



## **HUONEISTOKOHTAISTEN ILMANPUHDISTIMIEN TESTAUSPALVELUN KEHITTÄMINEN**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikka, Diplomityö

2022

Mika Pulkkinen

Tarkastajat: Professori, TkT Esa Vakkilainen

Tutkimusassistentti, DI Kari Luostarinen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Mika Pulkkinen

### **Huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien testauspalvelun kehittäminen**

Energiatekniikan diplomityö

2022

97 sivua, 23 kuvaa, 9 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastaja(t): Professori Esa Vakkilainen ja Tutkimusassistentti Kari Luostarinen

Avainsanat: Ilmanpuhdistin, CADR, puhtaan ilman tuotto, sisäilman epäpuhtaudet

Tässä diplomityössä tarkastellaan sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä ja huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien kriteerejä sekä testausstandardeja. Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko laboratoriokokeilla määrittää huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien todellinen suorituskyky. Ilmanpuhdistimien testaustarpeiden perusteella määritettiin sopiva testausjärjestely ja -menetelmä niiden testaukseen. Laboratoriokokeiden tuloksien avulla arvioitiin kehitetyn testausmenetelmän soveltuvuutta osana testauspalvelua.

Diplomityö tehtiin Eurofins Expert Services Oy:n tarpeeseen kehittää kaupallinen testauspalvelu huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille. Laboratoriokokeiden perusteella todettiin testausmenetelmän olevan toimiva ilmanpuhdistimien suoritusarvojen määrittämiseen. Tulosten perusteella esille nostettiin kehityskohteita, joita kehittämällä testauspalvelusta saataisiin kilpailukykyisempi ja monipuolisempi tulevaisuudessa.

Tässä diplomityössä suoritetun tutkimuksen perusteella todettiin huonekohtaisten ilmanpuhdistimien alan tarvitsevan yhtenäisen testausstandardin, joka määrittelee vaatimukset sekä testausmenetelmät ilmanpuhdistimille. Tämä helpottaisi ilmanpuhdistimien laitevalmistajien, kilpailuttajien sekä kuluttajien työtä kehittää tai löytää oikeanlainen ilmanpuhdistin oikeaan kohteeseen.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Mika Pulkkinen

### **Development of a testing service for room-specific air purifiers**

Master's thesis

2022

97 pages, 23 figures, 9 tables and 2 appendices

Examiner(s): Professor Esa Vakkilainen and Research Assistant Kari Luostarinen

Keywords: Air purifier, air cleaner, CADR, clean air delivery rate, indoor air pollutants.

This Master's thesis examines the factors that affect the indoor air quality as well as the criteria and testing standards for room-specific air purifiers. The aim of this study was to examine whether the actual performance of room-specific air purifiers can be determined by laboratory tests. Based on the testing needs of air purifiers, an appropriate testing method was determined. The results of the laboratory tests were used to evaluate the suitability of the developed test method as a part of the testing service.

The thesis was done for Eurofins Expert Services Oy's need to develop a commercial testing service for room-specific air purifiers. Based on laboratory tests, the test method was found to be effective in determining the performance of air purifiers. Based on the results, areas for development were highlighted that would make the testing service more competitive and diverse in the future.

Based on the research conducted in this thesis, it was found that the field of room-specific air purifiers needs a uniform testing standard that defines the requirements for air purifiers as well as test methods. This would make it easier for air purifier manufacturers, competitors and consumers to develop or find the right type of air purifier for the right place.

## **ALKUSANAT**

Tämä diplomityö on tehty Eurofins Expert Services Oy:llä Espoon Otaniemessä, ja haluan kiittää heitä mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta. Kiitokset työn ohjauksesta ja avustuksesta matkan varrella syntyneiden pulmien ratkomisessa esimiehelleni Ville Matveiselle sekä asiantuntijoille Antti Korhoselle ja Pekka Kettuselle. Kiitokset kuuluu myös muulle työporukalle, jotka ovat minua tukeneet ja jutuillaan päivää piristäneet diplomityöni tekemisen aikana. Haluan lisäksi kiittää Lappeenranta-Lahden teknillisen yliopiston Professoria Esa Vakkilaista työni ohjauksesta ja tarkastamisesta.

Tähän pisteeseen pääseminen on vaatinut paljon työtä. Suuri kiitos opiskelijakavereilleni, jotka ovat minua matkan varrella auttaneet sekä luoneet opiskeluajastani ikimuistoisien. Yhdessä koimme monia mieleenpainuvia hetkiä koulutöiden ja vapaa-ajankin merkeissä. Kiitokset vanhemmilleni opiskelujeni tukemisesta ja kannustamisesta. Erityinen kiitos kuuluu myös tyttöstävälleni Shanille tukemisesta opintojeni aikana.

Espoossa 29.4.2022

*Mika Pulkkinen*

# SISÄLLYSLUETTELO

**Tiivistelmä**

**Abstract**

**Alkusanat**

**Sisällysluettelo**

**Symboliluettelo**

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>9</b>
1.1	Työn tausta, tutkimustarve ja tavoite .....	10
1.2	Työn rakenne ja rajaus .....	10
<b>2</b>	<b>Sisäilman epäpuhtaudet ja niiden haitat</b>	<b>12</b>
2.1	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet .....	12
2.2	Kaasumaiset epäpuhtaudet .....	15
2.3	Fysikaaliset tekijät .....	17
2.4	Huonosta sisäilmasta aiheutuvat haitat.....	18
2.5	Suosituksset sisäilman laadulle.....	20
2.6	Ilmanlaadun haasteet .....	21
<b>3</b>	<b>Kriteerit ilmanpuhdistimille</b>	<b>24</b>
3.1	Puhtaan ilman tuotto.....	25
3.2	Ääni .....	25
3.3	Energiatehokkuus .....	26
3.4	Ilmanpuhdistimen sijoitus huoneessa .....	26
3.5	Epäpuhtauksien tuotto .....	26
3.6	Huolto .....	27
3.7	Miksi ilmanpuhdistimia testataan? .....	27
<b>4</b>	<b>Nykyiset testistandardit ja menetelmät</b>	<b>29</b>
4.1	NF B44-200:2016.....	29
4.1.1	Testikammio.....	30
4.1.2	Ilmamäärä ja puhtaan ilman tuotto.....	31
4.1.3	Energiatehokkuus .....	32
4.2	VDI-EE 4300.....	33
4.2.1	Testihuone .....	34
4.2.2	Ilmamäärä ja puhtaan ilman tuotto.....	35
4.3	ANSI/AHAM AC-1-2020 .....	36
4.3.1	Testikammio.....	37
4.3.2	Puhtaan ilman tuotto .....	38
4.3.3	Suositteltu huonekoko .....	40
4.4	GB/T 18801-2015.....	40

4.4.1	Testihuone .....	41
4.4.2	Puhtaan ilman tuotto .....	42
4.4.3	Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti (CCM) .....	44
4.4.4	Suosittelun huonekoko .....	45
4.4.5	Laitteen käyttöikä.....	45
4.5	Standardien vertailu.....	46
<b>5</b>	<b>Laitevalmistajahaastattelu</b>	<b>50</b>
5.1	Haastattelujen pääkohdat.....	53
<b>6</b>	<b>Testaussuureiden valinta ja menetelmien kuvaus</b>	<b>56</b>
6.1	Testikammio .....	56
6.2	Puhtaan ilman tuotto hiukkasille .....	60
6.2.1	Huoneen alenema .....	61
6.2.2	Testauksen kulku.....	62
6.2.3	Läpivirtausmenetelmä .....	64
6.3	Puhtaan ilman tuotto kaasuille .....	66
6.3.1	Testauksen kulku.....	66
6.4	Sähköteho ja energiatehokkuus .....	69
6.5	Äänitehotaso .....	70
<b>7</b>	<b>Tulokset ja niiden tarkastelu</b>	<b>71</b>
7.1	Ilmavirta .....	71
7.2	Puhtaan ilman tuotto hiukkasille alenemamenetelmällä .....	72
7.3	Puhtaan ilman tuotto hiukkasille läpivirtausmenetelmällä.....	76
7.4	Menetelmien vertailu hiukkastestauksessa.....	77
7.5	Puhtaan ilman tuotto kaasuille .....	82
7.6	Äänitehotaso .....	84
7.7	Sähkötehon tarve ja energiatehokkuus .....	85
<b>8</b>	<b>Testauspalvelukokonaisuuden arviointi</b>	<b>87</b>
8.1	Testauspalvelun tarve .....	87
8.2	Testausmenetelmän toimivuus .....	88
8.3	Kehityskohteet testauksessa .....	90
<b>9</b>	<b>Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>93</b>
	<b>Lähdeluettelo</b>	<b>95</b>
	<b>LIITE I: Standardiluettelo</b>	<b>98</b>
	<b>LIITE II: Hiukkaspitoisuuden alenemakäyrät</b>	<b>100</b>

## SYMBOLILUETTELO

### Roomalaiset merkit

$p$	paine	[bar, Pa]
$qm$	massavirta	[kg/s]
$T$	lämpötila	[°C, K]
$U$	jännite	[V]
$V$	tilavuus	[m <sup>3</sup> ]
$P$	sähköteho	[W]
$C$	testiaineen pitoisuus	[x/cm <sup>3</sup> ]
$k$	alenemavakio	[-]
$CAE$	energiatehokkuus	[m <sup>3</sup> /h/W]
$Q$	ilmavirta/puhtaan ilman tuotto	[m <sup>3</sup> /h]
$L_{WA}$	A-äänitehotaso	[dB(A)]
$S$	suositeltu huonekoko	[m <sup>2</sup> ]
$h$	huoneen korkeus	[m]

### Lyhenteet

ACH	air changes per hour
CADR	clean air delivery rate
CAE	clean air efficiency
CCM	cumulative clean mass
CO	hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi

DEHS	Di-ethyl-hexyl-sebacate
HEPA	High Efficiency Particulate Air filter
NO	typpiokside
O <sub>3</sub>	otsoni
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PID	photionization detector
ppb	parts per billion
PM	particle matter
ppm	parts per million
SVOC	Semi Volatile Organic Compound
TVOC	Total Volatile Organic Compound
VOC	Volatile Organic Compound
WHO	World Health Organization

## 1 JOHDANTO

Paras tapa käsitellä asuinhuoneiden sisäilman epäpuhtauksia on yleensä poistaa epäpuhtauksien lähteitä sekä ilmanvaihto. Epäpuhtauksien lähteiden vähentäminen on kaikkein tehokkain tapa puhdistaa sisäilmaa. Monet epäpuhtauksien lähteet ovat hallittavissa esimerkiksi tupakoimalla ulkona sisällä tupakoimisen sijaan. Ilmanvaihdolla tuuletetaan sisäilmaa tavoitteena laimentaa sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia. Sen edellytyksenä on, että ulkoilma on suhteellisen puhdasta ja kuivaa tai se voidaan tehdä mekaanisin keinoin esimerkiksi suodattamalla.

Jos tavalliset keinot puhdistaa sisäilmaa ovat riittämättömät, ilmanpuhdistimet voivat olla hyödyllisiä niiden rinnalla. Ilmanpuhdistuksen tarkoituksena on poistaa epäpuhtauksia sisäilmasta. Ilmanpuhdistukseen tarkoitettut ilmanpuhdistimet voidaan asentaa yleisilmanvaihdon kanavaan puhdistamaan koko asunnon ilmaa. Yksittäisissä huoneissa ja tietyissä tiloissa kuten luokkahuoneissa voidaan käyttää huoneistokohtaisia ilmanpuhdistimia. Ilmanpuhdistimet eivät yksin riitä puhdistamaan sisäilmaa, mutta ne auttavat puhdistamaan sisäilmaan päässeitä epäpuhtauksia muiden keinojen jälkeen. Niitä on markkinoilla monenlaisia ja ilmanpuhdistimien tarve kasvaa koko ajan lisääntyneiden sisäilmaongelmien takia.

Yleisilmanvaihdon suodattimien markkina on iso ja yritykset tekevät rahaa sillä, että suodattimia täytyy vaihtaa säännöllisin väliajoin. Ilmanvaihdon yhteydessä käytettävien ilmansuodattimien testaus on myös kannattavaa ja sitä tehdään paljon. Ilmansuodattimien testaukseen on olemassa yhtenäiset standardit, jotka määrittelevät sen, millainen ilmansuodattimen pitää olla. Irrallaan yleisilmanvaihdosta olevilla huoneistokohtaisilla ilmanpuhdistimilla puolestaan erillistä yhtenäistä testausstandardia ei ole, vaan niitä testataan lukemattomilla erilaisilla menetelmillä eri puolilla maailmaa riippuen siitä, kuka testaa ja millä menetelmällä saadaan parhaat tulokset. Tästä syystä, huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien ala tarvitsee yhtenäisen testausstandardin, joka määrittelee menetelmät laitteiden todellisen suorituskyvyn selvittämiseksi.

## **1.1 Työn tausta, tutkimustarve ja tavoite**

Kunnat ja kaupungit käyttävät paljon rahaa ilmanpuhdistimien hankintaan. Suoritusarvot vaihtelevat, kilpailutukset ovat epäselviä eikä yhtenäistä testausmenetelmää ole olemassa. Kiinteistönomistajat tarvitsevat tutkittua tietoa ilmanpuhdistimien toimivuudesta tehdäkseen oikeita ratkaisuja laitteiden valinnassa kohteeseen.

Diplomityön taustalla on teettäjän Eurofins Expert Services Oy:n tarve selvittää, voidaanko laboratorionkokeilla määrittää huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien todellinen suorituskyky. Yrityksellä on myös tarve kehittää ilmanpuhdistimien testauspalvelua, koska tarjouskyselyitä testauspalveluista tulee säännöllisesti ja markkina on kasvava.

Työn tavoitteena on selvittää ilmanpuhdistimien testauksen nykytilanne sekä luoda pohjaa testausmenetelmien ja laboratorionkokeiden osalta ilmanpuhdistimien testauspalvelulle. Diplomityö tehdään, jotta yritys saisi tulosten pohjalta rakennettua asiakkaille tarjottavan testauspalvelukokonaisuuden.

## **1.2 Työn rakenne ja rajaus**

Diplomityö koostuu kirjallisuuskatsauksesta, käytännön laboratorionkokeista sekä käytettyjen menetelmien arvioinnista. Kirjallisuuskatsaus jakautuu kahteen osaan. Ensimmäinen osa sisältää sisäilman epäpuhtauksien määrittelyä sekä tutkimustietoa ilmanlaadun vaikutuksista ihmisille. Toisessa osassa on selvitetty ilmanpuhdistimien testistandardeja, menetelmiä ja nykytilannetta. Työn käytännön osuus koostuu laitevalmistajahaastatteluista sekä laboratorionkokeista. Laboratorionkokeisiin kuuluu testausjärjestelyn määrittelyä, toteuttamista ja testausta. Lopuksi käytettyjä menetelmiä vertaillaan keskenään ja arvioidaan mittauksien todenmukaisuutta.

Diplomityössä käsitellään testausmenetelmiä huonekohtaisille ilmaa suodattaville ja kierrättäville laitteille. Työssä ei käsitellä ilmanvaihdon kanaviin asennettavia ilmanpuhdistimia eli kanavailmanpuhdistimia, vaan ne on jätetty työn rajauksessa

ulkopuolelle. Myös ilmanpuhdistimien toimintaperiaatteiden läpi käyminen on jätetty suuremmilta osin rajauksen ulkopuolelle.

## 2 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN HAITAT

Sisäilman laatuun vaikuttaa monia eri tekijöitä, joita huonekohtaisilla ilmanpuhdistimilla voidaan puhdistaa. Erilaiset hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet sekä monet fyysiset tekijät voivat vaikuttaa sisäilman laatuun heikentävästi. Myös epäpuhtauksista johtuvat tuoksu- ja hajuhaitat voivat haitata oleskelua sisätiloissa. Pitkään jatkuva epämiellyttävä haju sisätiloissa voi olla merkki rakennuksessa piilevästä sisäilmaongelmasta. Huoneistokohtaiset ilmanpuhdistimet ovat oiva keino torjua sisäilman epäpuhtauksia, kunnes alkuperäinen ongelma on saatu korjattua. (Hengitysliitto)

### 2.1 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

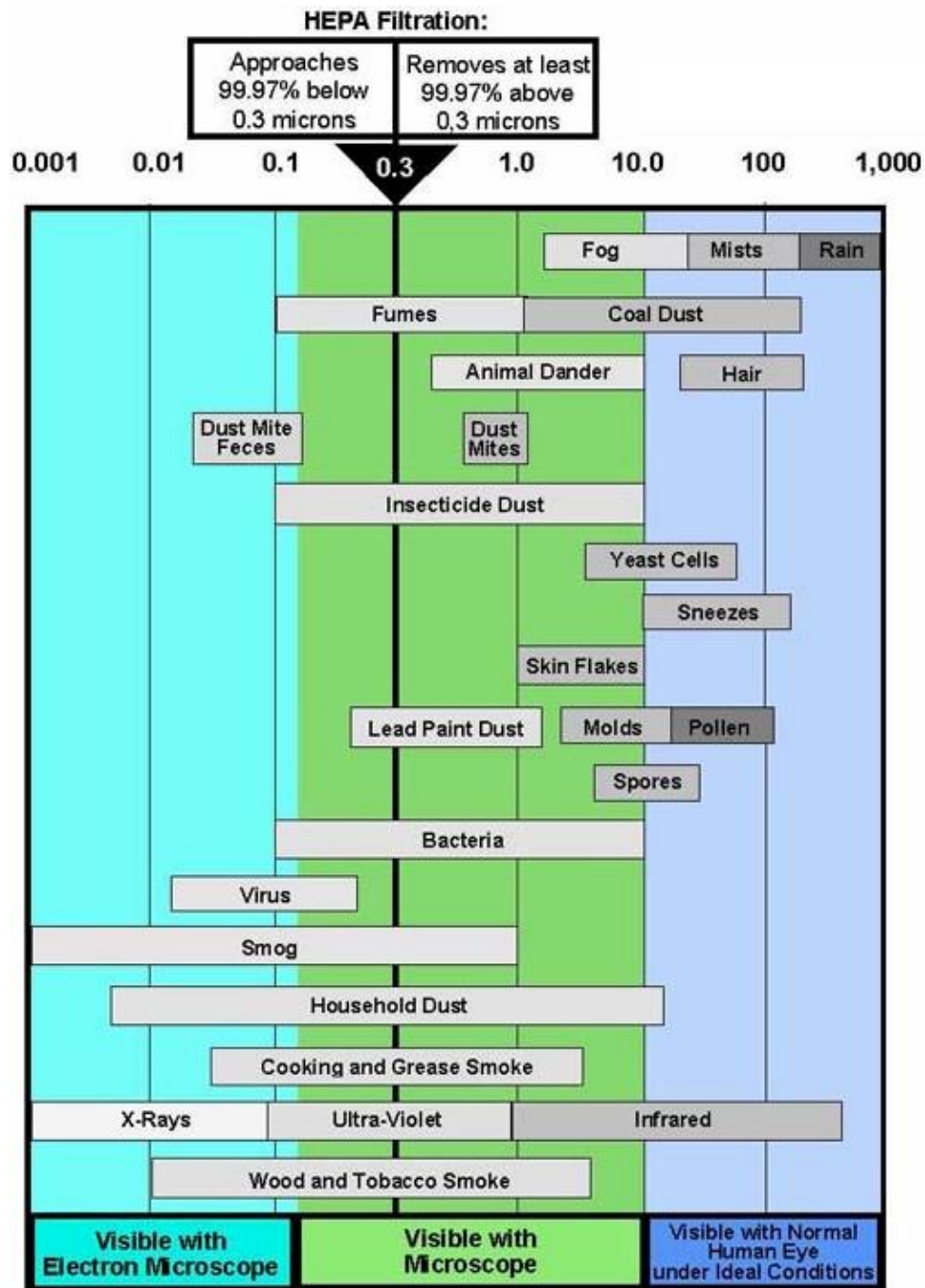
Hiukkasmaiset epäpuhtaudet (PM, particle matter) koostuvat mikroskooppisen pienistä kiinteistä hiukkasista, nestepisaroista tai niiden yhdistelmistä. Hiukkasten joukossa voi olla monia erilaisia komponentteja kuten erilaisia happoja, orgaanisia kemikaaleja, metalleja, maa- tai pölyhiukkasia ja erilaisia biologisia epäpuhtauksia. Huoneilmassa näiden hiukkasten joukossa on yleensä seuraavia epäpuhtauksia:

- Pöly kiinteinä hiukkasina
- Hajut ja savut kiinteiden ja nestemäisten hiukkasten sekoituksena
- Ulkoilmasta tulleet epäpuhtaudet erilaisten hiukkasten sekoituksena
- Biologiset epäpuhtaudet, kuten virukset, bakteerit, siitepöly, sieni-itiöt ja ihmisten sekä eläinten hilse. (EPA 2018)

Kuten kuvasta 1 huomataan, hiukkasia esiintyy monessa eri kokoluokassa. Hiukkaset, jotka ovat halkaisijaltaan alle 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) luokitellaan hengitettäväksi hiukkasiksi. Nämä karkeat hiukkaset kooltaan 2,5  $\mu\text{m}$  – 10  $\mu\text{m}$  eivät yleensä tunkeudu keuhkoihin asti, vaan asettuvat ylähengitysteihin aiheuttaen silmien, nenän ja kurkun ärsytystä. Pienhiukkaset eli hiukkaset, joiden halkaisija on 2,5  $\mu\text{m}$  tai alle ( $\text{PM}_{2,5}$ ), ovat tärkeimmät tarkasteltavat hiukkaset ihmisten terveyden kannalta. Ne voivat tunkeutua syvälle aina keuhkoihin asti ja aiheuttaa sekä akuutteja että kroonisia terveysvaikutuksia. Alle 1  $\mu\text{m}$

kokoiset hiukkaset ( $PM_{10}$ ) ovat erityisen vaarallisia, koska ne voivat hengitettynä tunkeutua syvälle keuhkoihin aina keuhkoputkiin ja keuhkorakkuloihin asti imeytyen verenkiertoon. Nämä todella pienet hiukkaset imeytyessään verenkiertoon, voivat aiheuttaa sydän- ja verisuonitauteja sekä syöpää. Vielä pienempiä hiukkasia, joiden halkaisija on  $0,1 \mu m$  tai alle kutsutaan nanohiukkasiksi.  $10 \mu m$  suuremmat hiukkaset jäävät nenään tai kurkun alueelle ja poistuvat kehosta yskimällä, aivastamalla tai nielemällä. Nämä noin kuudesosan ihmisen hiuksen paksuiset tai suuremmat hiukkaset on jätetty tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle. (EPA 2018, Eurovent 2018)

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia suodatetaan ilmanvaihdossa ja monissa laitteissa HEPA-suodattimella (High Efficiency Particulate Air Filter). HEPA-suodatin kykenee tyypillisesti suodattamaan 99,97 % kaikista yli  $0,3 \mu m$  kokoisista hiukkasista. On olemassa myös suodattimia kuten suodatinluokan H14 HEPA-suodatin, joka kykenee suodattamaan 99,995 % kaikista  $0,1-0,3 \mu m$  kokoisista hiukkasista. Ilmansuodattimissa ongelmana yleensä on paine-ero suodattimen yli. Paremmat suodatusominaisuudet omaavissa suodattimissa on yleensä tiiviimpi rakenne, joten ilmavirran kulku suodattimen läpi vaatii enemmän työtä. Tästä syystä, paremmat suodattimet vaativat laitteistolta enemmän sähkötehoa ja ne myös tuottavat enemmän ääntä. (ScanTech 2014, Bluysen, Ortiz et al. 2021)



**Kuva 1.** Hiukkasmaisten epäpuhtauksien aerodynaaminen kokojakauma mikrometreinä ilmaistuna. Kuvassa korostettu 0,3 μm viiva, joka on tyypilliselle HEPA-suodattimelle raja, missä se kykenee suodattamaan 99,97 % kaikista sitä suuremmista hiukkasista. (ScanTech 2014)

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia päätyy sisäilmaan ulkoilman, ihmisen toiminnan ja itse rakennuksen päästölähteiden kautta. Ulkoilman epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan yleensä kaukokulkeumana. Liikenne- ja katupöly, puun poltto ja teollisuuden sekä energiantuotannon päästöt ovat esimerkkejä ihmisen aiheuttamista ulkolähteistä. Luonnossa syntyvien hiukkasten lähteet ovat yleensä metsä- ja maastopalot, kasvit, puut sekä erilaiset mikrobit. Sisätiloissa hiukkasia syntyy ihmisen toiminnasta ruuanlaiton, kynttilän polton, tupakoinnin ja siivouksen seurauksena. Elektroniset laitteet kuten tulostimet voivat aiheuttaa ultrapienien hiukkasten syntymistä sisäilmaan. Sisäilmaan pääsee epäpuhtauksia myös rakennus- ja sisustusmateriaaleista peräisin olevista hiukkasista ja kuiduista esimerkkinä asbestipöly sekä villa. Eläintalouksissa esiintyy myös eläimistä irtoavaa eläinpölyä. (Hengitysliitto)

Suuri osa PM<sub>2,5</sub> pienhiukkasista on orgaanisia yhdisteitä. Orgaaniset yhdisteet sisältävät kaikki hiiltä ja monet niistä ovat ihmiselle myrkyllisiä ja karsinogeenisiä. Kaupunkiolosuhteissa orgaanisia yhdisteitä sisältävien pienhiukkasten lähteitä on useita, mutta suurimpina lähteinä toimivat liikennepäästöt (40 %), lihan paistaminen (27 %) sekä puun poltto (18 %). Tiepöly on myös yksi merkittävä lähde, mitä aiheuttaa renkaiden ja jarrujen sekä tien päällysteen kuluminen. Orgaanisia yhdisteitä sitoutuu pienhiukkasiin yleensä myös metsäpalojen seurauksena sekä tupakoinnissa. (Thun, Korhonen 1998)

Suurin osa hiukkasista ei koskaan laskeudu huoneen pinnoille, vaan ne jäävät leijaillemaan huoneilmaan. Pienhiukkasia voidaan poistaa huoneilmasta hyvin ilmanvaihdon ja tuuletuksen avulla. Ilmanvaihtoa tehostamalla saadaan vähennettyä ihmisen toiminnasta ja rakennuksesta peräisin olevia hiukkasia, mutta se saattaa lisätä ulkoilmasta tulevia hiukkasia. (Mero, Tikkanen 2011)

## **2.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet**

Sisäilmassa esiintyvistä kaasumaisista epäpuhtauksista yleisimpiä ovat haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (Volatile organic compounds). VOC-yhdisteitä on olemassa satoja ja yhdisteiden pitoisuudet ovat yleensä pieniä. Merkityksellisimpiä VOC-

yhdisteitä sisäilmassa ovat aromaattiset hiilivedyt kuten formaldehydi, tolueni, bentseeni, alkaanit, ketonit, terpeenit sekä halogenoidut yhdisteet kuten alkoholit ja esterit. Ympäristössä, jonka lähistöllä tupakoidaan, voi myös esiintyä erilaisia amiineja kuten nikotiinia, pyridiiniä ja myosmiinia. Lisäksi pienimolekyyliset karboksyylihapot kuten siloksaanit, alkeenit ja sykloalkeenit voivat esiintyä ei-teollisessa sisäilmassa. (Ayoko, Wang 2018)

VOC-yhdisteitä on kaikkialla sisätiloissa. Ne ovat yleisiä kotitaloustuotteissa, sisustus- ja rakennusmateriaaleissa, toimistolaitteissa kuten tulostimissa, maaleissa, liuottimissa sekä sisätiloissa löytyvistä mikro-organismeissa. Ihmisten toiminta tuottaa myös VOC-yhdisteitä sisäilmaan. Siivouksessa käytetyt puhdistusaineet, tupakointi, ruuanlaitto ja remontointi tuottavat monia erilaisia VOC-yhdisteitä. Myös ulkoilmasta kulkeutuu sisäilmaan VOC-yhdisteitä ilmanvaihdon kautta. Ulkoilmaan VOC-yhdisteitä muodostuu liikenteen päästöistä, epätäydellisestä palamisesta, ilmanvaihtojärjestelmästä sekä energiantuotannosta. Materiaalien kemikaalipäästöt sisäilmassa lisääntyvät kosteuden lisääntyessä. (Ayoko, Wang 2018)

Puolihaihtuvat orgaaniset SVOC-yhdisteet (Semi-volatile organic compounds) voivat myös heikentää sisäilman laatua. SVOC-yhdisteet siirtyvät sisäilmaan palonsuoja-aineista, pehmittimistä ja lahonestoaineista ja niitä esiintyy pinnoilla ja sisäilman hiukkasiin sitoutuneina. Kaikista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä käytetään nimitystä TVOC (Total volatile organic compounds). Sitä käytetään ilmaisemaan kaikkien VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuutta ilmassa. (Ayoko, Wang 2018)

Muita orgaanisia kaasumaisia epäpuhtauksia sisäilmassa ovat hiilimonoksidi eli häkä, hiilidioksidi, styreeni ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet (Polycyclic aromatic hydrocarbons). Hiilidioksidia tulee sisäilmaan ihmisten uloshengityksen yhteydessä ja ulkoilmasta. Sisäilman korkea hiilidioksidipitoisuus on merkki huonosta ilmanvaihdesta. Styreeniä vapautuu sisäilmaan erityisesti polyesteripohjaisia hartseja sisältävistä rakennusmateriaaleista. Kohonneen styreenipitoisuuden huomaa sen pistävästä hajusta. PAH-yhdisteitä muodostuu ilmaan

polttoaineiden epätäydellisen palamisen seurauksena sekä rakennusten lämmityksessä että liikenteessä. Myös rakennusmateriaaleista voi vapautua PAH-yhdisteitä. (Sisäilmayhdistys 2008)

