakentamisen valmistelu. Tarjouspyyntövaiheessa tilaajan tehtäviin kuuluu urakka- ja hankintarajojen määrittely ja kaupallisten urakka-asiakirjojen laadinta, rakennuttajan turvallisuusasiakirjan laadinta sekä turvallisuuskoordinaattorin nimeäminen. Tarkasti tehdyllä urakkatarjouspyynnöllä saadaan yhtenäisemmät tarjoukset sekä voidaan vähentää mahdollisia väärinkäsityksiä.

Urakkasopimuksen teon jälkeen valittu urakoitsija laatii työmaatoteutusta koskevat suunnitelmat, kuten kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmat, ja yleisaikataulun sekä hyväksyttää ne tilaajalla.

Korjaushankkeen aikataulussa on varauduttava purkutöiden aikana paljastuviin yllätyksiin, mitkä edellyttävät kuntotutkijan ja korjaussuunnittelijan tekemiä työmaakatselmuksia sekä mahdollisia lisätutkimuksia ja korjaussuunnitelmien muuttamista tai täydentämistä. Korjaustyön laatua tulee seurata työmaa-aikaisilla tarkastuksilla, kokeilla ja mittauksilla. Tilaajan valitsemat työmaavalvoja ja korjaussuunnittelija tarkastavat ja hyväksyvät mallityöt sekä laadunvarmistuskokeiden ja -mittausten tulokset. Tilaajan edustajana toimiva kosteudenhallintakoordinaattori valvoo ja ohjaa rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutusta. Puhtaudenhallinta-asiantuntija valvoo ja ohjaa rakennushankkeen pölyntorjunnan ja puhtaudenhallinnan toteuttamista tilaajan edustajan.

Urakoitsijan on tärkeää tiedottaa rakennuksen käyttäjille korjaustöiden vaikutuksesta käyttäjien toimintaan. Korjausalueen viereisten tilojen käyttömahdollisuuksia arvioidaan aina tapauskohtaisesti. Rakennushanke päättyy urakan vastaanottoon ja rakennuksen käyttöönottoon, missä tilaaja toteaa eri alojen urakoihin kuuluvien töiden sopimuksen mukaisuuden. Rakennuksen käyttöönottovaiheessa tilojen käyttäjiä opastetaan tilojen oikeaan käyttöön ja kiinteistöhuoltoa opastetaan rakennuksen ylläpitoon. Rakennuksen ja sen taloteknisten järjestelmien käytön sekä huollon opastus kuuluu urakoitsijalle.

Tilaajan edustajana ja edunvalvojana työmaavaiheessa voi toimia usein rakennuttajakonsultti.

SEURANTA

Takuuajana seurataan rakennuksen toimivuutta, tehdään takuuajan säädöt, pidetään tarvittavat tarkastukset ja korjataan mahdolliset puutteet. Tilaajan tehtävänä on huolehtia korjausurakan takuuajan tehtävistä. Tilojen käytön aikana tilaajan tulee varmistaa, että suunnitteluvaiheessa laadittujen seurantasuunnitelmien mukaiset katselmuksot ja mittaukset on tehty sekä tiedottaa tilojen käyttäjiä selvitysten tuloksista. Seurantajakson päätyttyä tilaaja arvioi tilojen käytön aikana tehtävien katselmusten ja mittausten jatkamisesta sekä huolehtii rakennuksen suunnitelmallisesta ja pitkäjänteisestä ylläpidosta.

YHTEENVETO

Rakennuksen normaaleihin ylläpitotoimiin kuuluu tilaajan organisoimat haitta- tai poikkeamailmoitusjärjestelmän ylläpitäminen sekä ilmoituksiin liittyvät kiinteistöhuollon toimenpiteet. Tarvittaessa sisäilmasto-ongelman aiheuttajaa selvitetään tarkemmilla kuntotutkimuksilla ja tilannetta arvioidaan moniammatillisessa sisäilmaryhmässä. Tilaaja perustaa tarvittaessa sisäilmaryhmän sekä vastaa tarvittavien tutkimusten laajuuden määrittämisestä, tilaamisesta sekä tutkimusten ohjaamisesta.

Tilaaja hyväksyy ja tarkastaa yhdessä sisäilmaryhmän kanssa tutkimuksiin liittyvät tutkimussuunnitelmat sekä tutkimusten perusteella tehdyt johtopäätökset ja

korjaustoimenpidesuosituksat. Tilaaja määrittää korjauksille tavoiteltavan käyttöiän sekä valitsee rakennukselle soveltuvan korjaustavan korjaussuunnittelijan esittämistä vaihtoehtoista. Tilaaja vastaa ongelman selvitysvaiheen aikana tehtävistä tiedottamisesta tilojen käyttäjille ja niiden sidosryhmille.

Tilaaja hankkii korjaushankkeelle tarvittaessa rakennuslupan, vastaa suunnittelun tavoitteiden ja laajuuden määrittämisestä ja siitä, että suunnittelun lähtötiedot on selvitetty riittävällä tarkkuudella ja laajuudella. Tilaaja vastaa, että suunnittelu on tehty kelpoisuusvaatimukset täyttävien suunnittelijoiden toimesta, ja että rakennuslupaa vaativissa korjauksissa on nimetty pääsuunnittelija. Tilaaja vastaa myös suunnittelun ohjauksesta, hyväksyy laaditut toteutussuunnitelmat ja laadunvarmistusasiakirjat ja käynnistää rakentamisen valmistelun.

Tilaajan tehtäviin kuuluu korjausvaiheessa mm. urakkamuodon valinta, urakka- ja hankintarajojen sekä laatuvaatimusten määrittely, hankinta-asiakirjojen valmistelu ja kokoaminen sekä turvallisuusvelvoitteista huolehtiminen. Tilaaja huolehtii, että sopimusneuvottelut pidetään ja kirjalliset sopimukset laaditaan valitsemansa urakoitsijan kanssa. Tilaaja myös huolehtii, että päätoteuttaja ja vastaava työnjohtaja tulee nimettyä.

Tilaaja varmistaa sopimuksen mukaisen toteutuksen ja tavoitteet täyttävän lopputuloksen yhteistyössä ulkopuolisten valvojien ja asiantuntijoiden kanssa. Tilaaja tarkistaa rakentamis- ja vastaanottovaiheessa korjaustöiden suunnitelmien mukaisuuden ja toimivuuden.

Tilaaja huolehtii korjausurakan takuuajan tehtävistä valitun sopimusmuodon ja -ehtojen mukaisesti. Tilaaja vastaa korjaukselle laaditun seurantasuunnitelman toteuttamisesta sekä rakennuksen suunnitelmallisesta yllä- ja kunnossapidosta. Tilaaja vastaa korjaushankkeen aikaisesta tiedottamisesta tilojen käyttäjille.

LÄHDELUETTELO

1. Työterveyslaitos, 2022. Terveystellisen merkityksen arviointi sisäilmatilanteissa. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-047-8>
2. Ympäristöministeriö 2023, Sisäilmasto-ongelman ratkaiseminen, tilaajan opas. [Sisailmasto-ongelman+ratkaiseminen+Tilaajan+opas.pdf \(tilatjaterveys.fi\)](#)
3. Työterveyslaitos, 2023. Sisäilmastaselvitys ja olosuhdearviointi: Ohje työpaikkojen sisäilmastaselvityksiä ja olosuhdearviointeja tekeville. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-037-9>
4. Ympäristöministeriö, 2019. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:18, Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-024-8>
5. Ympäristöministeriö, 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017). www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782

SISÄILMASTO-ONGELMAN RATKAISEMINEN, SOPIMUSASIOITA -OPAS

Simo Kinnunen¹, Kiia Miettunen¹, Kalevi Setälä¹, Jonna Järvinen¹, Kai Mettälä¹, Sami Koskela² ja Susanna Turkia²

¹Sweco PM Oy

²Sweco Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Terveet tilat 2028 -ohjelman puitteissa laaditun oppaan tavoitteena on auttaa pientaloasukkaita ja kuluttajia ymmärtämään ja soveltamaan sisäilmastokorjauksiin liittyviä sopimusasioita. Oppaassa käydään läpi sisäilmastokorjauksiin liittyvien osapuolten vastuuta ja velvollisuuksia sekä niiden vaikutuksia sisäilmastokorjausten sopimusasioihin. Oppaassa tarkastellaan korjaushankkeen eri vaiheita lähtötietojen selvittämisestä takuuajasta asti. Oppaassa on vinkkejä sisäilmastokorjauksiin osallistuvien asiantuntijoiden ja urakoitsijoiden kilpailuttamiseen sekä sopimusten tekemiseen.

JOHDANTO

Tutkimuksia, suunnittelua ja korjaustöitä säätelevät monelta osin lait ja asetukset, mitkä tilaajan tulee huomioida hankkeeseen ryhtyessään ja töitä tilatessaan.

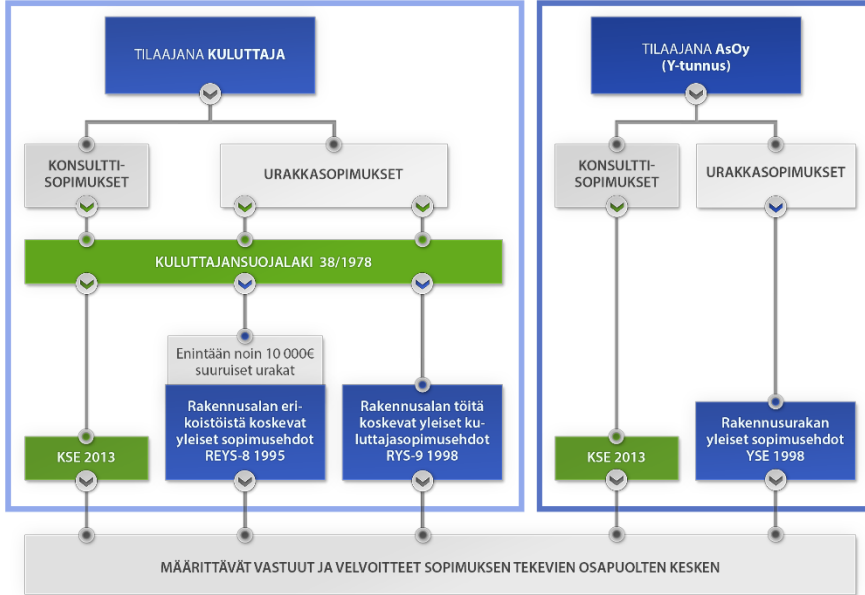
Rakennushankkeeseen ryhtyvän ja tilaajan velvollisuuksiin ja vastuisiin kuuluu muun muassa huolehtia, että hankkeen eri osapuolilla on riittävä pätevyys ja ammattiosaaminen /1/ ja että sopimuskumppanit täyttävät lakisääteiset velvoitteet tilaajavastuulain /2/ mukaisesti. Rakennuttajan vastuuta puolestaan määrittävät työturvallisuutta säätelevät asetukset /3, 5/ ja tilaaja voi joutua vastaamaan myös työnantajan velvoitteista laaditun sopimuksen mukaan /3, 4, 5/. Tilaajalle muodostuu vastuuta ja velvoitteita myös sopimussuhteista ja -muodoista riippuen. Kuluttajan asema tilaajana on sopimusten näkökulmasta hyvin poikkeava muihin tilaajiin nähden. Rakennushankkeeseen ryhtyvän velvoitteet ja vastuut ovat samanlaiset tilaajan osaamistasosta riippumatta.

Merkittävä osa sisäilmastokorjausten kustannuksista muodostuu urakkavaiheessa, mutta kustannukset määrittyvät pääosin kuntotutkimus- ja korjaussuunnitteluvaiheissa, joissa selvitetään ja päätetään tarvittavien korjausten laajuus. Puutteelliset kuntotutkimukset voivat aiheuttaa isoja yllätyksiä urakkavaiheen kustannuksiin ja aikatauluun.

