

HUONEKOHTAISTEN ILMANPUHDISTIMIEN MITOITUKSEN OPTIMOINTI, CASE PÄIVÄKOTI

Inga Mattila¹, Aimo Taipale¹, Ilpo Kulmala¹, Aku Karvinen¹, Anni Luoto², Jari Erkkilä³, Jutta Kannisto³, Enni Sanmark⁴, Natalia Lastovets⁵ ja Piia Sormunen⁵

¹Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

²Granlund Oy

³Tamlink Oy

⁴Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS)

⁵Tampereen yliopisto (TAU)

TIIVISTELMÄ

Osana Business Finlandin rahoittamaa E3-pandemianhallintahanketta selvitettiin, miten ilmanpuhdistimia olisi edullista sijoittaa päiväkotien tilojen käyttäjien infektorisikin minimoimiseksi. Rajoittaakseen tartuntoja tehokkaasti ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto on oltava riittävä suhteessa patogeenien emissioon ja tilan ilmanvaihtoon.

Puhdistimen vaikutuksen arviointiin on olemassa yksinkertaisia laskureita, mutta ne eivät sellaisenaan aina sovellu pohjaratkaisultaan, ilmanvaihdoltaan, käyttäjämäärältään, käyttöajaltaan ja käyttötavoiltaan vaihtelevien kohteiden puhdistinmitoitukseen. Tutkimuksen kohteina olevissa päiväkodeissa laskennallinen infektorisiki saatiin alenemaan puoleen sijoittamalla puhdistimet tiloihin optimaalisesti. Jatkossa puhdistimien vaikutusta infektioihin verrataan HUSin johtaman terveystutkimuksen tuloksiin.

JOHDANTO

Parin viime vuoden aikana olemme kaikki saaneet todeta miten nopeasti ja tehokkaasti ilman kautta leviävät taudit tarttuvat ihmisestä toiseen. Henkilökohtaisten, joissakin tapauksissa varsin pitkäaikaisten ja vakavien oireiden lisäksi tautien laaja leviäminen aiheuttaa yhteiskunnallemme ylimääräisiä menoja mm. sairaanhoitojärjestelmän ylikuormittumisen ja erilaisten liiketoimintojen häiriöiden muodossa. Eräs tautien leviämisen kannalta kriittinen ympäristö on päiväkodit, joissa suhteellisen iso määrä lapsia hoitajineen oleskelee pitkiä aikoja yhdessä rajatussa tilassa. Vaikka rakennuksen ilmanvaihto toimisikin suunnitellusti, se ei aina välttämättä riitä estämään tartuntaketjujen ilmaantumista päiväkotiympäristöissä.

Tämän takia E3-pandemianhallintahankkeen tutkimuskonsortio on päättänyt selvittää ilmanpuhdistuksen mahdollisuuksia vähentää tartuntoja päiväkodeissa. Tässä esiteltävän tutkimuksen tavoitteena oli mitoitaa valittuihin päiväkoteihin mahdollisimman tehokas ilmanpuhdistusjärjestely, joka samalla toimii interventiona neljässä Helsingin kaupungin päiväkodissa toteutettavalle HUSin johtamalle terveystutkimukselle.

Ilmanpuhdistimien mitoitukselle on olemassa useita vaihtoehtoisia lähtökohtia. Parhaiten tilanteeseen soveltuvan menetelmän valintaan vaikuttaa taudille ominaiset lähtöarvot kuten sairastumiseen tarvittava keskimääräinen patogeeniannos. Valitettavasti kaikkia näitä lähtötietoja ei aina tunneta varsinkaan etukäteen, jolloin mitoituksesta tulee entistä haastavampaa. Toisaalta tietyt periaatteet, kuten puhtaan

ilman tuoton lisääminen, ovat voimassa minkä tahansa patogeenin pitoisuuden alentamisessa.