Sisäilman merkittävimpiä epäorgaanisia epäpuhtauksia ovat ammoniakki, otsoni, radon sekä typpi- ja rikkioksidit. Ammoniakkia muodostuu sisäilmaan kosteuden vaikutuksesta muun muassa 1970–1980-luvuilla käytetyn kaseiinia sisältävän tasoitteen hajoamisessa. Ammoniakkipitoisuuden kasvaminen onkin yksi merkki kosteusvauriosta etenkin vanhassa rakennuksessa. Otsoni on voimakkaasti hapettava kaasu, jota muodostuu ihmisen toiminnasta muun muassa maakaasun talteenotosta, liikenteen päästöistä, kaatopaikkojen ja kotitalouksien kemikaaleista sekä sitä voi muodostua joistakin laitteista kuten ilmanpuhdistimista. Otsoni aiheuttaa myös muita sisätilojen kemiallisia reaktioita, joiden tuotteet voivat olla suurempi uhka terveydelle kuin niiden esiasteet (SCANVAC 2021). Sisäilman radon on peräisin maaperästä. Radon kulkeutuu sisäilmaan rakennuksen alapohjan raoista. Myös jotkin rakennusmateriaalit kuten betoni voivat aiheuttaa radonpäästöjä sisäilmaan. Typen ja rikin oksideja syntyy palamisreaktioista erityisesti fossiilisia polttoaineita käyttävässä energiantuotannossa ja teollisuusprosesseissa. Myös liikenteestä vapautuu jonkin verran typen ja rikin oksideja. (Sisäilmayhdistys 2008)

### **2.3 Fysikaaliset tekijät**

Rakennuksen sisäilmaan ja sisälläolon viihtyvyyteen vaikuttaa epäpuhtauksien lisäksi fyysisiä tekijöitä kuten lämpötila, ilmankosteus ja melutaso. Se, miten ihmiset kokevat lämmön on hyvin yksilöllistä. Lämpöaistimus koostuu lämpötilan lisäksi vaatetuksen määrästä, lämpösäteilystä ja ilman virtausnopeudesta. Sekä liian alhainen että liian korkea lämpötila voivat aiheuttaa terveysongelmia. Sopiva huonelämpötila asunnossa on yleensä noin 20–22 °C, mutta makuuhuoneessa myös viileämpi voi olla parempi. (Valvira 2021)

Kuiva huoneilma aiheuttaa silmien, limakalvojen, hengitysteiden ja ihon ärsytystä. Se voi myös haitata liman poistumista hengitysteistä. Myös kostea sisäilma voi aiheuttaa terveysongelmia. Liian kostea ilma aiheuttaa pahimmassa tapauksessa home- ja

kosteusvaurioita. Jos sisäilman kosteus on pitkään suuri, siitä seuraa mikrobikasvun riskiä rakenteissa. Tämä puolestaan lisää mikrobihiukkasten määrää sisäilmassa. (Lampi, Hyvärinen et al. 2020)

Asuntojen sisätiloihin meluhaittaa voivat aiheuttaa tekniset laitteet ja normaalista elämisestä aiheutuva äänet. Mahdollista meluhaittaa aiheuttavia laitteita voivat olla muun muassa pesukoneet, vesikalusteet, hissit, ilmanvaihtokoneet ja ilmanpuhdistimet. Monien laitteiden ja esimerkiksi puheen yhteisvaikutus voi lisätä melutasoa asunnossa hyvinkin huomaamatta. (Valvira 2015)

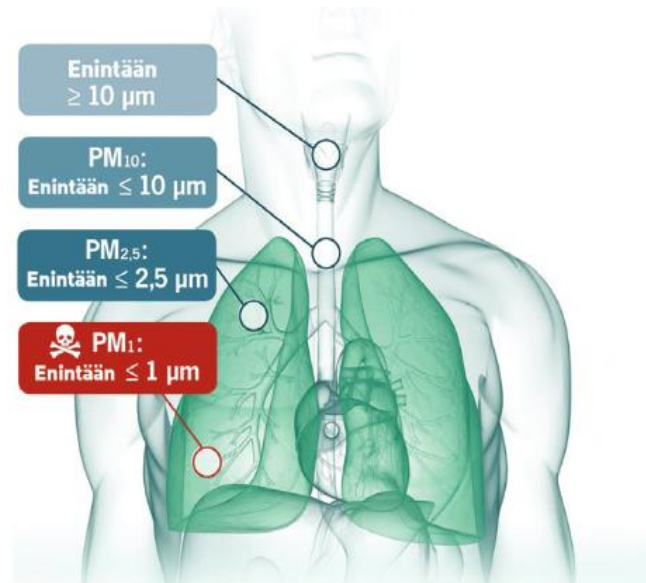
## **2.4 Huonosta sisäilmasta aiheutuvat haitat**

Ihmiset viettävät ajastaan noin 90 % sisätiloissa, vanhukset ja pienet lapset jopa enemmän. Puhdas sisäilma edistää ihmisten toimintakykyä, terveyttä ja oppimista. Huonolla sisäilmalla suurimmaksi haittatekijäksi muodostuu suurempi sairastumisen riski. Sisäilman epäpuhtaudet ja ulkoa kulkeutuvat saasteet voivat aiheuttaa erilaisia sairauksia kuten hengityselinsairauksia, sydäntauteja ja syöpää. Suurin osa oireista mitä ihmiset kokevat ovat lieviä tai kohtalaisia ja yleisempää oireilu on työpaikalla kuin kotona. Erittäin vaikeiden oireiden kokeminen on melko harvinaista, mutta yksinomaan Suomessa arvioidaan olevan tuhansia, joiden terveyttä ja toimintakykyä sisäilman epäpuhtauksiin liittyvät oireet heikentävät. (Koponen, Borodulin et al. 2018)

Lukuisat tutkimukset osoittavat hengitettävien hiukkasten vaikuttavan eniten sisäilman aiheuttamiin terveyshaittoihin (Eurovent 2018). Hiukkasten vaikutusta terveyteen on tutkittu laajasti ja niille altistumisen on todettu aiheuttavan allergiaa, astmaa, sydän- ja verisuonitauteja, keuhkohtaumatautia, keuhkosityöpää ja dementiaa. (WHO 2013)

Hengitettävien hiukkasten haitat ihmiselle eivät riipu pelkästä hiukkaspitoisuudesta sisäilmassa, vaan hiukkasten kokojakaumalla on vielä suurempi merkitys. Hienommat hiukkaset voivat tunkeutua syvälle keuhkoihin ja sieltä jopa verenkiertoon. Vaarallisin hiukkaskokoalue on PM<sub>2,5</sub>, koska ne voivat helposti tunkeutua keuhkoihin aiheuttaen keuhkojen vajaatoimintaa. Alle yhden mikrometrin PM<sub>1</sub> hiukkaset voivat jopa tunkeutua

verenkiertoon aiheuttaen sydän- ja verisuonitauteja, syöpää ja dementiaa. Karkeammat PM<sub>10</sub> hiukkaset voivat aiheuttaa keuhkojen vajaatoimintaa, mutta ne jäävät yleensä ylähengitysteihin tai keuhkoputkiin aiheuttaen silmien ja kurkun ärsytytystä. Kuvassa 2 havainnollistetaan hengitettävien hiukkasten kulkua hengitysteissä. (Eurovent 2018)



**Kuva 2** Hengitettävien hiukkasten kulku ihmisen hengitysteissä. (Eurovent 2018)

Niin lyhyen kuin pitkäaikaisen altistumisen terveysvaikutuksia on dokumentoitu paljon. Lyhytaikaisella altistumisella tarkoitetaan tuntien ja päivien altistumista ja pitkäaikaisella altistumisella tarkoitetaan kuukausien ja vuosien altistumista. Altistuminen sisäilman kaasuille ja VOC-yhdisteille voi aiheuttaa lukuisia terveyshaittoja. Eniten tutkimustietoa orgaanisten yhdisteiden vaikutuksista ihmisille on viihtyvyyttä alentavista tekijöistä ärsytysoireiden ja hajuhaittojen yhteydestä. Hajuhaitat eivät varsinaisesti aiheuta terveyshaittoja, paitsi jos hajun lähde on haitallinen yhdiste. Kemikaalien hajukynnys on yleensä matalampi kuin niiden kynnys aiheuttaa terveyshaittoja. (Rundt, Backlund et al. 2005)

Suurimpana terveyshaittana sisäilman kaasut aiheuttavat silmien, limakalvojen ja ihon ärsytysoireita. Päänsärkyä ja pahoinvointia voi esiintyä altistumalla suuremmille pitoisuuksille. Jotkut puolihaihtuvat yhdisteet kuten bromatut palonestoaineet ja PAH-yhdisteet on myös todettu aiheuttavan syöpää, maksavaurioita ja vahinkoa

keskushermostossa. Muita oireita VOC-yhdisteille altistuessa voivat olla allerginen reaktio, väsymys ja huimaus. Kuten muidenkin epäpuhtauksien kohdalla, terveysvaikutusten laajuus ja luonne riippuvat monista tekijöistä mukaan lukien altistumisen tasosta ja ajasta. (EPA 2014, Rundt, Backlund et al. 2005)

## **2.5 Suositukset sisäilman laadulle**

Sosiaali- ja terveysministeriö on julkaissut vuonna 2015 asumisterveysohjeen, jossa sisäilman laadulle ja ilmanvaihdolle on asetettu erilaisia ohjeita ja vaatimuksia. Asumisterveysohje sisältää toimenpiderajat sisäilmassa esiintyville hiukkasmaisille ja kemiallisille epäpuhtauksille sekä mikrobeille. Kemiallisille epäpuhtauksille ja niiden pitoisuuksille suositukset on annettu VOC-yhdisteille (2-etyyli-1-heksanoli (2EH), 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyyraatti (TXIB), Naftaleeni ja Styreeni), formaldehydille ja hiilimonoksidille. Hiukkasmaisien epäpuhtauksien pitoisuudet on annettu erikseen tupakansavulle,  $PM_{10}$  ja  $PM_{2.5}$  hiukkasille. Mikrobeille toimenpiderajana pidetään aistinvaraisesti todettua ja tarvittaessa mittauksilla varmistettua mikrobikasvua. Hiukkasille ja kemiallisille epäpuhtauksille toimenpiderajat on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksien suositeltuja ylärajoja. (Finlex 2015)

<b>Epäpuhtaus</b>	<b>Toimenpideraja</b>
<b>PM10</b>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24h aikana
<b>PM2.5</b>	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 24h aikana
<b>Tupakansavu (nikotiinipitoisuus)</b>	0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Formaldehydi</b>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosikeskiarvo, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 30 min aikana
<b>Hiilimonoksidi</b>	7 $\text{mg}/\text{m}^3$
<b>TXIB</b>	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>2EH</b>	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Naftaleeni</b>	ei saa esiintyä hajua, 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Styreeni</b>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

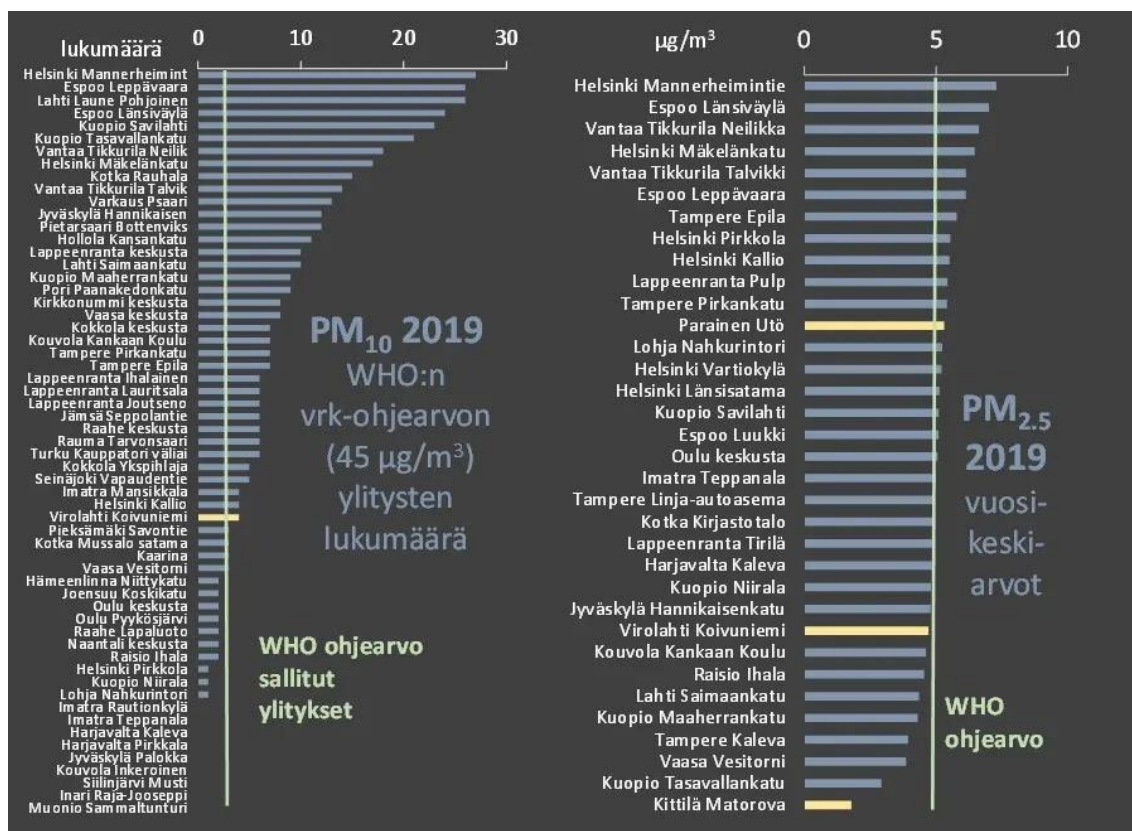
Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut toimenpiderajat myös melulle. Äänitasoa kuvataan suurella  $L_{Aeq}$ , joka tarkoittaa teknisen laitteen aiheuttamaa keskiäänitاسoa tietyllä aikavälillä. Äänitehotasossa otetaan huomioon A-painotus, joka jäljittelee ihmisen kuulon herkkyuden taajuusaluetta 20–20000 Hz (Ympäristöministeriö 2018). Päiväsaikaan eli klo. 7–22 keskiäänitaso, jonka tekniset laitteet aiheuttavat saa olla asuinhuoneissa ja oleskelutiloissa 35 dB. Yöaikana eli klo. 22–7 keskiäänitaso saa olla 30 dB. (Finlex 2015)

## 2.6 Ilmanlaadun haasteet

Suomen ilmanlaadussa on haasteita, vaikka esimerkiksi pääkaupunkiseutu on yksi puhtaimmista metropolialueista maailmassa. WHO:n (World Health Organization) vuonna 2021 julkaiseman ohjeistuksen mukaan huono ilmanlaatu aiheuttaa

terveyshaittoja pienilläkin pitoisuuksilla (WHO 2021). Ohjeistuksen piiriin kuuluu myös pääkaupunkiseudun kannalta ongelmallisimmat ilmansaasteet kuten typpidioksidi NO<sub>2</sub>, pienhiukkaset, bentso(a)pyreeni ja otsoni. Näistä otsoni on sisäilman kannalta lähes merkityksetön, koska rakennusten ilmanvaihto suodattaa ulkoa tulevan otsonin todella hyvin sekä ikkunat ja muut rakenteet ovat tiiviitä ja monikertaisia (Tuomisto 2020).

Pienhiukkasten, typpidioksidin ja bentso(a)pyreenin tärkeimmät päästölähteet ovat liikenne ja puun pienpoltto. Kuva 3 esittää hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) WHO:n ohjearvojen ylittävien päivien lukumäärän ja pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) vuosikeskiarvot verrattuna WHO:n ohjearvoon eri mittausasemilla vuonna 2019. Hiukkasia muodostuu ilmaan katupölynä ja typpidioksidia etenkin dieselkäyttöisten autojen pakokaasuista. Koska pakokaasupäästöt vähentyvät tulevaisuudessa merkittävästi autokannan uusiutumisen takia, typpidioksidipäästöt tulevat niin ikään vähenemään tulevaisuudessa. Katupöly sen sijaan säilyy edelleen haasteena etenkin taajamissa ja tiheään asutuilla alueilla. Tulevaisuudessa katupölypäästöt voivat jopa kasvaa pääkaupunkiseudulla kasvavan väkiluvun myötä. Kuvasta 3 huomataan, että WHO:n ohjearvot ylittyvät juuri taajamissa, joissa on paljon liikennettä ja asutusta. Näillä alueilla on riskinä, että ulkoilman epäpuhtauksia kulkeutuu sisäilmaan sellaisia määriä, että se voi aiheuttaa myös sisäilman laadun heikkenemistä. (HSY 2021)



**Kuva 3.** Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) WHO:n ohjearvojen ylittävien päivien lukumäärän ja pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) vuosikeskiarvot verrattuna WHO:n ohjearvoon eri mittausasemilla vuonna 2019. (Ilmatieteen laitos 2021)

Puun pienpoltto ja tulisijat säilyvät haasteena myös tulevaisuudessa. Pientaloalueilla suositaan energianlähteenä puuta ja sillä on vaikutusta myös ilmanlaatuun. HSY:n (Helsingin Seudun Ympäristökeskus) mukaan puun poltto pysyy ennallaan tai jopa jatkaa kasvuaan pääkaupunkiseudulla tulevaisuudessa. Yhdyskuntarakenteen tiivistyessä, puun pienpolton vaikutukset voivat näkyä kasvaneina epäpuhtauspitoisuuksina niin ikään pientaloalueilla. (HSY 2021)

### 3 KRITEERIT ILMANPUHDISTIMILLE

Huoneistokohtaisia ilmanpuhdistimia käytetään puhdistamaan sisäilmaa eri kokoluokan hiukkasmaisista epäpuhtauksista, kaasumaisista epäpuhtauksista sekä erilaisista mikrobeista ja allergeeneista. Ilmanpuhdistimen puhdistustehokkuus eli erotusaste tarkoittaa sen kykyä vähentää laitteen läpi kulkevan ilman epäpuhtauksien pitoisuutta. Puhdistustehokkuuden mittausta suoritetaan yleensä laboratoriossa, jossa kaikkia oleellisia tekijöitä ohjataan. Ilmanpuhdistimet poistavat epäpuhtauksia kierrättämällä ilmaa itsensä läpi ja tapoja poistaa epäpuhtauksia on useita. Hiukkasmaisien epäpuhtauksien poistoon yleisimmin käytetyt menetelmät ovat mekaaninen suodatus usein kuitusuodattimella, sähköinen suodatus ja ionisointi. Kaasumaisien epäpuhtauksien poistoon yleisimmin käytetään absorboivaa materiaalia sisältäviä suodatustekniikoita, kuten aktiivihiiltä, kemiallista absorptiota, fotokatalyyttistä oksidaatiota, plasmaa ja otsonointia. Mikrobien tuhoamiseen yleisimmin käytetään UV-säteilyä. (Afshari Alireza, Seppänen Olli 2021)

Riippumatta ilmanpuhdistimen toimintaperiaatteesta, sen täytyy pystyä puhdistamaan epäpuhtauksia ilmasta tarpeeksi tehokkaasti. Ilmanpuhdistin ei saa tuottaa ilmaan haitallisia aineita eikä se saa olla liian häiritsevä. Ilmanpuhdistimen pitää myös olla käytettävyydeltään helppo ja taloudellinen. näitä asioita varten Skandinavian LVI-yhdistys esittää seuraavat ilmanpuhdistimissa huomioon otettavat tekijät:

- Puhtaan ilman tuotto
- Äänitaso
- Energiatehokkuus
- Ilmanpuhdistimen sijoitus
- Huolto
- Sivutuotteiden tuotto
- Toiminta ja käyttö. (SCANVAC 2021)

### 3.1 Puhtaan ilman tuotto

Puhtaan ilman tuotto eli CADR (Clean Air Delivery Rate) on ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta, joka on vapaa tarkasteltavasta epäpuhtaudesta kuten hiukkasista, kaasuisista tai mikrobeista. Sen voidaan olettaa olevan ilmanpuhdistimen läpi virtaaman ilman ja erotusasteen tulo. Mitä suurempi CADR-arvo on, sitä tehokkaampi ilmanpuhdistin on poistamaan epäpuhtauksia ilmasta. (SCANVAC 2021)

Jotta ilmanpuhdistimella saavutetaan merkittävä hyöty epäpuhtauksien poistossa sisäilmasta, pitää puhtaan ilman tuoton olla kaksi kertaa suurempi kuin rakennuksen ilmanvaihdon tuoma ulkoilmavirta. Tämä pätee huoneissa, joissa ilmanvaihtokerroin eli ilmatilavuuden vaihto tunnissa on 1 ACH (Air Changes per Hour). Tällöin ilmanpuhdistin vähentää sisäilman epäpuhtauspitoisuutta 70 %. Huoneissa, joissa on alle 1 ACH, puhtaan ilman tuoton tulee olla yli 2 ACH. Suomessa ilmanvaihto tulee mitoittaa niin, että saavutetaan 0,5 ACH (Energiatehokas koti 2020). Tällöin, puhtaan ilman tuoton tulee vastata nelinkertaisesti ilmanvaihtokerrointa. (SCANVAC 2021, Astma- och Allergiförbundet 2020)

### 3.2 Ääni

Ilmanpuhdistimen aiheuttama melu ilmoitetaan sen aiheuttamana äänitehona. Huoneen äänitasoon vaikuttaa ääniteho ja huoneen akustiset ominaisuudet. Ilmanpuhdistin ei saa aiheuttaa liiallista ääntä, kun se käy ilmanpuhdistuksellisesti tehokkaalla nopeudella. Jos ilmanpuhdistimen aiheuttama ääni on liian korkea, käyttäjä saattaa sammuttaa ilmanpuhdistimen tai pienentää sen nopeutta. Tällöin epäpuhtaustasot nousevat huoneessa ja ilmanpuhdistimesta ei saada täyttä hyötyä irti. Sisätilojen äänitasolle on asetettu tiettyjä säädöksiä, joita ilmanpuhdistimen täytyy noudattaa. Ilmanpuhdistimen äänitaso täytyy mitata laboratoriossa sen tuottamalla suurimmalla puhtaan ilman tuoton arvolla, jotta käyttäjä tietää kuinka paljon ääntä ilmanpuhdistin aiheuttaa sen toimiessa tehokkaasti. (SCANVAC 2021)

### 3.3 Energiatehokkuus

Ilmanpuhdistimen energiatehokkuus on ilmoitettava ja se on testattava sopivalla menetelmällä. Energiatehokkuus ilmoitetaan yleensä ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton ja sähkötehon suhteena esimerkiksi  $\text{m}^3/\text{h}/\text{W}$  (ECC 2021). Ilmanpuhdistimen käyttäjän on perusteltua tietää laitteen energiatehokkuus ja sähköteho lämpöenergian tuoton sekä sähkönkulutuksen vuoksi.

### 3.4 Ilmanpuhdistimen sijoitus huoneessa

Ilmanpuhdistimien testauksessa, ilmanpuhdistin sijoitetaan tyypillisesti keskelle testihuonetta. Testihuoneessa on yleensä puhallin, joka varmistaa tasaisen ilmavirran ja ilman sekoittumisen huoneessa. Jos kuluttaja asettaa ilmanpuhdistimen huoneessa siten, että sen läpi kulkeva ilmavirta on estynyt esimerkiksi huonekalujen takia, ilmanpuhdistimen puhdistuskyky voi heikentyä testiolosuhteisiin verrattuna. Jotta ilmanpuhdistin toimii tarkoitetulla tavalla, se täytyy sijoittaa huoneeseen siten, että mikään ei estä sen tuottaman ilmavirran kulkua. (SCANVAC 2021)

### 3.5 Epäpuhtauksien tuotto

Jos ilmanpuhdistimen toiminta perustuu sähköiseen suodatukseen, fotokatalyysiin, UV-A tai UV-C valoihin, plasmaan tai ionisaatioon, tulee laitteesta ilmoittaa sen aiheuttama otsonin tuotto. Otsonin pitoisuus tulee olla alle 0,05 ppm testihuoneessa, jossa puhtaan ilman tuottoa mitataan. Huomioitavaa on, että ihmiset, joilla on astma tai allergioita, voivat kokea oireita jopa 0,05 ppm otsonipitoisuudesta. Mittaukset muista ilmanpuhdistimen tuottamista mahdollisesti vaarallisista sivutuotteista täytyy olla myös saatavilla pyydettyä. (SCANVAC 2021)

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) ammattiliiton julkaisema dokumentti ”ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning” mainitsee kaikkien ei vähäpätöisten otsonipäästöjen aiheuttavan riskin terveydelle. Tästä syystä ilmanpuhdistimia, jotka hyödyttävät otsonointia, ei saa käyttää

tiloissa, joissa on ihmisiä. Myös otsonia tuottavia ilmanpuhdistimia tulee käyttää äärimmäisen varovasti, jos päästöt eivät ole vähäpätöisiä, ja ne olisi paras korvata otsonia tuottamattomilla laitteilla. (ASHRAE 2021)

### **3.6 Huolto**

Suurin osa ilmanpuhdistimista kerää hiukkasia tai muita epäpuhtauksia laitteen sisälle säiliöön. Suodattimista ja keräyssäiliöistä voi tulla päästölähteitä, jos niitä ei huolleta laitevalmistajan ohjeiden mukaan. Suodattimien vaihto on laitteen käyttäjän vastuulla, joten ohjeet huoltoon ja huoltoväli täytyy ilmoittaa laitevalmistajan toimesta. (SCANVAC 2021)

### **3.7 Miksi ilmanpuhdistimia testataan?**

Ilmanpuhdistimien testauspalvelua tarjoavia yrityksiä on maailmalla muutamia kuten sveitsiläinen SGS sekä ranskalainen Cetiat. Suomessa testauspalvelua tarjoaa yksinomaan VTT. Ilmanpuhdistinmarkkinat ovat kasvavat, ja testauslaboratorioita tarvitaan Suomessa yhä enemmän. Kolmannen osapuolen suorittama ilmanpuhdistimien testaus ei ole helppoa vielä nykypäivänä. Standardeja on monia ja standardien sisältö ei aina vastaa asiakkaiden toiveita.

Miksi ilmanpuhdistimien laitevalmistajan tai maahantuojan olisi tärkeää testauttaa laitteensa kolmannen osapuolen tekemänä? Laitevalmistaja tai maahantuoja saa testauksesta varmuuden oman laitteensa toimivuudesta. Kolmannen osapuolen testaustuloksia voidaan käyttää myös laitteen markkinoinnissa. Sitä kautta kuluttajalle tulee vakuus laitteen toimivuudesta. Testattu tuote on kuluttajalle tärkeä, sekä Suomessa toteutettu testaus lisää tuotteen kotimaisuutta ja antaa kuluttajalle varmuuden testauksen asiantuntevuudesta ja tuloksien pätevydestä.

Ilmanpuhdistimien testausta tehdään, jotta saadaan luotettavasti selville, täyttääkö ilmanpuhdistin niille asetetut kriteerit. Ilmanpuhdistimen täytyy kyetä puhdistamaan sisäilmaa tarpeeksi tehokkaasti sekä sen täytyy olla mahdollisimman käyttömukava.

Testauspalvelun idea on myös esittää ilmanpuhdistimien suoritusarvot selkeästi kuluttajien luettavaksi. Kuluttajien ei tarvitse arvailla toimiiko mikäkin laite pelkkien mainospuheiden perusteella.

Ilmanpuhdistimilla on merkittävä rooli päästöjen vähentämisessä sisäilmasta. Varsinkin kaupunkialueilla suurimpana pienhiukkasten päästölähteenä voi toimia liikenne, jonka tuottamat hiukkaset kulkeutuvat helposti sisäilmaan esimerkiksi tuuletuksen kautta. Liikenteen lisäksi energiantuotanto ja ruoanlaitto aiheuttavat pienhiukkaspäästöjä, jotka kulkeutuvat sisäilmaan. Toimiva ilmanpuhdistin voi vähentää näiden päästölähteiden aiheuttamia päästöjä sisäilmassa merkittävästi.

Kappaleessa 2.6 todettiin Suomessa olevan haasteita ilmanlaatuun liittyen niin tällä hetkellä kuin tulevaisuudessa. Varsinkin koronapandemian aikana, kun ihmiset ovat merkittävän osan päivästänsä sisällä, sisäilman laatu on tärkeä asia. Ilmanpuhdistimien testauksella on merkittävät rooli sisäilmaongelmien estämisessä ja omalla tavallaan testauspalvelu edistää sisäilman epäpuhtauksien sekä päästöjen aiheuttamien sairauksien kehittymistä tarjoamalla kuluttajalle tiedon ilmanpuhdistimen toimivuudesta.

Seuraava lista tiivistää syyt, miksi ilmanpuhdistimia testataan, ja miksi niitä kannattaa testauttaa.

- Testauksella saadaan selville, täyttääkö ilmanpuhdistin niille asetetut kriteerit.
- Kuluttaja saa selvyuden ilmanpuhdistimen toiminnasta.
- Laitevalmistaja tai maahantuoja saa selvyuden oman ilmanpuhdistimensa toiminnasta.
- Kolmannen osapuolen testaustuloksia voidaan käyttää ilmanpuhdistimen markkinoinnissa.
- Suomessa testattu ilmanpuhdistin antaa kuluttajalle hyvän mielikuvan, koska kotimaisuus on tärkeä kriteeri monelle.
- Testauspalvelu edistää sisäilmaongelmien torjumista sekä epäpuhtauksien ja päästöjen aiheuttamien sairauksien ehkäisemistä.

## 4 NYKYISET TESTISTANDARDIT JA MENETELMÄT

Huoneistokohtaisien ilmanpuhdistimien testistandardeja ja menetelmiä on maailmalla lukuisia. Tässä kappaleessa on esitelty uusimmat tai yleisimmät standardit, joiden perusteella ilmanpuhdistimien testauksia nykypäivänä suoritetaan.