SISÄILMASTOKORJAUSTEN OSAPUOLET JA SOPIMUSSUHTEET

Sisäilmastokorjauksiin osallistuu useita eri tahoja korjaushankkeen eri vaiheissa. Osapuolten roolit ja tehtävien velvoittavuus riippuvat siitä, tarvitaanko rakennuslupa. Lakien ja asetusten velvoittavuus puolestaan vaikuttaa siihen, kuka roolissa voi toimia ja millaisia pätevyysvaatimuksia henkilöltä vaaditaan. Sopimussuhteet ja -ehdot määrittävät sisäilmastokorjausten osapuolten vastuuta ja velvoitteita.

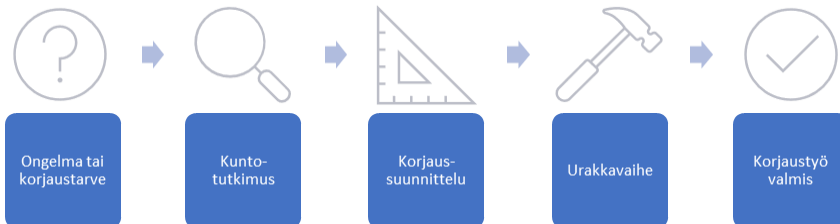
Jokaiseen rooliin ei tarvitse välttämättä nimetä eri henkilöä, vaan yksi henkilö voi tapauskohtaisesti toimia useammassa roolissa. Käytännössä rooleja voi yhdistellä tehtävään valittavan henkilön tai yrityksen osaamisen rajoissa muilta osin, mutta rakennuttajakonsulttia ei kannata nimetä urakoitsijaksi eikä urakoitsijaa korjaustöiden valvojaksi tai turvallisuuskoordinaattoriksi eturistiriitojen välttämiseksi. Lisäksi on huomioitava, että rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuuta ei voi ulkoistaa muille.



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio sisäilmastokorjauksissa käytettävistä yleisistä sopimusehdoista ja lainsäädännöstä.

SISÄILMASTO-ONGELMAN RATKAISEMISEN VAIHEET

Syksyllä 2022 päivitetystä Työterveyslaitoksen sisäilmaongelmien selvitys- ja ratkaisuprosessin toimintamallissa on esitetty viisi päävaihetta, jotka ovat normaalit ylläpitotoimet, tilannearvio, selvitykset, korjaavat toimenpiteet ja seuranta /6/. Terveet tilat 2028 -ohjelman puitteissa laaditussa sopimusasioita käsittelevässä oppaassa vaiheet on jaoteltu korjaushankkeen näkökulmasta. Sisäilmastokorjausten päävaiheista kaksi ensimmäistä vaihetta käsittävät sisäilmasto-ongelman ratkaisemisen toimintamallin ylläpitotoimet, tilannearvion ja selvitykset. Kolme viimeistä päävaihetta sisältävät toimintamallin korjaavat toimet ja seurannan. Päävaiheiden välissä kilpailutetaan ja laaditaan sopimukset vaiheen toteuttavan tai toteuttavien tahojen kanssa.



Kuva 2. Sisäilmastokorjausten päävaiheet.

Kuntotutkimus pientalon korjaustarpeiden selvittämiseksi

Tilaaja päättää kuntotutkimusten tilaamisesta. Tilaaja määrittää tutkimusten tavoitteet, jotka perustuvat rakennuksen tiedossa oleviin käyttöikä- ja elinkaaritavoitteisiin.

Tilaaja vastaa kuntotutkimusten tarjouspyynnön laadinnasta ja lähtötietoaineiston kokoamisesta. Puutteelliset lähtötiedot voivat heikentää kuntotutkimusten lopputuloksen laatua. Tilaaja vastaa myös siitä, että valitut kuntotutkijat ovat riittävän päteviä rakennuksen erityispiirteet huomioiden.

Saadut tutkimustarjoukset voivat poiketa toisistaan merkittävästi sekä sisällöllisesti että kustannuksiltaan. Tilaajan voi olla omasta osaamistasosta riippuen järkevää hyödyntää asiantuntijaa tarjouspyynnön laadinnassa sekä myöhemmin tarjousten ja tekijöiden pätevyyden arvioinnissa ja sopimusten laadinnassa.

Tilaaja vastaa tutkimusten ohjauksesta sekä sopimuksen mukaisuudesta. Tilaaja tarkastaa ja hyväksyy kuntotutkijoiden laatimat tutkimussuunnitelmat sekä -raportit. Riittävän kattavan ja syy-seuraussuhteen selvittämiseen keskittyvän kuntotutkimuksen perusteella korjaussuunnittelijan on mahdollista määrittää soveltuvia korjausvaihtoehtoja. Tilaaja valitsee lopullisen korjaustavan suunnittelijan esittämistä vaihtoehtoista.

Rakennuttajakonsultti ja valvoja tilaajan apuna

Tilaajan kannattaa viimeistään tutkimusten toteuttamisen ja korjaustavan valinnan jälkeen päättää, valitseeko ulkopuolisen rakennuttajakonsultin avukseen vai hoitaako tilaaja rakennuttamisen itse. Rakennuttajakonsultti on tilaajan edunvalvoja, joten rakennuttajakonsultin olisi hyvä olla urakoitsijasta riippumaton henkilö.

Tilaaja (tai rakennuttajakonsultti yhdessä tilaajan kanssa) varmistaa, että rakennushankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtävät sekä rakennushankkeeseen ryhtyvän velvollisuudet ja vastuut tulevat suoritetuiksi. Isoissa ja monimutkaisissa korjauksissa ja tilaajan vastuiden lisääntyessä on ulkopuolisen rakennuttajakonsultin palkkaaminen kannattavaa etenkin, jos tilaaja ei ole rakennusalan ammattilainen.

Tilaajan tehtäviä sisäilmasto-ongelman ratkaisemisessa, joissa rakennuttajakonsultti voi muun muassa auttaa, ovat:

- korjausten laajuus- ja laatuavoitteiden sekä aikataulun ja toteutusmuodon määrittäminen
- suunnittelun valmistelun ja ohjauksen tehtävät
- rakentamisen valmisteluvaiheen tehtävät sekä turvallisuuteen liittyvien lakisääteisten velvoitteiden hoitaminen
- rakentamisvaiheen tehtävät sekä tarvittaessa vastaanotto- ja takuuvaiheen tehtävät.

Korjaustavan valinta ja suunnitelmien laadinta

Korjausten ensisijaisena tavoitteena on poistaa kosteus- ja mikrobivaurioista ja/tai muista sisäilman epäpuhtauksista aiheutuva haitta sisäilman laadulle. Tilaaja määrittää yhteistyössä korjaussuunnittelijan kanssa rakennuksen ja korjausten käyttöikäavoitteen, jonka perusteella korjaussuunnittelija määrittää tapauskohtaisesti soveltuvia korjausvaihtoehtoja /7, 8/. Eri korjausvaihtoehtoista tilaaja valitsee yhteistyössä

korjaussuunnittelijan tai rakennuttajakonsultin kanssa suunnittelijan ehdotuksista soveltuvimman korjausvaihtoehdon ja päättää käytettävistä korjaustavoista ja korjausten laajuudesta.

Sisäilmasto-ongelmaa poistettaessa vaikutetaan rakennuksen käyttäjien terveydellisiin oloihin, jolloin voidaan tarvita rakennuslupa. Tilaajan vastuisiin kuuluu selvittää rakennusluvan tarpeellisuus ja sitä kautta pääsuunnittelijan tarpeellisuus korjaukselle. Tilaaja tehtäviin kuuluu määritellä korjaustyön toteutusmuoto, huolehtia rakennuttajalle kuuluvien lakisääteisten tehtävien hoitamisesta sekä laatia suunnittelutarjouspyynnöt. Tilaajan on huolehdittava siitä, että suunnitteluun valitaan riittävän pätevyyden omaavat suunnittelijat korjausten sisältö ja vaativuusluokka huomioon ottaen. Näissä tehtävissä tilaajaa voi auttaa esimerkiksi rakennuttajakonsultti.

Saaduista tarjouksista tilaajaa valitsee kokonaisuuden kannalta sopivimmat suunnittelijat ja asiantuntijat. Tilaaja toimittaa valituille suunnittelijoille tarvittavat suunnitelma-asiakirjat, ohjaa suunnittelua sekä hyväksyy toteutussuunnitelmat.

Käytännön korjaustyöt tehdään edellä laadittujen ja urakkasopimukseen liitettyjen suunnitelmien mukaan. Urakoitsija vastaa sopimuksen ja hyvän rakentamistavan mukaisesta työn toteuttamisesta. Tyypillisesti tämä tarkoittaa sitä, ettei urakoitsija ota vastuuta siitä, että sisäilmasto-ongelma poistuu korjaussuunnitelmien mukaisilla toimenpiteillä. Tästä syystä korjaussuunnitelmien laatu ja tavoitteiden mukaisuus ovat erittäin tärkeä osa sisäilmasto-ongelman ratkaisemista ja korjausten onnistumista.

Korjaustyön urakka

Suunnitelmien laadinnan ja hyväksymisen jälkeen käynnistyy rakentamisen (purku- ja korjaustyö) valmistelu. Urakkatarjouspyyntövaiheessa tilaajan tehtäviin kuuluu urakka- ja hankintarajojen määrittely ja kaupallisten urakka-asiakirjojen laadinta, teknisten urakka-asiakirjojen kokoaminen, rakennuttajan turvallisuusasiakirjan laadinta sekä turvallisuuskoordinaattorin nimeäminen. Tehtävien hoidossa tilaajaa voi auttaa esimerkiksi rakennuttajakonsultti tai pätevä korjaussuunnittelija.

Tilaajan tulee nimittää jokaiseen rakennushankkeeseen sen vaativuutta vastaava pätevä turvallisuuskoordinaattori sekä päätoteuttaja /5/. Tämä koskee myös hankkeita, joihin ei vaadita rakennuslupaa. Jos hankkeelle ei ole nimetty turvallisuuskoordinaattoria eikä päätoteuttajaa, vastaa tilaaja itse heille kuuluvista lainsäädännön mukaisista velvoitteista. Käytännön rakennustyötä johtava ja työn suoritusta valvova vastaava työnjohtaja tulee nimetä aina rakennusluvan alaisissa töissä sekä usein turvallisuus- ja terveellisyysnäkökohtien takia myös sisäilmastokorjauksissa. Edellä esitettyjen roolien tarve tulee huomioida tarjouspyyntöjen laadinnassa.

Sisäilmastokorjausten onnistumisen kannalta urakkasopimusta edeltävät sopimusneuvottelut (urakkaneuvottelu) ovat erittäin tärkeitä. Urakkaneuvotteluissa tilaajalla on mahdollisuus pyytää urakoitsijaa tarkentamaan tarjouksensa sisältöä, laajuutta ja kustannusten muodostumista. Urakkaneuvotteluissa käydään läpi myös tilaajan ja urakoitsijan vastuita ja velvollisuuksia sekä mahdollista maksuerätaulukkoa, jonka sisältöön tilaajalla on oikeus ja valta vaikuttaa. Urakkaneuvottelun muistio on tyypillisesti yksi (kirjallisen) urakkasopimuksen asiakirjoista ja siihen voidaan vedota mahdollisissa riitatapauksissa.