MITOITUKSESSA HUOMIOITAVAT ASIAT

Yksittäisten tilojen ilmanpuhdistimien mitoitukseen on olemassa hyviä työkaluja, kuten REHVA:n laatima ohjeistus /1/. Usein tilanne on kuitenkin monimutkaisempi, mikäli halutaan huomioida erilaisten tilojen ja niiden ilmanvaihtoratkaisuiden lisäksi tilojen käyttöprofiili ja niissä oleskelevien henkilöiden määrä sekä hiukkaspäästöön ja altistuvien läsnäolijoiden hengitysilman määrään vaikuttava toiminnan laatu. Pitkäaikaisen seurantajakson aikana myös tautitilanne ja sitä myötä patogeenejä ilmaan levittävän henkilön tai henkilöiden läsnäolon todennäköisyys vaihtelee.

Puhdistimien optimaalinen sijoittelu rakennuksen eri tiloihin edellyttää monipuolista tarkastelua parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi mahdollisimman vähällä määrällä puhdistimia. Rakennuksen tiloissa saatua yhteenlaskettua patogeeniannosta pitää pystyä vähentämään niin paljon, että sairastumistodennäköisyys laskee riittävästi. Toisaalta kaikkia lähtötietoja ei aina ole tarkasti ja luotettavasti saatavilla, joten usein joudutaan turvautumaan suhteellisten parannusten toteamiseen lähtötilanteeseen verrattuna. Myös aiempia tutkimuksia maailmalta raportoiduista superlevittäjätilanteista /2/ on mahdollista hyödyntää arvioitaessa sitä, miten merkittäviä muutoksia ilmanlaatuun tarvitaan mitattavien terveysvaikutusten aikaansaamiseksi.

Ilmanpuhdistimien tuottama puhtaan ilman tuotto (Clean Air Delivery Rate, CADR) on keskeinen kriteeri intervention mitoituksessa. Se pitää suhteuttaa tilan ilmanvaihtoon riittävän pitoisuuden alentumisen aikaansaamiseksi. Toisaalta pitoisuustason painaminen aina vaan alemmaksi edellyttää suhteessa enemmän puhdasta ilmaa, ja siis enemmän puhdistimia. Tällöin tulee harkita olisiko ylimääräisestä puhdistimesta enemmän hyötyä jossain toisessa tilassa rakennuksen kokonaisinfektoriskin alentamiseksi.

Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien toiminta voi perustua moneen erilaiseen tekniikkaan. Jotta voidaan varmistua käyttöön otettavien ilmanpuhdistimien toimivan halutusti, tulee ilmanpuhdistimien tuottama puhtaan ilman tuotto (Clean Air Delivery Rate, CADR) olla määritetty etukäteen luotettavasti. Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto määritetään käyttäen alenemamenetelmää, jossa tutkitaan ilmanpuhdistimen vaikutusta testikammiossa olevaan testiaineen pitoisuuteen. Puhtaan ilman tuotto saadaan testikammion tilavuuden ja pitoisuuden alenemanopeuden tulosta vähennettynä testikammion aiheuttamalla pitoisuuden alenemalla. /3/

Tilassa läsnä olevien ihmisten määrän vaikutus tartuntariskiä on ilman patogeenimäärän alentamisen lisäksi varsin selvä. Ihmismäärä vaikuttaa kahta kautta nostaten sekä patogeenilähteenä toimivan sairastuneen ihmisen läsnäolon todennäköisyyttä että ilmassa oleville patogeeneille altistuvien potentiaalisten sairastujien määrää. Lisäksi todennäköisyys lähialueella tapahtuvalle tartunnalle kasvaa, kun ihmisten keskimääräinen etäisyys toisistaan pienenee.

Myös tilan ilmanvaihtoratkaisuilla on todennäköisesti erittäin suuri vaikutus tartuntariskin suuruuteen. Usein lähdetään liikkeelle täydellisen sekoittumisen oletuksesta, joka ei luonnollisesti koskaan kuvaa tilannetta yksityiskohtaisesti. Puhdistimet tulee asentaa siten, että niiden aiheuttama ilmavirta ei häiritse liikaa tilan yleisilmanvaihtoratkaisun toimintaa. On myös mahdollista pyrkiä suuntaamaan puhdistimien tuottamaa ilmaa oletetulle hengitysvyöhykkeelle, jolloin

puhdistusvaikutus on keskimääräistä parempi. Vaikutusta parantaa myös puhdistimen imukohdan sijoittaminen päästökohdan lähelle tai muuten kontaminoituneelle alueelle.