### 4.1 NF B44-200:2016

Eurovent Certita Certification (ECC) julkaisi vuonna 2021 uuden ilmanpuhdistimien sertifiointiohjelman NF-536, johon kuuluu tehdastarkastuksia, satunnaisia tuotenäytteenottoja sekä testejä perustuen NF B44-200:2016 (Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances) standardiin. NF B44-200:2016 standardin on kehittänyt Ranskan kansallinen standardointijärjestö Association Française de Normalisation (AFNOR) ja se julkaistiin vuonna 2016. Euroventin sertifiointiohjelman tarkoituksena on selvittää pitävätkö laitevalmistajien ilmoittamat suoritusarvot paikkansa liittyen puhdistustehokkuuteen eri epäpuhtauksia vastaan. Sertifiointiohjelmaan otetaan mukaan sekä yksityiskäyttöön eli huoneistoihin että julkiseen käyttöön eli esimerkiksi kouluihin ja toimistoihin soveltuvia ilmanpuhdistimia. Ne ilmanpuhdistimet, jotka läpäisevät sertifiointiohjelman ja testit, saavat NF-Air Cleaners-sertifiointimerkin. (Degallaix 2017)

Standardin NF B44-200:2016 mukaan voidaan testata kaikenlaisiin tekniikoihin eli mekaaniseen suodatukseen, elektrostaattiseen suodatukseen, kemialliseen suodatukseen, UV-säteilytykseen, fotokatalyyttiseen oksidaatioon tai ionisaatioon perustuvia ilmanpuhdistimia. Standardi on kaikista nykystandardeista kattavin, koska siinä testataan ilmanpuhdistimien suorituskykyä niin hiukkasilla, kaasumaisilla epäpuhtauksilla, mikro-organismeilla ja allergeeneilla. Myös ilmanpuhdistimen mahdollisesti tuottamat sivutuotteet mitataan. Niitä voivat olla otsoni (O<sub>3</sub>), typpioksidi (NO), typpidioksidi (NO<sub>2</sub>) ja hiilimonoksidi (CO). Euroventin NF-536 sertifiointiohjelma pitää sisällään näiden lisäksi ilmanpuhdistimien suodatuskyvyn lisäksi testaukset

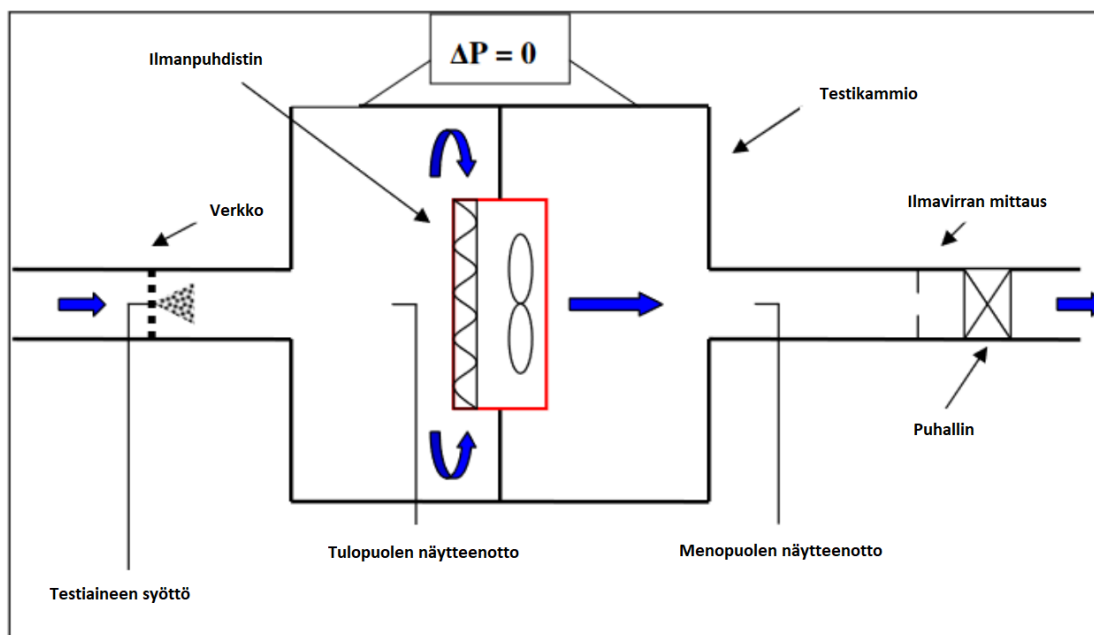
suositellusta huonekoosta, äänitasosta ja energiankulutuksesta. (Degallaix 2017, ECC 2021)

Sertifiointiin liittyen, laboratoriossa testattaessa saadut suorituskykytiedot eivät saa poiketa laitevalmistajan ilmoitetuista arvoista enempää kuin seuraavien toleranssiarvojen verran:

- Ilmavirran tuotto [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] -5 %
- Puhtaan ilman tuotto [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] -5 %
- Äänitaso [dB(A)] +2 dB(A)
- Sähkönkulutus [W] max [+5 %; +1 W]. (ECC 2021)

#### 4.1.1 Testikammio

Ilmanpuhdistimen suodatustehokkuuden mittaukset kullekin testiaineelle suoritetaan läpivirtausmenetelmällä testikammiossa, jonka koko on  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ . Testikammion tulo-, ja menokanava eristetään toisistaan ja testattava ilmanpuhdistin asetetaan kanavien väliin (Kuva 1). Kammion tulopuolelle syötetään HEPA-suodattimen läpi suodatettua ilmaa, jolloin ilmassa olevat epäpuhtaudet ovat peräisin pelkästään testiaineesta. Testiaine syötetään ilmaan heti HEPA-suodattimen jälkeen. Testikammion tulo- ja menopuolelta mitataan hiukkasmittauksissa hiukkaspitoisuus ja kaasumittauksissa otetaan näytteet. Ilmavirta mitataan kammion loppupäästä sopivalla mittalaitteella. Menokanavan lopussa käytetään puhallinta tasaamaan ilmanpuhdistimesta ja testikammioista johtuvaa paine-eroa. Se mahdollistaa paine-eron pitämisen nollassa koko mittauksen ajan. Sisääntulokanavan ilman lämpötila pidetään  $22 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  ja suhteellinen kosteus  $50 \% \pm 5 \%$ . (Ginestet 2012)



**Kuva 4.** Kuvaus testikammioista. (Ginestet 2012)

#### 4.1.2 Ilmamäärä ja puhtaan ilman tuotto

Ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta mitataan menokanavasta ennen puhallinta sopivalla menetelmällä kuten ISO 5167-1 (Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full) mukaisesti mittauslaipalla tai venturiputkella. Ilmavirta ilmoitetaan yksikössä  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Ilmanpuhdistimen suorituskykyä mitataan seuraavia epäpuhtauksia vastaan:

- Hiukkaset: dioctyl sebacate (DEHS)
- Kaasut: asetonin, asetaldehydin, heptaanin, toluenin ja formaldehydin seos
- Mikrobit: Staphylococcus epidermidis (bakteeri) ja Aspergillus niger (home)
- Allergeenit: kissa-allergeeni Felis domesticus 1.

Hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodatuskykyä testattaessa käytetään testiaerosolina DEHS hiukkasia. Hiukkasia testataan kolmessa eri kokoluokassa: 0.3  $\mu\text{m}$  – 0.5  $\mu\text{m}$ , 1.0  $\mu\text{m}$  – 2.0  $\mu\text{m}$  ja 3.0  $\mu\text{m}$  – 5.0  $\mu\text{m}$ . Niitä tuotetaan tasaisella syötöllä koko mittauksen ajan käyttämällä hiukkasgeneraattoria. Tulo- ja menopuolen hiukkaspitoisuuden mittaukseen

käytetään optista hiukkaslaskuria, joka mahdollistaa hiukkasten laskemisen niiden koon funktiona. Hiukkasmittaus suoritetaan tulopuolelta kolme kertaa, jonka jälkeen menopuolelta kolme kertaa ja lopuksi vielä tulopuolelta kolme kertaa.

Kaasumaisien epäpuhtauksien suodatuskykyä testattaessa käytetään viiden kaasun kaasuseosta, joka pitää sisällään asetonia, asetaldehydiä, heptaania, toluenia ja formaldehydiä. Kaasuseos muodostetaan esimerkiksi höyrystämällä nestemäisiä aineita säiliössä, jonka lämpötilaa voidaan säädellä. Nesteen haihtumista höyryksi ylläpidetään säätelemällä puhtaan ilman virtausta. Aineita höyrystetään, kunnes niiden pitoisuus on 250 – 500 ppb (parts per billion). Muodostunut testikaasu syötetään ruiskutuskohdan kautta menokanavaan. Näytteet kerätään käyttämällä esimerkiksi Tenax-absorbenttia. Kaasut erotellaan näytteestä kaasukromatografiassa tai massaspektrometrillä detektiolla ja kunkin testiaineen pitoisuudet mitataan. Kaasukonsentraatiot mitataan tulo- ja menopuolelta yhtä aikaa kolme kertaa 15, 30 ja 45 minuuttia testin aloittamisesta.

Mikro-organismien puhdistuskykyä testattaessa käytetään *Staphylococcus epidermalis*-bakteeria ja *Aspergillus niger*-homesientä. Mikrobeista tuotetaan aerosoligeneraattorilla aerosolia, joka syötetään paineilmalla tulokanavaan. Testit kummallekin epäpuhtaudelle suoritetaan eriaikaisesti. Ilmanäytteet otetaan tulo- ja poistopuolelta esimerkiksi ilmanäytteenottimella, joka mahdollistaa mikrobin viljelykelpoisen osuuden mittaamisen. Pitoisuudet ilmaistaan yksikössä CFU/m<sup>3</sup>. Mittaus suoritetaan kolme kertaa kummallekin mikrobille. Sivutuotteiden mittaus suoritetaan jatkuvana mittauksena kaasumaisten epäpuhtauksien mittauksen aikana. (Ginestet 2012)

#### 4.1.3 Energiatehokkuus

Euroventin sertifiointiohjelmassa määritetään NF B44-200:2016 standardin mukaan määritetyn puhtaan ilman tuoton lisäksi energiategokkuus eli Clean Air Efficiency (CAE). Se lasketaan hiukkasille, kaasuille, homeelle ja allergeeneille erikseen puhtaan ilman tuoton ja sähkötehon suhteenä. Molemmat arvoista täytyy olla mitattu

ilmanpuhdistimen maksiminopeudella. CAE pyöristetään alas kahden numeron tarkkuudella ja se ilmaistaan yksiköllä  $\text{m}^3/\text{h}/\text{W}$  ja se lasketaan yhtälöllä 1.

$$CAE = \frac{Q_{i,min}}{P_{E,max}} \quad (1)$$

, jossa  $Q_{i,min}$  puhdistetun ilman virtausnopeus testiaineelle  $i$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$P_{E,max}$  sähköteho maksiminopeudella. [W]

Testattavalle ilmanpuhdistimelle annetaan CAE-luokitus jokaista testattavaa epäpuhtauskategoriaa vastaan sen mukaan, miten suuri CAE-arvo on. Taulukossa 2 esitetään CAE-luokituksen raja-arvot. (ECC 2021)

**Taulukko 2.** CAE-luokitukset. (ECC 2021)

CAE-luokitus	CAE-arvo
<b>A</b>	$13 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W} \leq CAE$
<b>B</b>	$7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W} \leq CAE < 13 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$
<b>C</b>	$5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W} \leq CAE < 7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$
<b>D</b>	$2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W} \leq CAE < 5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$
<b>E</b>	$CAE < 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$

Taulukosta huomataan, että parhaimman eli A-luokituksen ilmanpuhdistin saa ylittäessään  $13 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$  CAE-arvon. Huonoimman luokituksen saa puolestaan silloin, kun CAE-arvo alittaa  $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}$ .

## 4.2 VDI-EE 4300

VDI-EE 4300 on saksalaisen standardisointiorganisaation VDI-The Association of German Engineers julkaisema standardi siirrettävien ilmanpuhdistimien vaatimuksille ja testaukselle. Standardi julkaistiin vuonna 2021 ja sisältää vaatimukset epäpuhtauksien suodatustehokkuudelle, ilmavirralle, sähköteholle, äänitasolle ja sivutuotteiden tuotolle.

Standardi sisältää myös lämpömukavuuden ja vectorin testauksen EN ISO 7730 (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) -standardin mukaan. (VDI 2021)

VDI-EE 4300 standardi jakaa testattavat ilmanpuhdistimet kolmeen ryhmään: Ilmanpuhdistimet hiukkassuodattimilla, ilmanpuhdistimet hiukkas- ja aktiivihiilisuodattimilla sekä UV-C tai plasmapohjaiset ilmanpuhdistimet. Suodatustehokkuutta mitataan puhtaan ilman tuotolla (CADR) hiukkasien, kaasujen, mikrobien ja viruksien kanssa. (VDI 2021)

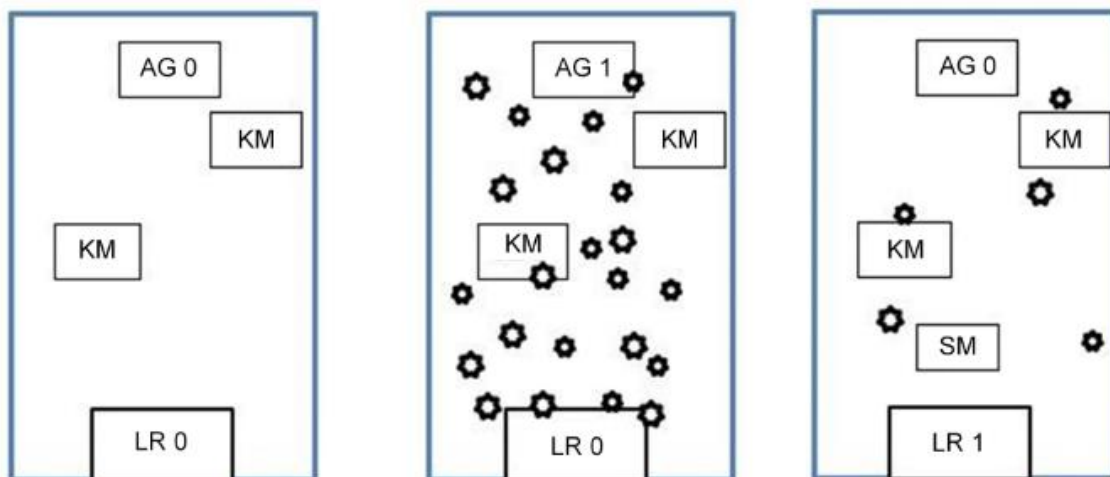
Laboratoriossa testattaessa saadut suorituskykytiedot eivät saa poiketa valmistajan ilmoittamista arvoista enempää kuin seuraavat toleranssiarvot:

- Ilmavirta, CADR ja sähköteho - 5 %
- Äänitaso - 2 dB käyttötasosta riippuen, mutta vähintään yhdellä käyttötasolla  $\leq$  35 dB.

Näiden lisäksi ilmanpuhdistimen on puhdistettava tunnissa neljä kertaa huoneen tilavuus sekä alennettava aktiivista bakteri- ja viruskuormaa 90 % enintään 30 minuutissa. Sivutuotteiden osalta vaatimuksena on enintään 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  otsonin tuotto taustapitoisuuteen verrattuna. (VDI 2021)

#### 4.2.1 Testihuone

Ilmanpuhdistimien suodatustehokkuuden mittaukset suoritetaan huoneen alenemamenetelmällä kuvassa 5 esitetyssä tilavuudeltaan 30  $\text{m}^3$  kokoisessa testihuoneessa. Isommat ilmanpuhdistimet, jotka on suunniteltu esimerkiksi luokahuoneeseen, testataan 200  $\text{m}^3$  kokoisessa testihuoneessa. Testihuoneen täytyy olla ilmanpuhtaudeltaan EN ISO 14644-3 (Cleanrooms and associated controlled environments) standardin mukainen. (VDI 2021)



**Kuva 5.** Havainnekuva standardin VDI-EE 4300 mukaisesta mittausjärjestelystä. AG on aerosoligeneraattori (0 = seis, 1 = päällä), KM on pitoisuuden mittauspaikka, LR on ilmanpuhdistin (0 = seis, 1 = päällä), SM on äänen mittauspaikka ilmanpuhdistimen ollessa käynnissä. (VDI 2021)

Testihuoneen epäpuhtauksien taustapitoisuus mitataan jokaisen mittauksen alussa ennen kuin aerosolia syötetään huoneeseen. Testiaerosolin syöttämisen jälkeen mitataan epäpuhtauksien pitoisuus uudestaan ja sen pitää olla 20-kertainen verrattuna taustapitoisuuteen. Tämän jälkeen testattava ilmanpuhdistin käynnistetään ja testi voidaan aloittaa. (VDI 2021)

#### 4.2.2 Ilmamäärä ja puhtaan ilman tuotto

Ilmanpuhdistimen tuottaman ilmamäärän mittaus suoritetaan ilman sisääntulosta tai ilmanpuhdistimen ulostuloaukosta. Ilmamäärä mitataan verkkomittauksena pitot-putken tai lanka-anturin avulla standardin DIN EN 12599 (Ventilation for buildings - Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems) mukaan, standardin EN ISO 5801 (Fans - Performance testing using standardized airways) mukaisella tilavuusvirtatestillä, standardin ASTM E2029-11 (Standard Test Method for Volumetric and Mass Flow Rate Measurement in a Duct Using Tracer Gas Dilution) mukaan käyttämällä merkkikaasua tai suppilomenetelmällä. (VDI 2021)

Hiukkasmaisien epäpuhtauksien puhdistuskykyä testattaessa käytetään testiaerosolina DEHS-hiukkasia. Testihiukkaset ovat kooltaan 0.15 µm - 2.5 µm ja ne tuotetaan aerosoligeneraattorilla testihuoneeseen. Testihiukkasina voidaan käyttää myös liposomeja, koska ne ovat sekä koon että kemiallisten ominaisuuksien puolesta sopivia testin vaatimuksiin. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien mittaamiseen käytetään siihen sopivaa mittalaitetta ja menetelmää. (VDI 2021)

Kaasumaisten epäpuhtauksien puhdistuskykyä testattaessa käytetään niin sanottua merkkikaasua, jota ei ole standardissa erikseen määritelty. Testi kaasumaisia epäpuhtauksia vastaan suoritetaan vain hiukkas- ja aktiivihiilisuodattimen omaaville ilmanpuhdistimille. (VDI 2021)

Viruksien ja bakteerien suodatuskykyä testattaessa käytetään testiaerosolina laboratoriossa kasvatettua viruksen ja bakteerin korviketta. Viruksena käytetään kolifaasi-bakteriofagia ja bakteerina *Pseudomonas aeruginosa* -sauvabakteeria. Ilmanäytteet otetaan ISO 16000-16 (Indoor air - Part 16: Detection and enumeration of moulds - Sampling by filtration) -standardin mukaan ajankohdilla 30 min, 60 min ja 120 min aerosolin syötön aloittamisen jälkeen. Näytteistä saadaan tiedot virus- ja bakteeripitoisuuksista käyttämällä sopivia viljelymenetelmiä. (VDI 2021)

### **4.3 ANSI/AHAM AC-1-2020**

ANSI/AHAM AC-1-2020 on yhdysvaltalaisen järjestön The Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) julkaisema standardi huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien ominaisuuksien ja suorituskyvyn testaukselle. Standardi pitää sisällään tavan vertailla ja arvioida eri valmistajien ilmanpuhdistimia niiden käyttöön liittyvillä suoritusarvoilla. (ANSI/AHAM 2020)

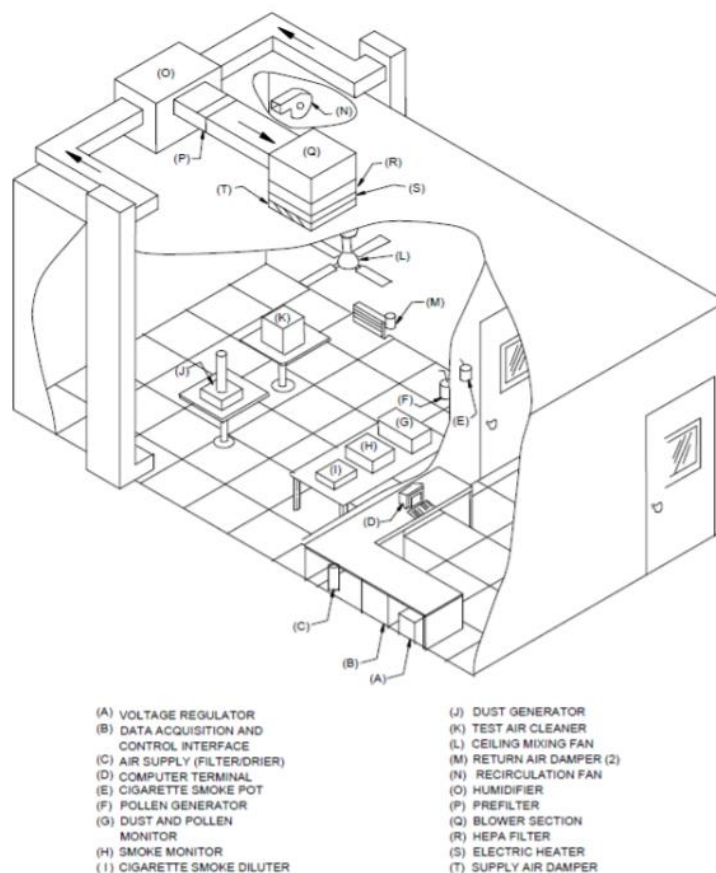
ANSI/AHAM AC-1-2020-standardi sisältää menetelmän ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton (CADR) määrittämiseksi hiukkasmaisia epäpuhtauksia vastaan sekä menetelmän sähkötehon määrittämiseksi niin käytössä kuin valmiustilassa. Puhtaan ilman tuotto määritetään pölylle, tupakansavulle ja siitepölylle. Menetelmiä voidaan soveltaa

mekaaniseen ja sähköiseen suodatukseen sekä ionisaatioon perustuville huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille, joiden puhtaan ilman tuotto on välillä 17–765 m<sup>3</sup>/h. Standardin mukaisesti mitattu puhtaan ilman tuotto on pätevä, jos ilmanpuhdistimen CADR-arvo on välillä 17–765 m<sup>3</sup>/h. (ANSI/AHAM 2020)

#### 4.3.1 Testikammio

Standardissa käytetyn ja kuvassa 6 esitetyn testikammion koko ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton mittaamiseen on 28,5 m<sup>3</sup> (3,2 m × 3,7 m × 2,4 m). Testikammion runko on ilmatiivis ja seinät vaneria. Sisään tuleva ilma syötetään HEPA-suodattimen läpi testikammioon, jossa katossa oleva sekoituspuhallin sekoittaa ilman mukana tulleet hiukkaset tasaisesti huoneilmaan. Toinen sekoituspuhallin, joka sijaitsee seinällä 1,5 m korkeudella lattiasta, pyrkii pitämään hiukkaspitoisuuden tasaisena koko mittauksen ajan. Testikammiossa on kolme pöytää, joiden päällä hiukkaskeneraattoria, testattavaa ilmanpuhdistinta sekä hiukkaspitoisuuden mittalaitteita pidetään omilla pöydillään. Testikammion lämpötilan tulee olla (21 ± 3) °C ja sisäilman suhteellisen kosteuden (40 ± 5) % testattaessa puhtaan ilman tuottoa sekä sähkötehoa valmiustilassa.

(ANSI/AHAM 2020)



**Kuva 6.** ANSI/AHAM AC-1-2020-standardin mukaisen testikammion havainnekuva. (ANSI/AHAM 2020)

#### 4.3.2 Puhtaan ilman tuotto

Ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto määritetään kolmella eri hiukkaskokoalueella: tupakansavu ( $0,1 \mu\text{m} - 1,0 \mu\text{m}$ ), pöly ( $0,5 \mu\text{m} - 3,0 \mu\text{m}$ ) ja siitepöly ( $5 \mu\text{m} - 11 \mu\text{m}$ ). Testaus suoritetaan jokaiselle testiaineelle eriaikaisesti huoneen alenemamenetelmällä kappaleen 4.3.1 kaltaisessa testikammiossa.

Testin alussa testihiukkasia syötetään testikammioon sopivalla hiukkasgeneraattorilla, kunnes saavutetaan haluttu hiukkaspitoisuus. Tupakansavulle haluttu hiukkaspitoisuus alussa on  $24000\text{--}35000 \text{ x/cm}^3$  (hiukasta per  $\text{cm}^3$ ), pölylle  $200\text{--}400 \text{ x/cm}^3$  ja siitepölylle  $4\text{--}9 \text{ x/cm}^3$ . Kun haluttu hiukkaspitoisuus on saavutettu, sekoitetaan testikammion ilmaa

minuutin ajan, jonka jälkeen katossa oleva sekoituspuhallin sammutetaan. Tässä vaiheessa testattava ilmanpuhdistin käynnistetään. Hiukkaspitoisuus mitataan kahden minuutin välein 20 minuutin ajan. Kunnes 20 minuuttia on kulunut, testi voidaan lopettaa. Testi suoritetaan sekä ilmanpuhdistimen käydessä että ilmanpuhdistimen ollessa pois päältä.

Puhtaan ilman tuoton laskentaan tarvittu hiukkaspitoisuuden aleneman vakio  $k$  lasketaan yhtälöllä 2:

$$C_{t_i} = C_i e^{-kt_i} \quad (2)$$

, jossa	$C_{t_i}$	testiaineen pitoisuus ajanhetkellä $t$	[kpl/cm <sup>3</sup> ]
	$C_i$	testiainepitoisuus ajanhetkellä $t=0$	[kpl/cm <sup>3</sup> ]
	$k$	testiainepitoisuuden aleneman vakio	[min <sup>-1</sup> ]
	$t_i$	aika	[min].

Hiukkaspitoisuuden aleneman vakio  $k$  lasketaan molemmille tapauksille, missä ilmanpuhdistin on päällä ja ilmanpuhdistin ei ole päällä. Puhtaan ilman tuotto lasketaan yhtälöstä 3:

$$CADR = V \cdot (k_e - k_n) \quad (3)$$

, jossa	$CADR$	puhtaan ilman tuotto	[m <sup>3</sup> /min]
	$V$	testikammion tilavuus	[m <sup>3</sup> ]
	$k_e$	testiainepitoisuuden aleneman vakio	[min <sup>-1</sup> ]
	$k_n$	testiainepitoisuuden aleneman vakio tyhjässä testikammiossa. (ANSI/AHAM 2020)	[min <sup>-1</sup> ]

### 4.3.3 Suositeltu huonekoko

Ilmanpuhdistimelle tarkoitettu suositeltu huonekoko perustuu tupakansavulla eli hiukkaskoolla 0,1 - 1,0  $\mu\text{m}$  saatuun puhtaan ilman tuoton arvoon. Suositeltu huonekoko on laskennallinen huoneen pinta-ala, jossa ilmanpuhdistin kykenee poistamaan 80 % tupakansavusta verrattuna alkuperäiseen pitoisuuteen. Suositeltu huonekoko lasketaan yhtälöllä 4:

$$A = \frac{CADR}{32 \cdot (k_v + k_{dep})} \quad (4)$$

, jossa	$A$	suositeltu huonekoko	[m <sup>2</sup> ]
	$CADR$	tupakansavulla mitattu puhtaan ilman tuotto	[m <sup>3</sup> /min]
	$k_v$	rakennuksen ilmanvaihtokerroin	[min <sup>-1</sup> ]
	$k_{dep}$	tupakansavun keskimääräinen laskeumanopeus	[min <sup>-1</sup> ].