VINKKEJÄ URAKKANEUVOTTeluihin

Seuraavat asiat kirjataan urakkaneuvottelumuistioon ja osa asioista kirjataan myös urakkasopimukseen:

- aikataulu
- hinta (muutoksien ja tarkennuksien vaikutus hintaan)
- korjaustyön laatutaso (hyvän rakentamistavan mukainen vai sitä parempi laatutaso)
- korjaustyön laajuus ja rajaukset
- korjaustyön vaikutus tilojen käyttöön
- lisä- ja muutostöistä sopiminen (sovittava aina kirjallisesti)
- maksuerätaulukon läpikäynti ja viimeisen maksuerän kytkeminen vastaanottokatselmukseen
- suunnitelmapoikkeamat ja korvattavat materiaalit (mahdolliset vaikutukset urakoitsijan takuuseen)
- tilaajan ja urakoitsijan vastuut ja velvollisuudet
- työmaapalvelut ja vastuut
- urakoitsijan huomiot suunnitelmista (ristiriitaisuudet tai puutteet)
- urakkaan sisällyttämättömät materiaalihankinnat
- vakuudet, vaaranvastuu ja urakkakohteen vakuuttaminen
- vastaanottokatselmuksen pitäminen
- vastaava työnjohtaja sekä hänen tehtävänsä (mahdollinen tehtäväluettelo) ja vastuunjako
- vuositarkastuksen pitäminen ja koollekutsuminen.

Kuva 3. Vinkkejä tilaajalle urakkaneuvotteluihin.

Urakkasopimuksen allekirjoituksen jälkeen korjaustyöt voidaan aloittaa, jos muut edellytykset täyttyvät (esim. rakennuslupa on lainvoimainen, avainhenkilöt on hyväksytty rakennusvalvonnassa sekä aloituskokous on pidetty tai aloittamisilmoitus on tehty). Tilaaja hyväksyy valitun urakoitsijan (pää toteuttaja) laatimat työmaatoteutusta koskevat suunnitelmat, kuten kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmat sekä yleisaikataulun. Tilaaja varmistaa, että pää toteuttaja on tehnyt tarvittavan ennakoilmoituksen työsuojeluviranomaiselle.

Tilaajan valitsemat työmaavalvoja ja korjaussuunnittelija tarkastavat ja hyväksyvät mallityöt sekä laadunvarmistuskokeiden ja -mittausten tulokset. Tilaajan edustajana toimiva kosteudenhallintakoordinaattori valvoo ja ohjaa rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutusta. Sisäilmastokorjauksissa myös pölyn- ja puhtaudenhallinnalla on suuri rooli sisäilmasto-ongelman poistumisen näkökulmasta. Pölyn- ja puhtaudenhallintaa toteuttaa pientalokorjauksissa tyypillisesti urakoitsija ja tilaajalla on oikeus asettaa oma edustajansa valvomaan pölyntorjunnan ja puhtaudenhallinnan toteutumista.

Tilaajan velvollisuutena on varmistaa, että tarvittavat maankäyttö- ja rakennuslain, rakennuslupan ja sopimuksen edellyttämät toimet tulevat korjaustyössä suoritetuiksi. Korjaustyön toteutuksen aikana tilaajan edustajat (tai tilaaja itse) seuraavat hankkeen etenemistä, valvovat aikataulujen toteutumista ja maksuliikennettä, pitävät yhteyttä suunnittelijaan ja urakoitsijaan sekä seuraavat turvallisuusasioiden toteutumista. Pätevä ja asiansa osaava vastaava työnjohtaja voi osaltaan toimia tilaajan edunvalvojana näissä tehtävissä.

Rakennushanke päättyy urakan vastaanottoon ja rakennuksen käyttöönottoon. Vastaanottokatselmuksessa/-tarkastuksessa tilaajalla on mahdollisuus varmistaa eri alojen urakoihin kuuluvien töiden sopimuksen mukaisuus. Vastaanottokatselmuksen/

-tarkastuksen pitäminen ei ole pakollista, mutta se on tilaajan etujen mukaista. Rakennusluvan alaisissa korjauksissa tilaajan tulee vastaanottovaiheessa huolehtia, että viranomaisvelvoitteet on täytetty. Tilaajan tulee myös huolehtia, että urakoitsija luovuttaa vastaanoton yhteydessä urakkaa koskevat asiakirjat, kuten tiedot tuotetakuista sekä käyttö- ja huolto-ohjeet.

Seuranta

Korjaushankkeen vastaanottotarkastuksessa mahdollisesti havaittujen puutteiden korjausten jälkeen alkaa urakan takuu-aika. Korjaustyön takuu-aika ja takuu määräytyvät sen mukaan, mitä urakkasopimuksessa on sovittu. Tilaajan näkökulmasta takuutarkastuksen pitäminen on aina suositeltavaa ja sen pitämisestä on hyvä sopia etukäteen. Tilaajan on hyvä huomioida, että urakoitsija antaa takuun sille, että työn tulos kestää sopimuksen mukaisen takuuaian suunnitelmien mukaisella laadulla. Urakoitsija ei tyypillisesti anna takuuta sille, että mahdollinen sisäilmaongelma poistuu tehdyillä korjauksilla.

Erityisesti sisäilmastokorjauksissa, joissa on tehty esimerkiksi rakenteiden ilmatiiveyttä parantavia korjauksia, takuutarkastuksessa on hyvä varmistaa, että rakenteet ovat toimineet suunnitellulla tavalla. Takuutarkastus on tilaajan etu ja hyvä mahdollisuus reklamoida mahdollisista virheellisistä urakkasuorituksista, jos virheitä ei ole voinut havaita esimerkiksi vastaanottokatselmuksessa/-tarkastuksessa. Tarkastusvälillä havaituista virheistä on kuitenkin syytä reklamoida urakoitsijaa mahdollisimman nopeasti virheen tultua esiin.

LÄHDELUETTELO

1. Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L17P120d>
2. Laki tilaajan selvitysvastuusta ja vastuusta ulkopuolista työvoimaa käytettäessä (1233/2006). Tulostettavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20061233>
3. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta (798/2015). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798>
4. Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta (1267/2019). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191267>
5. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009). Tulostettavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>
6. Reijula, K., Korenius, P., Keränen, H., Tulenheimo-Eklund, E., Vuokko, A., Sainio, M. (2022). Terveystieteellisen merkityksen arviointi sisäilmatilanteissa. Työterveyslaitos. Tulostettavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-047-8>
7. Weijs, I., Lahdensivu, J., Turunen, T., Ahola, S., Sistonen, E., Vornanen-Winqvist, C., Annala, P. (2019). Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Ympäristöministeriön julkaisu 2019:18. Ympäristöministeriö. Tulostettavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-024-8>
8. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017). Tulostettavissa: www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782

Uudet Terve Talo -RT-kortit

Leif Wirtanen, Timo Turunen ja Magnus Stagnäs

Ramboll Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Terveen talon toteutuksen uudet RT-kortit julkaistiin lokakuussa 2023. Toinen korteista on kohdennettu uudisrakennushankkeille ja toinen korjaus- ja muutoshankkeille. Kortit korvaavat vuonna 2003 ja 2004 julkaistut Terveen talon kriteerien RT-kortit. Uusien RT-korttien tueksi julkaistiin rakennushankkeen vaihekohtainen tehtävälista sekä suunnittelualakohtainen rakennusosia ja taloteknisiä järjestelmiä käsittelevä tarkastuslista. Kortit toimivat niin tilaajan ohjeena kuin kaikkien rakennushankkeessa mukana olevien osapuolien tukena Terve talo -hankkeissa hankesuunnittelusta aina valmiin rakennuksen käyttöön. Kortit täydentävät Sisäilmastoluokitus 2018:sta ja niissä on otettu huomioon uusien alan ohjeistus. Kortteja voidaan käyttää rakennustyyppistä ja hankemuodosta riippumatta.

JOHDANTO

Terve talo -hankkeessa on tavoitteena varmistaa rakennusosien rakennusfysikaalinen toimivuus yhdessä toimivan talotekniikan, ääniympäristön ja valaistuksen kanssa unohtamatta vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja ja tilojen siivottavuutta. Terve talo -hankkeen onnistunut läpivienti edellyttää suunnittelun ohjauksen ja yhteensovittamisen lisäksi eri urakoitsijoiden välistä saumatonta yhteistyötä hankkeelle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Jotta rakennus säilyy terveenä myös sen käytön aikana, tulee ylläpidon olla selkeästi ohjeistettua ja toimivaa. Näistä osakokonaisuuksista muodostuu rakenteiltaan ja talotekniikaltaan toimiva kokonaisuus, joka tukee taloudellisesti ja ekologisesti kestävästä rakentamisesta sekä edistää rakennuksen käyttäjien viihtyvyyttä ja työn tuottavuutta.

Terve talo -hankkeen lähtökohtana on Sisäilmastoluokituksen /1/ sisäilmastoluokka S1 tai S2, eli Terve talo -hankkeessa tavoitellaan lähtökohtaisesti määräystasoa parempaa sisäilmaston laatua. Käytännössä sisäilmaston laatutavoitteita ovat esimerkiksi:

- Tilojen lämpöolosuhteet (lämmitys, jäähdytys, vetoisuus, kylmät tai kuumat pinnat)
- Sisäilman laadun tavoitearvot (hiilidioksidipitoisuus, radonpitoisuus, pienhiukkaset)
- Ääniympäristö (ääniolosuhteet, ääneneristävyys, meluntorjunta)
- Valaistusolosuhteet (päivänvalon hyödyntäminen, valaistusvoimakkuus, häikäisyindeksi, värintoistoindeksi)
- Energiatehokkuus (ilmanpitävyys/q₅₀-luku)
- Rakennustuotteiden ja -materiaalien vaatimustasot (kemialliset päästöt, akustiset ominaisuudet, siivottavuus)
- Rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka P1.

Sisäilmastoa koskevat laatutavoitteet tulee määritellä riittävän aikaisessa vaiheessa hanketta, mieluiten jo hankesuunnitteluvaiheen alussa.

UUDET TERVE TALO -RT-KORTIT

Lokakuussa 2023 julkaistut uudet Terve talo -RT-kortit ovat:

- RT 103612 Terve talo. Uudisrakennushanke. Tilaajan ohje /2/
- RT 103613 Terve talo. Korjaushanke. Tilaajan ohje /3/
- RT 103614 Terve talo. Suunnittelualakohtainen tarkastuslista rakennusosittain /4/
- RT 103615 Terve talo. Vaihekohtaiset tehtävät /5/

Uudet RT-kortit on laatinut Rakennustietosäätiö RTS:n toimikunta TK 435 Terveen talon toteutuksen kriteerit Magnus Stagnäsin, Timo Turusen ja Leif Wirtasen käsikirjoituksen pohjalta. Toimikunnan jäsenet olivat: Jorma Säteri (Metropolia Ammattikorkeakoulu (pj.)), Mervi Ahola (Sisäilmayhdistys ry), Lari Eskola (A-Insinöörit Suunnittelu Oy), Kiia Miettunen (Sweco PM Oy), Juha-Ville Mäkinen (LVI-Tekniset Urakoitsijat LVI-TU ry), Tero Niemelä (Skanska), Katja Outinen (Valtioneuvoston kanslia), Tommi Pihlajamäki (Rakennustieto Oy, (siht.)), Topi Rissanen (A-Insinöörit Suunnittelu Oy), Hemmo Sumkin (Sitowise Oy), Juha Takkunen (Sirate Oy), Katja Tähtinen (Rakennustietosäätiö) ja Leif Wirtanen (Ramboll Finland Oy).

Terve talo -hanke, yleistä

Päätös hankkeen toteuttamisesta Terve talo -hankkeena tulisi tehdä jo ennen hankesuunnitteluvaihetta, jolloin se tulee otetuksi huomioon jo suunnittelu-tarjouspyyntöjä laadittaessa. Päätöksen on oltava kaikkia hankkeen osapuolia sitova.

