



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INGA MATTILA

HUONEKOHTAISTEN ILMANPUHDISTIMIEN SUORITUSKYVYN  
MITTAUSMENETELMÄT

Diplomityö

Tarkastaja: Apulaisprofessori Tero Juuti  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty teknisten  
tieteiden tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 31. tammikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**INGA MATTILA:** Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn mittausmenetelmät

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 53 sivua, 1 liitesivu

Huhtikuu 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Koneensuunnittelu ja tuotekehitys

Tarkastaja: Apulaisprofessori Tero Juuti

**Avainsanat:** huonekohtainen ilmanpuhdistin, ilmanpuhdistin, mittaus, menetelmä, suorituskyky, ilmansuodatus, sisäilman laatu, suodatusmekaniikat, suodatus, adsorptio, ultraviolettisäteily (UV), fotokatalyyttinen oksidaatio, plasma, otsoni, kasvillisuusjärjestelmät, ilman epäpuhtaudet, hiukkasmaiset epäpuhtaudet, kaasumaiset epäpuhtaudet, orgaaniset yhdisteet (VOC), puhtaan ilman tuotto (CADR)

Huonosta sisäilmasta on tullut merkittävä ongelma sisäilmassa esiintyvien epäpuhtauksien lisääntyttyä sekä ulkoisista että sisäisistä lähteistä johtuen. Mikäli sisäilman laatua heikentävät ulkoilman tai sisäisten lähteiden tuottamat hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet, voidaan ilman laatua parantaa huonekohtaisilla ilmanpuhdistimilla. Ilmanpuhdistimien tehokkuus poistaa sisäilmassa esiintyviä epäpuhtauksia tulee määrittää, jotta voidaan vakuuttua laitteen toimivuudesta, tehdä tilakohtaisesti oikea laitevalinta, ja näin mahdollistaa huonosta sisäilmasta aiheutuvien terveyshaittojen väheneminen.

Työn tavoitteena oli luoda laaja katsaus huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämisessä käytettyihin mittausmenetelmiin, jotta saataisiin tietoa, miten optimaalinen suorituskyky tulisi parhaiten todentaa. Suorituskykyä keskityttiin tarkastelemaan hiukkasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien suodatuskyvyn sekä mahdollisten sivutuotteena syntyvien epäpuhtauksien tuoton osalta. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa lähteinä toimivat kansalliset ja kansainväliset standardit ja menetelmät sekä muut aiheeseen liittyvät julkaisut.

Suorituskyvyn määrittämisen menetelmiä löytyi useita. Tarkemman tarkastelun kohteeksi valittiin kahdeksan menetelmää: kaksi yhdysvaltalaisista, kiinalainen, japanilainen, ranskalainen, kaksi pohjoismaista sekä yksi kansainvälinen. Menetelmiä vertailtiin keskenään, jotta saatiin katsaus yleisesti käytössä olevista menetelmistä ilmanpuhdistimen suorituskyvyn arvioimiseksi ja niiden soveltuvuudesta ilmanpuhdistimen optimaalisen suorituskyvyn todentamiseksi.

Huonekohtaisen ilmanpuhdistimen suorituskyvyn arviointimenetelmän tulisi sisältää puhdistimen tehokkuuden arvioinnin tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden. Arvioinnin tulee perustua ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton määrään, joka on määritetty hiukkasilla ja kaasulla. Lisäksi tulee varmistaa, että ilmanpuhdistin ei tuota sivutuotteena haitallisia epäpuhtauksia. Tässä tarkastelussa ei löytynyt menetelmää, joka olisi sisältänyt kaikki tarpeelliset menetelmät ja laskelmat. Parhailaan kehitteillä oleva kansainvälinen ISO-standardimenetelmä tulee olemaan huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn tutkimukselle keskeinen ja tulee toivottavasti yhtenäistämään ja fokusoimaan tarkastelua.

## ABSTRACT

**INGA MATTILA:** Methods for Measuring Performance of Room Air Cleaners

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 53 pages, 1 Appendix page

April 2018

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering and Industrial Systems

Major: Design and Development

Examiner: Assistant Professor Tero Juuti

**Keywords:** room air cleaner, portable air cleaner (PAC), air purifier, measurement, method, performance, air cleaning, air purification, indoor air quality (IAQ), filtration techniques, filtration, adsorption, ultraviolet (UV), photocatalytic oxidation, plasma, ozone, botanical systems, air pollutant, particulates, gas-phase pollutant, Volatile Organic Compounds (VOCs), clean air delivery rate (CADR)

Poor indoor air has become a major problem due to increase in both external and internal sources. If particulate and gaseous pollutants produced by outdoor or indoor sources reduce indoor air quality, it can be improved by room air cleaners. The effectiveness of air cleaners to remove pollutants from indoor air should be determined in order to be assured of the functionality of the air cleaner, and to make the right equipment choice depending of the room size and thus to reduce the health hazards caused by poor indoor air.