Yhtälössä on oletettu yksinkertaistuksena huoneen korkeudeksi 2,44 m, minkä takia suositeltu huonekoko on pinta-ala eikä tilavuutena. Standardissa käytetään rakennuksen ilmanvaihtokertoimenä tyypillistä arvoa 1/h eli  $k_v = 0,01667 \text{ min}^{-1}$  ja tupakansavun keskimääräisenä laskeumanopeutena  $0,0034 \text{ min}^{-1}$ . (ANSI/AHAM 2020)

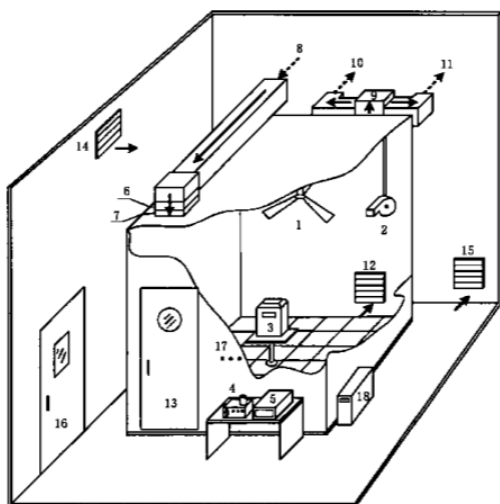
## 4.4 GB/T 18801-2015

GB/T 18801–2015 on kiinalainen standardi huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille, joka pitää sisällään vaatimukset ilmanpuhdistimien testaukselle. Standardin on kehittänyt Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC) ja sitä voidaan soveltaa mekaaniseen suodatukseen, absorptioon, sähköiseen suodatukseen, kemialliseen katalyysiin, fotokatalyysiin, plasmaan ja näiden eri tekniikoiden yhdistelmiin perustuviin ilmanpuhdistimiin. (SAC 2015)

Standardi pitää sisällään testausmenetelmät ja vaatimukset puhtaan ilman tuotolle CADR, kumulatiiviselle puhdistusteholle CCM (cumulative clean mass), suositellulle huonekoolle sekä laskennalliselle käyttöiälle. Testattavien ilmanpuhdistimien pitää myös täyttää vaatimukset haitallisten sivutuotteiden tuotolle standardien GB 21551.3-2010 (Antibacterial and cleaning function for household and similar electrical appliances - Particular requirements of air cleaner) ja GB 4706.45-2008 (Household and similar electrical appliances - Safety - Particular requirements for air cleaning appliances) mukaan. Puhtaan ilman tuotto ja kumulatiivinen puhdistusteho mitataan hiukkasille ja kaasuille. Ilmanpuhdistimen puhdistusteho mikrobeja vastaan täytyy vastata standardin GB 21551.3-2010 vaatimuksia. (SAC 2015)

#### 4.4.1 Testihuone

Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto mitataan tilavuudeltaan  $30 \text{ m}^3$  ( $3,5 \text{ m} \times 3,4 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ ) testihuoneessa ja kumulatiivinen puhdistusteho mitataan  $3 \text{ m}^3$  ( $1,4 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ ) kokoisessa testihuoneessa, joiden lämpötila on  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  ja suhteellinen kosteus  $50 \pm 10 \text{ } \%$ . Testihuoneen tulo- ja menokanavassa käytetään HEPA-suodattimia puhdistamaan sisään- ja ulostulevaa ilmaa. Aerosolin syöttö tapahtuu tulokanavassa HEPA-suodattimen jälkeen. Ilman tulo- ja menokanavat sijoitetaan testihuoneeseen siten että toinen kanava syöttää tai poistaa ilmaa on korkealla huoneessa ja toinen kanava on matalalla. Ilmavirran täytyy olla molemmissa kanavissa noin  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . Testihuoneen katossa käytetään tuuletinta sekoittamaan testiaineet tasaisesti kammioon. Toista tuuletinta tai puhallinta käytetään kierrättämään ilmaa.  $30 \text{ m}^3$  testihuoneen havainnekuva on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 7** Havainnekuva GB/T 18801-2015 standardin mukaisesta 30 m<sup>3</sup> testihuoneesta. (SAC 2015)

Testattava ilmanpuhdistin (kuva 7, numero 3) sijoitetaan testihuoneen keskelle joko lattialle tai pöydälle 700 mm korkeuteen riippuen siitä missä ilmanpuhdistinta on tarkoitettu käytettävän. 3 m<sup>3</sup> testihuoneessa testattava ilmanpuhdistin sijoitetaan 400 mm korkealle, jos ilman ulostulo on matalammalla kuin 400 mm. Ilmanpuhdistimen tuottaman ilmavirran tulee olla 30 m<sup>3</sup> testihuoneessa 30–800 m<sup>3</sup>/h ja 3 m<sup>3</sup> testihuoneessa 10–30 m<sup>3</sup>/h. (SAC 2015)

#### 4.4.2 Puhtaan ilman tuotto

Hiukkasmaisien epäpuhtauksien suodatuskykyä testattaessa käytetään testihiukkasina tupakansavua. Tupakansavu tuotetaan testikammioon standardissa kuvatulla positive pressure particulate generator -laitteella ja hiukkasten määrää mitataan optisella hiukkaslaskurilla. Hiukkasten kokoalueena mittauksessa käytetään 0,3 µm – 10 µm ja testin alussa ajanhetkellä  $t = 0$  hiukkaspitoisuuden tulee olla  $2 \times 10^6/L \sim 2 \times 10^7/L$ . Mittausta suoritetaan yhteensä 20 min ja hiukkasmittaus suoritetaan kahden minuutin välein testin aloittamisesta. Mittaus suoritetaan erikseen sekä tyhjällä testikammionella että testikammionella, jossa testattava ilmanpuhdistin on päällä. (SAC 2015)

Standardissa ei ole määritetty mitään tiettyä testikaasua kaasumaisten epäpuhtauksien puhdistuskyvyn testaukseen, mutta esimerkkinä mainitaan formaldehydi ja metyylibentseeni. Ilmanpuhdistimen tuottaman ilmavirran tulee olla  $30 \text{ m}^3$  testikammiossa  $20 - 400 \text{ m}^3/\text{h}$  testattaessa kaasumaisilla epäpuhtauksilla. Testikaasu syötetään kammioon seinässä olevasta putkesta sopivalla aerosoligeneraattorilla ja testikaasun syöttö lopetetaan, kun haluttu pitoisuus saavutetaan. Sopiva pitoisuus formaldehydille on  $1,00 \pm 0,20 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Kaasun pitoisuus mitataan käyttämällä kaasukromatografia tai kemikaalista absorptiota. Testikaasun pitoisuusmittaus suoritetaan testin alussa ja toistetaan viiden minuutin välein. Mittauksen kesto on 60 minuuttia ja se toistetaan hiukkasmittauksen tavoin sekä ilman ilmanpuhdistinta että ilmanpuhdistimen kanssa. (SAC 2015)

Puhtaan ilman tuoton laskennassa tarvitaan testiainepitoisuuden aleneman vakio  $k$ , joka saadaan yhtälöllä 5:

$$c_t = c_0 e^{-kt} \quad (5)$$

, jossa	$c_t$	testiaineen pitoisuus ajanhetkellä $t$	[1/L]
	$c_0$	testiaineen pitoisuus ajanhetkellä $t = 0$	[1/L]
	$k$	pitoisuuden aleneman vakio	[ $\text{min}^{-1}$ ]
	$t$	aika	[min].

Puhtaan ilman tuotto (CADR) saadaan yhtälöllä 6:

$$Q = V(k_e - k_n) \cdot 60 \quad (6)$$

, jossa	$Q$	puhtaan ilman tuotto	[ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
	$k_e$	testiainepitoisuuden aleneman vakio	[ $\text{min}^{-1}$ ]
	$k_n$	testiainepitoisuuden aleneman vakio tyhjässä	

	huoneessa	[min <sup>-1</sup> ]
$V$	testikammion tilavuus	[m <sup>3</sup> ].

Puhtaan ilman tuotto lasketaan molemmille hiukkasille sekä kaasuille yhtälöiden 5 ja 6 mukaan. (SAC 2015)

#### 4.4.3 Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti (CCM)

Ilmanpuhdistimen kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin (CCM) mittausta suoritetaan niin sanotulla nopeutetun kuormituksen menetelmällä 3 m<sup>3</sup> kokoisessa testikammiossa. Jotta kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti voidaan mitata onnistuneesti, on ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton oltava vähintään 60 m<sup>3</sup>/h käytettäessä hiukkasmaisia epäpuhtauksia ja 40 m<sup>3</sup>/h käytettäessä kaasumaisia epäpuhtauksia. (SAC 2015)

Kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin mittaukseen hiukkasille käytetään tupakansavua. Aluksi testikammiossa poltetaan yksi tupakka, jonka hiukkasmassa mitataan. Tämän jälkeen testattava ilmanpuhdistin asetetaan testikammioon ja käynnistetään. Testikammiossa poltetaan jatkuvatoimisesti 50 tupakkaa, kunnes tupakansavun hiukkasmassa saavuttaa rajan 0,035 mg/m<sup>3</sup> ja ilmanpuhdistin sammutetaan. Tämän jälkeen ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto määritetään uudestaan isommassa 30 m<sup>3</sup> testikammiossa. Tämä testi toistetaan uudelleen käyttämällä 100, 150, 200 ja 250 tupakkaa siihen asti, kunnes puhtaan ilman tuoton arvo putoaa 50 % alkuperäisestä eli ilman tupakansavua mitattuun arvoon. Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti  $M_{\text{particulates}}$  on tupakoiden yhteenlaskettu hiukkasmassa siinä kohtaa, kun ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto putoaa 50 % alkuperäisestä. (SAC 2015)

Kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin mittaukseen kaasuille käytetään standardin esimerkissä formaldehydiä. Sitä syötetään jatkuvatoimisesti tunnin ajan ja sen syöttöpitoisuuden tulee olla 20 mg/h. Tämän jälkeen testikammion kaasupitoisuudesta lasketaan ilmanpuhdistimen poistama kaasumäärä. Mittauksen jälkeen ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto mitataan uudelleen. Tämä testi toistetaan uudelleen syöttämällä 300

mg, 600 mg, 1000 mg ja 1500 mg testikaasua. Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti  $M_{\text{gas}}$  lasketaan arvosta, jolloin ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto putoaa 50 % alkuperäisestä. (SAC 2015)

#### 4.4.4 Suositeltu huonekoko

Suosittelun huonekoko tarkoittaa huonekoko, jossa ilmanpuhdistin kykenee puhdistamaan hiukkasmaisia epäpuhtauksia niin, että saavutetaan hyvä sisäilman laatu. Standardissa hyväksi sisäilman laaduksi asetetaan hiukkaspitoisuus  $c_t \leq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Suositeltu huonekoko lasketaan yhtälöllä 7.

$$S \leq \frac{35Q - E'}{[P_p k_v c_{out} - 35(k_0 + k_v)] \cdot h} \quad (7)$$

, jossa	$S$	suositeltu huonekoko	$[\text{m}^2]$
	$Q$	puhtaan ilman tuotto (CADR)	$[\text{m}^3/\text{h}]$
	$E'$	sisäilman epäpuhtauksien tuotto	$[\text{mg}/\text{h}]$
	$P_p$	läpäisykerroin rakennuksen vaipan vuodelle	$[-]$
	$k_v$	rakennuksen ilmanvaihtokerroin	$[\text{h}^{-1}]$
	$c_{out}$	ulkoilman hiukkaspitoisuus	$[\text{mg}/\text{m}^3]$
	$k_0$	hiukkasten luonnollinen laskeutumiskerroin	$[\text{h}^{-1}]$
	$h$	huoneen korkeus	$[\text{m}]$ .

#### 4.4.5 Laitteen käyttöikä

Ilmanpuhdistimen käyttöikä määritetään laskennallisesti approksimaatiolla perustuen tupakansavun ja käytetyn testikaasun kumulatiiviseen puhdistuskapasiteettiin. Käyttöiän

määrittämiseen tarvitaan ilmanpuhdistimen puhdistamien hiukkasten massa  $m_{ac}$ , kun ilmanpuhdistin on tasaisessa käytössä ajan  $t$  verran.  $m_{ac}$  saadaan yhtälöstä 8.

$$m_{ac} = [k_v P_p c_{out} - (k_0 + k_v) c_t] S \cdot h \cdot t \quad (8)$$

Ilmanpuhdistimen puhdistama kaasujen massa  $m_{ac,g}$  vakio-olosuhteessa saadaan yhtälöstä 9.

$$m_{ac,g} = k_v (c_0 - 0,1) S \cdot h \cdot t \quad (9)$$

Kun ilmanpuhdistimen puhdistama epäpuhtauksien määrä tietyn ajanjakson aikana saadaan laskettua, suhteutetaan se standardissa määritettyihin kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin raja-arvoihin, jolloin saadaan arvio ilmanpuhdistimen käyttäjästä. (SAC 2015)

#### 4.5 Standardien vertailu

Tässä työssä tarkasteltujen ilmanpuhdistimien testausstandardien NF B44-200:2016, VDI EE-4300:2021, ANSI/AHAM AC-1-2020 sekä GB/T 18801-2015 vertailua eri tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen on esitelty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Standardien vertailua niiden sisältämien menetelmien ja ominaisuuksien suhteen.

Tarkasteltava ominaisuus			Testistandardi				
			NF B44-200:2016	VDI EE-4300:2021	ANSI/AHAM AC-1-2020	GB/T 18801-2015	
<b>Puhtaan ilman tuotto (CADR)</b>	Huoneen alenema	Testikammion koko [m <sup>3</sup> ]			30/200	28,5	30/3
		Hiukkasmaiset epäpuhtaudet	Tupakansavu			x	x
			Testihiukkaset (DEHS, pöly yms.)		x	x	x
			Mikrobit		x		
			Virukset		x		
		Kaasumaiset epäpuhtaudet	Tolueneeni				x
	Formaldehydi					x	
	Läpivirtaus	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet	Testihiukkaset (DEHS, pöly yms.)	x			x
			Mikrobit	x			
			Virukset	x			
			Home	x			
		Kaasumaiset epäpuhtaudet	Tolueneeni	x			
			Formaldehydi	x			
			Asetoni	x			
			Asetaldehydi	x			
			Heptaani	x			
<b>Ilmavirran määrittäminen</b>			x	x	x		
<b>Sivutuotteet (otsoni, hiilimonoksidi yms.)</b>			x				
<b>Laskennallinen käyttöikä</b>						x	
<b>Suosittelu huonekoko</b>			x		x	x	
<b>Puhdistuskapasiteetti</b>						x	

Kaikki tarkasteltavat standardit pitävät sisällään menetelmät puhtaan ilman tuoton määrittämiseen. Tarkasteltavista standardeista vain NF B44-200:ssa puhtaan ilman tuoton

määritys perustuu läpivirtausmenetelmään. Läpivirtausmenetelmää, jossa ilman virtaus pakotetaan testattavan tuotteen läpi, käytetään yleensä yleisilmanvaihdon suodattimien testauksessa. Teoriassa, se saattaa antaa paremman tuloksen ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotolle kuin huoneen alenemamenetelmä, koska kaikki niin sanottu likainen ilma virtaa laitteen läpi eikä ohivirtausta tai huoneilman huonoa sekoittumista voi tapahtua. Läpivirtausmenetelmässä ongelmana voi olla sisäänmenon ja ulostulon eristäminen. Ilmanpuhdistimet ovat hyvin erikokoisia ja erimuotoisia, joten puolten eristäminen on tehtävä aina eri tavalla laitteesta riippuen. Kaikissa muissa tarkastelluissa standardeissa puhtaan ilman tuotto määritetään alenemamenetelmällä, joka sinänsä soveltuu hyvin huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille sen ollessa hyvin todenmukainen tilanne ilmanpuhdistimelle sen oikeassa käyttötarkoituksessa. Alenemamenetelmä soveltuu myös hyvin kaiken mallisille ilmanpuhdistimille, koska laite vain asetetaan testikammioon käyttötarkoituksen mukaisesti eikä tulo- ja menopuolten eristystä tarvita.

Amerikkalainen standardi ANSI/AHAM AC-1 ja kiinalainen GB/T 18801 -standardi käyttävät tupakansavua puhtaan ilman tuoton määrittämiseen hiukkasia vastaan. Kyseisissä maissa tupakansavu sisätiloissa on vielä ongelmana ja se on siten perusteltu käyttää testihiukkasina tupakansavua. Eurooppalaisissa standardeissa tupakansavua ei käytetä testihiukkasina, vaan käytetään yleisesti testilaboratorioissa tuttuja testiaerosoleja kuten DEHS-hiukkasia sekä erilaisia suoloja.

Kaasumaisista epäpuhtauksista yleisimmin puhtaan ilman tuotto määritetään tolueenille ja formaldehydille. NF B44-200 -standardissa puhtaan ilman tuotto määritetään myös vaihtoehtoisesti asetonille, asetaldehydille sekä heptaanille. Myös VDI EE-4300-standardiin kuuluu puhtaan ilman tuoton määrittäminen kaasuille, mutta mitään tiettyä testikaasua standardissa ei mainita. ANSI/AHAM AC-1 poikkeaa muista kaasujen testauksen osalta, koska sitä ei ole siinä määritelty ollenkaan.

Ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirran mittausta kuuluu kaikkiin paitsi GB/T 18801-standardiin. Ilmavirran mittausta suoritetaan yleensä eri standardin mukaisesti, joten menetelmää sille ei ole standardeissa erikseen määritelty. Ilmanpuhdistimen tuottaman

sivutuotteiden kuten otsonin testaus määritellään vain NF B44-200 -standardissa. GB/T 18801 -standardissa mainitaan, että ilmanpuhdistin ei saa tuottaa haitallisia sivutuotteita, mutta niiden testaus suoritetaan toisen kiinalaisen standardin mukaisesti. Suositeltu huonekoko ilmanpuhdistimelle määritetään kaikissa paitsi VDI EE-4300 -standardissa. Suositeltu huonekoon laskenta perustuu joka standardissa hieman eri oletuksiin ilmanvaihtokertoimelle, vaipan vuodolle, huonekorkeudelle sekä hiukkasten laskeutumiskertoimelle. GB/T 18801 -standardi on ainoa standardi, missä ilmanpuhdistimen puhdistuskapasiteetti määritetään.

Laboratoriotestauksissa on aina epävarmuuksia ja pientä virhettä tuloksissa voi syntyä. ANSI/AHAM AC-1-standardissa hiukkaspitoisuuden alenemäkäyrän mittapisteiden oikeellisuudelle on asetettu 5 % virhearvio regressiokäyrästä. Kaikissa standardeissa ilman kosteudelle ja lämpötilalle on asetettu rajat, sekä ilmanpuhdistimen ilmavirralle on annettu suurin ja pienin raja-arvo, joiden välissä tulokset ovat hyväksyttäviä.

## 5 LAITEVALMISTAJAHAASTATTELU

Laitevalmistajahaastattelulla kerättiin mielipiteitä ja taustatietoja liittyen huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien testauspalveluun. Hyvin vapaamuotoinen ja keskustelunomainen haastattelu käytiin läpi kahden laitevalmistajayrityksen edustajan kanssa. Keskusteluissa haastateltaville esitettiin seuraavat kysymykset:

- Mitä suoritusarvoja ilmanpuhdistimilta olisi tarve testata tulevaisuudessa?
- Mitä sisäilman epäpuhtauksia vastaan ilmanpuhdistimia olisi tarve testata?
- Miten testaatte omat laitteet ja onko testauksen suhteen ilmennyt ongelmia?
- Mitä vaatimuksia ilmanpuhdistimilta teidän mielestänne asetetaan?
- Mitä haasteita näkisitte ilmanpuhdistimissa yleisesti ja niiden testauksessa?
- Mitä suoritusarvoja tai ominaisuuksia ilmanpuhdistimien kilpailutuksissa halutaan?
- Onko muita toiveita tai ajatuksia ilmanpuhdistimien testauspalveluun liittyen?

Haastattelut on anonymisoitu laitevalmistajayritysten salassa pitämiseksi. Haastateltavien vastaukset on kerätty vapaamuotoisesti.

### **Mitä suoritusarvoja ilmanpuhdistimilta olisi tarve testata tulevaisuudessa?**

Puhtaan ilman tuotto, eli ilmanpuhdistimen CADR-arvo nousi toisella vastaajalla esille tärkeimpänä testattavana suoritusarvona. Toinen haastateltava painotti ilmanpuhdistimen läpi virtaaman ilmavirran mittausta maksimiteholla. Molemmille haastateltaville tärkeää olisi testata ilmanpuhdistimen äänitaso sekä sähkönkulutus nousi myös tärkeäksi testattavaksi suureeksi varsinkin, kun keskustelun ajankohdalla valtakunnallinen pörssisähkön hinta oli huomattavan korkealla. Äänitaso ja sähköteho olisi hyvä mitata ilmanpuhdistimen eri käyttöasteilla. Toinen haastateltava mainitsi tarpeen testata ilmanpuhdistimen sivutuotteiden tuotto, kuten otsoni ja muut vaaralliset aineet. Myös muut turvallisuusasiat kuten sähköturvallisuus ja säteily esimerkiksi UV-valoa hyödyntävillä laitteilla nousi esille. Erilaiset viihtyvyystekijät kuten ilmanpuhdistimen

tuottaman ilmapirran aiheuttama vedon tunne huoneessa olisi hyvä lisäys testattaviin ominaisuuksiin. Se onnistuisi esimerkiksi heittokuvion selvittämisellä.

### **Mitä sisäilman epäpuhtauksia vastaan ilmanpuhdistimia olisi tarve testata?**

Ilmanpuhdistimen puhdistuskykyä tulisi testata ensisijaisesti hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia vastaan. Toinen haastateltava toivoi, että testausta ei suoritettaisi PM-arvojen mukaan, koska se antaa hyvin epätarkan tuloksen ilmanpuhdistimen puhdistuskyvystä varsinkin PM<sub>2,5</sub> kokoluokassa olevia pienempiä hiukkasia vastaan. Olisi hyvä, jos CADR-arvoja voitaisiin mitata ainakin halkaisijaltaan 0,1 mikrometriä oleville hiukkasille. Testihiukkasiksi kelpaavat DEHS-aerosoli ja erilaiset suolat, mutta suolojen ongelmana ovat niiden kyky likaannuttaa testihuoneen pintoja.

Haastateltavien mielestä tärkeitä testeissä käytettäviä kaasumaisia epäpuhtauksia ovat erilaiset VOC-yhdisteet kuten formaldehydi ja tolueeni tärkeimpinä. Jos mahdollisuus on, niin myös asetaldehydi ja sulfidit ovat hyvä lisä VOC-puhdistuskykyä testattaessa. Nämä VOC-yhdisteet ovat yleisimpiä sisäilmassa olevia kaasuja, jotka aiheuttavat sisäilmaongelmia. Toinen haastateltava ilmaisi tarpeen myös mikrobien ja allergeenien testaukselle. Toinen haastateltava puolestaan mainitsi mikrobitestauksen olevan hyvä lisä, mutta hiukkaset ja kaasut ovat kuitenkin ensisijalla.

### **Miten testaatte omat laitteet ja onko testauksen suhteen ilmennyt ongelmia?**

Ilmanpuhdistimien laitevalmistajien omissa testauksissa ilmenee eroavaisuuksia keskenään. Laitevalmistajien käyttämät testistandardit eivät ole samoja joka laitteen osalta. Toinen haastateltava kertoi, että heidän huoneistokohtaiset ilmanpuhdistimet testataan Ranskassa ranskalaisen standardin mukaan ja isommat, liiketiloihin tarkoitetut ilmanpuhdistimet testataan amerikkalaisen standardin mukaan. Näiden lisäksi, ilmanpuhdistimelle soveltuva huonekoko lasketaan japanilaisen standardin mukaan, joka antaa hieman virheellisen arvion huoneen pinta-alasta eurooppalaisittain. Toinen haastateltavista kertoi, että heidän kaikki ilmanpuhdistimensa testataan amerikkalaisella

ANSI-AHAM-AC 1-standardilla alenemamenetelmällä testihuoneessa, joka on minimissään 30 m<sup>3</sup> kokoinen. Testaus tehdään hiukkasmaisille ja kaasumaisille epäpuhtauksille, bakteerit ja virukset ovat toissijaisia testattavia.

### **Mitä vaatimuksia ilmanpuhdistimilta teidän mielestänne asetetaan?**

Asiakkaiden asettamat tärkeimmät vaatimukset huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille ovat hinta ja äänitaso. Toisin sanoen, vaatimus on mahdollisimman alhainen hinta ja mahdollisimman hyvä puhdistuskyky. Ne ovat asioita, jotka asiakkaat haluavat ensimmäisenä tietää ilmanpuhdistimesta, jota he ovat hankkimassa. Äänitaso halutaan tietää niin päiväs- kuin yöaikaan. Molemmat haastateltavat mainitsivat ilmanpuhdistimen huoltovälin eli ajan, miten usein suodatin täytyy vaihtaa tai ilmanpuhdistin puhdistaa, olevan tärkeä tieto asiakkaalle. Laitteen käyttöikä nousi myös tärkeäksi asiaksi.

### **Mitä haasteita näette ilmanpuhdistimissa yleisesti ja niiden testauksessa?**

Toinen haastateltavista kertoi suurimpana haasteena olevan asiakkaiden tietämättömyys ilmanpuhdistimista. Yleisesti ottaen, asiakkaat eivät tiedä mitä ovat ostamassa. Laitteen hinta, ääni ja ulkomuoto ovat tärkeimpiä asioita ostopäätöksessä. Toinen haastateltava mainitsi yhdeksi haasteeksi energiatehokkuuden. Se on vaikea mitata laitteesta ja haasteena on sähkön kulutuksen pitäminen alhaisena puhdistuskyvyn kasvaessa. Sivutuotteiden kuten otsonin tuotto tuo myös haasteita etenkin UV-säteilyä hyödyntävissä ilmanpuhdistimissa. Yleisesti testauksessa haasteena mainittiin testihuoneiden puute, jossa standardisoituja testauksia voidaan suorittaa. Ilmanpuhdistimet on nykyään lähetettävä kauas ulkomaille testauksia varten.

### **Mitä suoritusarvoja tai ominaisuuksia ilmanpuhdistimien kilpailutuksissa halutaan?**

Molemmat haastateltavista mainitsivat ilmanpuhdistimen hinnan ja puhdistustehon (CADR) olevan tärkeimmät tekijät kilpailutuksissa. Muita esille nousseita asioita olivat sähkön kulutus jo aikaisemmin mainitun kohonneen sähkön hinnan takia sekä äänitaso,

koska sen huomaa helpoiten laitteesta. Toinen haastateltavista mainitsi kilpailutuksissa haluttavan tietää, että onko ilmanpuhdistimessa HEPA-suodatin, jos laitteen toiminta perustuu suodatukseen. Ilmanpuhdistimesta kysellään myös yleisesti, että onko niissä hiukkas- ja kaasumittausta.

### **Onko muita toiveita tai ajatuksia ilmanpuhdistimien testauspalveluun liittyen?**

Toiselta haastateltavalta tuli yleisenä ajatuksena käytäntö, jossa jokainen maahantuojaja tai laitevalmistaja joutuisi testauttamaan laitteensa kolmannella osapuolella. Tällöin kuluttajalle syntyy vakuus siitä, että laite varmasti toimii. Yleisesti testauspalvelun tärkeys suomalaiselle kuluttajalle nimenomaan Suomessa nousi esille. Toinen haastateltava kertoi yleisenä ajatuksena, että huoneen alenemamenetelmällä testauksia tehdessä, maailmalla on trendinä kasvava testikammion koko. Tällä hetkellä standardeissa on vakiona noin 30 m<sup>3</sup> kokoinen huone, mutta se voisi olla jopa 80 m<sup>3</sup>. Molempien haastateltavien mielestä kuluttajien yleistä tietämystä ilmanpuhdistimista pitäisi parantaa, koska heidän mielestään kuluttaja ei itse täysin tiedä mitä on oikeasti ostamassa. Tällä hetkellä kuluttajalle tärkeimmät kriteerit ovat laitteen ulkonäkö ja ääni.

## **5.1 Haastattelujen pääkohdat**

Laitevalmistajahaastatteluissa käytiin keskustelua testaustarpeisiin, sekä yleisesti ilmanpuhdistinalaan liittyen. Haastattelujen pääkohdat on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Laittevalmistajahaastattelujen pääkohdat.

Testaustarve	Muita huomioita
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puhtaan ilman tuotto (CADR) hiukkasilla kokoon 0,1 µm asti sekä kaasulla yleisimmillä VOC-yhdisteillä. Mikrobit ja virukset ovat hyvä lisä.</li> <li>• Ilmamäärä suurimmalla säätöasennolla</li> <li>• Ilmanpuhdistimen tuottama ääniteho</li> <li>• Sähkön kulutus</li> <li>• Sivuaineiden tuotto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yhtenäistä testausmenetelmää ei ole. Ilmanpuhdistimet testataan monesti ulkomailla eri standardien mukaisesti.</li> <li>• Kilpailutuksissa toive on mahdollisimman alhainen hinta ja mahdollisimman hyvä puhdistuskyky.</li> <li>• Suomessa on puute testikammioista.</li> <li>• Suomalainen testauspalvelu on tärkeää kuluttajille</li> <li>• Kuluttajilla ei vielä tietämystä ilmanpuhdistimista</li> </ul>

Suurimpana testaustarpeena haastatteluissa tuli ilmi puhtaan ilman tuoton testaus hiukkasille sekä kaasuille. Toivomus oli, että hiukkasten puhdistuskykyä voitaisiin testata 0,1 µm asti. Kaasujen osalta yleisimmät VOC-yhdisteet, kuten tolueni ja formaldehydi nousivat testattaviksi kaasuiksi. Testaustarpeita olisi myös mahdollisesti mikrobi- sekä virussuodatukselle.

Yleisesti muina huomioina haastatteluissa ilmeni testausmenetelmien vaihtelevuus. Eri puolilla maailmaa ilmanpuhdistimet testataan eri tavalla. Tällä hetkellä laittevalmistajat testaavat laitteitaan paljon ulkomailla, koska Suomessa on suuri puute testikammioista ja testaavista organisaatioista. Kilpailutuksissa pidetään tärkeänä asiaa, että ilmanpuhdistimen testaus olisi suoritettu Suomessa.

Haastatteluissa nousi ilmi yleinen käsitys siitä, että kuluttajat ja kilpailuttajat eivät vielä tiedä tarkalleen mitä ilmanpuhdistimen pitäisi toimia. Kuluttajat vaativat ilmanpuhdistimilta lähinnä mukavuustekijöitä kuten alhaista äänitasoa sekä hienoa esteettistä ulkonäköä. Tietoisuutta ilmanpuhdistimista kuluttajille pitäisi lisätä, jotta he voisivat alkaa vaatia oikeita asioita ilmanpuhdistimilta esimerkiksi puhdistuskykyyn liittyen.

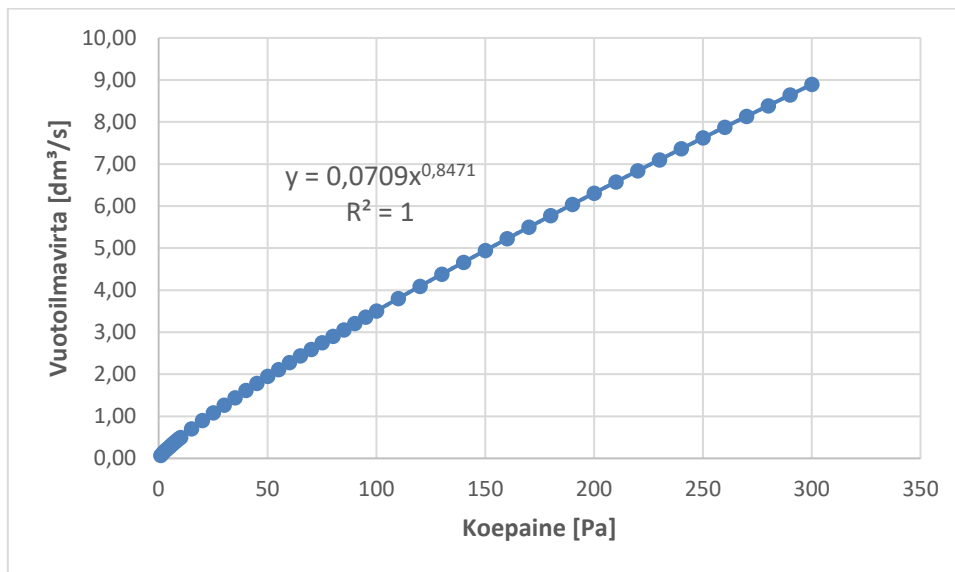
## **6 TESTAUSSUUREIDEN VALINTA JA MENETELMIEN KUVAUS**

Tässä kappaleessa käydään läpi testaussuureiden valinta sekä kuvataan testauksissa käytettävät menetelmät. Laboratoriotestit suoritettiin Eurofins Expert Services Oy:n testauslaboratoriossa Espoossa.