Päätös Terve talo -ohjeiden noudattamisesta on tilaajalla. Tilaajalla tarkoitetaan tahoa, joka asettaa hankkeelle tavoitteet. Tilaaja voi siis olla esimerkiksi rakennushankkeeseen ryhtyvä tai tämän edustajana toimiva rakennuttajataho. Tilaajan on hyvä tunnistaa, että Terve talo -ohjeiden mukaisesti toteutettavassa hankkeessa on monia yhteensovitettavia ja vastuutettavia asioita, jotta valmiissa rakennuksessa saavutetaan tavoitetason mukaiset sisäilmasto-olosuhteet.

Uusissa Terve talo RT-korteissa esitetyt asiat eivät ole viranomaissäännöksiä, vaan ohjeita Terve talo -hankkeen toteuttamiseksi. Ohjeiden lähtökohtana on Sisäilmastoluokituksen laatuluokkien S1 ja S2 tavoitteiden lisäksi hyvä rakentamistapa, joka määrittellään rakentamista koskevassa lainsäädännössä ja sitä täydentävissä ympäristöministeriön ohjeissa. Hyvää rakentamistapaa edistävää ohjeistusta on julkaistu lainsäädännön lisäksi yleisissä rakennusalan järjestöjen laatimissa julkaisuissa. Vaikka rakennushankkeessa ei tavoiteltaisikaan Sisäilmastoluokituksen sisäilmastoluokkien S1 tai S2 tavoitetasoa on kuitenkin tärkeää varmistua hankkeen eri osapuolten yhteistoiminnasta, toiminnan ohjauksesta, tehtävien yhteensovituksesta ja laadusta.

Terve talo, uudisrakennushanke

Uudisrakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheen tärkeimpiä asioita on tavoitteiden määrittely Sisäilmastoluokituksen mukaisesti ottamalla huomioon tulevan rakennuksen tyyppi ja koko, rakennuksen tuleva käyttö sekä muuntojoustavuus.

Hankesuunnitteluvaiheessa päätetään myös pääasialliset rakenneratkaisut ja toteutettava ilmanvaihtojärjestelmä, jolloin on varmistettava myös tilojen, rakenteiden ja valitun talotekniikkajärjestelmän yhteensopivuus.

Uudisrakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa keskeisiä tehtäviä ovat:

- Valita tavoiteltava sisäilmastoluokka: S1 tai S2
- Määrittellä hankkeen kosteusriskiluokka, minkä perusteella valitaan rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen suunnitteluluokka sekä kosteudenhallinnan menettelytapa RIL 250-2020 /6/ mukaan
- Määrittellä ulkoilman laatuluokat ja valita tuloilmaluokat
- Tehdä päätös hankkeessa noudatettavasta kosteudenhallinnan toimintamallista
- Tehdä päätös sertifioitujen ympäristöluokituksen käytöstä.

Mikäli hanke toteutetaan jonkin ympäristöluokitusjärjestelmän, kuten RTS-ympäristöluokituksen tai LEED- tai BREEAM-järjestelmien mukaisesti, on näissä esitetyt kriteerit myös otettava huomioon ja tarkasteltava niitä suhteessa Terve talo -tavoitteisiin. Hankkeen toteuttaminen Terve talo -ohjeiden mukaisesti edesauttaa ympäristöluokitusjärjestelmissä esitettyjen kriteerien saavuttamista.

Ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheessa tehdään lähes lopulliset valinnat arkkitehtuurin, rakenneratkaisujen, teknisten järjestelmien ja rakennuksen tyypillisten tilojen osalta sekä tarkennetaan sisäilmaston tavoitteet tilakohtaisiksi tavoitearvoiksi.

Toteutussuunnitteluvaiheessa on varmistettava, että suunnittelutyö etenee Terve talo -tavoitteiden mukaisesti. Tässä vaiheessa keskitytään suunnitelmien tavoitteiden- ja vaatimustenmukaisuuden, rakennusosien rakennusfysikaalisen toimivuuden, kosteusteknisten riskien ja pintamateriaalien valintojen tarkasteluun. Lisäksi paneudutaan rakennusosien liittymädetaljeihin sekä työmaan laadunvarmistus-toimenpiteiden sisällön, dokumentointitavan ja -tason määrittelyyn.

Rakentamisvaiheessa Terve talo -hanke koskee luonnollisesti kaikkia hankkeeseen osallistuvia osapuolia, ei ainoastaan päätoteuttajaa. Tavoitteiden mukaisen lopputuloksen saavuttaminen edellyttää kaikkien osapuolien vastuuttamista ja perehdyttämistä asetettuihin tavoitteisiin ja toimenpiteisiin niiden saavuttamiseksi.

Rakentamisen aikana on hallittava seuraavat osakokonaisuudet:

- Kosteusteknisesti toimivat ja toimintavarmat toteutustavat
- Rakennustöiden kosteudenhallinta
- Rakennustöiden puhtausluokitus P1
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokitus P1
- Rakennuksen ilmanpitävyys

Vastaanottovaiheessa luodaan ohjeistus rakennuksen tavoitteiden mukaista ylläpitoa varten. Ohjeistuksen on oltava sisällöltään ja muodoltaan niin selkeää, että edellytykset rakennuksen tavoitteiden mukaista ylläpitoa varten ovat olemassa rakennuksen koko suunnittelulle käyttöajalle. Vastaanottovaiheessa varmistetaan lisäksi, että rakentamisvaiheen laadunvarmistukseen liittyvät toimenpiteet on suoritettu ja dokumentoitu asianmukaisesti ja ne täyttävät hankkeelle asetetut vaatimukset ja suunnitteluarvot.

Kiinteistön omistajalla on pääasiallinen vastuu huolehtia, että rakennus säilyy tavoitteiden mukaisessa kunnossa koko sen käyttöajan. Kiinteistön omistajan on varmistettava huoltoyhtiön resursseista ja osaamisesta järjestelmien käytössä sekä järjestelmien tuottamien tulosten tulkinnassa. Lisäksi on varmistettava huoltoyhtiön tekemien ylläpitotoimien säännöllisyydestä ja oikea-aikaisuudesta sekä huoltokirjan säännöllisestä täyttämisestä.

Rakennusosien ja rakenteiden suunniteltu tekninen käyttöikä sekä hyvä sisäilmasto saavutetaan toteuttamalla kiinteistön hoito, teknisten järjestelmien huolto- ja siivouspalvelut rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti noudattaen annettuja huolto- ja kunnossapito-ohjeita.

Terve talo, korjaushanke

Korjaushanke voi olla esim. peruskorjaus-, laajennus- tai konversiohanke. Terve talo - korjaushankkeessa tavoitellaan vähintään lakien ja asetusten mukaisen tason täyttävää sisäilmastoa. Tavoitetaso on määritettävä hankekohtaisesti hankkeen erityispiirteiden sallimien rajoitusten puitteissa. Lähtökohtana on kuitenkin Sisäilmastoluokituksessa määritetyt tavoitteet sisäilmastoluokille S1 ja S2. Korjaushankkeessa on hyvä ottaa huomioon, että Sisäilmastoluokituksessa esitettyjä tavoitearvoja, kuten lämpöoloja, ei ole aina mahdollista saavuttaa esimerkiksi rakennuksen suojelutavoitteiden vuoksi.

Korjaushankkeessa on ensiarvoisen tärkeää tietää korjattavan rakennuksen kunto ja korjausmenetelmien valintaan vaikuttavat erityispiirteet mahdollisimman aikaisin. Rakennuksen kunto on erittäin suositeltavaa selvittää jo ennen hankesuunnitteluvaihetta. Hanke- ja yleissuunnitteluvaiheessa tehdään tarvittaessa täydentäviä tutkimuksia.

Kokonaisuuden hallinta on myös korjaushankkeissa hyvin oleellista. Eri korjaustapojen ja käyttöikätaavoitteiden välillä on suositeltavaa tehdä riskitarkastelu, jonka perusteella päätetään esimerkiksi, poistetaanko vaurio ja sen syy vai estetäänkö vaurion vaikutus sisäilmaan ja käyttäjiin rakennuksen suunnitellun käyttöajan ajan.

Tärkeimpänä korjaussuunnittelun lähtötietona toimivat kohteeseen tehtyjen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten tulokset. Tutkimuksia varten tarvittavan kuntotutkimussuunnitelman laadintaa, tutkimusten käytännön toteutusta ja tulosten raportointia ohjeistetaan ympäristöministeriön oppaassa Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus /7/. Myös rakennuksessa mahdollisesti olevat haitta-aineet pitää selvittää. Muita tapauskohtaisesti tarvittavia tutkimuksia ovat esimerkiksi maaperän pilaantuneisuusselvitys ja julkisivujen, vesikattojen, ovien ja ikkunoiden sekä taloteknisten järjestelmien kuntotutkimukset.

Edellä mainittujen tutkimusten tulosten perusteella määritetään tarkasteltavat korjausvaihtoehdot rakennusosittain. Tarkastelussa arvioidaan korjausmenetelmiä ja niihin sisältyviä riskejä teknisestä, taloudellisesta sekä sisäilman laadun ja olosuhteiden näkökulmasta. Korjaustyöhön tarvittavaa aikaa ja korjausten käyttöikätaavoitetta on myös pohdittava. On syytä ottaa huomioon, että rakennuksen mahdolliset suojelutavoitteet voivat vaikuttaa korjausmenetelmän valintaan.

Korjausmenetelmien yleisistä valintaperusteista ja tyypillisistä rakennusosakohtaisista korjausmenetelmistä on annettu ohjeita ympäristöministeriön julkaisemassa oppaassa Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus /8/.

Terve talo, suunnittelualakohtainen tarkastuslista rakennusosittain

Tarkastuslista sisältää Terve talo -hankkeen näkökulmasta tärkeimpiä tarkastuskohteita asetettujen tavoitteiden toteutumisen varmistamiseksi. Lista ei ole välttämättä sellaisenaan täysin kattava, joten siihen on lisättävä hankekohtaisia huomioita hankkeen yhteisissä Terve talo -kokouksissa sekä listattujen tarkastuskohteiden että vastuullisten suunnittelijoiden osalta. Jos tarkastuslistasta jätetään jokin tarkastuskohde pois tai jotain tarkastuskohdetta muokataan, on se tehtävä yhdessä sopimalla. Tarkastuslistaan on sisällytetty valmiiksi Kuivaketju10 -toimintamallin riskit ja vanhentuneiden Terveen talon toteutuksen RT-korttien /9,10/ kriteerit ja ohjeet soveltuvien osin.

Tarkastuslista on tarkoitettu ensisijaisesti suunnittelijoille ja hankkeen suunnitteluvaihetta ohjaavalle taholle. Rakentamisvaiheen laadunvarmistus tarkastuskohteittain on sovittava suunnitteluvaiheen aikana yhdessä hankkeen eri osapuolien kanssa. Urakoitsijan on sisällytettävä tarkastuskohtien todentaminen laadunvarmistusasiakirjoihinsa.

Terve talo, vaihekohtaiset tehtävät

Vaihekohtaisissa tehtävissä esitetään HJR18:n /11/ mukaiset tärkeimmät johtamis- ja rakennuttamistehtävät uudis- ja korjausrakennushankkeissa Terve talo -hankkeen näkökulmasta. Esitettyjen tehtävien avulla ohjataan tavoiteltujen sisäilmasto-olosuhteiden saavuttamista hankesuunnitteluvaiheesta takuuajasta asti hankkeen toteutusmuodosta riippumatta.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän lainsäädännöstä johtuvia velvollisuuksia on korostettu kunkin tehtävän yhteydessä maininnalla lakisääteinen tehtävä. Korjaushankkeissa täytyy huomioida kortissa esitettyjen muiden vaihekohtaisten tehtävien lisäksi myös korjaushankkeita koskevat tehtävät.