The aim of the thesis was to create a comprehensive overview of measurement methods used to determine the performance of room air cleaners in order to find out how optimal performance can be best verified. The focus of examining the performance was the filtering capacity of particulate and gaseous pollutants as well as the potential output of potential by-products. The study was conducted as a literature review, with national and international standards and methods and other related publications serving as sources.

There were several methods for determining performance. Eight methods were selected for a more detailed examination: two from United States of America and Nordic countries, one from China, Japan and France, and one international method. The methods were compared between each other to provide an overview of commonly used methods for air cleaners and the suitability of the methods for verifying the optimum performance of the air cleaner.

The method for measuring performance of room air cleaners should include an evaluation of the efficiency of the air cleaner in terms of room size and ventilation. The evaluation should be based on the clean air delivery rate of air cleaner determined by particulates and gases. In addition, it must be ensured that air cleaner does not produce harmful impurities as by-products. This review did not find a method that would include all the necessary methods and calculations. The international ISO standard currently under development will be central in the future to evaluate the performance of room air cleaners, and it will hopefully harmonize and focus the evaluation of room air cleaners.

## ALKUSANAT

Tämä työ on toteutettu Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kone- ja tuotantotekniikan laitoksella sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä.

Haluan kiittää työn tarkastajaa apulaisprofessori Tero Juutia arvokkaasta panoksesta työn rajaamisessa sekä kaikista kommentteista ja neuvoista. Lisäksi haluan kiittää lämpimästi työtovereitani VTT:llä kaikista neuvoista ja tuesta, jota olen saanut diplomityöni tekemisessä. Tämä pellepelottomien yhteisö on aina ollut ilonani ja apunani, ja erinomainen paikka tehdä haastavia töitä.

Suurimmat kiitokset kuuluvat rakkaille läheisilleni, perheelleni ja ystäväilleni, jotka ovat tukeneet minua tämän pitkän matkan aina tähän päivään saakka. Opiskelu työn ohessa on haastavaa ja kaikki tuki on ollut tarpeen. Nyt on aika suunnata katse seuraaviin haasteisiin. Ja levätä.

Tampereella, 11.4.2018

Inga Mattila

## SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
1.1 Työn tavoite .....	2
1.2 Tutkimusmenetelmät.....	2
2. SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	3
2.1 Pienhiukkaset .....	4
2.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet.....	6
2.2.1 Radon.....	6
2.2.2 Otsoni.....	6
2.2.3 VOC-yhdisteet .....	7
2.2.4 Formaldehydi .....	8
2.2.5 Typen oksidit .....	8
2.2.6 Rikin oksidit .....	8
2.2.7 PAH-yhdisteet.....	8
2.2.8 Ammoniakki .....	9
2.2.9 Hiilidioksidi .....	9
2.3 Sisäilman laadun ohjeistus .....	9
2.4 Rakennusten ilmanvaihto.....	10
3. ILMANPUHDISTIMISSA KÄYTETYT PUHDISTUSTEKNIIKAT.....	12
3.1 Mekaaninen suodatus.....	12
3.2 Sähköinen suodatus.....	14
3.3 Adsorptio.....	15
3.4 Ultraviolettisäteily (UVGI/UVC) .....	16
3.5 Fotokatalyyttinen oksidaatio .....	16
3.6 Plasma .....	16
3.7 Otsonointi.....	17
3.8 Kasvillisuusjärjestelmät .....	17
4. KATSAUS OLEMASSA OLEVIIN MITTAUSMENETELMIIN .....	19
4.1 ANSI/AHAM AC-1-2015 (Yhdysvallat).....	21
4.1.1 Puhtaan ilman tuotto - hiukkaset .....	22
4.1.2 Huonekoko.....	24
4.2 AHAM AC-3-2009 (Yhdysvallat) .....	24
4.3 GB/T 18801-2015 (Kiina).....	26
4.3.1 Puhtaan ilman tuotto (CADR) – hiukkaset ja kaasut.....	27
4.3.2 Huonekoko.....	28
4.3.3 Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti (CCM) .....	29
4.3.4 Laskennallinen käyttöikä .....	30
4.4 JEM 1467-2013 (Japani).....	30
4.5 NF B44-200-2016 (Ranska).....	32
4.5.1 Ilmavirta.....	32
4.5.2 Puhtaan ilman tuotto – hiukkaset .....	33