Testaussuureiden valinnassa otettiin huomioon ilmanpuhdistimien kriteerit puhdistaa huoneilmaa sen suorituskyvyn, turvallisuuden, käytön mukavuuden sekä taloudellisuuden näkökulmista. Valintaan vaikutti suuresti myös sisäilman laadun ohjeistukset ja laitevalmistajien mielipiteet. Standardia ANSI/AHAM AC-1 käytettiin pohjana testimenetelmän kehittämisessä. Testimenetelmän muokkaukseen vaikutti rajalliset testausmahdollisuudet, aika sekä muista nykyisistä maailmalla käytettävistä testausstandardeista otetut esimerkit.

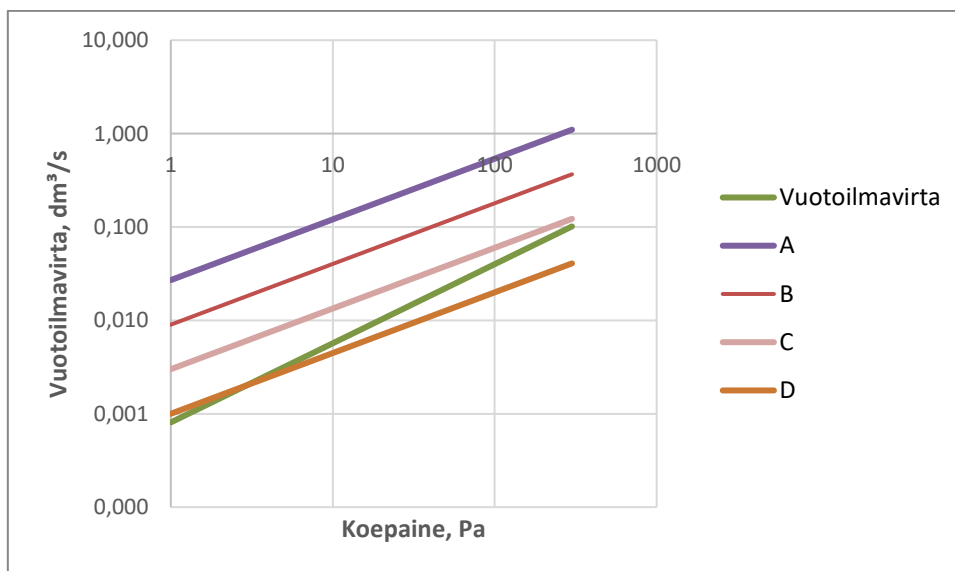
### **6.1 Testikammio**

51,6 m<sup>3</sup> kokoinen kaiuntahuoneena käytettävä huone valikoitui puhtaan ilman tuoton testaukseen niin hiukkasille kuin kaasuille. Kokonsa puolesta testikammio on sopivan kokoinen ilmanpuhdistimien puhdistuskyvyn määrittämiseen, koska kammion koko vastaa pinta-alaltaan noin 20 m<sup>2</sup> kokoista ja 2,5 m korkeaa huonetta. Testikammion soveltuvuus ilmanpuhdistimien testaukseen varmistettiin suorittamalla tiiveysmittaus ylipaineistamalla huone läpiviennin kautta siihen tarkoitettulla laitteella. Tiiveysmittauksen tulokset on esitetty kuvassa 8 sekä testikammion vuotoilmavirran muutos suhteessa tiiveysluokkiin kuvassa 9.



**Kuva 8.** Tiiveysmittauksen tulokset laskettuna sovitetten avulla.

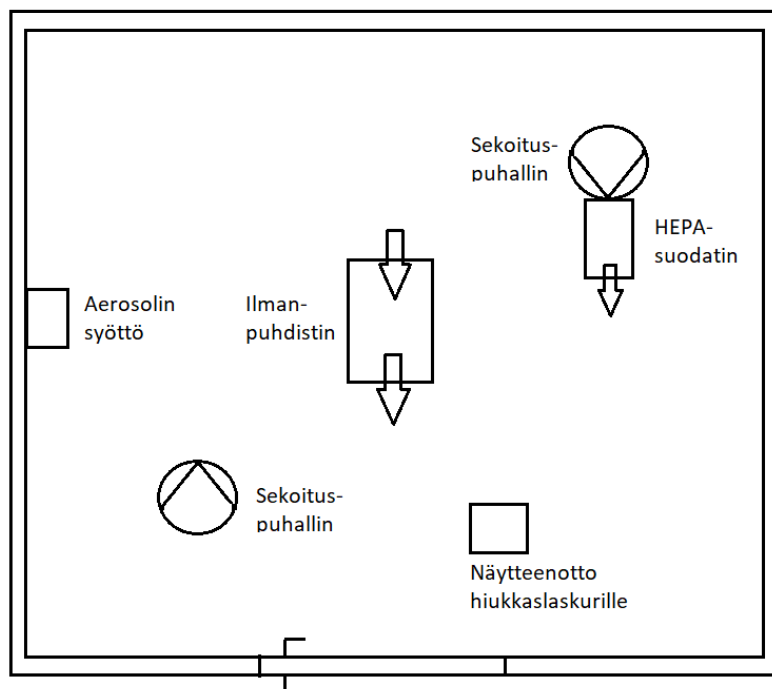
Tiiveysmittauksen tuloksista huomataan, että vuotoilmavirta kasvaa tasaisesti koepaineen kasvaessa. 300 Pa paineella vuotoilmavirta oli noin 9 litraa sekunnissa. Lähellä ympäristön ilmanpainetta eli lähellä 0 Pa koepainetta vuotoilmavirta oli hyvin minimaalista.



**Kuva 9.** Tiiveysmittauksen tuloksista saadun vuotoilmavirran käyttäytyminen suhteessa tiiveysluokkiin.

Tiiveysluokaksi 500 Pa paineella tulee C, mikä on riittävä ilmanpuhdistimien testaukselle. Testikammion paine ei nouse aerosolin syötön aikana juurikaan eikä kaasun syötön aikana paine nouse niin merkittävästi, että vuotoilmavirta vaikuttaisi tuloksiin. Täten voidaan todeta testikammion soveltuvan ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuoton testauksiin.

Testikammion testausjärjestely suunniteltiin kuvan 10 mukaisesti siten, että ilma testikammiossa kiertäisi ja testiaineet sekoittuisivat täydellisesti huoneilmaan. Tämän vuoksi, testikammioon asetettiin sekoituspuhallin sekoittamaan ilmaa. Testikammiossa oleva ilma puhdistetaan hiukkasista toisella, HEPA-suodattimella varustetulla puhaltimella. Testattava ilmanpuhdistin sijoitetaan testikammion keskelle ja laitteesta riippuen, ilman ulostuloaukko oveen päin. Testiaerosoli sekä testikaasu syötetään testikammioon läpiviennin kautta letkulla, ja syöttöpaikka on testikammion seinässä letkun ulostuloaukko kammion keskikohtaa päin. Hiukkasmittauksen näytteenotto tapahtuu letkulla läpiviennin kautta. Näytteenottopaikka on huoneen oven lähellä noin 0,5 m korkeudella.



**Kuva 10.** Huoneen alenemamenetelmän testausjärjestely hiukkasille.

Samaa testikammiota myös pienennettiin 23,5 m<sup>3</sup> kokoiseksi asentamalla kuvan 11 mukaisesti muovipressu uudeksi katoksi. Toisin sanoen, kattoa alennettiin muovipressulla, jotta huoneen tilavuus pienenesi.



**Kuva 11.** 23,5 m<sup>3</sup> testikammio alennetulla katolla. Kuva ovelta päin. Letku seinällä on aerosolin syöttöpaikka ja testattava ilmanpuhdistin kuvassa oikealla alhaalla.

Kuvan 10 kaltaista mittausjärjestelyä käytettiin myös pienemmässä testikammiossa. Puhtaan ilman tuotto määritettiin pienemmässä kammiossa vain hiukkasmaisille epäpuhtauksille.

## 6.2 Puhtaan ilman tuotto hiukkasille

Huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien suoritusarvoja on tärkeää tarkastella niiden puhdistuskykyyn liittyen puhtaan ilman tuotolla. Puhtaan ilman tuotto on perusteltua määrittää, koska se on tärkein mittari ilmanpuhdistimen tehokkuudesta kertomalla, kuinka paljon puhdistettua ilmaa laite kykenee tuottamaan. Se on myös tärkein kriteeri ilmanpuhdistinta valittaessa sekä tärkein testattava suoritusarvo laitevalmistajien mielestä. Ilmanpuhdistimien puhtaan ilman tuotto testataan hiukkasmaisille

epäpuhtauksille, koska etenkin pienhiukkaset ( $PM_{2,5}$ ) ovat merkittävä sisäilmaongelmien aiheuttaja. Ne voivat tunkeutua hengityselimistöä verenkertoon aiheuttaen terveysongelmia.

Hiukkasia testataan kokoluokissa  $0,3-0,5 \mu\text{m}$ ,  $1-2 \mu\text{m}$  ja  $3-5 \mu\text{m}$ . Nämä hiukkaskokoluokat ovat myös Euroventin sertifiointiohjelman ja sen pohjana olevan standardin NF-B44-200:2016 mukaiset tarkasteltavat kokoluokat. Alle  $0,3 \mu\text{m}$  olevat hiukkaset jätetään testauksesta pois testauksen sujuvuuden ja mittalaitteen rajoitusten vuoksi. Testattava kokoluokka vastaa esimerkiksi taajama-alueilla mahdollisesti ongelmana olevaa katupölyä, tupakansavua, erilaisia asbestikuituja, huonepölyä sekä suurta osaa itiöistä ja bakteereista. Tosin mikrobit ja virukset sekä ilmanpuhdistimien kyky tuhota niitä, on jätetty testauksen ulkopuolelle käytettävissä olevien menetelmien puitteissa. Hiukkaskokoluokka pitää sisällään myös niin sanotun tunkeutuvimman hiukkaskoon MPPS:n (Most Penetrating Particle Size), joka on noin  $0,3 \mu\text{m}$  (Brochot, Bahloul et al. 2019). Tunkeutuvimmalla hiukkaskoolla on todennäköisin mahdollisuus tunkeutua käytettävän suodattimen läpi.

### 6.2.1 Huoneen alenema

Hiukkastestaukseen alenemamenetelmällä käytettiin kappaleessa 6.1 esiteltyä testikammiota ja kuvan 10 mukaisella testausjärjestelyllä. Testiaerosolina käytettiin dioctyl sebacate (DEHS)-hiukkasia, koska ne eivät likaa ympäristöä ja ne hajoavat itseksensä ajan myötä.  $0,3 \mu\text{m}$  kokoisten DEHS-hiukkasten elinaika on noin neljä tuntia. Puhtaan ilman tuotto määritettiin alenemamenetelmällä pohjautuen ANSI/AHAM-AC-1-standardiin. Jokaisen hiukkaskokoluokan hiukkasten poistumaa vastaava pitoisuuden alenemavakio määritettiin kyseisen standardin mukaisesti pitoisuuden logaritmissen regressiokäyrän  $\ln C_{t_i}$ , testiin käytetyn ajan  $t_i$  sekä mittauspisteiden määrän  $n$  avulla yhtälöistä 10, 11 ja 12.

$$k = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (10)$$

, jossa

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n \ln C_{t_i} - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \sum_{i=1}^n C_{t_i} \right) \quad (11)$$

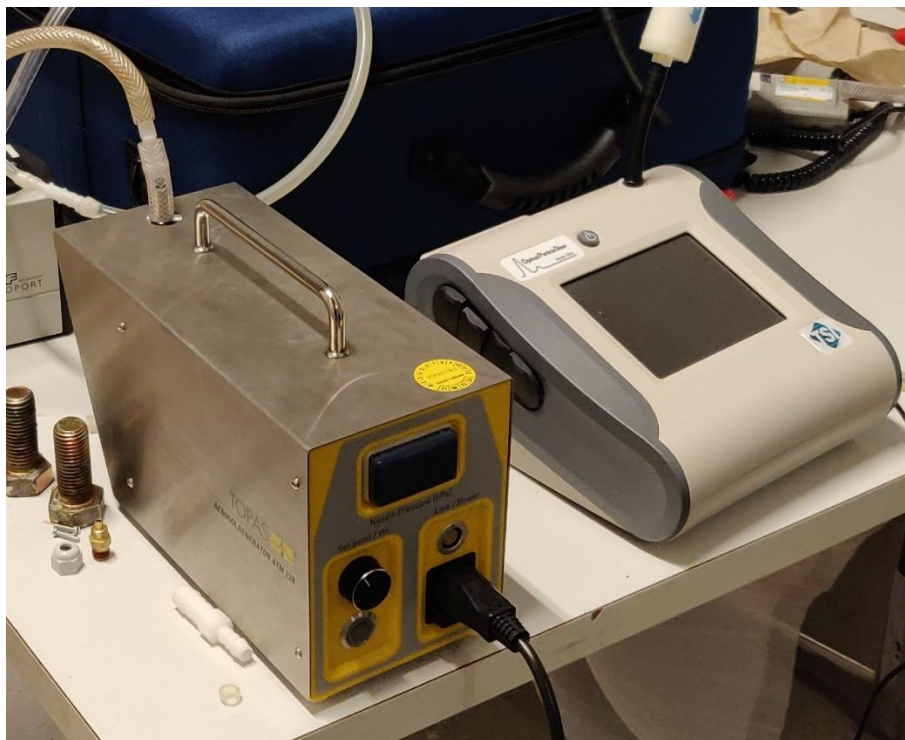
$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (t_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \sum_{i=1}^n C_{t_i} \right). \quad (12)$$

Pitoisuuden alenemavakio määritettiin sekä tyhjälle testikammionle että ilmanpuhdistimen käydessä kolmella eri käyttökytkimen asennolla erikseen. Puhtaan ilman tuotto määritettiin tyhjällä testikammionle sekä ilmanpuhdistimen käydessä määritettyjen alenemavakioiden erotuksena yhtälön 3 mukaisesti.

### 6.2.2 Testauksen kulku

Testin alussa, testikammion ilma puhdistettiin taustahiukkasista niin, että pitoisuudeksi saadaan enintään noin  $20 \text{ x/cm}^3$ . DEHS-hiukkasista syötettiin kammioon kuvan 12 mukaisella TOPAS ATM 228 -aerosoligeneraattorilla. Alkupitoisuudeksi testihiukkasista syötettiin jokaisessa mittauksessa vähintään 40-kertainen määrä taustapitoisuuteen nähden, jotta muiden kuin DEHS-hiukkasten osuus pitoisuuden alenemasta olisi

merkityksetön. Hiukkasmittaukseen käytettiin kuvan 12 mukaista TSI 3330-hiukkaslaskuria.



**Kuva 12.** Vasemmalla aerosoligeneraattori TOPAS ATM 228 ja oikealla hiukkaslaskuri TSI 3330.

Mittapisteiden tallentaminen aloitettiin, kunnes alkupitoisuus kammiossa oli sopivalla tasolla. Mittausta jatkettiin 20 minuutin ajan tallentaen mittapisteitä minuutin välein. Näytteenottoaikana käytettiin niin ikään yhtä minuuttia, jotta hiukkaslaskuri ehti havaita mahdollisimman monta hiukkasta näytteeseen antaen mahdollisimman todellisen tuloksen pitoisuudesta.

Testin vaiheet on syytä listata, jotta mittaukset saadaan suoritettua aina samalla tavalla testilaitteesta riippumatta. Testin tarkat välivaiheet ja ohjeet mittausten suorittamiselle on lueteltu seuraavassa listassa:

1. Aseta ilmanpuhdistin testikammion keskelle niin, että ilman ulostuloaukko on kammion ovea päin.
2. Käynnistä HEPA-suodattimella varustettu puhallin, sekä sekoituspuhallin.

3. Käynnistä hiukkaslaskuri ja aloita jatkuva mittaus testikammion ilman hiukkaspitoisuudesta.
4. Sammuta HEPA-suodattimella varustettu puhallin, kunnes hiukkaspitoisuus kammiossa on alittanut rajan  $20 \text{ x/cm}^3$ .
5. Aloita testiaerosolin syöttö. Jatka aerosolin syöttöä, kunnes hiukkaspitoisuus on  $700\text{-}900 \text{ x/cm}^3$ .
6. Sammuta testiaerosolin syöttö ja anna testikammion ilman sekoittua 1-2 min tai siihen asti, kunnes hiukkaspitoisuus on tasoittunut riittävästi.
7. (Jos kyseessä testi mittaus ilmanpuhdistimen kanssa, käynnistä ilmanpuhdistin halutulla käyttökytkimen asennolla)
8. Aloita mittapisteiden tallentaminen. Ensimmäinen mittapiste on alkupitoisuus ( $t = 0 \text{ min}$ ).
9. Tallenna mittapisteitä minuutin välein minuutin näytteenottoajalla 20 minuutin ajan.
10. Sammuta testattava ilmanpuhdistin ja mittaa testikammion lämpötila sekä suhteellinen kosteus.

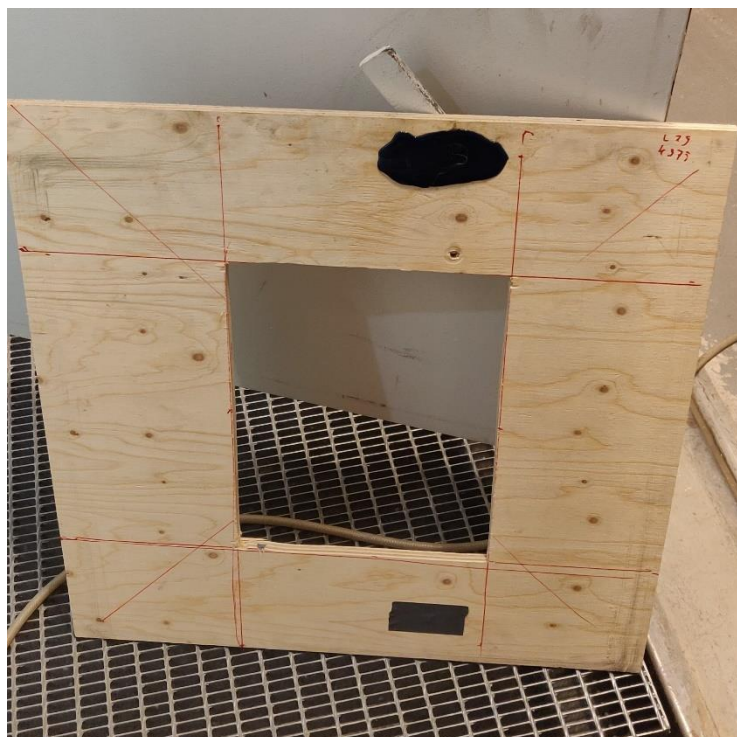
Mittaus suoritetaan tyhjälle testikammion sekä ilmanpuhdistimen käydessä kolmella eri käyttökytkimen asennolla (pienin, keskimäinen, suurin) suorittaen yhteensä neljä mittausta.

### 6.2.3 Läpivirtausmenetelmä

Vertailun vuoksi, puhtaan ilman tuotto hiukkasille määritettiin myös läpivirtausmenetelmällä suodatinlaboratoriossa. Läpivirtausmenetelmää varten täytyi tehdä välikappale ilmanpuhdistimen ympärille, minkä tarkoituksena oli eristää ilmanpuhdistimen meno- ja tulopuoli toisistaan. Meno- ja tulopuolen välille asetettiin paine-eroksi nolla apupuhaltimien avulla. Mittaus suoritettiin suodatintestaus-standardin EN ISO 16890 mukaisella menetelmällä. Ilmanpuhdistimelle määritettiin erotusaste hiukkaskokoluokittain, eli kuinka suuren osan läpi menevistä hiukkasista ilmanpuhdistin suodattaa. Laitteen tuottama ilmavirta määritettiin samalla mittausjärjestelyllä.

Ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto saatiin kertomalla laitteen tuottama ilmavirta hiukkaserotusasteella. Puhtaan ilman tuotto määritettiin ilmanpuhdistimen kolmelle eri käyttökytkimen asennolle erikseen.

Läpivirtausmenetelmää varten täytyi tehdä kuvan 13 mukainen välikappale ilmanpuhdistimen ympärille. Välikappaleen tarkoituksena on eristää ilman meno- ja tulopuoli toisistaan suodatinlaboratorion testikanavassa. Testikappale tiivistettiin ilmastointiteipillä molemmilta puolin, koska DEHS-hiukkaset pyrkivät tunkeutumaan pienistäkin raoista.



**Kuva 13.** Vanerinen välikappale läpivirtausmittausta varten.

Mittalaitteena läpivirtausmittauksessa käytettiin kahta TSI 3330 hiukkaslaskuria. Toinen hiukkaslaskureista sijoitettiin menopuolelle ja toinen tulopuolelle. Paineet meno- ja tulopuolelta mitattiin mittauslaipoilla ja lämpötilan mittaamiseen käytettiin lämpötila-anturina pt100 vastuslämpötila-anturia.

### 6.3 Puhtaan ilman tuotto kaasuille

Ilmanpuhdistimien kaasusuodatuskykyä etenkin VOC-yhdisteitä vastaan on perusteltua testata niiden aiheuttamien sisäilmaongelmien takia. VOC-yhdisteet voivat olla haittana minkä ikäisessä rakennuksessa tahansa. Rakennusmateriaalit, pesuaineet tai ylipäättään ihmisten oleskelu voivat tuottaa VOC-yhdistettä sisäilmaan ja haitata oleskelua tilassa. Edellytys VOC-testaukselle on ilmanpuhdistimen kyky suodattaa niitä, eli sen toiminta pitää perustua aktiivihiihluodattimeen, kemialliseen absorptioon, fotokatalyyttiseen oksidaatioon, plasmaan tai otsonointiin.

VOC-yhdisteitä testattiin samankaltaisella, kappaleessa 6.2 esitellyllä menetelmällä testikammiossa. Testiaineena käytettiin tolueenia, koska se höyrystyy helposti ja nopeasti sekä on pienillä määrillä testaajalle turvallinen. Tolueeni on yksi yleisimmistä huoneilmassa esiintyvistä haitallisista VOC-yhdisteistä, jota esiintyy erilaisissa maaleissa, tärpätissä sekä bensiinissä. Tolueeni on myös yksi viidestä keskeisimmästä testattavasta kaasusta Euroventin sertifiointiohjelmassa. Testikaasuna voidaan myös käyttää toista kaasua, jos tarve vaatii.

Puhtaan ilman tuoton laskentaan käytettiin samaa laskentamenetelmää kuin hiukkasillekin yhtälöiden 3, 10, 11 ja 12 avulla. VOC-pitoisuuden alenemavakio laskettiin tyhjälle testikammion, sekä ilmanpuhdistimen kolmelle eri käyttökytkimen asennolle erikseen.

#### 6.3.1 Testauksen kulku

Testin alussa, testikammion TVOC-pitoisuus mitattiin kuvan 14 mukaisella PCE Instrumentsin PCE-VOC 1 HCHO/TVOC-mittarilla. Testiaineena käytettävä tolueeni näkyy mittarissa TVOC-yhdisteenä, koska erillistä tolueenia tunnistavaa anturia laitteessa ei ole. Taustan TVOC-pitoisuus tulee olla testin alussa noin 0,1–0,3 ppb.



**Kuva 14.** TVOC-pitoisuuden mittaukseen käytetty PCE Instrumentsin PCE-VOC 1 HCHO/TVOC-mittari.

Tolueenia höyrytettiin testikammioon kuvan 15 mukaisella BÜCHI 461-vesihauteella laittamalla tolueenia sopiva määrä mittalasiin. Tolueenia syötettiin sen verran, että TVOC-pitoisuus nousee 1 ppm taustapitoisuuteen verrattuna. Riippuen taustapitoisuudesta, noin 0,6–1 ml tolueenia pipetillä mitattuna riitti tuottamaan sopivan pitoisuuden testikammioon.



**Kuva 15.** BÜCHI 461-vesihaude. Tolueenia höyrystetään syöttämällä tolueenia mittalasiin ja lämmittämällä vesihaudetta.

Mittapisteiden kerääminen aloitettiin, kunnes sopiva TVOC-alkupitoisuus oli saavutettu. Vesihaude sammutettiin, koska sen tuottama lämpö saattoi vaikuttaa VOC-pitoisuuteen huoneessa. Mittapisteitä kerättiin mittarista katsomalla ja kirjaamalla ylös 30 min ajan. Mittapisteidän keräys suoritettiin kahden minuutin välein, kunnes saatiin yhteensä 15 mittapistettä kerättyä.

Testin vaiheet on syytä listata, jotta mittaukset saadaan suoritettua aina samalla tavalla testilaitteesta riippumatta. Testin tarkat välivaiheet ja ohjeet mittausten suorittamiselle on lueteltu seuraavassa listassa:

1. Aseta ilmanpuhdistin testikammion keskelle niin, että ilman ulostuloaukko on kammion ovea päin.
2. Käynnistä sekoituspuhallin.
3. Käynnistä VOC-mittari ja aloita jatkuva pitoisuuden mittaaminen.
4. Jos testikammion ilman TVOC-taustapitoisuus on halutulla tasolla, aloita toluenin syötön valmistelut. Jos taustapitoisuus on haluttua suurempi, puhdista ilmaa esimerkiksi testattavalla ilmanpuhdistimella halutulle tasolle.
5. Käynnistä lämpöhaude, ja syötä lämpöhauteessa olevaan mittalasiin pipetillä 0,6–1 ml toluenia.
6. Seuraa testikammion TVOC-pitoisuutta. Kunnes TVOC-pitoisuus saavuttaa halutun alkupitoisuuden, odota kaasun sekoittumista noin kaksi minuuttia.
7. Sammuta lämpöhaude
8. (Jos kyseessä mittaus ilmanpuhdistimen kanssa, käynnistä ilmanpuhdistin halutulla käyttökytkimen asennolla)
9. Aloita mittapisteiden tallentaminen. Ensimmäinen mittapiste on alkupitoisuus (t = 0 min).
10. Tallenna mittapisteitä 30 min ajan kahden minuutin välein.
11. 30 min jälkeen, lopeta mittapisteiden tallennus. Sammuta testattava ilmanpuhdistin ja mittaa testikammion lämpötila sekä suhteellinen kosteus.

Mittaus suoritetaan tyhjälle testikammionlelle sekä ilmanpuhdistimen käydessä kolmella eri käyttökytkimen asennolla (pienin, keskimäinen, suurin) suorittaen yhteensä neljä mittausta.

## **6.4 Sähköteho ja energiatehokkuus**

Ilmanpuhdistimien sähkötehon tarve on tärkeää määrittää niin sähkön kulutuksen kuin energiatehokkuuden takia. Laitteen mitattu sähköteho kertoo käyttäjälle myös sen tuottaman lämpöenergian määrän. Lämpöenergian tuotto voi vaikuttaa sisätilassa oleskeluun varsinkin lämpiminä kesäpäivinä. Ilmanpuhdistimen sähkötehon mittaaminen on myös sisällytetty suurimpaan osaan tässä työssä käsitellyistä testistandardeista.

Laitevalmistajahaastattelussa ilmeni myös tarve laitteen energiatehokkuuden selvittämiseksi.

Sähköteho mitattiin tehomittarilla Yokogawa WT230 ilmanpuhdistimen kolmella eri käyttökytkimen asennolla (pienin, keskimäinen, suurin). Mittaus suoritettiin yhdessä äänimittausten kanssa.

Energiatehokkuus ilmanpuhdistimelle määritettiin Euroventin sertifiointiohjelmassa sekä ANSI/AHAM-AC-1-standardissa käytetyllä yksiköllä  $\text{m}^3/\text{h}/\text{W}$ , joka kertoo laitteen tuottaman puhtaan ilman tuoton ja sähkötehon suhteen. Laskennassa käytettiin ilmanpuhdistimen pienintä puhtaan ilman tuoton arvoa suurimmalla käyttökytkimen asennolla kummallekin kategorialle. Energiatehokkuus määritettiin niin hiukkastestaukselle, kuin kaasutestaukselle.

## 6.5 Äänitehotaso

Ilmanpuhdistimien äänitason mittaus on tärkeää, koska laitteet sijoitetaan yleensä ihmisten niin sanotulle oleskeluvyöhykkeelle. Melu on yksi tavallisimmista oleskelumukavuuteen vaikuttavista tekijöistä, missä tekniset laitteet voivat olla suuressa roolissa.

Ilmanpuhdistimen äänitehotaso määritettiin ISO 3741:2010 (Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure) -standardin mukaisesti kaiuntahuoneessa. Kaiuntahuoneena käytettiin laboratorion  $201 \text{ m}^3$  kokoista huonetta. Äänitehotason mittaus suoritettiin ilmanpuhdistimen kolmella eri käyttökytkimen asennolla (pienin, keskimäinen, suurin).

## 7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

Tässä kappaleessa esitetään saadut tulokset ilmanpuhdistimen laboratoriokeista käytetyillä menetelmillä. Menetelmiä vertaillaan keskenään ja mahdollisia eroavaisuuksia tarkastellaan. Testauksissa määritettiin ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto (CADR) hiukkasille ja yhdelle VOC-yhdisteelle, äänitehotaso, ilmavirta, sähkötehon tarve sekä energiatehokkuus.