Terve talo -koordinaattori

Hankkeeseen voidaan nimetä erillinen Terve talo -koordinaattori, joka toimii hankkeessa tilaajan tukena varmistaen tavoitteiden toteutumisen läpi koko hankkeen. Terve talo -tavoitteiden toteutumisen seuranta voidaan vaihtoehtoisesti sisällyttää jollekin hankkeessa jo muutenkin mukana olevalle taholle. Mikäli hankkeeseen kiinnitetään Terve talo -koordinaattori, on suositeltavaa, että hän toimii hankkeessa myös kosteuden- ja puhtaudenhallintakoordinaattorina.

Terve talo -koordinoitua tekevän tahon tehtäviä hankkeessa Terve talo -tavoitteiden näkökulmasta ovat:

- Asettaa hankkeen Terve talo -tavoitteet yhdessä tilaajan kanssa
- Toimia tilaajan tukena läpi koko hankkeen ohjaten ja varmistaen Terve talo -tavoitteiden toteutumista
- Terve talo -kokoukset suunnitteluryhmän kanssa, joissa voidaan hyödyntää suunnittelualakohtaista tarkastuslistaa
- Suunnitelmien riittävyyden ja toteutettavuuden varmistaminen
- Terve talo -asiakirjan tai vaihtoehtoisesti kosteudenhallintaselvityksen ja puhtaudenhallinta-asiakirjojen laadinta
- Työmaasuunnitelmien tarkastus

- Työmaan aloituskokoukseen osallistuminen ja Terve talo -asioiden perehdytyskokouksen järjestäminen
- Työmaakierrokseen osallistuminen (suunnitelmanmukaisuuden ja sovittujen toimenpiteiden varmistaminen)
- Laadunvarmistustoimenpiteiden tarkastus
- Terve talo -loppudokumentin laatiminen
- Huoltokirjan sisällön varmistaminen
- Kiinteistönhoidon ja käyttäjien perehdytys

YHTEENVETO

Uusissa, syksyllä 2023 julkaistuissa, Terve talo RT-korteissa esitetään ohjeita rakennushankkeen tilaajalle uudis- tai korjaushankkeen toteuttamiseksi Terve talo -ohjeita noudattaen. Tavoitteena on toteuttaa rakennus, joka edistää käyttäjien viihtyvyyttä ja työn tuottavuutta taloudellisesti ja ekologisesti kestävästi. Uusien RT-korttien ohjeet pohjautuvat Sisäilmastoluokitus 2018:aan ja ne esittelevät, kuinka Sisäilmastoluokitus 2018:ssa määritetyt laatutavoitteet voidaan käytännössä toteuttaa rakennushankkeessa. Uusia RT-kortteja täydentävät RT 103614 Terve talo. Suunnittelualakohtainen tarkastuslista rakennusosittain ja RT 103615 Terve talo. Vaihekohtaiset tehtävät.

LÄHDELUETTELO

1. RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. (2018) Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 24 s.
2. RT 103612. Terve talo. Uudisrakennushanke. Tilaajan ohje. (2023). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 16 s.
3. RT 103613. Terve talo. Korjaushanke. Tilaajan ohje. (2023). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 18 s.
4. RT 103614. Terve talo. Suunnittelualakohtainen tarkastuslista rakennusosittain. (2023). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 17 s.
5. RT 103612. Terve talo. Vaihekohtaiset tehtävät. (2023). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 15 s.
6. RIL 250-2020. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. (2020). Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki 2020. 332 s.
7. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. (2016) Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. Helsinki. 238 s.
8. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. (2019) Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:18. Ympäristöministeriö. Helsinki. 199 s.
9. RT 07-10805. Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle. (2003). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 20 s.
10. RT 07-10832. Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle. (2004). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 20 s.
11. RT 10-11284. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18. (2017). Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. 32 s.

OPAS PUHTAUSLUOKAN P1-MUKAISEEN RAKENNUTTAMISEEN JA VALVONTAAN

Juha Takkunen

Sirate Group Oy

TIIVISTELMÄ

Puhtausluokan P1 vaatimukset on kuvattu pääpiirteissään Sisäilmastoluokitus 2018 - asiakirjassa. Käytännössä on kuitenkin todettu, että puhtausluokan toteutus, vaatimukset, sisältö ja valvonta voivat hankekohtaisesti erota merkittävästi toisistaan. Sisäilmayhdistyksen tuottaman ohjeen tarkoituksena on yhtenäistää puhtausluokan P1 asiantuntijapalveluiden tilaamista sekä niiden tuottamista. Ohjeessa esitetään sisäilmastoluokituksen vaatimukset puhtausluokan P1 osalta sekä tilaajalle että puhtaudenhallinnan valvonnasta vastaavalle taholle ja ohjeistetaan suunnittelussa huomioitavia asioita.

OHJEEN LÄHTÖKOHDAT

Sisäilmastoluokitus 2018 - asiakirjan /1/ tavoitteena on ohjata suunnittelua, kun asuin- tai toimitiloissa pyritään lainsäädännössä määriteltä parempaan sisäilmaan uudisrakennushankkeissa. Ohjeen vaatimuksia voidaan soveltaa myös peruskorjaushankkeissa. Sisäilmastoluokitus 2018 -asiakirjassa esitetyt sisäilmaluokat S1 ja S2 vaativat rakentamisen aikana puhtausluokan P1 noudattamista. Puhtausluokan tarkoituksena on, ettei valmiiseen rakennukseen tai tiloihin jää epäpuhtauksia kuten rakennuspölyä, joka voisi heikentää sisäilman laatua jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta. Muita työmaan puhtautta ohjaavia puhtausluokituksia ei ole käytössä. Mikäli hankkeessa ei noudateta puhtausluokkaa P1, noudatetaan työmaalla lainsäädännön vaatimuksia. Vanha puhtausluokka P2 ei ole enää käytössä.

Puhtausluokka P1 ei anna ohjeita tai aseta vaatimuksia purkuvaiheen puhtaudenhallintaan, vaan lainsäädäntö asettaa sille vaatimukset. Ohjeessa on esitetty vaatimukset purkuvaiheen puhtaudenhallinnan kuvaukselle ja valvonnalle. Sisävalmistusvaiheessa nykyisen lainsäädännön ja puhtausluokan P1 vaatimukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Ainoana selkeänä erona voidaan pitää IV-asennusalueiden osastointia puhtausluokan P1 työmailla. Rakennusmateriaalien ja tarvikkeiden suojausvaatimukset riippuvat hyvää rakennustapaa noudatettaessa tilaajasta, kun vaatimukset tulee olla kuvattuna tarkasti puhtausluokitellussa kohteessa. Puhtausluokassa P1 toimintakoe- ja luovutuspuhtauden vaatimukset sekä tarkastukset on määriteltä tarkasti, ja tämä erottaa sen hyvästä rakennustavasta hankkeen loppuvaiheessa. Ohjeessa on tarkennettu puhtausluokan P1 vaatimuksia ohjauksen ja valvonnan näkökulmasta hankkeen kaikissa vaiheissa sekä pyritty yhtenäistämään puhtaudenhallinnassa käytettävää termistöä.

Puhtaudenhallinnan valvontaan ei ole olemassa selkeää ohjeistusta, vaan valvonta tapahtuu lainsäädännön ja puhtausluokan P1 vaatimusten toteutumisen tarkasteluna rakentamisen aikana. Sisäilmastoluokituksessa on kuvattu ohjeet puhtaudenhallinnan vaatimuksille ja tarkastuksille toimintakoe- ja luovutuspuhtauden osalta, mutta

rakentamisen aikaista arviointia ei ole kuvattu, ainoastaan vaatimukset rakennus- ja ilmanvaihdon asennustöille.

Ohjeen tarkoituksena on lisäksi ohjata puhtaudenhallintakoordinaattorin hankintaa. Tämä mahdollistaa laadukkaan palvelun hankkimisen sekä asianmukaisen tarjouspyynnön laatimisen, joka helpottaa tarjousten vertailua.

PUHTAUDENHALLINNAN OHJAUKSEN JA VALVONNAN HANKINTA

Ohjeessa kuvataan puhtaudenhallintakoordinaattorin tehtävät rakennushankkeen eri vaiheissa:

- Suunnitteluvaiheen tehtävät
- Rakennusvaiheen tehtävät
- Ennen vastaanottoa suoritettavat tehtävät

Tehtävuetteloa voidaan käyttää puhtaudenhallintakoordinaattorin tarjouspyynnön laadinnassa. Tehtävien kertaisuudet ja yksityiskohdat tulee muotoilla hankkeen vaatimusten mukaisesti. Mahdollisia erityispiirteitä ja huomioitavia asioita on esitetty ohjeessa hankinnan tueksi. Tarjouspyynnössä on tärkeää huomioida, että puhtaudenhallinnan ohjaus ja valvonta on hankkeessa huomioitu riittävällä laajuudella ja puhtaudenhallintakoordinaattori on kiinnitetty hankkeeseen jo suunnitteluvaiheen alussa.

Puhtaudenhallintakoordinaattorin osaaminen

Ohjeessa on kuvattu vaatimuksia puhtaudenhallintakoordinaattorin hankintaan liittyviin osaamisvaatimuksiin. Varsinaista koulutusta puhtaudenhallintakoordinaattorin tehtäviin ei ole tarjolla. Tästä syystä osaaminen tulee varmistaa pyytämällä tarjouspyynnössä riittäviä referenssejä suunnitellun kaltaisista hankkeista.

Puhtaudenhallintakoordinaattorilta voidaan vaatia esimerkiksi tekniikan, luonnontieteiden tai toimitilapalveluiden korkeakoulutasoista tutkintoa, mutta koulutus ei kuitenkaan automaattisesti takaa puhtaudenhallintakoordinaattorin osaamista. Osaamisen varmistamiseksi riittävien referenssien lisäksi tarjousten vertailussa voidaan antaa lisäpisteitä aihetta tukevista osaamisalueista kuten pintapölymittausmenetelmän todennetusta osaamisesta, AHA- ja haitta-aineiden purkutöihin liittyvä koulutus ja Eurofins-pätevyyydet kuten rakennusterveysasiantuntija sekä asbesti- ja haitta-aineasiantuntija.

PUHTAUDENHALLINTA SUUNNITTELUVAIHEESSA

Hankesuunnitteluvaiheessa tulee määrittää tavoiteltu sisäilmastoluokka. Pyrittäessä sisäilmastoluokkaan S1 tai S2, tulee hankkeessa vaatia puhtausluokan P1 noudattamista. Mikäli hankkeen osalta tavoitellaan vain lainsäädännön vähimmäisvaatimusten toteutumista (sisäilmastoluokka S3), voidaan hankkeessa silti vaatia puhtausluokan P1 noudattamista. Kaikissa tapauksissa puhtausluokan vaatimukset sekä hankkeen puhtaudenhallintaan liittyvät erityispiirteet tulee kuvata urakka-asiakirjoissa.

Koko suunnitteluvaiheen ajan puhtaudenhallintakoordinaattorin tulee tehdä tiivistä yhteistyötä suunnittelijoiden kanssa, jotta puhtaudenhallinnan vaatimukset sekä kiinteistön elinkaaren kannalta tärkeät asiat puhtauden näkökulmasta tulevat huomioiduksi suunnitelmissa eikä suunnitelmissa esiinny näiden suhteen ristiriitaa.