TILAKOHTAINEN MITOITUS

E3-pandemianhallintahankkeessa päiväkoiteihin toteutetun laskennallisen mitoituksen perustana käytettiin REHVA:n laatimaa ohjeistusta patogeenipitoisuuksien alentamisesta. Pitoisuuslaskenta on stationäärinen ja se perustuu täydellisen sekoittumisen malliin. Ohjeistus pohjautuu huonekohtaisten ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuoton (CADR) määrään suhteutettuna tilan ilmanvaihtoon. Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuoton tulisi tämän ohjeistuksen mukaan olla vähintään kaksinkertainen tilan ilmanvaihdon määrään nähden. Tehdyssä tutkimuksessa mitoituksen lähtöarvoina käytettiin tiloihin suunniteltuja vakioilmanvirran mitoitussarvoja. Suunnitteluarvojen toteutuma tullaan varmistamaan mittauksin. Ilmamäärien toteutumistarkkuus on yleensä noin $\pm 20\%$ suunnitteluarvoihin nähden /4/

Sijoitettaessa ilmanpuhdistimia rakennuksen tiloihin tulisi ensisijaisesti ottaa huomioon eniten riskiä aiheuttavat tilat. Tilan patogeenipitoisuus kasvaa todennäköisimmin, kun samassa tilassa on pitkän aikaa paljon ihmisiä. Tällöin potentiaalisten tartuttajien määrä kasvaa samalla kun etäisyydet ihmisten välillä pienenevät lisäten tartuntariskiä. Koska altistuminen on suurta tiloissa, joissa oleskellaan eniten, on järkevää sijoittaa ilmanpuhdistimia juuri näihin tiloihin. Tutkimuksen yhteydessä kartoitettiin päiväkotien tilojen käyttöä toteuttamalla kysely, jossa tilojen käyttäjät saivat täyttää kussakin tilassa oleskellun aika- ja henkilömäärän yhden päivän ajalta tunnin tarkkuudella.

Tiloissa tapahtuvan toiminnan laatu vaikuttaa ilmaan siirtyvien patogeenien määrään. Kevyt ja rauhallinen toiminta tuottaa vähemmän patogeeneja ilmaan kuin raskaampi, riehakas toiminta. Toisaalta myös altistuvien ihmisten hengittämä ilmamäärä muuttuu aktiivisuustason mukaan. Toteutetussa kyselyssä selvitettiin päiväkotien toiminnan laatua kolmeen eri luokitteluun jaoteltuna: kevyt toiminta (esim. askartelu), raskas toiminta (esim. laulaminen, jumppa) ja nukkuminen.

Ilmanvaihtokerroin kertoo, kuinka monta kertaa tunnissa tilan ilma vaihtuu ja se on keskeinen ilmanpuhdistimien mitoituseruste. Tilan ilmanvaihtokerroin saattaa olla varsin suuri pelkän ilmanvaihdon johdosta. Tällöin ilmanvaihto on riittävä, jolloin ei ole järkevää tuoda tilaan vielä lisäksi huonekohtaista ilmanpuhdistinta.

KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vaikuttaa ennaltaehkäisevästi ilmapölyisten tautien leviämiseen ja mitoittaa valittuihin päiväkotirakennuksiin mahdollisimman tehokas ilmanpuhdistusjärjestely. Tilojen yhteenlaskettua patogeeniannosta eli kokonaisaltistusta tulisi laskea niin paljon, että sairastumistodennäköisyyttä saadaan vähennettyä riittävästi. Tutkimuksessa päätettiin tavoitella tilannetta, jossa koko rakennuksen yhteenlaskettu kokonaisaltistus lasketaan puoleen alkuperäisestä altistuksesta. Tähän tavoitteeseen päädyttiin huomioiden käytännön rajoitukset ja reunaehdot, kuten tilojen hyvä ilmanvaihto.