Testaukset suoritettiin yhdelle testilaitteelle, joka perustuu mekaaniseen sekä sähköiseen suodatukseen. Ilmanpuhdistimessa on myös aktiivihiilisuodatin kaasujen suodatusta varten. Testattava ilmanpuhdistin on tarkoitettu käytettäväksi lattialla, joko kotiooloissa tai toimistoissa. Laitteessa oli liukuva tehosäätö ja se oli helppo asettaa pienimmälle, keskiuurelle sekä suurimmalle teholle, eli niille käyttökytkimen asennoille, joilla testaukset on tarkoitettu tehtäväksi.

### 7.1 Ilmavirta

Taulukossa 5 on esitetty testilaitteen tuottamat ilmavirrat pienimmällä, keskimmaisella sekä suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Taulukossa on myös esitetty ympäristön lämpötila  $t$ , suhteellinen kosteus RH, ilmanpaine  $p_a$ , ilman tiheys  $\rho$  sekä paine-ero  $\Delta p$  meno- ja tulopuolen välillä.

**Taulukko 5.** Testilaitteen ilmavirran mittauksen tulokset.

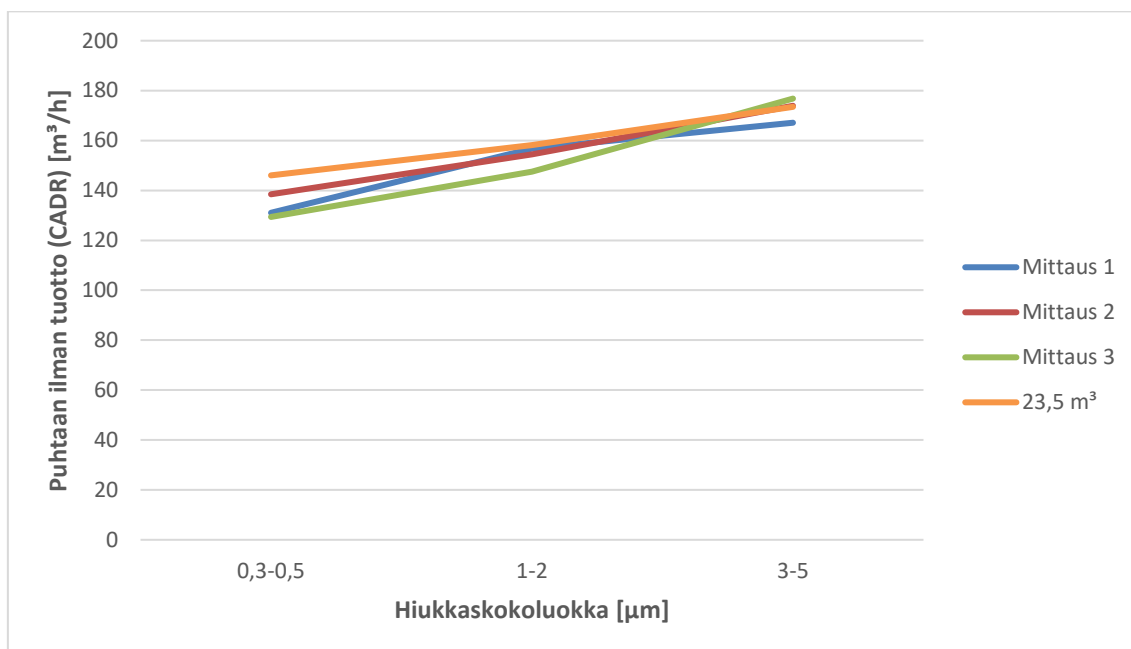
Käyttökytkimen asento	$t$ °C	RH %	$p_a$ kPa	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\Delta p$ Pa	$q_v$ m <sup>3</sup> /h
0 %	22,4	44,4	104,3	1,224	0	<b>176</b>
50 %	22,1	41,4	104,3	1,226	0	<b>240</b>
100 %	22,3	42,9	104,2	1,223	0	<b>318</b>

Kuten taulukosta 5 huomataan, testilaitteen suurin tuottama ilmavirta oli 318 m<sup>3</sup>/h ja pienin 176 m<sup>3</sup>/h. Testiin mahdollisesti vaikuttavat parametrit kuten lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus pysyivät suhteellisen samoina koko testin ajan, joten niiden

aiheuttama virhe voidaan olettaa mitättömäksi. Paine-ero testilaitteen läpi pysyi myösnollassa, minkä johdosta ylimääräistä paine-erosta johtuvaa ilmavirtaa ei muodostu.

## 7.2 Puhtaan ilman tuotto hiukkasille alenemamenetelmällä

Testattavan ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto huoneen alenemamenetelmällä 51,6 m<sup>3</sup> testikammiossa pienimmällä käyttökytkimen asennolla on esitetty kuvassa 16. Testi suoritettiin kolme kertaa, jotta testauksen toistettavuus saatiin todistettua. Kuvassa on myös pienemmässä 23,5 m<sup>3</sup> kammiossa testattu puhtaan ilman tuotto.



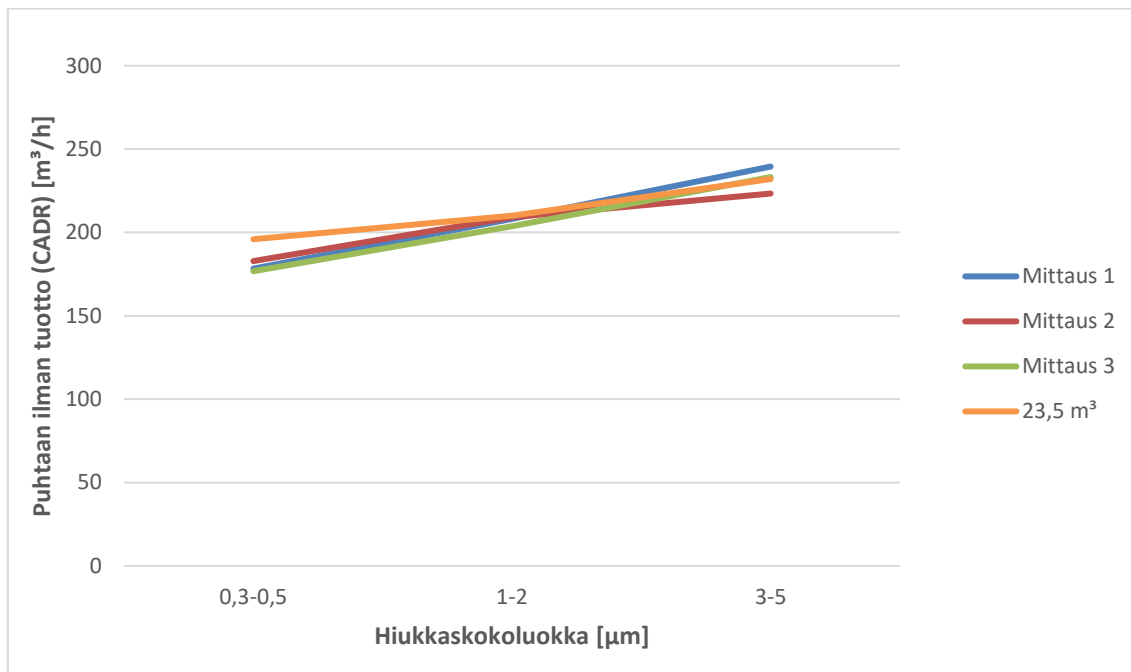
**Kuva 16.** Puhtaan ilman tuoton tulokset testilaitteen pienimmällä käyttökytkimen asennolla. Kuvassa kolme mittausta 51,6 m<sup>3</sup> kammiolla ja yksi mittaus 23,5 m<sup>3</sup> kammiolla.

Kuvasta huomataan, kaikki kolme puhtaan ilman tuoton käyrää isommalla testikammiolla mitattuna ovat hyvin lähellä toisiaan. Jos katsotaan virhe verrattuna näiden kolmen mittauksen keskiarvokäyrään, niin suurin virhe on 4 %. Se on tarpeeksi pieni vaihtelu, jotta voidaan sanoa testauksen olevan toistettavissa. Virheen ollessa pieni, voidaan myös todeta mittausjärjestelyn olevan toimiva niin testikammion, hiukkasten sekoittumisen kuin näytteenotonkin puolesta.

Hiukkaskoolla oli vaikutusta puhtaan ilman tuoton arvoon testatulla ilmanpuhdistimella. Suuremmalla hiukkaskoolla puhtaan ilman tuotto oli suurempi, eli testilaitte puhdisti suurempia hiukkasia selvästi paremmin kuin pieniä hiukkasia. Tämä on järkevää, koska pienemmillä hiukkasilla on parempi kyky tunkeutua ilmanpuhdistimen suodatusmekanismin läpi. Puhtaan ilman tuoton arvot vaihtelivat pienimmällä käyttökytkimen asennolla kaiken kaikkiaan 129–177 m<sup>3</sup>/h riippuen hiukkaskokoalueesta sekä mittauksesta. Taulukon 5 tuloksista huomataan, että testilaitte tuotti pienimmällä käyttökytkimen asennolla 176 m<sup>3</sup>/h ilmavirran. Puhtaan ilman tuotto ei voi olla suurempi kuin laitteen tuottama ilmavirta. Vaikka mitattu puhtaan ilman tuoton arvo 177 m<sup>3</sup>/h on suurempi kuin ilmavirta, voidaan sen olettaa olevan kelpo tulos 4 % virheen puolesta.

Puhtaan ilman tuotto pienemmällä 23,5 m<sup>3</sup> kammiolla olo melko lähellä verrattuna isommalla kammiolla tehtyihin mittauksiin. Pienimmällä hiukkaskoolla pienemmällä kammiolla saatiin 9,8 % parempi tulos, mutta ero tasaantui suurempiin hiukkaskokoluokkiin mentäessä. Kuvan 16 perusteella, testikammion koolla ei näyttäisi olevan suurta merkitystä puhtaan ilman tuoton arvoon, paitsi hiukkaskoolla 0,3–0,5 µm.

Kuvassa 17 on esitetty puhtaan ilman tuoton arvot testilaitteen keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Kuvassa on kolme testaustulosta isommalla testikammiolla ja yksi pienemmällä testikammiolla.

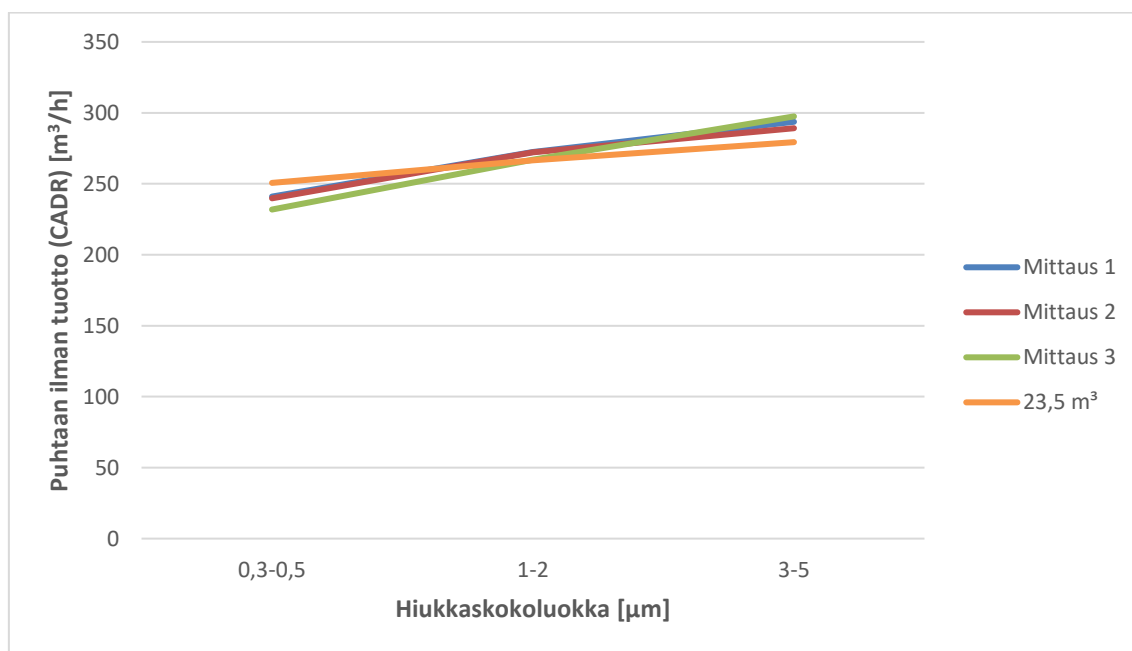


**Kuva 17.** Puhtaan ilman tuoton tulokset testilaitteen keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Kuvassa kolme mittausta 51,6 m<sup>3</sup> kammiolla ja yksi mittaus 23,5 m<sup>3</sup> kammiolla.

Kuvasta huomataan, että puhtaan ilman tuoton arvot isommalla kammiolla olivat lähes identtiset pienimmällä ja keskimmaisella hiukkaskokoalueella. Suurimmalla hiukkaskokoalueella oli pientä eroa mittauksen 1 ja mittauksien 2 ja 3 välillä. Virhe keskiarvokäyrään verrattuna oli kuitenkin siinä kohtaa 4 %. Suurin virhe oli sama kuin testilaitteen pienimmällä käyttökytkimen asennolla ja näin ollen hyvin merkityksetön. Voidaan todeta testauksen olevan toistettava. Puhtaan ilman tuoton käyttäytyminen hiukkaskoon suhteen oli hyvin samankaltainen kuin pienimmällä käyttökytkimen asennolla. Kuvasta huomataan, että puhtaan ilman tuotto kasvoi tasaisesti hiukkaskoon kasvaessa. Puhtaan ilman tuoton arvot vaihtelivat keskimmaisella käyttökytkimen asennolla kaiken kaikkiaan 177–239 m<sup>3</sup>/h riippuen hiukkaskokoalueesta sekä mittauksesta. Taulukon 5 mukaan, testilaitteen tuottama ilmavirta keskimmaisella käyttökytkimen asennolla oli 240 m<sup>3</sup>/h. Mitatut puhtaan ilman tuoton arvot pääsivät melko lähelle sitä suurimmassa hiukkaskokoluokassa.

Pienemmällä 23,5 m<sup>3</sup> testikammiolla tehdyssä testissä puhtaan ilman tuotto pienimmällä hiukkaskoolla erosi hieman isommalla kammiolla saatuun puhtaan ilman tuottoon. Ero hiukkaskokoalueella 0,3–0,5 µm isommalla kammiolla saatuun puhtaan ilman tuoton keskiarvokäyrään oli 9,3 %. Ero oli hieman pienempi keskimmaisella käyttökytkimen asennolla kuin vastaava ero pienimmällä käyttökytkimen asennolla. Keskimmaisella ja suurimmalla hiukkaskokoalueella eroa ei juurikaan ollut testauksien välillä.

Kuvassa 18 on esitetty puhtaan ilman tuoton arvot testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Kuvassa on kolme testaustulosta isommalla testikammiolla ja yksi pienemmällä testikammiolla.



**Kuva 18.** Puhtaan ilman tuoton tulokset testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Kuvassa kolme mittausta 51,6 m<sup>3</sup> kammiolla ja yksi mittaus 23,5 m<sup>3</sup> kammiolla.

Kuvasta huomataan, että puhtaan ilman tuoton arvot isommassa kammiossa kaikilla kolmella mittauksella olivat lähes samat. Virhe keskiarvoon oli suurimmillaan hiukkaskokoalueella 0,3–0,5 µm 2 %. Noin pienellä virheellä voidaan todeta testauksen olevan toistettava myös suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Puhtaan ilman tuotto kasvoi hiukkaskoon kasvaessa myös testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla.

Puhtaan ilman tuoton arvot vaihtelivat kaiken kaikkiaan 231–297 m<sup>3</sup>/h riippuen hiukkaskokoalueesta sekä mittauksesta. Taulukon 5 ilmavirroista huomataan, että testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla laite tuotti 318 m<sup>3</sup>/h ilmavirran. Mitatut puhtaan ilman tuoton arvot eivät aivan yllä ilmavirran tasolle, vaan jäivät hieman alle 300 m<sup>3</sup>/h suurimmalla hiukkaskokoalueella.

Niin ikään pienemmällä 23,5 m<sup>3</sup> testikammiolla tehdyssä testissä puhtaan ilman tuotto pienimmällä hiukkaskoolla erosi hieman isommalla kammiolla saatuun puhtaan ilman tuottoon. Ero isommalla kammiolla saatuun keskiarvoon oli pienempi kuin muilla testilaitteen tehosäädöillä, ollen 5,5 %.

### 7.3 Puhtaan ilman tuotto hiukkasille läpivirtausmenetelmällä

Taulukossa 6 on esitetty tulokset testilaitteen puhtaan ilman tuotolle. Taulukossa on esitetty myös erotusasteet jokaiselle hiukkaskokoluokalle.

**Taulukko 6.** Tulokset puhtaan ilman tuotolle läpivirtausmenetelmällä.

Käyttökytkimen asento	qV m <sup>3</sup> /h	Hiukkaskoot µm	Erotusaste %	CADR m <sup>3</sup> /h
0 %	176	0,3-0,5	95,0 %	<b>167</b>
		1,0-2,0	96,9 %	<b>170</b>
		3,0-5,0	99,2 %	<b>174</b>
50 %	240	0,3-0,5	93,1 %	<b>223</b>
		1,0-2,0	95,4 %	<b>229</b>
		3,0-5,0	97,8 %	<b>235</b>
100 %	318	0,3-0,5	89,3 %	<b>284</b>
		1,0-2,0	92,2 %	<b>293</b>
		3,0-5,0	96,4 %	<b>306</b>

Testatun ilmanpuhdistimen erotusasteet kasvoivat, mitä suurempi hiukkaskoko oli kyseessä. Se tarkoittaa, että puhtaan ilman tuotto oli myös lähempänä laitteen tuottamaa ilmavirtaa suuremmilla hiukkaskokoalueilla. Myös käyttökytkimen asennolla oli huomattava vaikutus testilaitteen erotusasteeseen. Esimerkiksi 0,3 - 0,5 µm kokoluokassa

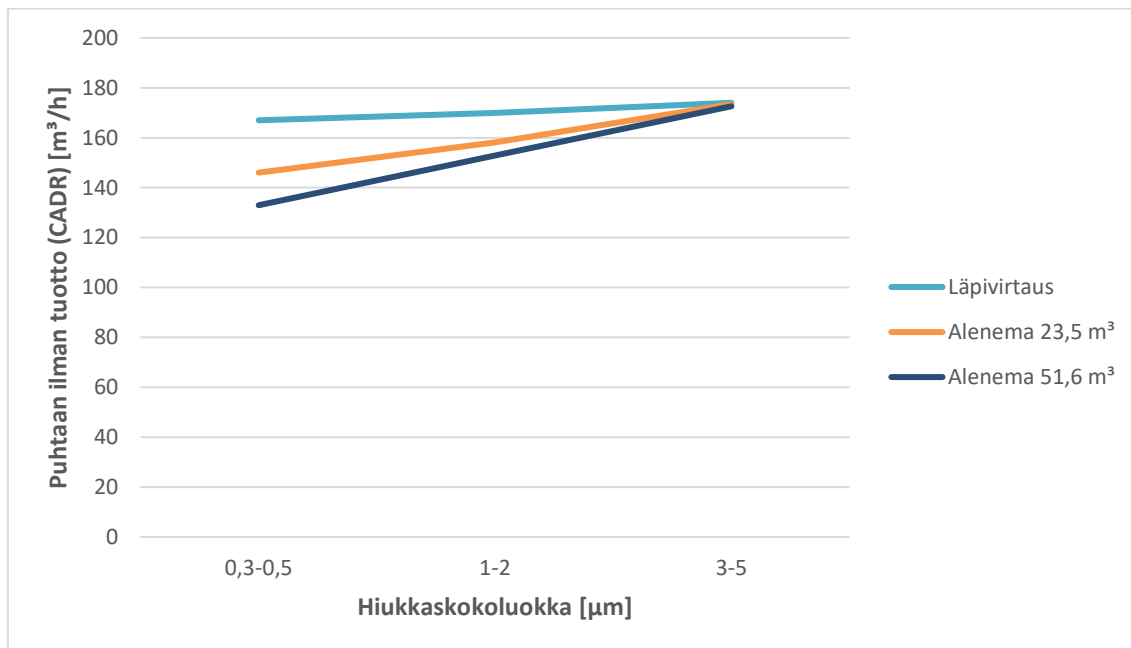
pienimmällä käyttökytkimen asennolla hiukkassuodatus saavutti 95,0 % erotusasteen, kun täydellä teholla erotusaste painui samaisella kokoalueella 89,3 %:iin.

Testilaitteessa ei ole HEPA-suodatinta, vaan ilmanpuhdistimeen tullessa hiukkaset varataan sähköisesti, minkä jälkeen sähköisesti varatut hiukkaset kaapataan ilmasta siihen tarkoitetulla suodattimella. Suuremmilla käyttökytkimen asennoilla laite tuottaa suuremman ilmavirran, minkä takia hiukkaset kyllä varautuvat sähköisesti, mutta eivät jää ohueen suodattimeen kiinni. Vaikka testilaitteen väitetään puhdistavan 99,9 % kaikista yli 0,1 µm hiukkasista, niin aivan tähän ei käytännössä yllätä. Tavallinen HEPA-suodatin suodattaa yli 0,3 µm hiukkaista 99,97 %, mistä jäädyään aika paljon testilaitteen kohdalla. Testilaitteen hiukkassuodatuskykyä voitaisiin parantaa lisäämällä suodatinpinta-alaa, jotta hiukkaset ehtisivät jäädä kiinni suodatukseen suuremmillakin ilmavirroilla. Puhtaan ilman tuoton arvot ovat loogiset, koska suurempia arvoja saatiin isommilla hiukkaskokoalueilla. Isompia hiukkasia on siis helpompi suodattaa kuin pienempiä.

Hiukkassuodatuksen testaus suoritettiin samalla testausjärjestelyllä ilmavirran mittauksen kanssa. Testaus suoritettiin myös heti ilmavirran mittauksen jälkeen, joten taulukossa 5 mitatut ympäristön olosuhteet pätevät myös tässä testauksessa.

#### **7.4 Menetelmien vertailu hiukkastestauksessa**

Kuva 19 havainnollistaa puhtaan ilman tuoton tulosten eroja testilaitteen pienimmällä käyttökytkimen asennolla käytettyjen menetelmien, eli huoneen aleneman 51,6 m<sup>3</sup> ja 23,5 m<sup>3</sup> testikammion sekä läpivirtausmenetelmän välillä. Isomman kammion puhtaan ilman tuotto on kuvassa esitetty kolmen mittauksen keskiarvona selkeyden vuoksi.



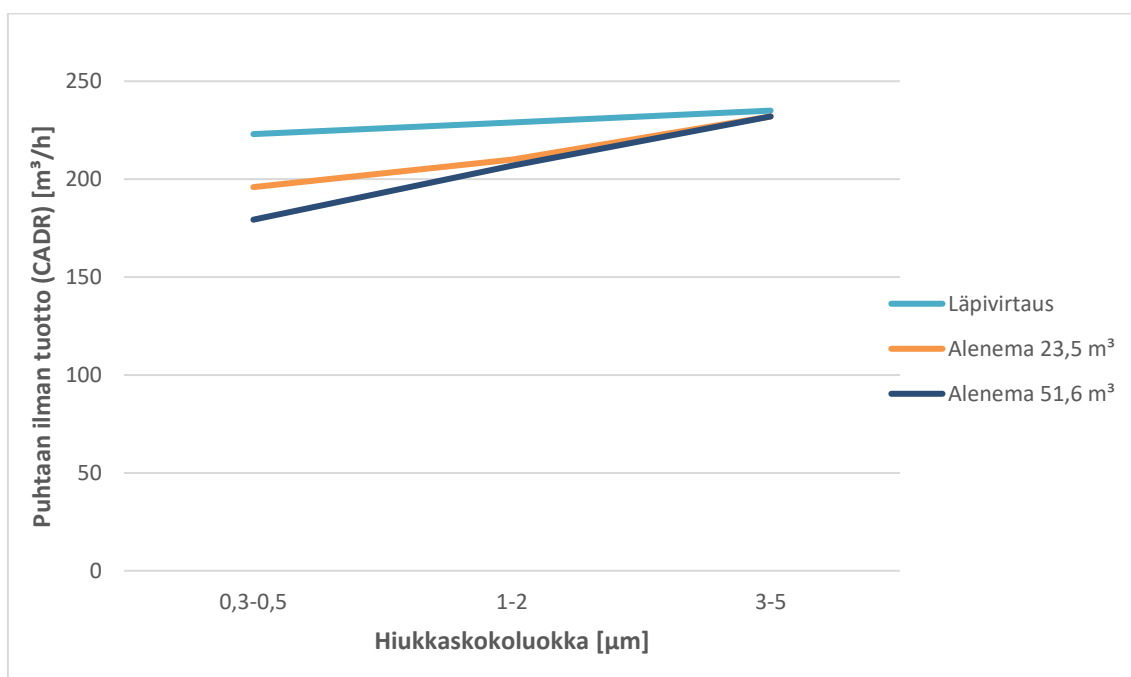
**Kuva 19.** Puhtaan ilman tuoton tulosten vertailu huoneen aleneman ja läpivirtauksen välillä testilaitteen pienimmällä käyttökytkimen asennolla.

Kuvasta huomataan, että puhtaan ilman tuoton arvot erosivat läpivirtausmenetelmän ja huoneen alenemamenetelmän välillä. Eroavaisuutta oli hiukkaskokoluokilla 0,3 - 0,5 µm sekä 1 - 2 µm. Hiukkaskokoluokalla 3 - 5 µm puhtaan ilman tuoton arvot olivat lähes samat riippumatta käytetystä menetelmästä. Eroa 51,6 m³ testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä oli suurimmillaan noin 34 m³/h. Eroa 23,5 m³ testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä oli 21 m³/h. Läpivirtausmenetelmällä saadut tulokset voidaan olettaa kuvaavan testilaitteen oikeaa ja optimaalista suorituskykyä hiukkassuodatuksessa, koska koko virtaus hiukkasineen pakotettiin ilmanpuhdistimen läpi.

Erot alenemamenetelmän ja läpivirtausmenetelmän välillä voivat johtua Liitteessä II esitetyistä 0,3–0,5 µm kokoluokan hiukkaspitoisuuden alenemakäyristä. Kuvasta huomataan, että isommassa 51,6 m³ testikammiossa tehdyillä mittauksilla pienten hiukkasten pitoisuus ei alentunut samalle tasolle kuin pienessä 23,5 m³ testikammiossa tehdyillä mittauksella. Hiukkaspitoisuus jäi isommassa kammiossa vähän alle 300 x/cm³, kun taas pienessä kammiossa hiukkaspitoisuus putosi alle 100 x/cm³. Isossa kammiossa

hiukkasmäärä oli paljon isompi kuin pienessä kammiossa, vaikka hiukkaspitoisuus on sama. Ilmanpuhdistin puhdisti molemmissa tapauksissa hiukkasia yhtä nopeasti, mutta hiukkaspitoisuus putosi hitaammin isossa kammiossa johtuen suuremmasta hiukkasmäärästä. Tämä ero saattoi aiheuttaa eroavaisuuksia puhtaan ilman tuotossa alenemamenetelmien välillä. Myöskään pienemmässä kammiossa tehdyllä mittauksella hiukkaspitoisuus ei ehtinyt alentua lähelle nollaa, mikä voi aiheuttaa sen, että pienen kammion mittaukset eroavat myös läpivirtausmittauksesta.

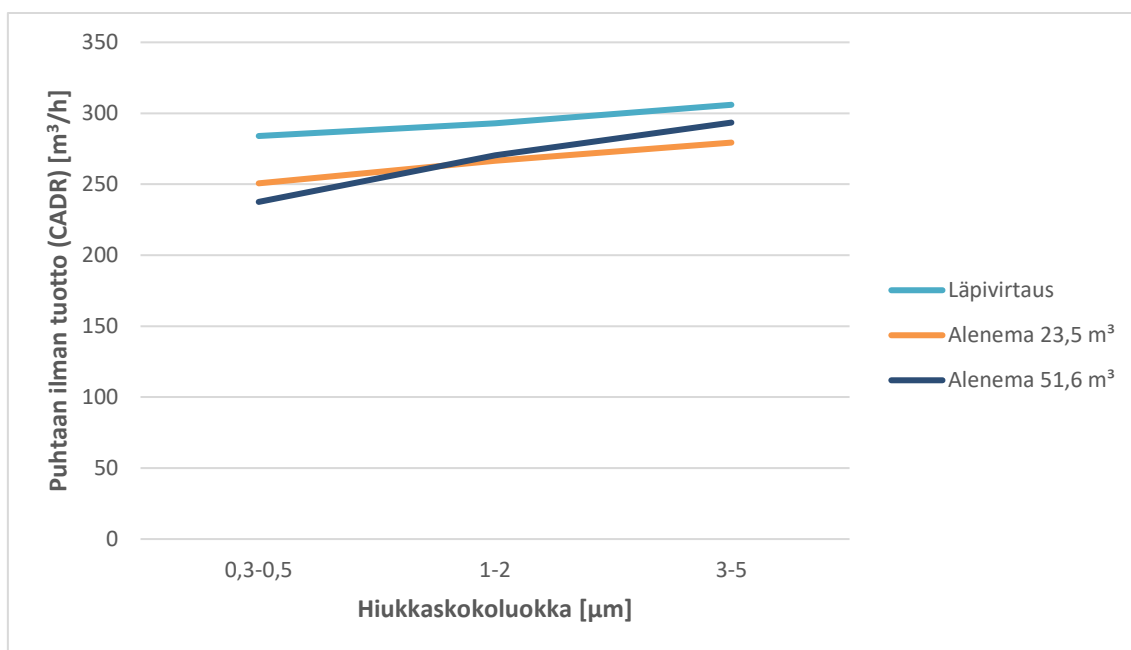
Kuva 20 esittää puhtaan ilman tuoton arvoja hiukkastestauksissa eri menetelmien välillä ilmanpuhdistimen keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Kuten pienimmällä säätöteholla, eroavaisuutta esiintyi 0,3–0,5 µm sekä 1–2 µm kokoluokilla. Eroa isomman testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä oli suurimmillaan noin 44 m<sup>3</sup>/h ja pienemmän testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä 27 m<sup>3</sup>/h. Puhtaan ilman tuoton erot olivat vähän suuremmat kuin testilaitteen pienimmällä tehosäädöllä.