Työmaan puhtaudenhallinta-asiakirja

Hankkeen tarjousasiakirjoihin luodaan hankekohtainen työmaan puhtaudenhallinta-asiakirja hankkeen puhtaudenhallintakoordinaattorin toimesta. Asiakirjassa kuvataan hankkeen näkökulmasta mm. seuraavat asiat ja vaatimukset:

- kohteen erityispiirteet
- työmaan vastuut puhtaudenhallinnan näkökulmasta
- puhtaudenhallinnan vaatimukset aikataulun osalta
- puhtaudenhallintasuunnitelman laatiminen
- rakennusvaihekohtaisesti: rakennusmateriaalien ja laitteiden suojaus, pölynhallinnan vaatimukset, jätehuolto ja työmaan siivous

Edellä mainittuihin kohtiin liittyvät vaatimukset ja ohjeet tulee kuvata hankekohtaisesti huomioiden hankkeen erityispiirteet. Erityisesti lohkoittain etenevässä peruskorjaushankkeessa, jossa työmaalla on rajapintaa käytössä olevien tilojen kanssa, pölynhallinnan vaatimukset tulee kuvata tarkasti rajapintojen osalta.

Asiakirjassa kuvataan myös puhtaudenhallinnan valvonnassa käytettävät menetelmät ja niihin liittyvät mahdolliset raja-arvot.

Puhtaudenhallintasuunnitelma

Hankkeen päätoteuttaja laatii yhteistyössä muiden urakoitsijoiden kanssa työmaalle puhtaudenhallintasuunnitelman, jossa esitetään käytännön toteutus lainsäädännössä ja hankkeen työmaan puhtaudenhallinta-asiakirjassa esitetyt vaatimusten osalta.

Suunnitelmassa kuvataan käytännön toteutus esim. osastointien ja alipaineistusten osalta aika-/paikkakaaviolla sekä pölyävien töiden, että puhtaita olosuhteita vaativien töiden osalta. Suunnitelmassa kuvataan, miten suojaukset, työmaan siivous, jätehuolto ja pölynhallinta toteutetaan niin, että niille työmaan puhtaudenhallinta-asiakirjassa asetetut vaatimukset toteutuvat käytännössä.

Suunnitelmassa tulee lisäksi esittää pölynhallintaan liittyvät käytännön toteutukset työmaalla Valtioneuvoston asetuksissa 1267/2019 /2/ ja 205/2009 /3/ esitettyjen vaatimusten osalta työturvallisuuden näkökulmasta.

PUHTAUDENHALLINNAN VALVONTA

Puhtaudenhallinnan valvontaan purku- ja rakennusvaiheessa ei ole olemassa yhtä selkeää menetelmää tai ohjetta. Lisäksi aikaisemmin puhtaudenhallinnan vaatimukset ovat olleet osittain tulkinnan varaisia. Ohjeessa on pyritty antamaan selkeitä ohjeita valvonnan suorittamiseksi, jotta puhtausluokan P1 vaatimuksia ja laatutasoa saataisiin yhdenmukaistettua rakennushankkeissa.

Purku- ja sisävalmistusvaiheen puhtaudenhallinnan valvonta

Puhtaudenhallinnan valvonnan tehtävänä on varmistaa, että puhtaudenhallinta-asiakirjassa esitetyt vaatimukset toteutuvat käytännössä työmaalla urakoitsijoiden toimesta. Valvonta on suoritettava ohjaavalla otteella ja puhtaudenhallintakoordinaattorin tulee ennakoida puhtaudenhallinnan haasteita, joita työmaalla tapahtuviin työvaiheisiin voi liittyä ja ohjata urakoitsijaa näissä haasteissa. Valvonnan tulee olla säännöllistä ja dokumentoitua. Tulokset on käsiteltävä

urakoitsijoiden kanssa ja mahdollisten puutteiden ja virheiden korjausmenettelyt ovat selkeitä ja urakan tarjousasiakirjoissa kuvattuja.

Purkuvaiheessa tulee huomioida erityisesti lainsäädännön vaatimukset puhtauden- ja pölynhallinnalle. Jos työmaalla on rajapintaa käytössä olevien tilojen kanssa, tulee rajapintojen osastointien kuntoa valvoa ja varmistaa, ettei pöly pääse missään vaiheessa käytössä oleviin tiloihin. Tekniikan ja pintojen osalta tulee varmistaa, että purkutöiden aikana säilytettävät pinnat ja tekniikka on suojattu asianmukaisesti.

Sisävalmistusvaiheen aikana valvotaan edelleen säännöllisesti, että puhtaudenhallinta-asiakirjassa esitetyt vaatimukset toteutuvat. Ilmanvaihdon asennusalueiden puhtaus todennetaan puhtaudenhallinta-asiakirjassa esitetyllä taajuudella ja menettelyllä.

PUHTAUDENHALLINNAN TARKASTUKSET TOIMINTAKOE- JA LUOVUTUSVAIHEESSA

Ohjeessa tarkennetaan Sisäilmastoluokitus 2018 – asiakirjassa esitettyjä menettelyjä toimintakoe- ja luovutuspuhtauden todentamiseksi sekä tarkastusten raportointia. Lisäksi ohjeessa kuvataan P1 mallihuonekatselmukset, joilla pyritään varmistamaan varsinaisten tarkastusten sujuvuus loppusiivouksen laadun näkökulmasta sekä esitetään työmaalta vaaditut olosuhteet, joissa toimintakoe- ja luovutuspuhtaus voidaan todentaa. Olosuhteilla on suuri merkitys laadunvarmistuksen onnistumiseen sekä puhtaustason säilymiseen.

Toimintakoevaiheen puhtaus

Ohjeessa on tarkennettu Sisäilmastoluokituksen tarkastusohjeita sekä laatutasoa toimintakoepuhtauden osalta. Ohjeessa esitetään menettelyt piiloon jäävien pintojen, kuten alakaton yläpuolisten pintojen, sähkökourun sisäpintojen ja kotelointien puhtauden arviointiin. Ohjeessa on kuvattu arvioitavat pintaryhmät sekä niihin kuuluvat pinnat ja täsmennetty pintapölymittausmenetelmän käyttöä toimintakoepuhtauden arvioinnin yhteydessä.

Ohjeessa tarkennetaan toimintakoevaiheen olosuhteiden arviointia. Toimintakoepuhtautta ei voida todentaa, jos työmaan olosuhteet eivät täytä toimintakoevaiheen vaatimuksia. Puhtaudenhallintakoordinaattorin on erittäin tärkeää tiedostaa tämä ja tarvittaessa ohjata sekä työmaata, että tilaajaa siihen, ettei ns. turhia tarkastuksia tehtäisi. Työmaa voidaan hetkellisesti siivota toimintakoe kuntoon, mutta keskeneräiset työvaiheet voivat nopeasti liata tilat ja vaarantaa ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden.

Ohjeessa kuvataan ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden todentaminen sekä tarkennetaan Sisäilmastoluokitus 2018 – asiakirjassa esitettyjä raja-arvoja sekä niiden määrittelyä tarjousasiakirjoihin.

Toimintakoepuhtautteen ja erityisesti olosuhteisiin liittyen puhtaudenhallintakoordinaattorin on tehtävä yhteistyötä sekä urakoitsijoiden, että LVI-valvojan kanssa riskitilanteissa, joissa on mahdollisuutena ilmanvaihtojärjestelmän likaantuminen. Tällöin toimintakokeita ei tulisi aloittaa ja päätös tehdään yhteistyössä tilaajaorganisaation kanssa.

Luovutusvaiheen puhtaus

Ohjeessa on tarkennettu luovutusvaiheen puhtauden arviointia sekä laatutasoa. Lisäksi on kuvattu olosuhteet sekä niiden merkitys luovutuspuhtaudelle ja kohteen käyttönotolle. Mikäli tiloissa tehdään vielä asennus- tai viimeistelytyötä luovutuspuhtauden toteamisen jälkeen, tulee sopia menettelyistä, joilla puhtaustason säilyminen varmistetaan sekä töiden suorittamisen, että laadunarvioinnin näkökulmasta.

Rakennuksen tulee olla täysin puhdas ennen kuin se luovutetaan tilaajalle ja käyttäjille. Luovutusvaiheessa pinnoilla ei saa olla näkyvää likaa, kuten roskia (suojaukset, tarrat ym.), irtolikaa (ml. pölyä), kiinnittynyttä likaa tai tahroja. Tiloissa ei myöskään saa olla ylimäärisiä tarvikkeita. Kaikki suojaukset on poistettu ja lattiapinnoille on suoritettu käyttöönottopuhdistus valmistajan ohjeiden mukaisesti, ja tämä on dokumentoitu lattiamateriaaleittain. Menettelyllä varmistetaan sekä hyvä sisäilman laatu, että ylläpitosiivouksen aloitus puhtailta pinnoilta.

Luovutuspuhtauden tarkastuksen osalta haasteena voivat olla käyttäjien omat asennukset ja kalustus. Tieto näiden aikataulusta liikkuu työmaalle vaihtelevasti. Luovutuspuhtaus tulee todeta ennen tilojen kalustusta, kun luovutuspuhtauden todentaminen halutaan suorittaa luotettavasti. Puhtaudenhallintakoordinaattorin on oltava tietoinen työmaan aikatauluista ja ohjattava työmaata niin, että tarkastukset saadaan luotettavasti suoritettua ennen tilojen kalustusta.

Luovutuspuhtauden osalta puhtaudenhallintakoordinaattori esittää Tilaajalle, onko luovutuspuhtaus saavutettu riittävässä tasossa. Pieni määrä vähäisiä puutteita ei ole esteenä luovutukselle, mutta puhtaudenhallintakoordinaattorilla on oltava riittävästi osaamista tilanteen arvioimiseksi.

MUUTTOVAIHEEN PUHTAUDENHALLINTA

Hyvän sisäilman laadun sekä pintojen puhtaana pysymisen varmistamiseksi ohjeessa on kuvattu pintapuolisesti myös muuttovaiheen puhtaudenhallinta ja sen prosessin suunnittelu. Muuttovaiheessa on tärkeää varmistaa, ettei tiloihin muutettaessa tuoda sinne mahdollisia epäpuhtauksia. Tämä on erityisen tärkeää huomioida siirrettäessä uusiin tiloihin vanhaa irtaimistoa. Lisäksi uuden irtaimiston muutto tulee suunnitella niin, että se suoritetaan hallitusti ja kohteen siivous toimii riittäväällä tehokkuudella koko muuttoprosessin ajan.

LÄHDELUETTELO

1. SISÄILMASTOLUOKITUS 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299.
2. Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta (1267/2019)
3. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009)

OHJEITA KOULUTYÖHÖN SISÄILMATILANTEESSA

Anniina Salmela, Kaisa Jalkanen ja Anne Hyvärinen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Kuopio

TIIVISTELMÄ

Sisäilmatilanteiden tunnistaminen, syiden löytäminen ja ongelmien asianmukainen hoitaminen vaativat monipuolista asiantuntemusta. Koulujen sisäilmatilanteiden parissa työskentelee joukko eri alojen ammattilaisia aina kiinteistön kunnosta vastaavista koulu- ja työterveyshuollon toimijoihin. Vaikka toimintamallit sisäilmatilanteiden haltuunottoon rakennuksissa ovat kehittyneet, ja ne tukevat osaltaan koulurakennusten terveellisyyttä ja turvallisuutta, tarvitaan ohjeistusta erityisesti siitä, kuinka oppilaita voidaan tukea koulujen sisäilmatilanteessa.

OHJEISTUS KOKOAA YHTEEN HYVÄT KÄYTÄNNÖT

THL on osana Kansallista sisäilma ja terveys -ohjelmaa julkaissut ohjeen koulutyön tueksi sisäilmatilanteeseen. Ohjeistus kokoaa samalla yhteen myös kaikki THL:n kouluympäristöön ohjelmassa tuottamat ohjeistukset.

Ohjeistuksia varten on haastateltu kuntien toimijoita, osoitettu kyselyitä sisäilmaryhmille ja kouluterveydenhuoltoon sekä pidetty työpajoja.