Mitoituksen lähtökohtana käytettiin REHVA:n laatimaa ohjeistusta ilmanvaihdon arvojen suhteesta ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuottoon. Mitoituksessa otettiin huomioon myös tilojen käyttöprofiili eli tiloissa oleskelevien henkilöiden määrä ja tiloissa tapahtuvan toiminnan laatu. Lisäksi tarkasteltiin tiloihin mitoituksesta aiheutuvaa ilmanvaihtokerrointa.

Mitoituslaskennan perustana käytettiin päiväkotien taloteknisiä tietoja ilmanvaihdon suunnitteluarvoista. Lisäksi lähtötietoja saatiin käyttäjille kohdistetusta kyselystä, jonka avulla kartoitettiin tilojen käyttöastetta päivän aikana sekä tiloissa tapahtuvan toiminnan laatua. Tilat ryhmiteltiin käyttötarkoituksen mukaisesti tarkastelualueisiin kohteena olleen päiväkodin tilojen mukaan. Taulukossa 1 on esitetty esimerkki yhden tutkimuksessa mukana olleen päiväkodin tilakohtaisen altistuksen mitoituslaskennan lähtötiedoista. Lähtötietoja käyttäen laskettiin tilakohtaiset painokertoimet käyttöajan ja henkilömäärän suhteen.

Taulukko 1. Tutkimuksessa mukana olleen päiväkodin tarkastelualueiden lähtötietoja.

MITOITUKSEN LÄHTÖTIE TOJA	Pien-huone	Eteinen	Koti-pesä	Ryhmä-huone	Aula	Ruokailu	Sali	Pien-ryhmä-tila
Tarkastellun alueen keskimääräinen pinta-ala [m ²]	16	21	32	38	49	47	68	14
Oleskeluaika päivässä (yht. 7h) / tila [h]	0.37	1.57	1.96	1.32	0.56	0.56	0.28	0.37
Maksimihenkilömäärä [kpl]	15	60	23	28	60	60	23	5
Toiminnan laatu ¹⁾	2	2	2+1	2	2	2	3+1	2

¹⁾ 1 = kevyt toiminta (esim. askartelu), 2 = raskas toiminta (esim. laulaminen, jumppa), 3 = nukkuminen.

Taulukosta 1 nähdään, että päiväkodin eri tilojen pinta-ala on verrattain pieni, alle 70 m². Ilmanvaihto tiloissa oli sekoittava ja lisäksi ilmanvaihtokerroin oli suuri (luokkaa 3-6 vaihtoa/h), joten voidaan olettaa että tilan epäpuhtaudet ovat suhteellisen tasan jakautuneet.

Tilakohtaista altistumista tarkasteltiin alueittain siten, että koko päiväkodin tiloissa päivän aikana oleskeltaessa aiheutuva altistuminen pyrittiin laskemaan lähtötilanteesta (100 %) puoleen (50 %). Tällöin ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto yhteenlaskettuna tilan ilmavirran kanssa on kaksinkertainen verrattuna lähtötilanteeseen. Painokertoimien avulla ilmanpuhdistimet voitiin sijoittaa tiloissa siten, että koko rakennuksessa päivän aikana saatu altistus laskee optimaalisesti ja energiatehokkaasti huomioiden ilmanvaihdon, käyttöasteen ja toiminnan vaikutukset. Taulukossa 2 on esitetty esimerkki yhden tutkimuksessa mukana olleen päiväkodin mitoituksesta. Taulukossa 1 esitetyt lähtötiedot liittyvät saman päiväkodin tarkasteluun.

Taulukko 2. Mitoitusesimerkki tilakohtaisen altistumisesta.