4.5.3	Puhtaan ilman tuotto – kaasut.....	34
4.5.4	Puhtaan ilman tuotto – mikrobit.....	35
4.5.5	Puhtaan ilman tuotto – allergeenit.....	35
4.5.6	Sivutuotteet.....	36
4.6	Nordtest Method NT CONS 009-1985 (Pohjoismaat).....	36
4.6.1	Suodatustehokkuus.....	36
4.6.2	Tilavuusvirta.....	37
4.6.3	Puhtaan ilman tuotto.....	38
4.6.4	Ulospuhallusilman heittopituus ja hajotuskuvio.....	38
4.6.5	Epäpuhtauksien tuotto.....	39
4.7	Nordtest Method NT VVS 106-1995 (Pohjoismaat).....	40
4.7.1	Tilavuusvirta.....	40
4.7.2	Puhtaan ilman tuotto – hiukkaset.....	41
4.7.3	Laitteen tehokkuus.....	42
4.7.4	Otsonin tuotto.....	42
4.8	IEC/PAS 62587-2008 (Kansainvälinen).....	43
5.	MENETELMIEN VERTAILU.....	44
6.	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT.....	47
	LÄHTEET.....	50
	LIITE A: Standardi- ja menetelmäluettelo.....	1

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

### Lyhenteet

AHAM	The Association of Home Appliance Manufacturers
ANSI	The American National Standards Institute
APIAC	Air Purifier Industry Alliance of China
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CADR	Clean Air Delivery Rate
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Standard
EPA	Efficiency Particulate Air filter
ePM <sub>1</sub>	hiukkaserotusaste hiukkaskokoalueelle (0,3 - 1) µm
ePM <sub>10</sub>	hiukkaserotusaste hiukkaskokoalueelle (0,3 - 10) µm
ePM <sub>2,5</sub>	hiukkaserotusaste hiukkaskokoalueelle (0,3 - 2,5) µm
ePM <sub>x</sub>	hiukkaserotusaste hiukkaskokoalueelle (0,3 - x) µm
GAQSIQ	General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine
GB	Guobiao standards, kansalliset standardit
GCC	Gulf Cooperation Council
GSO	GCC Standardization Organization
HEPA	High Efficiency Particulate Air filter
HTP	haitalliseksi tunnettu pitoisuus
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
IAQ	Indoor Air Quality
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
JACA	Japan Air Cleaning Association
JEMA	Japan Electrical Manufacturers' Association
JG	Construction industry standards
JISC	Japanese Industrial Standards Committee
KACA	Korea Air Cleaning Association
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NF	Normes Françaises standards
NT	Nordtest
PAH	polysykliset aromaattiset hiilivedyt
PM <sub>10</sub>	pienhiukkasmassa (Particulate Matter), joka koostuu pienemmistä kuin 10 µm halkaisijaltaan olevista hiukkasista
PM <sub>2,5</sub>	pienhiukkasmassa (Particulate Matter), joka koostuu pienemmistä kuin 2,5 µm halkaisijaltaan olevista hiukkasista
PM <sub>x</sub>	pienhiukkasmassa (Particulate Matter), joka koostuu pienemmistä kuin x µm halkaisijaltaan olevista hiukkasista
POM	hiukkasmainen orgaaninen yhdiste (Particulate Organic Matter)
ppb	parts per billion, miljardisosa

ppm	parts per million, miljoonasosan
SAC	Standardization Administration
SFS	Suomen standardisoimisliitto SFS ry
SVOC	puolihaihtuva orgaaninen yhdiste (Semi-Volatile Organic Compound)
TVOC	haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (Total Volatile Organic Compounds)
UL	Underwriters Laboratories
ULPA	Ultra Low Penetration Air filter
UV	ultraviolet
UVC	ultraviolet C
UVGI	Ultraviolet Germicidal Irradiation
WHO	World Health Organization
VOC	haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile Organic Compound)
VVOC	erittäin haihtuva orgaaninen yhdiste (Very Volatile Organic Compound)

### **Kemialliset merkit**

2EH	2-etyyli-1-heksanoli
BaP	bentso(a)pyreeni
C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	tolueeni
CdS	kadmiumsulfidi
CO	hiilimonoksidi eli häkä
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
DEHS	di-ethyl-hexyl-sebacate
DOP	di-octyl-phthalate
HCHO	formaldehydi
KCl	kaliumkloridi
NaCl	natriumkloridi
NH <sub>3</sub>	ammoniakki
NO	typpimonoksidi
NO <sub>2</sub>	typpidioksidi
NO <sub>x</sub>	typen oksidit
O <sub>3</sub>	otsoni
PAO	polyalphaolefin
PSL	Poly-Styrol Latex
Ra	radium
Rn	radon
SO <sub>2</sub>	rikkidioksidi
SO <sub>x</sub>	rikin oksidit
TiO <sub>2</sub>	titaanidioksidi
TXIB	2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti
U	uraani
ZnO	sinkkioksidi