Tässä artikkelissa käydään läpi Ohjeistus koulutyöhön sisäilmatilanteessa -julkaisu /1/.

SISÄILMATILANTEEN ENNALTAEHKÄISY

Ennakoiva kiinteistön kunnossapito on tärkeä osa rakennuskannan hallintaa. Painopiste koulujen sisäilmaan liittyvissä kysymyksissä tulisi olla akuuttien tilanteiden selvittämisen sijasta niiden ennaltaehkäisyssä normaalin kiinteistönhoidon sekä strategisen kiinteistönpidon keinoin. Kouluissa sisäilmatilanteita voidaan ehkäistä esimerkiksi seuraavin toimin:

- Tiloja tulee käyttää vain siihen tarkoitukseen, johon ne on suunniteltu, eli esimerkiksi käytävä-, vintti- tai kellaritilat eivät ole opetustiloja. Tiloissa tulee olla oikea oppilasmäärä tilaan ja sen ilmanvaihdon mitoitukseen nähden. Oppilasmäärää ei tule kasvattaa luokahuoneissa ilman tilojen teknistä arviointia. Lisäksi oppilaat ja henkilökunta tulee perehdyttää rakennuksen oikeaan käyttöön.
- Koulun henkilöstön ja oppilaiden havainnot sisäympäristöstä ovat tärkeitä. Näitä ovat muun muassa siivottavuus ja siivouksen taso sekä olosuhteiden havainnointi esim. hajut ja tunkkaisuus, muutokset esim. seinäpinnoilla, kuten maalin hilseily ja kosteusjäljet.
- Kiinteistönomistajan toimet koulurakennuksessa ovat merkittävä tekijä hyvän sisäympäristön laadun takaamisessa. Tällaisia toimia ovat muun muassa kiinteistön hoito ja ylläpito, ilmanvaihdon ja rakennuksen katsastukset sekä ripeä tarttuminen havaittuihin puutteisiin sekä aktiivinen ja avoin viestintä, myös ennaltaehkäisevistä toimista. Toimenpiteitä sisäympäristön olosuhteiden ylläpitämiseksi ja

parantamiseksi tehdään myös normaalin kiinteistönhoidon yhteydessä koko rakennuksen elinkaaren ajan.

- Viranomaisten ja kouluterveydenhuollon yhteistoimintaa hyvän sisäympäristön edistämiseksi on kouluympäristön ja yhteisön monialainen tarkastus. Useimmiten yhteistyössä tehtävässä tarkastuksessa tulee paikalla olla oppilaitoksen vastuuhenkilö (rehtorin), terveydensuojeluviranomaisen (esim. ympäristöterveystarkastaja), kouluterveydenhuollon sekä kiinteistön ylläpidosta vastaavan tahon edustajat.

SISÄILMATILANTEEN RATKAISEMINEN

Tuomalla sisäilmatilanteisiin liittyviä hyviä käytäntöjä osaksi kunnan tai hyvinvointialueen toimintatapoja, voidaan niiden avulla hallita paremmin näitä tilanteita. Hyviä käytäntöjä ovat muun muassa:

Toimintamallit

- Sisäilmatilanteeseen luodaan toimintamallit, jossa selkeät ja määritellyt toimijoiden roolit ja vastuut prosessissa etenkin kiinteistön omistajan, rehtorin ja kouluterveydenhuollon osalta.
- Kaikista sisäympäristön liittyvistä olosuhdehavainnoista ilmoitetaan. Myös epäilystä sisäilman laadun heikkenemisestä tulee ilmoittaa toimintamallin mukaisesti, jotta tilannetta päästään selvittämään.
- Selkeät ja toimivat ilmoituskäytännöt, joiden käyttöön rakennuksen käyttäjät on perehdytetty. Sähköisten ilmoitusjärjestelmien kehittäminen ja esim. sisäilmailmoituksen tekeminen suoraan kiinteistön hoito- ja kunnossapitojärjestelmään.
- Nopea tilanteen haltuunotto ja jalkautuminen koululle kiinteistönomistajan toimesta. Yhteydenotto toimenpiteistä ja aikataulusta ilmoittajalle.
- Oppilaan ohjaaminen opiskeluhuoltoon, etenkin kouluterveydenhuoltoon, jos oppilas tuntee tarvitsevänsä tukea tilanteessa tai hoitoa koettuun oireiluun.

Resurssointi ja yhteistyö

- Yhteistyö yli kunnan ja hyvinvointialueen (mm. opiskeluhuolto) toimialojen.
- Tutkimuksiin ja korjauksiin varautuminen kunnan talousarviossa. Myös puitesopimusten tekeminen. Sisäilma-asioita hoitavilla tulee olla valtuudet tilata tarvittavia lisätutkimuksia ja pienimutoisia huolto- ja korjaustoimenpiteitä itsenäisesti sovittuun rajaan asti.
- Kouluterveydenhuollon riittävä resurssointi ja opiskeluhuoltopalveluiden kehittäminen niin, että sisäilma-asiat osataan ottaa huomioon osana muuta oppilastyötä.
- Sisäilmatilanteiden ratkaisemisessa mukana olevien tahojen ammattitaidon lisääminen kouluttautumisen avulla.

Viestintä

- Viestintäsuunnitelman laatiminen, vastuuviestijän nimeäminen ja viestintäsuunnitelman mukainen oikea-aikainen viestintä.
- Viestintätilaisuudet huoltajille, jossa mukana ainakin kiinteistön omistajan edustaja, terveydenhuolto ja rehtori. Tilanteesta riippuen myös muita asiantuntijoita voi olla hyödyllistä kutsua paikalle. Jokainen tilannetta selvittävä taho viestii vastuuroolinsa kautta omaan asiantuntemusalueeseensa liittyvistä asioista.
- Viestintätilaisuudet oppilaille ikätasoisesti. Tilaisuudessa kerrotaan mm. mitä rakennuksessa on havaittu, mitä selvityksiä ja mahdollisia toimenpiteitä tehdään, ketä aikuisia on mukana tilannetta selvittämässä ja lisäksi perustietoa itse koulurakennuksesta.
- Muita viestinnän hyviä käytäntöjä ovat mm. koulun sisäilmasivut verkossa, tiedotteet, käyttäjien kuuleminen sekä yhteyshenkilöiden nimeäminen tilan käyttäjien tiedon tarpeisiin.

OPPILAIEN HUOMIOIMINEN VÄISTÖTILANTEISSA

Koulurakennusten perusparannuksiin liittyvät väistötilanteet ns. suunnitelmalliset väistöt ovat aikataulutettuja ja huomioitu investointiohjelmissa. Eteen voi kuitenkin tulla tilanteita, joissa väistötilanteisiin joudutaan yllättäen. Väistötilanteisiin tulisiikin varautua toimintamallilla, jossa on otettu huomioon esimerkiksi

- väistötiloihin siirtymisen arviointiperusteet,
Päätös väistötiloihin siirtymisestä tulee perustua rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa esiin tulleisiin havaintoihin ja niiden perusteella tehtyyn arvioon väistön tarpeesta sekä terveydellisistä että rakennuksen korjaustoimienpiteiden laajuuteen liittyvistä näkökulmista. Väistötarvetta arvioitaessa otetaan huomioon myös rakennuksen käyttöä turvaavien toimenpiteiden käytön soveltuvuus.
- väistötilojen hankintaprosessi ja päättävä valta,
Väistötilanteita varten voidaan esimerkiksi perustaa työryhmä, jolla on väistöprosessin hyvä tuntemus ja osaaminen väistötilojen hankintamenettelyyn sekä riittävä nimenkirjoitusoikeus lähteä edistämään tilannetta.
- väistötilojen kriteerit.
Väistötilojen kriteereinä voidaan pitää esimerkiksi sijaintia, toiminnallisuutta ja käytettävyyttä, teknistä kuntoa ja saatavuutta.

Väistötilanteisiin voi liittyä ristiriitaisia näkemyksiä ja odotuksia. Esimerkiksi opetuksenjärjestäjän näkökulmasta ensisijainen kriteeri väistötiloille on opetukseen soveltuvat tilat, kun taas huoltajat voivat arvottaa enemmän muun muassa lyhyttä ja sujuvaa koulumatkaa. Tämä vuoksi tilanteesta tulee viestiä aktiivisesti ja kertoa, miten tilanne vaikuttaa kouluarkeen, sekä esimerkiksi järjestää mahdollisuuksien mukaan oppilaille ja huoltajille ennakoon tutustuminen väistötiloihin. Mikäli väistötiloihin joudutaan siirtymään koulun alueen ulkopuolelle, on ratkaisut oppilaiden koulumatkan toteuttamiseen, esim. kuljetusten tarve väistötiloihin, oltava päätettynä ennen asiasta viestintää.

OPPILAIKEN TUKI SISÄILMATILANTEESSA

Opiskeluhoito on kouluissa ja oppilaitoksissa tehtävää työtä /2/, jolla edistetään, pidetään yllä ja luodaan edellytyksiä oppilaan hyvälle oppimiselle, psyykkiselle ja fyysiselle terveydelle sekä sosiaaliselle hyvinvoinnille. Opiskeluhoitoon tavoitteena on edistää oppilaiden ja koko kouluyhteisön ja -ympäristön hyvinvointia, hoitajien kanssa tehtävää yhteistyötä ja oppilaiden osallisuutta. Lisäksi tavoitteena on turvata yksilökohtainen varhainen tuki kaikille sitä tarvitseville.

Opiskeluhoitopalveluilla, kuten kouluterveydenhuollolla, on valmiudet ja toimintatavat auttaa sisäympäristöstä haittaa kokevaa oppilasta. Tällaisessa tilanteessa oppilas ei eroa muista ongelmia kohtaavista oppilaista. Samoja tukitoimia voidaan soveltaa sisäilmatilanteesta oireita kokevien oppilaiden auttamiseksi ja koulunkäynnin turvaamiseksi. Näitä ovat mm. terveydentilan ja jatkotutkimustarpeiden selvittäminen sekä tarvittavan opiskeluhoitoon tuen sekä koulunkäynnin ja oppimisen tuen järjestäminen.

Kouluterveydenhuoltoon toimijoilla, useimmiten kouluterveydenhoitajalla, on rehtorin lisäksi merkittävä rooli oppilaan ja hänen hoitajansa kohtaamisessa, kun sisäilmatilannetta epäillään. Kouluterveydenhoitaja tapaa oppilaan ja hänen hoitajansa, mikäli sisäilmasta koettuun haittaan liittyy oireilua ja tuen tarvetta. Ensikohtaamisessa sekä tilanteen edetessä on tärkeää, että terveydenhoitaja kohtaa oppilaan ja hoitajan kiireettä, kuuntelee heitä ja kertoo, kuinka tilanteesta voidaan edetä. Hän ei kuitenkaan ota kantaa rakennuksen liittyviin selvityksiin tai prosessin onnistumiseen.

Kouluterveydenhoitajan lisäksi tilanteeseen on hyvä ottaa jo aikaisessa vaiheessa mukaan muut opiskeluhoitopalvelujen ammattilaiset, kuten kuraattori tai koulupsykologi, mikäli ilmenee välitöntä tuen tarvetta. Jotta kouluterveydenhoitaja voi toimia sisäilmatilannetta epäiltäessä, on hänen tunnettava kunnan toimintamalli sisäilmatilanteiden selvittämiseen. Jos opiskeluhoitolla on oma toimintamalli sisäilmatilanteeseen, on se hyvä käydä läpi kunnan sisäilmaryhmässä ja yhteensovittaa kunnan toimintamallin kanssa.