EHDOTUS MITOITUKSESTA TILOISSA OLESKELUN MUKAAN	TILAKOHTAINEN ALTISTUMINEN [%]								
	Pien-huoneet	Eteiset	Koti-pesät	Ryhmä-huoneet	Aula	Ruokailu	Sali	Pien-ryhmä-tilat	Yht.
Lähtötilanne (pelkkä ilmanvaihto)	5	22	28	19	8	8	4	5	100
Mitoitus 1: CADR _{ip} kaksinkertainen ilmanvaihtoon nähden (REHVA 2)	1	7	9	6	3	3	1	2	32
Mitoitus 2: Kokonaisaltistus pudotettu painotetusti huomioiden myös käytettävissä olevat puhdistimet	2	5	11	8	3	5	3	5	43
Toteutunut tilanne	2	6	15	11	2	4	3	5	47

Taulukossa 3 on esitetty mitoituslaskennassa käytetyt huoneilmanpuhdistimet kappalemääräinen ja päiväkotiiin mitoituslaskennan perusteella jakautuneesti tuotettava puhtaan ilman (CADR) kokonaismäärä.

Taulukko 3. Ilmanpuhdistimien lukumäärä ja tuotetun puhtaan ilman kokonaismäärä.

EHDOTUS MITOITUKSESTA TILOISSA OLESKELUN MUKAAN	Huoneilmanpuhdistimien määrä [kpl]				Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuoton (CADR) kokonaismäärä [m ³ /h]
	pieni (50 l/s) 180 m ³ /h	keski (100 l/s) 360 m ³ /h	suuri (200 l/s) 720 m ³ /h	yht.	
Mitoitus 1: CADR _{IP} kaksinkertainen ilmanvaihtoon nähden (REHVA 2)	9	25	12	46	19260
Mitoitus 2: Kokonaisaltistus pudotettu painotetusti huomioiden myös käytettävissä olevat puhdistimet	14	13	6	33	11520

Mitoituksessa tarkasteltiin myös ilmanpuhdistimien vaikutusta ilmanvaihtokertoimeen. Joissakin tiloissa ilmanvaihtokertoimen kasvu olisi REHVA:n ohjeistuksen mukaisessa mitoituksessa ollut erittäin merkittävä, mutta painotetusti toteutetulla mitoituksella tämä saatiin otettua huomioon (Taulukko 4).

Taulukko 4. Mitoituksen vaikutus ilmanvaihtokertoimeen.

EHDOTUS MITOITUKSESTA TILOISSA OLESKELUN MUKAAN	ILMANVAIHTOKERROIN [1/h]							
	Pien- huoneet	Eteiset	Koti- pesät	Ryhmä- huoneet	Aula	Ruokailu	Sali	Pien- ryhmä- tilat
Lähtötilanne	3	3.5	3.6	3.5	4	7	7	11
Mitoitus 1: CADR _{IP} kaksinkertainen ilmanvaihtoon nähden (REHVA 2)	11	12	10	10	11	21	11	31
Mitoitus 2: Kokonaisaltistus pudotettu painotetusti huomioiden myös käytettävissä olevat puhdistimet	7	17	8	8	11	10	9	11
Toteutunut tilanne	11	16	6	6	14	13	14	11

Tutkimuksessa mukana olleisiin päiväkoteihin vietiin ilmanpuhdistimia siten, että niiden puhtaan ilman tuotto vastasi kullekin tilalle suunniteltua mitoitusta. Toteutuksessa käyttöön valittiin ilmanpuhdistimet, joiden puhtaan ilman tuotto (CADR) oli tutkittu hiukkasmaisia epäpuhtauksia käyttäen. Hiukkasmaiset epäpuhtaudet voivat olla elottomia, kuten esimerkiksi pöly, tai eläviä, kuten esimerkiksi bakteerit ja virukset.

Mitoituksen lopulliseen toteutumiseen vaikuttavat laitteiden käytettävyyks sekä laitteiden ilmavirtojen pysyminen halutulla puhtaan ilman tuoton tasolla. Puhdistimien puhtaan ilman tuoton määrän tulisi olla laskelmien mukainen eri käyttötilanteissa. Tästä johtuen terveystutkimuksen intervention toteutumiseksi laitteiden toimintaa alettiin ohjata etäohjattavien ja -luettavien älypistorasioiden avulla toiminnan tason varmistamiseksi.