## Symbolit

$m_{AC}$	vähimmäismassa	(mg)
$A$	suositeltu huoneen maksimipinta-ala	(m <sup>2</sup> )
$Area_{ch}$	mittauskanavan poikkipinta-ala	(m <sup>2</sup> )
$C, C_0, C_i, C_{02}$	testiainepitoisuus testikammion kokeen alussa (t=0)	(kpl/cm <sup>3</sup> ), (kpl/dm <sup>3</sup> ), (mg/m <sup>3</sup> ), (kpl/m <sup>3</sup> ), (ppm)
$c_0, c_t$	sisäilman pitoisuus	(µg/m <sup>3</sup> )
$C_{01}$	tyhjän testikammion testiainepitoisuus kokeen alussa (t=0)	(kpl/cm <sup>3</sup> ), (kpl/dm <sup>3</sup> ), (mg/m <sup>3</sup> )
$C_1$	tyhjän testikammion testiainepitoisuus ajan hetkellä t	(kpl/cm <sup>3</sup> ), (kpl/dm <sup>3</sup> ), (mg/m <sup>3</sup> )
$CADR, Q, P, QAP, EF, ECR$	puhtaan ilman tuotto	(m <sup>3</sup> /min), (m <sup>3</sup> /h)
$C_{down,i,\alpha}, C_{down,j,\alpha}, C_{down,k}, C_{down,l}, n_i, n_2, c_{out}, c_{out}$	poistoilman pitoisuus	(kpl), (ppbV), (ppb), (CFU/m <sup>3</sup> ), (µg/m <sup>3</sup> )
$C_t, C_{ti}, C_2, c_{t1}, c_{t2}$	ulkoilman pitoisuus	(µg/m <sup>3</sup> )
$C_{up,i,\alpha}, C_{up,j,\alpha}, C_{up,k}, C_{up,l}, N_i, n_1, c_{in}$	testikammion testiainepitoisuus ajan hetkellä t	(kpl/cm <sup>3</sup> ), (kpl/m <sup>3</sup> ), (kpl/dm <sup>3</sup> ), (mg/m <sup>3</sup> )
$E'$	tuloilman pitoisuus	(kpl), (ppbV), (ppb), (CFU/m <sup>3</sup> ), (µg/m <sup>3</sup> )
$F, Q$	sisäilman epäpuhtauslähteen tuotto	(mg/h)
$g, q$	tilavuusvirta	(m <sup>3</sup> /s), (m <sup>3</sup> /h), (cm <sup>3</sup> /h)
$h$	otsonin tuotto	(cm <sup>3</sup> /h), (m <sup>3</sup> /h)
$k, k_0, k_e, k_t$	huonekorkeus	(m)
$k_{dep}$	testiainepitoisuuden aleneman vakio	(min <sup>-1</sup> ), (h <sup>-1</sup> )
$k_n$	laskennallinen tupakansavun laskeutumiskerroin	
$k_v, n$	tyhjän kammion aiheuttaman pitoisuuden aleneman vakio	(min <sup>-1</sup> ), (h <sup>-1</sup> )
$\eta, E_{i,\alpha}, E, SE$	tilan ilmanvaihtokerroin	(min <sup>-1</sup> ), (h <sup>-1</sup> )
$P_p$	puhdistustehokkuus, suodatustehokkuus, laitteen tehokkuus	(%)
$Q, q_v$	kerroin rakennuksen vaipan vuodolle	
$S$	ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta	(m <sup>3</sup> /min), (m <sup>3</sup> /h)
$t_i, t, \tau$	ilmanpuhdistimelle suositeltu laskennallinen huoneen pinta-ala	(m <sup>2</sup> )
$V$	mittaukseen kulunut aika (t=i), aika, jonka ilmanpuhdistin on päällä	(min), (h)
$v_0$	testikammion tilavuus	(m <sup>3</sup> )
$v_1$	nopeus alussa (t=0)	(m/s)
$v_{ch}$	nopeus ajan hetkellä t=1	(m/s)
	ilmanpuhaltimen ulospuhalluksen keskinopeus	(m/s)