Hyviä käytäntöjä oppilasryhmää koskevissa tilanteissa on

- kuulla oppilasryhmää, jotta saadaan tietoa käyttäjien tyytyväisyydestä tiloihin, olosuhdehaittojen kokemisen yleisyydestä sekä muista tilanteen ratkaisuprosessiin vaikuttavista tekijöistä,
- keskustella rehtorin ja opettajan johdolla oppilasryhmän kanssa siitä, miten tilannetta selvitetään ja ketkä siinä ovat mukana,
- viestiä hoitajille yhteisöllisen opiskeluhoitoon toimista ja tilanteesta sisäympäristössä ja kohdentaa yhteisöllisen opiskeluhoitoon toimia oppilasryhmän tueksi.
- Myös erityisiä tilajärjestelyjä, käyttöä turvaavien toimenpiteiden käyttöönottoa tai tilojen osittaisia käyttörajoituksia voidaan ottaa käyttöön, mikäli laajempien selvitysten tulokset niin edellyttävät.

Yksittäisen oppilaan kohdalla tulee

- koota tarpeen mukaan yhteen toimijat, joiden avulla oppilasta ja hänen perhettään voidaan tilanteessa tukea, esimerkiksi yksilökohtaisen opiskeluhuollon monialainen asiantuntijaryhmä, ja sopia tilanteen seurannasta,
- sopia, kuka koulusta seuraa oppimista ja vastaa oppilaan päivittäisestä koulutyöstä silloin, jos oppilas ei opiskele oman ryhmän mukana,
- varmistua, ettei oppilaan yksityisyydensuojaa loukata kertomalla hänen tilanteestaan ulkopuolisille tai käsittelemällä terveystietoja ilman suostumusta,
- lisätä oppilaan yhteenkuuluvuutta oman ryhmän kanssa järjestämällä opetusta mahdollisuuksien mukaan myös muissa ympäristöissä.
- Mikäli oppilasryhmä tarvitsee tukea yksittäisen oppilaan tilanteen käsittelyssä, voidaan hyödyntää yhteisöllistä opiskeluhoitoa.
- Väistötilajärjestelyiden tulisi yksittäisen oppilaan osalta olla aina määräaikaista ja monialaisen asiantuntijaryhmän tulisi säännöllisesti seurata ja arvioida, voiko oppilas palata omaan ryhmään.

KIITOKSET

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos haluaa kiittää kaikkia heitä, jotka ovat antaneet panoksensa aiheeseen osallistumalla työpajaan ja haastatteluihin sekä vastanneet heille osoitettuihin kyselyihin.

LÄHDELUETTELO

1. Salmela A, Jalkanen K, Hyvärinen A (2023) Ohjeistus koulutyöhön sisäilmatilanteessa. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Tutkimuksesta tiiviisti, 33/2023. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-408-116-0>
2. Opetushallitus. Opiskeluhoito. Saatavissa: <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/opiskeluhoito>

Terveet tilat 2028

Hallituksen toimintaohjelman tavoitteena on tervehdyttää julkiset rakennukset ja tehostaa sisäilmasta oireilevien hoitoa ja kuntoutusta.

Tutustu ohjelmaan osoitteessa
tilatjaterveys.fi

TERVEET
TILAT 2028

Tavataan ensi vuonna:

**Sisäilmastoseminaari
11.3.2025**

SISÄILMAYHDISTYKSEN KANNATTAJAJÄSENET 2024

A

A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Abresto Oy Ab
Adconsys Oy
AEL-Amiedu Oy
AFPRO Filters Oy
AFRY Buildings Finland Oy
Aimtec Finland Oy
Air Termico Oy
Airfi Oy
Allaway Oy
Allergia- Iho- ja
Astmaliitto ry
Allergia- ja Sisäilma-apu Oy
Ardex Oy
ARMEKA Engineering Oy
Artic-Kaihdin Oy
Asbesti- ja haitta-aine-
laboratorio AHA-LAB oy
Asianajotoimisto Alfa Oy
Asianajotoimisto
Haanpää oy
ASTQ Supply House Oy
Asumisterveysliitto AsTe ry
ATL-Rakennushuolto Oy
Awillas Oy

B

Baumedi Oy
bestLab Oy
BG Tools Oy /
Dr Schutz Finland
Brado Oy
Build Care Oy
Buildercom Oy

C

Camfil Oy
Camini Oy
Caverion Suomi Oy
Cervi Talotekniikka Oy
CG Professional /
Caupo Group Oy
ClimaConsult Finland Oy
Climecon Oy
Condair Oy
Connected Inventions Oy

Cramo Finland Oy

D

Daikin Europe N.V. Suomen
Sivuliike
Decocoat Oy
Deekax Air Oy
Dinair Clean Air Oy
Dir-Air Oy

E

ebm-papst Oy
eGate Smart Building
Innovation Oy
EKG Consulting Oy Ltd
Ekovilla Oy
Energiakonsultit insto Oy
Enervent Zehnder Oy
Eskon Oy
Eurofins Expert Services Oy
Euro-Service Oy
Ewona Finland Oy

F

FCG Finnish Consulting
Group Oy
Filterpak Oy Ab Ltd
FinLuft Oy
Fixcel Group Oy
FläktGroup Finland Oy
Forbo Flooring Finland Oy

G

Genano Oy
Granlund Oy

H

H. Östberg Oy
Halton Oy
Helen Oy
Helsingin
Kuivaustekniikka Oy
Hengitysliitto ry
Hepacon Oy
Homemap Oy
Honkarakenne Oyj
Hormister Oy

I

IdeaStructura Oy
IISY Oy

Ilmastointimittaus Lind Oy
Ilmastointitohtorit Oy
Industless Oy
Inspecta Oy
Investigo Oy Ab
ISEC Inspector Sec Oy
IVAeris Oy
IVPLUS Oy

K

Karhupuiston Isännöinti Oy
Kiilto Oy
Kiinteistölakimies Group Oy
Kiinteistöliitto Uusimaa
KMA Company Oy
Knauf Oy
Koja Oy
Konsulttitoimisto Kolona Oy
Korjauspartnerit Oy
KT Kuntotutkimus Oy
Kuntotieto Oy
Kährs Finland Oy

L

Labroc Oy
Lattian- ja
seinänpäällysteliitto Oy
Lifa Air Oyj
Lightair Industrial Ab
Finland Filial
Lindab Oy Ab
Lotus Demolition Oy
LVI-Trio Oy

M

Mapei Oy
Matti Eklund Oy
Meranti Siivouspalvelut Ky
Metropolia AMK
Metropolilab Oy
MIP Electronics Oy
Motiva Oy
MTR-Isännöinti Oy
Muottikolmio Oy

N

NCC Suomi Oy
NIBE Energy Systems Oy
nora flooring systems Oy
Nuohousalan Keskusliitto ry

O

OP Osuuskunta
Orient-Occident Oy
Osakeyhtiö Insinööri Studio

P

Pamon Oy
Pax Ab
Pietiko Oy
PINALTO Oy
Poistoa Oy
Polygon Finland Oy
Produal Oy

Q

QleanAir Scandinavia

R

Rakennuskatsastus
Kuoppala Oy
Rakennusteollisuuden
koulutuskeskus RATEKO
Rakennustietosäätiö RTS
Rakennuttaja Eminenssi Oy
Suomen Radonpalvelut
RAKLI ry
Raksystems
Insinööritoimisto Oy
Ramboll Finland Oy
RA-Urakointi Oy
Retermia Oy
RKM Group Oy
Rockwool Finland Oy
RTA-Tutkimus Suomi Oy
RTK-Palvelu Oy
Rudus Oy

S

SafeDrying Oy
Saint-Gobain Finland Oy
Scancerco Oy
Scanoffice Oy
Senaatti-kiinteistöt
Sensorcell Oy
Sika Finland Oy Ab
Sirate Group Oy
SisäilmaCenter Oy
Sisäilmalähetä Oy
Sisäilmasaneeraus
Laitinen Oy
Sitowise Oy

Skanska Oy

SKOL ry
SOL Palvelut Oy
SRV Rakennus Oy
Suomen aurinkosuojaus ry
Suomen Hormistokeskus Oy
Suomen Ilmanvaihto-
saneeraus Oy
Suomen Ilmastointi-
nuohoojat ry
Suomen JVT- ja
Kuivausliikkeiden Liitto ry
Suomen Lämpömittari Oy
Suomen Sisäilmatutkimus Oy
Suomen talokatsastus Oy
Sweco Finland Oy
Swegon Oy Ab
Systemair Oy

T

Tapiolan Lämpö Oy
Tarkett Oy
Tehokuivaus Oy
Teknocalor Oy Ab
Teknos Oy
Tiivistalo/Redi-Yhtiöt Oy
Tikkurila Oyj
TKR-Marketing Oy
Turun yliopiston
aerobiologian yksikkö
Työterveyslaitos

U

UniqAir Oy
Uponor Suomi Oy

V

Vaisala Oyj
Vallox Oy
Velco Oy
Venax Oy
Vesivahinkotekniikka VVT Oy
VILPE Oy

W

WSP Finland Oy

X

XHome Oy

Z

Ziehl-Abegg Finland Oy

Ä

Äyräväinen Oy

KIINTEISTÖJEN ASiantuntija PALVELUKSESSASI

Palveluverkostomme kattaa noin 2/3 Suomen väestöstä.
Asiantuntijapalvelut saatavilla koko Suomeen.

Palvelutarjonta

Kuivaustekniikka

Vesivahinkokartoitukset
Kosteusmittaukset
Kuivausurakointi
Olosuhdehallinta
Hajunpoisto, ilmanpuhdistus
ja desinfioinnit
Ryömintätalakuivaukset

Vahingonhoito

Ulkoistetun vahingonhoidon
palvelut vakuutusyhtiöille
Vahinkojen hoidon
konsultointi
Ongelmalliset
vakuutustapaukset

Rakennus

Purkutytöt ml. asbestityöt
Kosteus- ja palovahinkojen
rakennustekniset työt
Korjausrakentaminen
Tilamuutostyöt
Asennustyöt
Sisäilmaongelmien korjaus
Rakenteiden tiiveyskorjaukset
Rakentamisen aikainen
olosuhdehallinta
Palovahinkojen puhdistus ja
-saneeraus
Erikoispuhdistukset
Irtaimiston varastointi

Asiantuntijapalvelut

Kuntotutkimukset/-arviot
Tiiveysmittaus
Sisäilmatutkimus
Asbesti- ja haitta-ainekartoitus
Merkkiainekokeet

LVIS ja taloautomaatio

LVIS-työt
Taloautomaatio, jäähdytys ja
lämmitys
LVI- ja automaatio suunnittelu

 24 h päivystys

**PIRKANMAA, HÄME
JA SATAKUNTA**
050 403 6432

**KESKI-
SUOMI**
0400 155 166

**KAAKKOIS-
SUOMI**
040 456 0216

**PÄÄKAUPUNKI-
SEUTU, UUSIMAA**
0450 366 5215

**PÄIJÄT-
HÄME**
0400 418 907

 Lisätietoja

Kysy lisää palveluistamme: asiakaspalvelu@rkmgroupp.fi
puh. 029 170 6300 tai tee työtilaus: info@rkmgroupp.fi

RKMGROUP.FI



SISÄILMAKORJAUSRATKAISUT

Markkinoiden kattavin valikoima

Vietämme valtaosan ajastamme sisällä, minkä vuoksi sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät on otettava vakavasti – jo rakennusvaiheessa.

Meiltä löydät keinot ja työkalut sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyyn sekä monipuolisen valikoiman sisäilmakorjausratkaisuja eri tarpeisiin, oli ongelman aiheuttaja sitten liian kostea betonilaatta tai maaperästä kellarin seinän läpi sisälle siirtyvä kosteus.

Takaamme myös yksittäisten tuotteiden sekä koko järjestelmien yhteensopivuuden ja toimivuuden.

www.fi.weber