Sijoitettaessa ilmanpuhdistimia tiloihin otettiin huomioon yleisilmanvaihtojärjestelmän toteutus. Puhdistimet pyrittiin sijoittamaan siten, että ne eivät sijainneet tuloilma- tai poistoilmaelinten läheisyydessä. Sijaintiin kussakin tilassa vaikuttivat lisäksi huoneen kalustus ja toiminnallisuus. Ilmanpuhdistimet asennettiin tiloihin niin, että ulospuhallussuunta oli esteetön samalla kun varmistuttiin ettei oikosulkuvirtauksia pääsyt muodostumaan puhallus- ja imupuolen välille.

Johtuen päiväkotien ahtaudesta jouduttiin tavoitellusta puhtaan ilman tuotosta muutamassa tilassa jonkin verran tinkimään. Ahtaissa tiloissa laitteista voi aiheutua vedon tunnetta ilmanpuhdistimen lähietäisyydellä, ja lisäksi laitteiden tuottaman äänen häiritsevyys voi vaikuttaa siten, että puhdistimia joudutaan käyttämään mitoitetua

pienemmällä puhdistusteholla. Tilanahtaus aiheuttaa myös haasteita puhdistimien sijoitteluun ja tuomiseen tiloihin. Tutkimuksessa yhteenlaskettu altistuminen saatiin haasteista huolimatta laskemaan alle puoleen alkuperäisestä altistumisesta (taulukko 2).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa päiväkotien tiloihin tuotetun puhtaan ilman mitoitusta toteutettiin ottaen huomioon tilojen käyttöprofiili, niissä oleskelevien henkilöiden määrä, tiloissa tapahtuvan toiminnan laatu, REHVA:n laatima oheistus ilmanvaihdon arvojen suhteesta ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuottoon, sekä tiloihin mitoituksesta aiheutuva ilmanvaihtokerroin. Painotuksen avulla ilmanpuhdistimet voitiin sijoittaa tiloissa siten, että koko rakennuksessa päivän aikana saatu altistus laski optimaalisesti ja energiatehokkaasti huomioiden ilmanvaihdon, käyttöasteen ja toiminnan vaikutukset.

Puhdistinmitoituksen onnistuminen edellyttää hyviä lähtötietoja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä ja sen toimivuudesta sekä tilojen käyttöprofiileista. Ilmanpuhdistimien äänitasot, ilmavirran mahdollisesti aiheuttamat vedon tuntemukset ja tilantarve sekä tilanahtaus voivat vaikuttaa puhdistimien käytettävyyteen heikentävästi.

Intervention avulla tavoiteltavan pitoisuustason aleneman määrittelemistä hankaloittaa infektioiden leviämisen kannalta olennaisten lähtötietojen puuttuminen tai vaikea saatavuus. Puutteellisten tai puuttuvien lähtötietojen takia olemme päätyneet määrittelemään eri tiloille suhteelliset pitoisuustavoitteet lähtötilanteeseen verrattuna.

Odotamme tuloksia kohteissa tehtävistä sisäilman patogeenisuuden mittauksista ja terveystutkimuksista, jotka toteutetaan E3-pandemianhallintahankkeessa vuosien 2023-2024 aikana.

KIITOKSET

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

LÄHDELUETTELO

1. REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, 2021. Criteria for room air cleaners for particulate matter. Saatavilla: <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>
2. Lewis, D. (2021) Superspreading drives the COVID pandemic -- and could help to tame it. *Nature*, vol. 590, no. 7847, 25 Feb. 2021, pp. 544+.
3. IEC 63086-1, Household and similar electrical air cleaning appliances - Methods for measuring the performance - Part 1: General requirements. IEC (International Electrotechnical Commission). 2020.
4. Björkroth, M. ja Eskola, L. (2019) Rakennusten paine-erojen mittausohje. A-Insinöörit Oy. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. s. 43.