# 1. JOHDANTO

Ympäristön vaikutus ihmisen terveyteen on monimuotoinen ja se on lisääntynyt teollisen vallankumouksen jälkeen. Ympäristöaltisteista merkittävimpiin kuuluvat hengitysteihin kulkeutuvat pienhiukkaset, joiden Maailman terveysjärjestö WHO (World Health Organization) arvioi aiheuttaneen maailmassa noin seitsemän miljoonan ihmisen kuoleman vuonna 2012 [1]. Ulkoa tulevien epäpuhtauksien lisäksi ilmanlaadullista ongelmaa aiheuttavat rakennusten sisäisten epäpuhtauksien lähteet. Huonosta sisäilmasta on tullut merkittävä kansantaloudellinen ongelma. Tähän on vaikuttanut muun muassa rakennuskannan vanheneminen, rakennusten puutteellisesti toimiva ilmanvaihto, energiaremontit, ilmastomuutoksen vaikutukset rakenteisiin, rakennusaikaisen kosteudenhallinnan puutokset, muun muassa näistä tekijöistä johtuvat kosteus- ja homevauriot, sekä rakennusmateriaalien sisältämät epäpuhtaudet.

Sisäilman laatua voidaan parantaa käyttämällä suodattavaa ilmanvaihtojärjestelmää, kasvattamalla ilmanvaihtoa ja vähentämällä ilman laatuun vaikuttavia sisäisiä päästölähteitä. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän tuloilman suodatus on puutteellista ja sisäilman laatua heikentävät ulkoilman mukana tulevat hiukkas- ja kaasumaiset epäpuhtaudet tai sisäisten lähteiden tuottamat epäpuhtaudet, voidaan ilman laatua parantaa huonekohtaisilla ilmanpuhdistimilla.

Jotta huonekohtainen ilmanpuhdistin pystyy alentamaan sisäilman epäpuhtauksien määrää, tulee sen tuottaa riittävä määrä puhdasta ilmaa tilan kokoon ja ilmanvaihdon tehokkuuteen nähden [2]. Tämä tuotiin esiin vuonna 2017 päättyneessä Ulkoilman laatuun ja väestön terveyteen liittyvän uusimman osaamisen ja innovaatiotoiminnan vauhdittaminen (INKA-ILMA / EAKR) -hankkeessa, joka toteutettiin osana Business Finlandin Innovaatiiviset kaupungit (INKA) -ohjelmaa. Hankkeen yhtenä osa-alueena oli tutkia sisäilman laadun parantamismahdollisuuksia olemassa olevilla teknologioilla ilmanlaadun ongelmaympäristöissä sijaitsevilla asuintiloissa sekä julkisissa kohteissa hyödyntäen nykyisiä pienhiukkasten suodatusratkaisuja, kuten huonekohtaisia ilmanpuhdistimia.

Osana valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa toteutetussa vuonna 2017 päättyneessä Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) -hankkeessa tehtiin selvitys liittyen rakennusten sisäilmaongelmien ennalta ehkäisyyn, ratkaisemiseen ja käyttöä turvaaviin toimenpiteisiin, kuten huonekohtaisiin ilmanpuhdistimiin [3]. Hankkeessa todettiin, että lisätutkimusta tarvitaan osoittamaan, ovatko ilmanpuhdistimet tehokkaita vähentämään erilaisia sisäilman epäpuhtauksia ja niistä aiheutuvia terveyshaittoja. Lisäksi hankkeessa todettiin, että tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat puutteellisia osoittamaan huonekohtaisesta ilmanpuhdistimesta koituvia hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille.

## 1.1 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on luoda laaja katsaus huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämisessä käytettyihin mittausmenetelmiin. Menetelmiä vertaillaan keskenään ja pohditaan niiden soveltuvuutta optimaalisen suorituskyvyn todentamiseksi. Lisäksi pohditaan, mitä kehitettävää menetelmissä voisi vielä olla, ja mitä tulisi ottaa huomioon ilmanpuhdistimen suorituskyvyn arvioimiseksi parhaalla mahdollisella tavalla.

Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan huonekohtaisen ilmanpuhdistimen toimintakykyä hiukasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien poistamiseksi ilmasta, sekä mahdollisten sivutuotteena syntyvien epäpuhtauksien tuottoa. Tutkimuksen ulkopuolelle jätetään laitteen käytettävyyteen liittyvät ominaisuudet ja niiden mittausmenetelmät, kuten esimerkiksi ilmanpuhdistimen tuottaman äänenpainetason sekä sähkötehontarpeen mittausmenetelmät.