**Kuva 20.** Puhtaan ilman tuoton tulosten vertailu huoneen aleneman ja läpivirtauksen välillä testilaitteen keskimmaisella käyttökytkimen asennolla.

Kuten Liitteen II alenemakäyrien perusteella todettiin, eroavaisuudet eri menetelmillä saatujen tulosten välillä voivat johtua hiukkaspitoisuuden hitaasta alenemasta. Tämä voi olla syynä myös testilaitteen keskimmaisella käyttökytkimen asennolla. Pitoisuuden alenemakäyrät ovat hyvin samankaltaiset tässäkin tapauksessa.

Kuva 21 esittää puhtaan ilman tuoton arvoja hiukkastestauksissa eri menetelmien välillä ilmanpuhdistimen suurimmalla käyttökytkimen asennolla. Toisin kuin muilla tehosäädöillä, eroavaisuuksia menetelmien välillä esiintyi jokaisella hiukkaskokoluokalla. Eroa isomman testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä oli suurimmillaan noin  $46 \text{ m}^3/\text{h}$  ja pienemmän testikammion mittauksen ja läpivirtausmittauksen välillä  $33 \text{ m}^3/\text{h}$ . Suurimmalla tehosäädöllä erot olivat suurimmat menetelmien välillä.



**Kuva 21.** Puhtaan ilman tuoton tulosten vertailu huoneen aleneman ja läpivirtauksen välillä testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla.

Kuten pienimmällä sekä keskimmaisella tehosäädöllä, myös isossa kammiossa tehdyssä mittauksessa hiukkaspitoisuuden alenema pienillä hiukkasilla ei päässyt lähelle nollaa mittauksen aikana. Tästä syystä, puhtaan ilman tuotto isommassa kammiossa oli

pienempi kuin pienessä kammiossa. Kuvasta 22 huomataan, että hiukkaskokoluokalla 1–2 µm puhtaan ilman tuotto oli suurempi isommassa kammiossa tehdyssä mittauksessa kuin pienessä kammiossa. Tämä ero johtui siitä, että testilaitte oli suurimmalla käyttökytkimen asennolla niin tehokas, että se puhdisti isommat hiukkaset liian nopeasti pienessä kammiossa. Hiukkaspitoisuus laski niin nopeasti lähelle nollaa, että ei saatu tarpeeksi montaa mittapistettä laskentaa varten. 3–5 µm kokoluokassa mittapisteitä saatiin juuri ja juuri yhdeksän kappaletta. Tämä hiukkaspitoisuuden nopea lasku laski 23,5 m<sup>3</sup> kammiossa saatuja puhtaan ilman tuoton tuloksia 1–2 µm sekä 3–5 µm hiukkaskokoluokissa. Sitä vastoin isommassa kammiossa tehdyssä mittauksessa, 3–5 µm hiukkasten alenema ylti lähelle nollan, mitä voidaan pitää onnistuneena tuloksen kannalta.

Kuten edellisistä kuvista huomataan, puhtaan ilman tuoton arvot huoneen alenemamenetelmällä olivat pienempiä 0,3–0,5 µm ja 1–2 µm sekä suurimmalla käyttökytkimen asennolla myös 3–5 µm hiukkaskokoluokilla. Eroa saattoi aiheuttaa erilaiset ilmavirtaukset, jotka tapahtuivat alenemamenetelmässä käytettävässä testikammiossa. Koska testikammio oli korkea, ja puhallin sekä testattava ilmanpuhdistin sijaitsivat lattialla, etenkin pienet hiukkaset saattoivat kulkeutua ilmavirran mukana huoneen yläosiin. Suuremmat hiukkaset sitä vastoin eivät kulkeutuneet niin helposti ilmavirran mukana, vaan päätyivät ilmanpuhdistimen läpi menevään virtaukseen. Tästä syystä ilmanpuhdistin ei puhdistanut pelkästään niin sanotusti ”likaista ilmaa”, vaan ilmanpuhdistimen sisääntulossa pieniä hiukkasia olisi jo puhdistettu ilmasta. Se näkyi tuloksissa pienempänä puhtaan ilman tuottona pienillä ja keskisuurilla hiukkasilla.

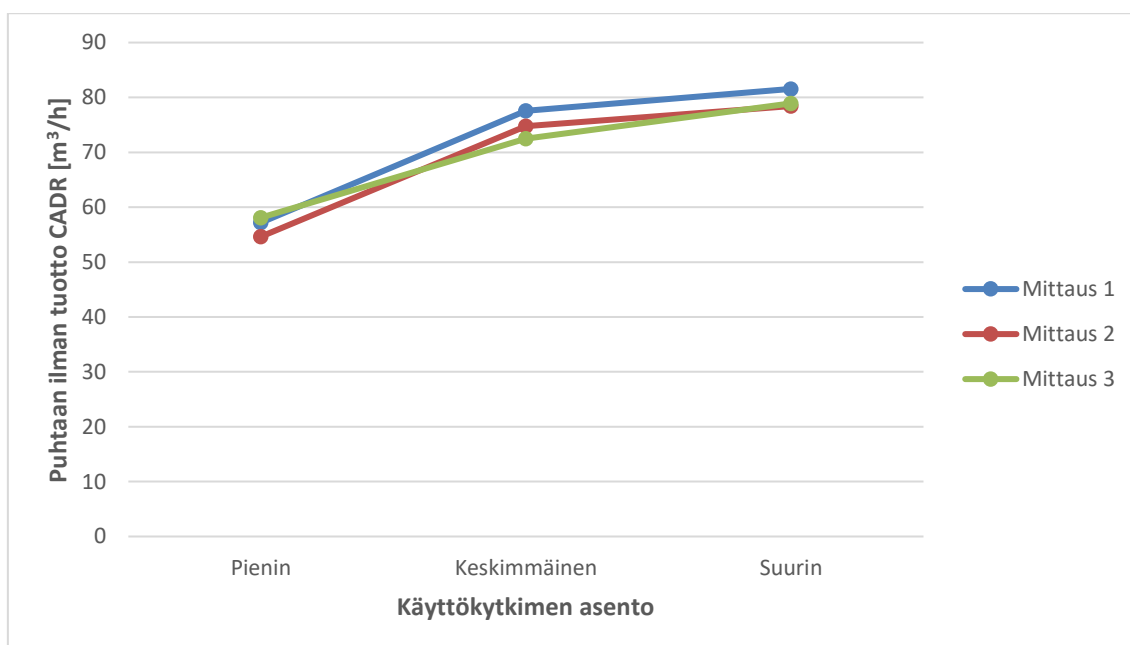
Tässä työssä saatujen hiukkastestausten tulosten perusteella ei voida sanoa, johtuvatko menetelmien erot tulosten osalta mittausjärjestelystä, testikammiosta vai itse ilmanpuhdistimen ominaisuuksista. Alenemamenetelmällä ilmanpuhdistin puhaltaa itse ilmaa lävitseen, mikä vastaa normaalia käyttötarkoituksen mukaista tilannetta. Läpivirtausmenetelmässä kaikki ilma syötetään suoraan ilmanpuhdistimen lävitse, missä toisin sanoen avustetaan sitä, mitä ilmanpuhdistimen pitäisi tehdä itse. Näin ollen, alenemamenetelmän pitäisi vastata enemmän normaalia käyttötarkoituksen mukaista

tilannetta, jossa puhtaan ilman tuotto ei välttämättä vastaa läpivirtaustestauksessa saatuja tuloksia.

Erotusasteeksi huoneen alenemamenetelmällä saatiin huomattavasti pienempiä tuloksia pienillä sekä keskisuurilla hiukkasilla kuin läpivirtausmenetelmällä johtuen pienemmistä CADR-arvoista. Erotusaste ei kuvaa täydellisesti huoneistokohtaisen ilmanpuhdistimen toimintaa huoneessa, koska se ei huomioi ilmanpuhdistimen aiheuttamaa ilman virtausta huoneessa ja kuinka ilma kiertää takaisin ilmanpuhdistimelle.

## 7.5 Puhtaan ilman tuotto kaasuille

Testilaitteen puhtaan ilman tuotto TVOC-yhdisteille kolmella eri käyttökytkimen asennolla on esitettyä kuvassa 22. Kuvassa puhtaan ilman tuoton arvot on esitetty kolmelle eri mittaukselle.



**Kuva 22.** Puhtaan ilman tuotto TVOC-yhdisteitä vastaan ilmanpuhdistimen kolmella eri käyttökytkimen asennolla.

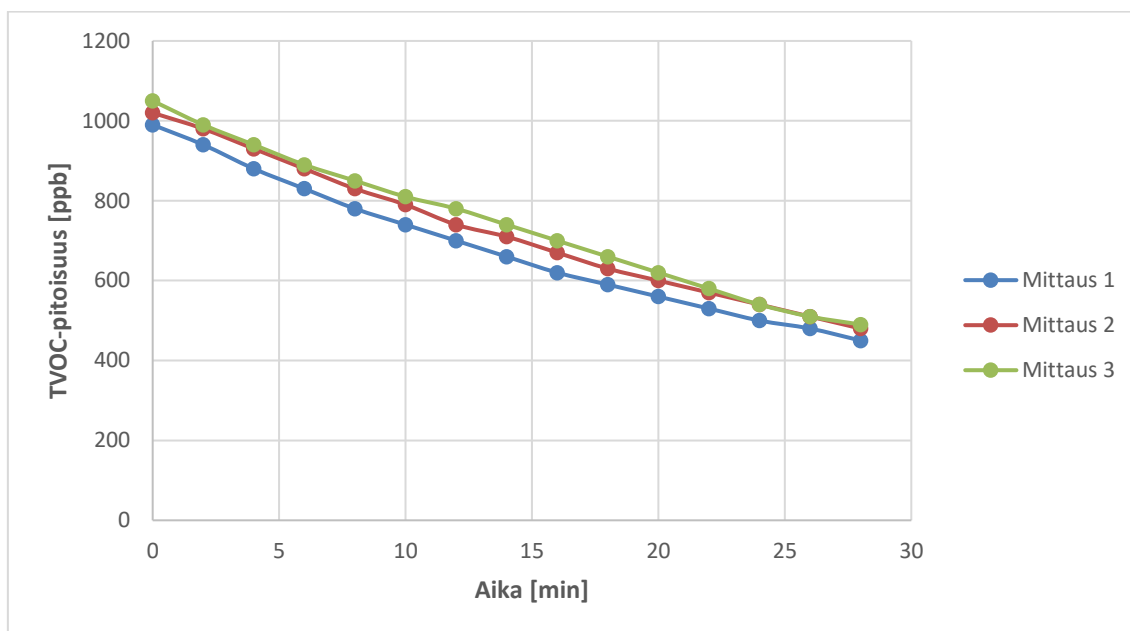
Puhtaan ilman tuoton arvot olivat hyvin samankaltaisia kolmen eri mittauksen välillä. Suurimmillaan ero kolmen mittauksen keskiarvoon oli pienimmällä ja keskimmaisella

käyttökytkimen asennolla molemmilla 4 %. Ero suurimmalla käyttökytkimen asennolla oli suurimmillaan 2 %. Tästä voidaan todeta testauksen olevan toistettava.

Kuvasta huomataan, että puhtaan ilman tuotto kasvoi, mitä suurempaa käyttökytkimen asentoa käytettiin. Se on loogista, koska suuremmalla laitteen tuottamalla ilmavirralla on mahdollista suodattaa myös enemmän kaasua ilmasta. Huomionarvoista oli se, että puhtaan ilman tuoton arvot olivat todella matalat verrattuna laitteen tuottamiin ilmavirtoihin. Testilaitteen TVOC-yhdisteiden puhtaan ilman tuotto oli välillä 55–82 m<sup>3</sup>/h, kun taas laitteen tuottama ilmavirta oli välillä 176–318 m<sup>3</sup>/h. Heikkoa kaasun puhdistuskykyä voi selittää testilaitteen sisällä oleva liian ohut aktiivihiilisuodatin. Ilmavirta kulki liian nopeasti aktiivihiilikerroksen läpi, joten kaasu ei ehtinyt suodattua tarpeeksi. Tämä ongelma voidaan korjata kasvattamalla aktiivihiilikerrosta, mutta se lisää laitteen tehontarvetta ja ääntä puhaltimen pyöriessä kovempaa.

Alhaiset puhtaan ilman tuoton arvot voivat selittyä myös itse mittausmenetelmästä. Mittalaitteen rajallisuuden takia testauksissa mitattiin TVOC-yhdisteitä, mikä tarkoittaa sitä, että ilma sisälsi useita erilaisia VOC-kaasuja. Testauksissa käytettyä tolueenia ei mittalaitteella pystynyt mittaamaan suoraan. Tolueenipitoisuuden alenema saattoi olla suurempi kuin TVOC-alenema, koska ilmanpuhdistimien aktiivihiilisuodatin yleensä tehdään puhdistamaan juuri tolueenia sekä muita yleisimpiä VOC-yhdisteitä. Testikammion ilmassa olleet muut kaasut saattoivat suodattua heikommin ilmanpuhdistimen aktiivihiilisuodattimeen, mikä heikensi puhtaan ilman tuoton tulosta.

TVOC-pitoisuuden alenema testilaitteen suurimmalla käyttökytkimen asennolla on esitetty kuvassa 23. Kuvasta huomataan, että pitoisuus jäi vähän päälle 400 ppb puolen tunnin mittauksen aikana. Arvo on aika korkea siihen nähden, että alkupitoisuus oli vähän päälle 1000 ppb. TVOC-pitoisuus laski siis mittauksien aikana noin 600 ppb.



**Kuva 23.** TVOC-pitoisuuden alenema kolmen eri mittauksen aikana.

Suhteellisen pieniä puhtaan ilman tuoton arvoja voi selittää se, että TVOC-pitoisuus ei ehtinyt laskea tarpeeksi matalalle tasolle mittauksen aikana. Jos mittauksia olisi jatkettu esimerkiksi siihen asti, kunnes pitoisuuden lasku olisi tasoittunut tai päässyt lähelle nollaa, se olisi lisännyt mittapisteiden määrää ja voisi siten antaa tarkemman tuloksen puhtaan ilman tuotolle.

## 7.6 Äänitehotaso

Testilaitteen mitatut A-painotetut äänitehotasot ovat esillä taulukossa 7. Mittaustuloksessa käytetään A-painotusta, koska se vastaa ihmisen keskimääräisesti kuulemaa taajuusvastetta. Äänitehotason mittaus testilaitteelle oli suoritettu jo ennen tämän työn tekoa, joten mittaus on suoritettu vain keskimmaiselle ja suurimmalle käyttökytkimen asennolle.

**Taulukko 7.** Mitatut A-äänitehotasot testilaitteen kahdella säätöasennolla.

Säätöasento	A-äänitehotaso [dB(A)]
50 %	48,4
100 %	51,8

Taulukosta huomataan, että testilaitteen A-painotetut äänitehotasot kasvoivat säätöasennon kasvaessa. Äänitehotasot vaihtelivat välillä 48,4–51,8 dB(A), joten äänitehon kasvu oli hyvin pientä säätöasentojen välillä. Ero äänitehotasojen välillä johtui ilmanpuhdistimen puhaltimen nopeuden kasvusta suuremmilla säätöasennolla. Ääntä saattoi myös muodostua suuremman ilmavirran seurauksena.

Mitatut äänitehotasot kuvaavat testilaitteen ympäristöönsä säteilemää äänitehoa ja äänitehotasot ovat itse laitteen ominaisuus. Ihminen aistii äänenpainetasoa, joka riippuu etäisyydestä äänilähteeseen, ympäristön melunvaimennusominaisuuksista sekä laitteen äänitehotasosta. Koska äänen vaimeneminen on ihmisen kuulemassa äänenpainetasossa otettu huomioon, se on yleensä alhaisempi kuin äänitehotaso. Äänenpainetasoa ei tässä testauksessa laskettu, vaan se täytyy määrittää käyttöympäristön mukaan.

## 7.7 Sähkötehon tarve ja energiatehokkuus

Taulukossa 8 on esitetty testatun ilmanpuhdistimen sähkötehon tarve ja energiatehokkuus. Sähkötehon tarvetta ei ole mitattu pienimmälle käyttökytkimen asennolle, koska mittaukset oli suoritettu jo ennen tämän työn tekoa.

**Taulukko 8.** Mitatut sähkötehot testilaitteen kahdella säätöasennolla sekä energiatehokkuus laskettuna suurimmalla säätöasennolla.

Säätöasento	Sähköteho [W]	Energiatehokkuus hiukkaset [m <sup>3</sup> /h/W]	Energiatehokkuus TVOC [m <sup>3</sup> /h/W]
50 %	9,0	-	-
100 %	11,5	20,6	7,1

Taulukosta huomataan, että keskimmäisen ja suurimman säätöasennon välillä oli 2,5 W. Sähkötehon tarve kasvoi isommalla säätöasennolla, koska ilmanpuhdistimen puhallin puhalsi enemmän ilmaa ilmanpuhdistimen läpi. Sähkön spot-hinta työn tekohetkellä oli 7,2 snt/kWh (NordPool 2022). Jos ilmanpuhdistinta käytettäisiin täydellä teholla kuusi tuntia tällä sähkön hinnalla, sen käytön hinnaksi tulisi 0,5 senttiä.

Kuten taulukossa on esitetty, energiatehokkuus laskettiin vain suurimmalle säätöasennolle. Laskentaan käytettiin pienintä puhtaan ilman tuoton arvoa suurimmalla säätöasennolla niin hiukkasille, kuin kaasuillekin. Hiukkastestauksessa pienin puhtaan ilman tuoton arvo oli 0,3–0,5 µm kokoalueella. Esimerkkilasku hiukkassuodatuksen energiatehokkuudelle yhtälön 1 mukaisesti on laskettu seuraavasti:

$$\text{Energiatehokkuus} = \frac{238 \text{ m}^3/\text{h}}{11,5 \text{ W}} = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{W}.$$

Mitä suurempi energiatehokkuuden arvo on, sitä parempi ilmanpuhdistimen energiatehokkuus on. Kuluttajatuotteiden energiatehokkuuden standardiohjelma Energy Star on listannut eri ilmanpuhdistimien energiatehokkuuksia. Energiatehokkuuden arvolla 20,6 m<sup>3</sup>/h/W tässä työssä testattu ilmanpuhdistin sijoittuisi listalla kärkisijoille. (Energy Star 2022)

## **8 TESTAUSPALVELUKOKONAISUUDEN ARVIOINTI**

Tässä kappaleessa testauspalvelua on arvioitu kokonaisuutena testauspalvelun tarpeen sekä testausmenetelmien osalta. Asioita tarkastellaan siitä näkökulmasta, miten saataisiin paras mahdollinen testauspaketti tarjottua asiakkaille. Tästä syystä, myös kehityskohteet testauksessa tulevaisuutta ajatellen on käyty läpi. Palvelun hinnoitteluun ei oteta tämän työn osalta kantaa.

### **8.1 Testauspalvelun tarve**

Kolmannen osapuolen testaus on tärkeää niin loppukuluttajan, kilpailuttajan, laitevalmistajan sekä maahantuojan kannalta huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien alalla. Ilmanpuhdistimien kilpailutuksissa ostajalle tulee varmuus laitteiden toimivuudesta, koska ne on testattu riippumattoman tahon toimesta. Myös laitevalmistaja tai maahantuoja hyötyy riippumattomista testaustuloksista. Tällä hetkellä Suomessa puuttuu tarjonta kolmannen osapuolen ilmanpuhdistimien testauspalvelusta.

Suomessa on tällä hetkellä pari ilmanpuhdistinvalmistajaa sekä muutama maahantuoja. Muutaman laitevalmistajan ja maahantuojan kanssa käytyjen epävirallisten keskustelujen perusteella voidaan todeta, että suurin tarve tällä hetkellä olisi enemmän kanavailmanpuhdistimien kuin huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien testaukselle. Kanavailmanpuhdistimet testataan yleisesti läpivirtausmenetelmällä, johon tässä työssäkin läpi käyty läpivirtausmenetelmä soveltuu, mutta ne on jätetty tämän työn aihealueesta pois. Monet suomalaiset laitevalmistajat ovat vielä pieniä, joilla on yksi tai kaksi laitetta valikoimissa. Huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien ala on kasvamassa, joten näillä pienillä suomalaisilla yrityksillä voi olla kasvava kysyntä testauspalvelulle tulevaisuudessa.

Laittevalmistajahaastatteluiden pohjalta voidaan todeta, että suurin tarve testauspalvelulle on puhtaan ilman tuoton eli CADR-arvon määrittämiselle hiukkasia, VOC-yhdisteitä sekä viruksia ja mikrobeja vastaan. Tässä työssä kehitetty testausmenetelmä on suunniteltu nimenomaan hiukkas- ja VOC-testaukselle, mutta virukset ja mikrobit jätettiin pois

resurssien puutteen vuoksi. Ilmanpuhdistimen äänimittaus, kokonaisilmavirran mittaus sekä sivuaineiden tuoton testaukset kiinnostavat myös haastateltuja tahoja. Ilmanpuhdistimien tuottama ääni on varsinkin kuluttajalle jopa tärkein kriteeri ilmanpuhdistinta valittaessa, ja senkin testaukselle on palvelun tarjonnassa täydelliset valmiudet. Ilmavirran mittaukselle on yrityksellä myös täydelliset puitteet, mutta sivuaineiden tuoton testaukset esimerkiksi otsonille vaativat vielä jatkokehittelyä.

## **8.2 Testausmenetelmän toimivuus**

Testausmenetelmiä kuvaillaan eri standardeissa eri tavalla. Yhtenäistä kansainvälistä testistandardia ei ole kehitetty. Tässä työssä kehitelty huoneen alenemamenetelmä on tehty standardin ANSI-AHAM-AC-1-2020 pohjalta, koska testauksen käytettävyys ja laskentamenetelmien kuvaus vastasi tämän työn tarpeita. Menetelmää täytyi muokata vastaamaan testauspalvelun tarpeet sekä ottamaan huomioon rajalliset testausmahdollisuudet.

Huoneen alenemamenetelmä soveltuu hyvin huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn testaukseen. Menetelmä sopii kaikennäköisille ja kaiken mallisille ilmanpuhdistimille. Koska ulkonäkö on ilmanpuhdistimissa yksi ostoperuste, markkinoilla olevat ilmanpuhdistimet ovat hyvin esteettisiä. Niissä ilman sisäänmeno- ja ulostuloaukkojen paikat ja suunnat vaihtelevat merkittävästi. Alenemamenetelmällä testattaessa se ei haittaa, koska ilmanpuhdistin asetetaan riippuen käyttötarkoituksesta joko lattialle tai seinälle. Läpivirtausmenetelmällä testattaessa vaikeuksia voi tuottaa ilmanpuhdistimen muoto, koska jokaiselle laitteelle on tehtävä oma välikappale, joka mahdollistaa paine-eron nolla ilman sisäänmenon ja ulostulon välillä.

Tässä työssä kehitetty testausmenetelmä on sovellettavissa testaustarpeiden mukaan. Testauksissa käytetyt hiukkaskokoalueet on valittu sillä perusteella, että ne sisältävät hiukkasia eri PM-kokoalueilta sekä osan tunkeutuvimmasta hiukkaskoosta (MPPS). Hiukkaskokoalueet ovat myös Euroopan ainoassa sertifiointiohjelmassa, eli Euroventin sertifiointiohjelmassa mukana. Laitevalmistajahaastattelussa ilmi tullut toive, että

hiukkaskokoalue ylettyisi 0,1  $\mu\text{m}$  hiukkasiin asti, on myös toteutettavissa menetelmän puitteissa. Se vaatisi tällä hetkellä vain eri hiukkaslaskurin mittausta varten.

Testausmenetelmä on sovellettavissa myös kaasutestauksen osalta. Testikammioon voi höyrystää käytännössä mitä vain kaasua testausta varten terveys- ja suojautumisvaatimukset mukaan huomioiden. Monet tällä hetkellä osissa standardeissakin testattavat kaasut kuten formaldehydi, asetoni, asetaldehydi sekä heptaani ovat testattavissa samalla menetelmällä kuin tolueenikin tässä työssä.

Testausmenetelmää voidaan myös soveltaa erikokoisiin kammioihin. Jos tulevaisuudessa tulee tarve testata ilmanpuhdistimia jossain toisessa testikammiossa, samankaltaista testausjärjestelyä sekä laskentatapaa voidaan hyödyntää myös siinä. Testiaikaa voi joutua muuttamaan testikammion mukaan, jotta pitoisuuden alenema saataisiin testin lopussa mahdollisimman alhaiseksi. Liian tehokkaita ilmanpuhdistimia ei voida myöskään testata liian pienessä kammiossa, koska tällöin testiainepitoisuuden alenema on niin nopeaa, että mittapisteiden määrä ei riitä luotettavaan laskentaan.

Tässä työssä tehdyn testauksen perusteella voidaan todeta, että alenemamenetelmällä puhtaan ilman tuoton tulokset ovat hieman alhaisemmat hiukkastestauksessa kuin läpivirtausmenetelmällä. Tulokset eroavat pääasiassa 0,3-0,5  $\mu\text{m}$  sekä 1-2  $\mu\text{m}$  hiukkaskokoluokilla. Testikammion koolla oli myös vaikutusta. Isossa kammiossa puhtaan ilman tuotto oli alhaisempi kuin pienennetyssä kammiossa. Syynä voi olla testikammion korkeus, mikä todettiin aikaisemmin tässä työssä. Hiukkaspitoisuuden hitaampi alenema isommassa kammiossa saattoi aiheuttaa myös eroavaisuutta tuloksissa. Itse menetelmä on silti pätevä, koska tulosten eroavaisuudet johtuvat mahdollisesti testikammioista itsestään eivätkä käytetystä menetelmästä.

Käytetyt mittalaitteet hiukkastestauksessa ovat huippuluokkaa ja ovat soveltuvia testeihin myös jatkossa. Käytetty hiukkasgeneraattori kykenee tuottamaan alle 0,3  $\mu\text{m}$  hiukkasia, mutta ainoastaan mittalaite ei kykene mittaamaan alle 0,3  $\mu\text{m}$  hiukkasia. Kaasutestauksessa laitevalmistajien toive sekä yleisesti standardeissa käytetty tapa olisi mitata tiettyjä kaasuja eikä pelkästään TVOC-yhdisteitä. Tässä työssä käytetty TVOC-

mittari ei siihen kykene. Kyseinen mittari ei myöskään ole kaikista tarkimpia mittalaitteita laboratoriotestejä varten, joten se saattoi aiheuttaa virhettä tuloksissa.

### **8.3 Kehityskohteet testauksessa**

Tässä työssä kehitetty testausmenetelmä on jo itsessään valmis tarjottavaksi palveluna, mutta muutamia taulukossa 9 kiteytettyjä kehityskohteita vielä löytyy, jotta testausmenetelmä vastaisi mahdollisimman laajasti asiakkaiden toiveita ja tarpeita. Yksi asia, mikä helpottaisi testauksen tekemistä ja yksinkertaistaisi testausjärjestelyä on ilmanpuhdistimien testaukseen tarkoitettun testikammion rakentaminen. Testikammio olisi hyvä rakentaa jonkin uuden standardin mukaisesti, jotta rakennettua kammiota voitaisiin käyttää mahdollisimman pitkään. Kammion rakentamisen aika voisi olla hyvä silloin, jos uusi kansainvälinen standardi julkaistaisiin. Ilmanpuhdistimille tarkoitettussa testikammiossa, ilman kierto ja puhdistus, testiaineen syöttöön tarkoitettut laitteet, mittalaitteet sekä anturit voitaisiin asentaa pysyvästi paikoilleen. Tämä säästäisi paljon aikaa testauksessa ja testaus voitaisiin joka kerralla tehdä helposti ja onnistuneesti.

Mittalaitteiden osalta kehitettävää olisi hiukkastestauksessa pienempien kuin  $0,3 \mu\text{m}$  hiukkasten mittauksen sekä eri kaasujen mittausten osalta. Hiukkaslaskurin olisi hyvä pystyä mittaamaan hiukkasia  $0,1 \mu\text{m}$  asti, koska siihen suuntaan testaustarpeet ovat kehitymässä. Kaasutestausten osalta tarkan mittalaitteen, kuten PID-mittarin (photoionization detector) hankkiminen olisi suotavaa. PID-mittarilla eri kaasujen mittaaminen onnistuu helposti ja tiedonkeruu on automaattista. Automaattisen tiedonkeruun myötä mittauksen kesto VOC-testeissä voitaisiin jatkaa esimerkiksi tuntiin. Hiukkaslaskurin sekä tarkan kaasupitoisuuden mittarin hankkiminen vaativat investointeja, koska kyseiset laitteet ovat kalliita.

Mahdollisuutta ilmanpuhdistimien puhdistuskyvyn testaukselle mikrobeja, viruksia sekä hometta vastaan olisi syytä tarkastella tulevaisuudessa. Se on kasvava suuntaus ilmanpuhdistimissa, jota koronavirus pandemia kiihdytti. Huoneistokohtaisia ilmanpuhdistimia hankitaan yhä enemmän sairaaloiden aulatiloihin ja muihin tiloihin,

missä käy mahdollisesti tauteja levittäviä ihmisiä. Suomessa, eikä myöskään montaa ulkomailla, ole testauslaboratoriota ilmanpuhdistimien mikrobi-, sieni- tai virussuodatuskyvylle.