Kattava tarkastelu hyödyttää laitevalmistajia ymmärtämään eri maissa esiintyviä vaatimuksia, sekä lisää laitteita hankkivien tahojen ymmärrystä siitä, mitä huonekohtaisilta ilmanpuhdistimilta tulisi vaatia.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät

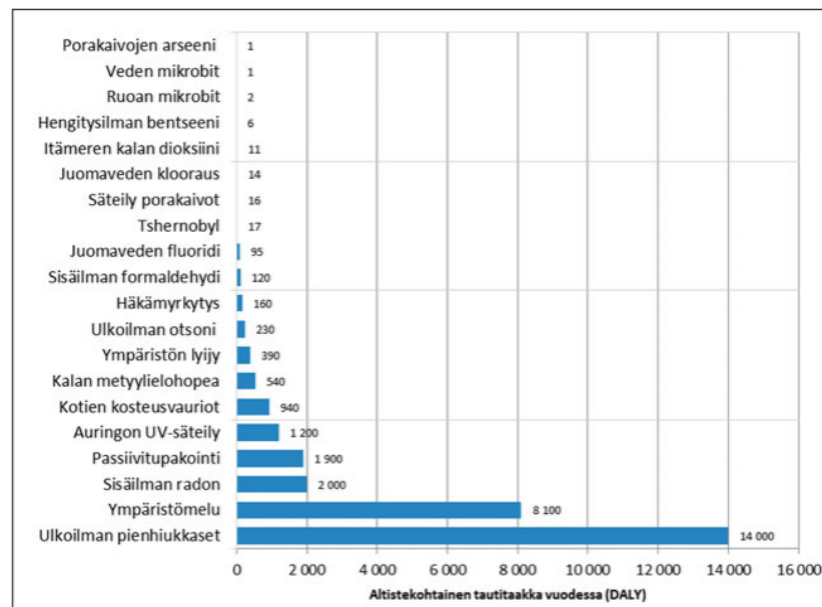
Työssä käytettiin empiiristä tutkimusstrategiaa, joka pohjautuu kokemusperäiseen tutkimukseen ja koottuun tutkimusaineistoon [4]. Kirjallisuuskatsauksena toteutetun vertailevan tutkimuksen lähdeaineisto perustui olemassa oleviin dokumentteihin, kuten kansallisiin ja kansainvälisiin standardeihin ja menetelmiin sekä muihin aiheeseen liittyviin julkaisuihin.

## 2. SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Sisäilman laatuun vaikuttavat ulkoilman ja sisäisten päästölähteiden aiheuttamat epäpuhtaudet, jotka voivat olla hiukkasmaisia (kiinteitä tai nestemäisiä) tai kaasumaisia. Ulkoilman epäpuhtaudet ovat peräisin sekä luonnosta että ihmisen aiheuttamasta toiminnasta. Luonnon lähteitä ovat muun muassa metsä- ja nurmipalot, aavikkohiekka, tulivuoret sekä merisumun suola. Ihmisen toiminnasta syntyy epäpuhtauksia eniten fossiilisista energialähteistä peräisin olevien polttoaineiden palamisreaktioista sekä muista palamisreaktioista, teollisista prosesseista, liikenteestä, maataloustuotannosta ja kaatopaikoilta [5]. Ulkoilman hiukkaset kulkeutuvat sisäilmaan ilmanvaihdon sekä rakennuksen muiden ilmateiden kuten ovien kautta.

Sisätiloissa epäpuhtauksien lähteenä voivat toimia muun muassa rakennus- ja sisustusmateriaalit, koneet ja laitteet, ihmiset, kotieläimet, kasvit, tupakointi, puhdistusaineet ja muut sisätiloissa käytetyt kemikaalit, sekä kosteusvauriot [6].

Suomessa merkittävimpiä ihmisen terveyteen vaikuttavia sisäilman epäpuhtauksia ovat pienhiukkaset, radon, tupakansavu sekä kosteusvaurioiden ilmaan tuottamat mikrobiologiset epäpuhtaudet (Kuva 1) [7]. Muita huomioon otettavia sisäilman epäpuhtauksia ovat otsoni, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (volatile organic compounds) kuten esimerkiksi bentseeni ja tolueeni, typpidioksidi (NO<sub>2</sub>), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), hiilimonoksidi eli häkä (CO), ammoniakki, raskasmetallit (mm. lyijy) ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH-yhdisteet) kuten naftaleeni [8].



**Kuva 1.** Ympäristöaltisteiden aiheuttaman tautitaakan suuruusluokat Suomessa vuonna 2010 [7].

Ilman laatua (Indoor Air Quality, IAQ) pyritään parantamaan erilaisilla sopimuksella maailmanlaajuisesti, Euroopan Unionin tasolla ja kansallisella tasolla. Suomessa sisäilman laadulle on olemassa ohjeita ja vaatimuksia muun muassa seuraavissa laeissa, ohjeissa ja luokituksissa:

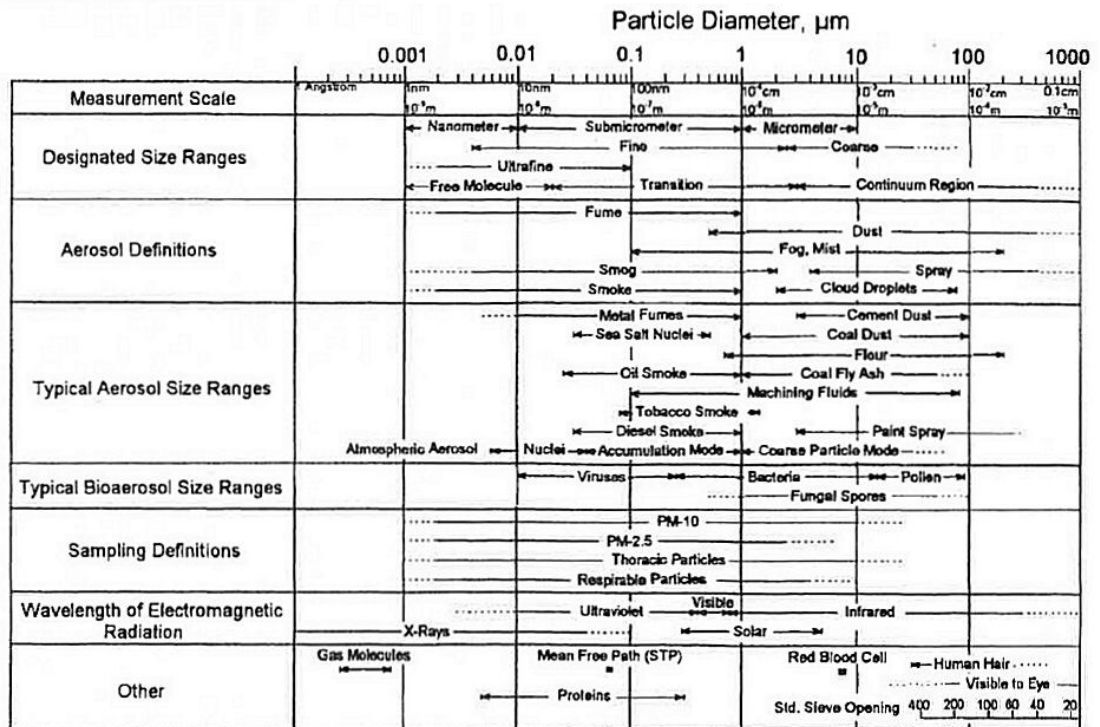
- terveydensuojelulaki (763/1994)
- työturvallisuuslaki (738/2002)
- asumisterveysohje (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus, 2015)
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017)
- sisäilmastoluokitus 2008 (RT 07-10946. Sisäympäristön tavoitearvot, suunniteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS).

## 2.1 Pienhiukkaset

Pienhiukkasia pidetään kansanterveydellisesti tärkeimpänä ilmassa olevana saastuttajana, jotka aiheuttavat muun muassa hengityselinsairauksia sekä sydän- ja verisuonitauteja. Alle 10  $\mu\text{m}$  kokoiset hiukkaset pääsevät tunkeutumaan ihmisen ilmäteihin ja voivat aiheuttaa terveyshaittoja. Pienhiukkasiksi (fine particulate matter) kutsutaan halkaisijaltaan alle 2,5  $\mu\text{m}$  hiukkasia. Ne tunkeutuvat syvälle hengitystiehyeyisiin ollen merkittävä osa ihmisen terveyteen vaikuttavista tekijöistä. [5]

Ilman hiukkaspitoisuus ilmoitetaan joko kappalemääränä (kappaletta/ $\text{cm}^3$  tai kappaletta/ $\text{m}^3$ ) tai massana ( $\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tiettyä tilavuutta kohden [9]. Hiukkaskoko ilmoitetaan yleisimmin mikrometreinä ( $\mu\text{m}$ ). Nanohiukkasiksi kutsutaan partikkeleita, jotka ovat kooltaan pienempiä kuin 100 nm (0,1  $\mu\text{m}$ ). Kuvassa Kuva 2 on esitetty hiukkasten kokojakauma sekä tyypillisiä hiukkaskokoluokkia erilaisille ilmassa esiintyville aerosoleille ja bioaerosoleille, kuten tupakansavu, diesel-moottorin pakokaasu, mikrobit ja siitepölyt. [9]

Ilman hiukkaspitoisuutta seurataan yleisesti  $\text{PM}_{10}$  ja  $\text{PM}_{2,5}$  -arvojen avulla. Karkeiden hiukkasten määrä  $\text{PM}_{10}$  ilmaisee ilmassa olevien läpimitaltaan alle 10  $\mu\text{m}$  kokoisten hiukkasten massamäärän kuutiometrissä ilmaa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja pienhiukkasten määrä  $\text{PM}_{2,5}$  alle 2,5  $\mu\text{m}$  kokoisten hiukkasten massamäärän ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). [10]