Ilmanpuhdistimien mukavuus- sekä turvallisuustekijät nousivat myös esille laitevalmistajahaastatteluissa. Vedon tunne on yksi tärkeistä mukavuustekijöistä. Sitä olisi mahdollista testata määrittämällä puhallusilman heittokuvio ja kuinka kaukana ilmanpuhdistimesta sen aiheuttaman ilmavirran huomaa tilassa oleskeltaessa. Turvallisuustekijänä sivuaineiden tuotto on myös yksi huomioitava asia, kun mietitään ilmanpuhdistimien kriteerejä. Etenkin UV-säteilyä hyödyntävät ilmanpuhdistimet saattavat tuottaa haitallisen määrän otsonia huoneilmaan, joten niiden testaus olisi tärkeää. Otsonin mittaus vaatisi siihen tarkoitetun mittalaitteen, sekä sopivan testikammion, johon otsonia voitaisiin syöttää turvallisesti. Koska Suomessa ei otsonipäästöjen testaukselle ole juurikaan testikammioita, se olisi hyvä lisä testauspalvelukokonaisuuteen.

Testaukseen käytetyt ajan optimointi on tärkeää, koska sillä säästettäisiin rahaa sekä voitaisiin mahdollisesti tarjota testauspalvelua halvemmalla asiakkaille. Tässä työssä selitetty testauksen kulku helpottaa ja nopeuttaa testaajan työtä, koska työvaiheiden pohtimiseen ei mene turhaa aikaa. Ajan käyttöä voitaisiin optimoida tiedonkeruun sekä laskennan osalta. Tiedonkeruu varsinkin kaasutestauksessa pitäisi automatisoida, jotta testaaja voisi samaan aikaan esimerkiksi käsitellä tuloksia. Tämä säästäisi aikaa ja helpottaisi työtä. Myös tiedonkeruun yhdistäminen Excel-laskentataulukon, jossa laskenta tapahtuisi automaattisesti, vähentäisi paljon laskentaan käytettyä aikaa.

**Taulukko 9.** Tämänhetkinen testauspalvelukokonaisuus huoneistokohtaisille ilmanpuhdistimille sekä kehityskohteet tulevaisuutta ajatellen.

<b>Testauspalvelukokonaisuus tällä hetkellä</b>	<b>Kehityskohteita</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CADR-testaus huoneen alenemamenetelmällä: hiukkaset 0,3 µm ylöspäin sekä TVOC-yhdisteet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CADR hiukkasille 0,1 µm asti sekä kaasutestaus, jossa CADR voitaisiin määrittää yksittäisille kaasuille</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilmavirran mittaus ISO 5167-1 ja 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CADR mikrobeille, viruksille sekä sienille</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Äänitehotason mittaus ISO 3741</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sivuaineiden tuoton mittaus</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sähkötehon mittaus sekä energiatehokkuuden laskenta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testikammion rakentaminen ilmanpuhdistintestauksen tarpeisiin</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testausmenetelmää voidaan soveltaa erikokoisille testikammioille, eri hiukkaskokoluokille sekä eri kaasuille</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittalaitteiden hankinta kaasutestaukseen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Läpivirtausmenetelmällä testaaminen onnistuu tarvittaessa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testauksen automatisointi tiedonkeruun ja laskennan osalta</li> </ul>

## 9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä diplomityö loi onnistuneesti pohjaa testauspalvelukokonaisuuden kehittämiseksi, selvittäen ilmanpuhdistimien testauksen nykytilanteen sekä määrittelemällä testausmenetelmän liitettäväksi osaksi testauspalvelua. Diplomityön tavoitteena oli selvittää yritykselle Eurofins Expert Services Oy, voidaanko laboratoriomittauksilla selvittää huoneistokohtaisten ilmanpuhdistimien todellinen suorituskyky. Tavoitteena oli myös kehittää ilmanpuhdistimien testausmenetelmä, jota voitaisiin käyttää osana myytävää testauspalvelua. Diplomityöhön kuului kirjallinen katsaus sisäilman epäpuhtauksista, ilmanpuhdistimien vaatimuksista puhdistaa sisäilmaa sekä tutkimusta nykyisin käytössä olevista ilmanpuhdistimien testistandardeista. Työn käytännön vaiheeseen kuului laitevalmistajien haastattelu, testaussuureiden ja menetelmien määrittäminen sekä laboratoriotutkimuksia eri testimenetelmillä.

Diplomityössä toteutetut laboratoriomittaukset suoritettiin Eurofins Expert Service Oy:n laboratoriossa Espoossa. Laboratoriossa tehtyjen testien tulokset esiteltiin ja eri käytettyjä menetelmiä vertailtiin. Työssä määriteltiin tarkasti testauksien kulku sekä kuvailtiin käytetyt mittalaitteet ja välineet. Saatuja tuloksia tarkasteltiin kriittisesti siltä kannalta, että voidaanko käytettyjä menetelmiä hyödyntää osana testauspalvelua. Lopuksi testauspalvelukokonaisuutta arvioitiin testaustarpeen ja käytettyjen menetelmien soveltuvuuden näkökulmasta.

Tässä työssä saatujen tulosten perustella voidaan todeta huoneen alenemamenetelmän soveltuvan ilmanpuhdistimien testaukseen. Isommalla testikammioilla saatiin vähän pienempiä tuloksia puhtaan ilman tuotolle kuin pienemmällä testikammioilla. Ilmanpuhdistimien ilmavirtojen kasvaessa tulevaisuudessa, pienemmät testikammiot jäävät auttamatta liian pieneksi ja isompia testikammioita tarvitaan oikeiden tulosten saavuttamiseksi. Yhä laajalti käytetyllä läpivirtausmenetelmällä puhtaan ilman tuotoksi saatiin alenemamenetelmää paremmat tulokset. Se ei tarkoita läpivirtausmenetelmän olevan parempi testimenetelmä, koska se on kehitetty nimenomaan yleisilmanvaihdon suodattimien testaukseen eikä ilmanpuhdistimien testaukseen. Alenemamenetelmällä

saadaan todenmukaisemmat tulokset ilmanpuhdistimien suorituskyvystä, koska siinä on mukana tekijöitä kuten ohivirtaus ja ilmanpuhdistimen omat ilmaa kierrättävät ominaisuudet. Se, että huoneistokohtaiset ilmanpuhdistimet testataan oikeasti testihuoneessa saaden todenmukaiset tulokset sisäilman epäpuhtauksien puhdistuskyvystä on hyvä asia niin kuluttajalle, kilpailuttajalle ja laitevalmistajalle.

Haasteita testausmenetelmän käytettävyyteen tuovat muuttuvat testaustarpeet. Asiakkailta on vaihtelevat tarpeet testata ilmanpuhdistimien eri suoritusarvoja riippuen kilpailutuksista tai loppukuluttajan toiveista. Hiukkasten puhdistuskyvyn testauksessa tarve testata eri hiukkaskokoluokilla vaihtelee paljon. Välillä on tarve testata pienemmillä hiukkasilla, mitä käytössä olevat laitteet kykenevät mittaamaan. Kaasujen puhdistuskyvyn testauksessa tarpeet vaihtelevat testattavissa kaasuissa. Kaasutestausta halutaan yleensä tehtävän jollain tietyllä kaasulla tai kaasuseoksella. Vaihtelevat testaustarpeet aiheuttaa se, että yhtenäistä testistandardia ei ole olemassa ja kilpailuttajat tai kuluttajat eivät tiedä mitä todellisuudessa vaatia ilmanpuhdistimilta.

Ilmanpuhdistin-ala on murroksen keskellä. Markkinoilla olevat ilmanpuhdistimet testataan pääosin ulkomailla tai niitä ei testata ollenkaan. Testimenetelmät vaihtelevat ja alan asiantuntijoillakin on vaikeaa ymmärtää mitä ilmanpuhdistimilta halutaan. Tässä diplomityössä suoritetun tutkimuksen perusteella voidaankin todeta huonekohtaisten ilmanpuhdistimien alan tarvitsevan yhtenäisen testausstandardin, joka määrittelee vaatimukset ilmanpuhdistimille sekä testausmenetelmät. Tämä helpottaisi ilmanpuhdistimien laitevalmistajien, kilpailuttajien sekä kuluttajien työtä kehittää tai löytää oikeanlainen ilmanpuhdistin oikeaan kohteeseen.

## LÄHDELUETTELO

AFSHARI ALIREZA and SEPPÄNEN OLLI, 2021. Effect of Portable Air Cleaners on Indoor Air Quality: Particle Removal from Indoor Air. *REHVA Journal*, 02(2021), pp. 29-36.

ANSI/AHAM, 2020. Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners. ANSI/AHAM AC-1-2020. pp. 59.

ASHRAE, 2021. ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning. pp. 26.

ASTMA- OCH ALLERGIFÖRBUNDET, 2020. Criteria for recommendation of Air Purifier. pp. 8.

AYOKO, G.A. and WANG, H., 2018. Volatile Organic Compounds in Indoor Environments. In: P. PLUSCHKE and H. SCHLEIBINGER, eds, *Indoor Air Pollution*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 69-107.

BLUYSSSEN, P.M., ORTIZ, M. and ZHANG, D., 2021. The effect of a mobile HEPA filter system on ‘infectious’ aerosols, sound and air velocity in the SenseLab. *Building and Environment*, 188, pp. 107.

BROCHOT, C., BAHLOUL, A., ABDOLGHADER, P. and HAGHIGHAT, F., 2019. Performance of mechanical filters used in general ventilation against nanoparticles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 609, pp. 032044.

DEGALLAIX, M., 2017. Certified performances for air cleaners. *Rehva Journal*, pp. 49-51

ECC, 2021, ACL - Eurovent air cleaners. Available: <https://www.eurovent-certification.com/en/third-party-certification/certification-programmes/acl>.

ENERGIATEHOKAS KOTI, 2020-last update, Ilmanvaihto. Available: [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/ilmanvaihto](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto).

ENERGY STAR, 2022-last update, ENERGY STAR Certified Air Purifiers (Cleaners). Available: <https://www.energystar.gov/productfinder/product/certified-room-air-cleaners/results>.

EPA, 2018. Residential Air Cleaners - A Technical Summary, 3rd Edition. pp. 12-16.

EPA, 2014-last update, Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. Available: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>.

EUROVENT, 2018. Ilmansuodattimien EN ISO 16890-luokituksen mukaisen suodatinluokan valinta yleisilmanvaihdon sovelluksiin. 4/23, pp. 2-8.

FINLEX, 2015. *Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.*

GINESTET, A., 2012. Development and evaluation of a new test method for portable air cleaners. *Air Infiltration and Ventilation Centre: Contributed Report 15*, pp. 5-20.

HENGITYSLIIITTO, Sisäilman epäpuhtaudet ja hajut. Available: <https://www.hengityслиitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-epapuhtaudet-ja-hajut/>.

HSY, 2021-last update, Ilmanlaadun haasteet nyt ja tulevaisuudessa | HSY. Available: <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/ilmanlaadun-haasteet-nyt-ja-tulevaisuudessa/>.

ILMATIETEEN LAITOS, 2021-last update, WHO:n tiukentuneet ilmanlaatusuosituksen asettavat Suomellekin uusia haasteita. Available: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/5Vp8JK0Vd9XFT725Hg2Gv9>.

KOPONEN, P., BORODULIN, K., LUNDQVIST, A., SÄÄKSJÄRVI, K. and KOSKINEN, S., 2018. Terveys, toimintakyky ja hyvinvointi Suomessa: FinTerveys 2017-tutkimus . 4/18, pp. 90-91.

LAMPI, J., HYVÄRINEN, A., ERHOLA, M., HAAHTELA, T., HAUKIPURO, K., HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U., JALKANEN, K., KARVALA, K., LAPPALAINEN, S., REIJULA, K., RÄMÖ, H., SAINIO, M., SALMELA, A., SALMINEN, M., VASANKARI, T. and PEKKANEN, J., 2020. Healthy people in healthy premises: the Finnish Indoor Air and Health Programme 2018–2028. *Clinical and translational allergy; Clin Transl Allergy*, 10(1), pp. 4-n/a.

MERO, J. and TIKKANEN, T., 2011. Sterimat ilmanpuhdistimen UV-C säteilykammion vaikutus mikrobien tuhoamiseen huoneilmasta. pp. 15.

NORDPOOL, 2022-last update, Market Data. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/#/nordic/table>.

RUNDT, A., BACKLUND, P. and PAAKKOLA, K., 2005. Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. pp. 156-163.

SAC, 2015. GB/T 18801-2015, Air Cleaner. pp. 5-43.

SCANTECH, 2014-last update, Composition of Dust Particles and Particulate Matter in The Air. Available: <https://radontestingdallas.com/indoor-air-quality-testing-composition-dust-particles-particulate-matter/>.

SCANVAC, 2021-last update, Criteria of room air cleaners for particulate matter. Available: <http://www.scanvac.eu/criteria-of-room-air-cleaners-for-particulate-matter.html>.

SISÄILMAYHDISTYS, 2008-last update, Kemialliset epäpuhtaudet. Available: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>.

THUN, R. and KORHONEN, M., 1998. Energia- ja ympäristöteknologia: Tutkimusohjelman vuosikirja 1998. pp. 486.

TUOMISTO, J., 2020-last update, Otsonistako haittaa? Eikös meidän pitänyt pelätä otsonikatoa? Available: <https://www.terveyskirjasto.fi/asy00404>.

VALVIRA, 2021-last update, Oleskelutilojen lämpötila ja ilmanvaihto. Available: [https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/fysikaaliset\\_olosuhteet](https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/fysikaaliset_olosuhteet).

VALVIRA, 2015-last update, Asumisterveys, Melu. Available: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/melu>.

VDI, 2021. VDI-EE 4300 Anforderungen an mobile Luftreiniger zur. pp. 3-12.

WHO, 2021. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization.

WHO, 2013. *Health effects of particulate matter: policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe.

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, 2018. *Ääniympäristö: Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä*.

## **LIITE I: STANDARDILUETTELO**

Tässä liitteessä on lueteltu kaikki tässä työssä mainitut ja käytetyt standardit ja menetelmät.

ISO 5167-1 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full

NF B44-200:2016 Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances

VDI-EE 4300 Measurement of indoor pollution - Requirements for mobile air purifiers to reduce aerosol-borne transmission of infectious diseases

EN 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

EN ISO 14644-3:2019 Cleanrooms and associated controlled environments

DIN EN 12599.2013 Ventilation for buildings - Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems

EN ISO 5801:2017 Fans — Performance testing using standardized airways

ASTM E2029-11:2019 Standard Test Method for Volumetric and Mass Flow Rate Measurement in a Duct Using Tracer Gas Dilution

ISO 16000-16:2008 Indoor air — Part 16: Detection and enumeration of moulds — Sampling by filtration

ANSI-AHAM AC-1-2020 Portable Electric Room Air Cleaners

GB/T 18801-2015 Air Cleaner

GB 21551.3-2010 Antibacterial and cleaning function for household and similar electrical appliances—Particular requirements of air cleaner

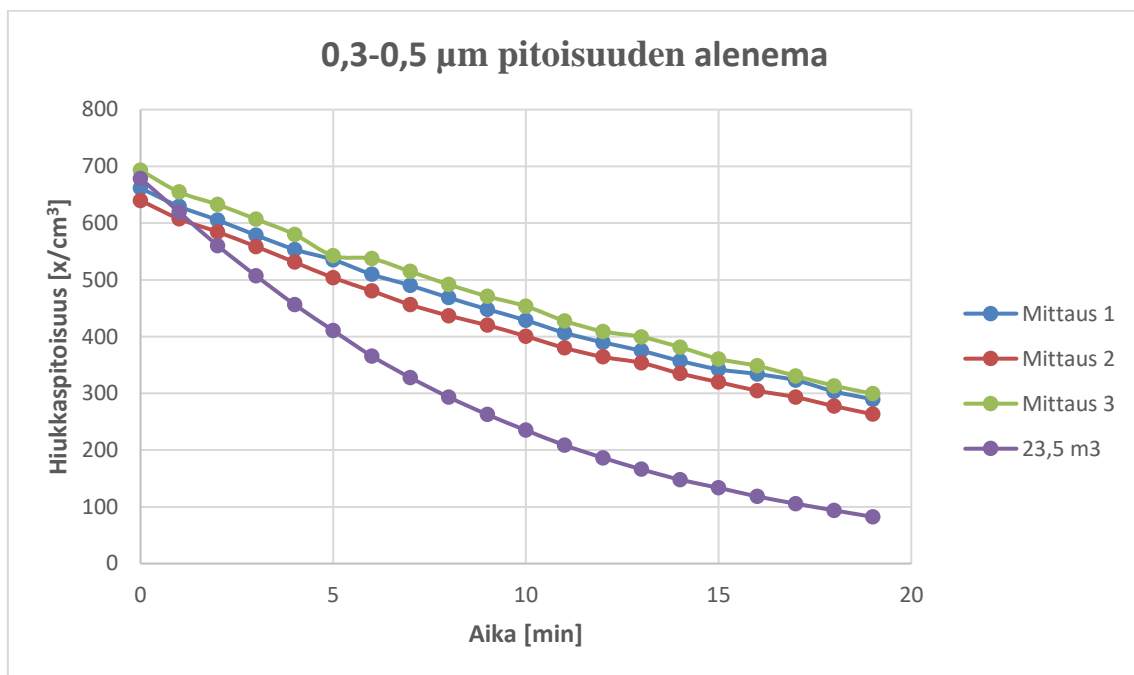
GB 4706.45-2008 Household and similar electrical appliances - Safety - Particular requirements for air-cleaning appliances

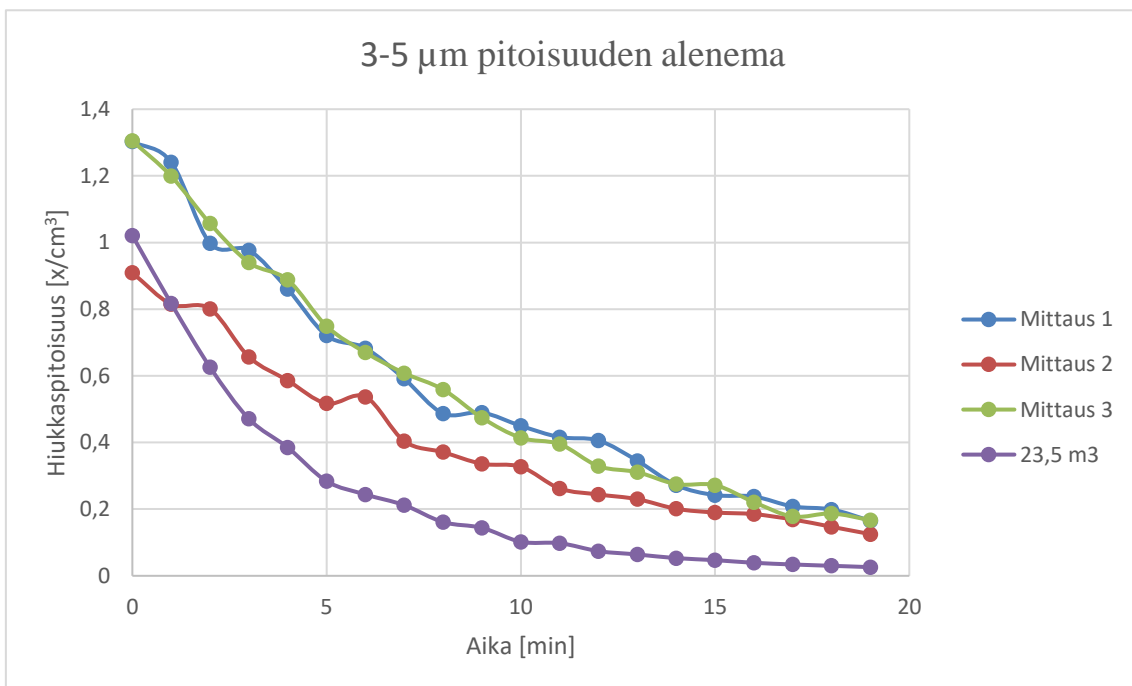
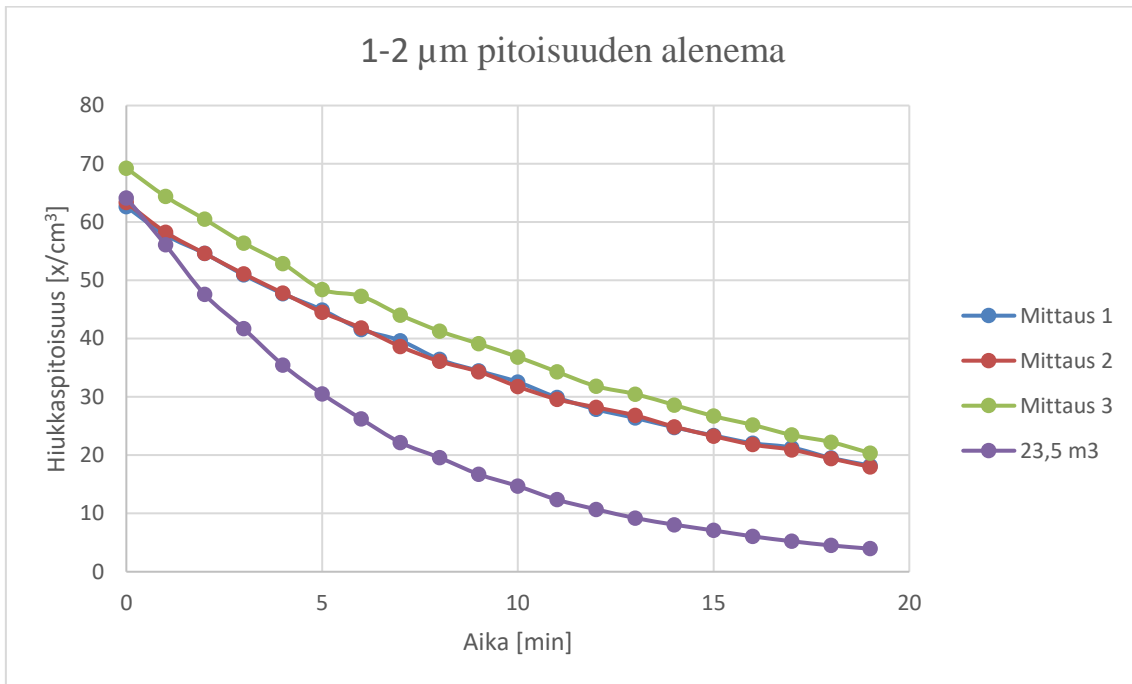
ISO 3741:2010 Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure

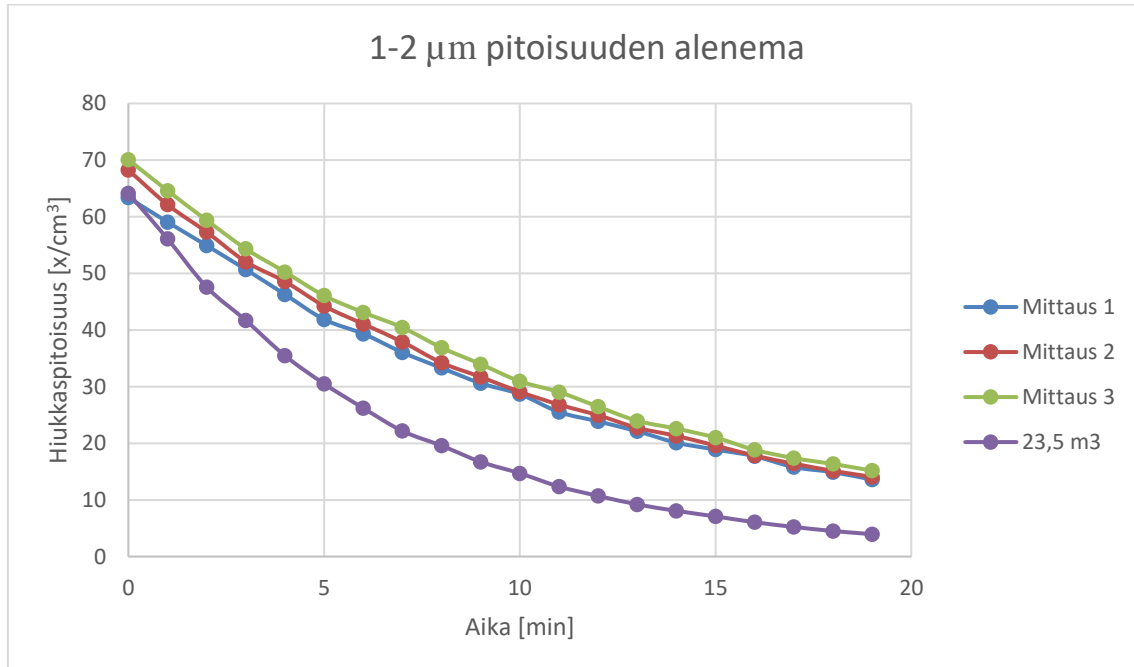
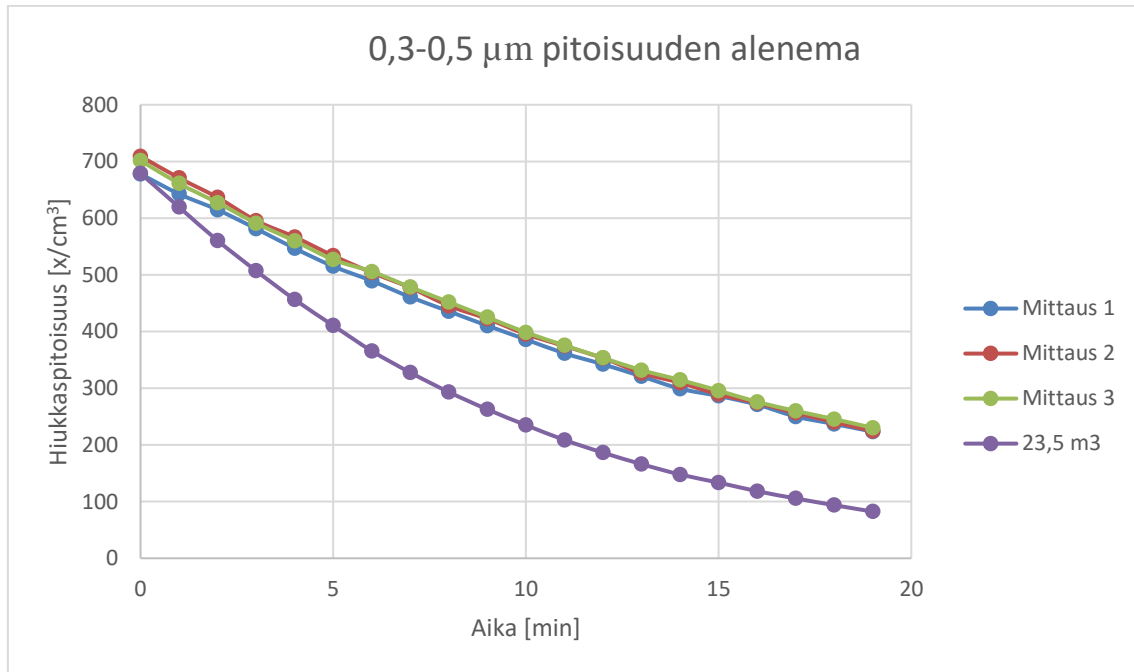
## LIITE II: HIUKKASPITOISUUDEN ALENEMÄKÄYRÄT

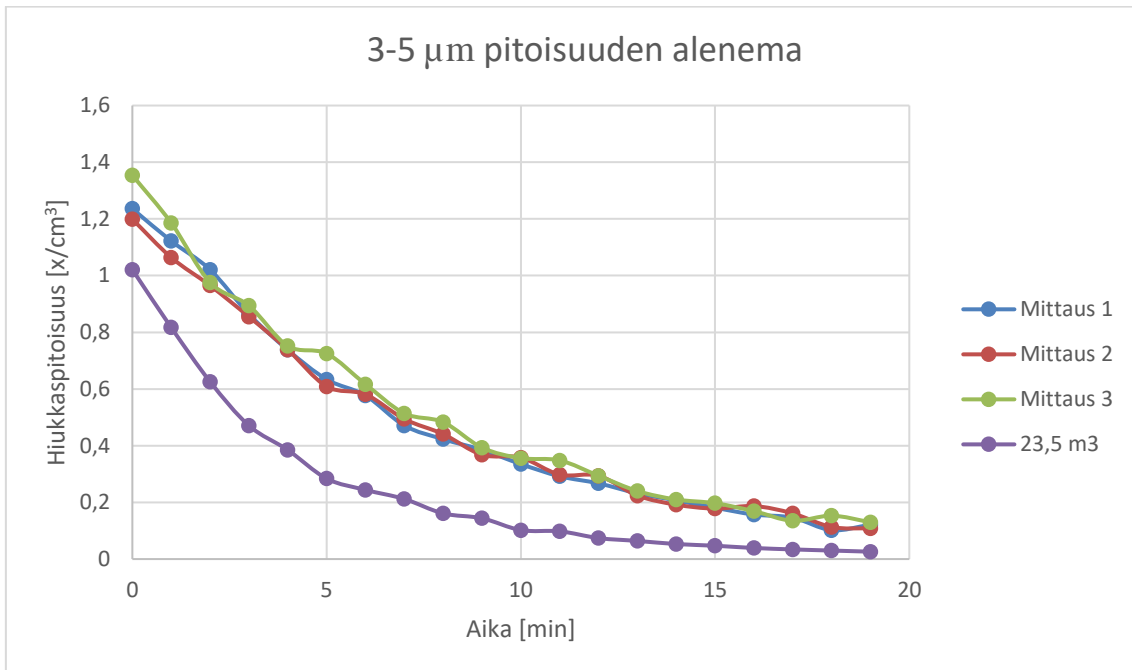
Tässä liitteessä on esitetty kaikki huoneen alenemamenetelmällä mitatut hiukkaspitoisuuden alenemäkäyrät

### Ilmanpuhdistimen pienin käyttökytkimen asento





**Ilmanpuhdistimen keskimäinen käyttökytkimen asento**



## Ilmanpuhdistimen suurin käyttökytkimen asento