*Kuva 2. Hiukkasten kokojakauma [9].*

Arvioiden mukaan suurin osa Suomessa esiintyvistä ulkoilman pienhiukkasista on peräisin liikenteestä, hajautetusta lämmityksestä ja pienpoltosta sekä kaukokulkeutumista. Myös kaasumaiset epäpuhtaudet rikkidioksidi ja typpidioksidi voivat muuntua ilmassa pienhiukkasiksi. Pienhiukkaset voivat leijua ilmassa hyvin pitkiä aikoja ja kulkeutua ilman mukana pitkiäkin matkoja. Suurimman terveyshaitan aiheuttavat palamisreaktioista peräisin olevat pienhiukkaset. Varsinkin dieselin poltosta syntyneet hiukkaset aiheuttavat keuhkosityöpää ja saattavat olla edesauttamassa allergioiden syntyä. [5, 11]

Ulkoilman hiukkaset kulkeutuvat sisätiloihin puutteellisen ilmansuodatuksen sekä rakennuksen aukkojen ja vuotojen kautta. Sisäilmassa voi esiintyä myös kuitumaisia pölyjä, jotka ovat peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Kuitumaisen pölyn terveyshaitat johtuvat pääasiassa hiukkasen muodosta. Tällaista pölyä tulee muun muassa asbestista, vuorivillasta sekä lasikuituja ja keraamisia kuituja sisältävistä materiaaleista. Tämän lisäksi sisäilmassa on muun muassa tekstiilimateriaaleista irtoavia kuitumaisia hiukkasia sekä ihmisistä ja kotieläimistä irronnutta hilsettä. [12, 13]

Osa ilmassa olevista hiukkasista on eloperäisestä aineesta lähtöisin olevia eläviä hiukkasia eli bioaerosoleja. Näitä ovat mikrobit, joita ovat muun muassa bakteerit, sienet (homeet ja hiivat) ja virukset, sekä sieni-itiöt ja siitepöly. Eläviä hiukkasia voidaan kutsua myös ilman mikrobiologisiksi epäpuhtauksiksi. [9]

## 2.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet

Sisäilmassa olevista kaasumaisista epäpuhtauksista merkityksellisimpiä ovat radon, otsoni, formaldehydi ja muut VOC- yhdisteet, kuten tolueeni, bentseeni ja trikloorietyleeni. Merkityksellisiä ovat myös hiilidioksidi, hiilimonoksidi eli häkä, typpidioksidi (NO<sub>2</sub>), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet, kuten bentso(a)pyreeni ja naftaleeni. [7, 8]

### 2.2.1 Radon

Radon (Rn) on radioaktiivinen jalokaasu, jonka pääasiallinen lähde sisäilmaan on rakennuksen alla oleva maaperä. Radon syntyy hajoamisprosessissa radiumista (Ra), joka on peräisin uraanista (U). Radonpitoisuus ilmoitetaan becquereleinä kuutiometrissä (Bq/m<sup>3</sup>). Radonia voi kulkeutua sisäilmaan rakennuksen alapohjan raoista ja sen voi havainnollistaa vain mittaamalla, sillä radon on hajuton ja väritön. Radonia voi tulla sisäilmaan myös rakennusmateriaaleista, kuten betonista. [13, 14]

Suomessa radonpitoisuudet sisäilmassa ovat maailmanlaajuisesti tarkasteltuna korkeat geologisista, rakennusteknisistä ja ilmastollisista syistä johtuen. Korkea radonpitoisuus lisää merkittävästi riskiä sairastua keuhkosityöpään radonin hajoamistuotteiden kulkeutuessa hengitysilman mukana keuhkoihin lisäten keuhkojen saamaa säteilyannosta. Radonin vähentämiseen sisäilmassa voidaan vaikuttaa lähinnä rakennus- ja ilmanvaihtoteknisillä ratkaisuilla. [13, 14]

### 2.2.2 Otsoni

Pienhiukkasten lisäksi yhtenä merkittävimmistä ihmisen terveydelle haitallisista ilman epäpuhtauksista pidetään otsonia (O<sub>3</sub>). Maapalloa ympäröi stratosfäärissä sijaitseva otsonikerros suojellen ultraviolettisäteilyltä, mutta maanpinnan lähellä olevassa ilmakerroksessa, troposfäärissä, otsoni on haitallista. Tähän alailmakehään otsonia muodostuu auringon ultraviolettisäteilyn aiheuttamassa valokemiallisessa reaktiossa typpidioksidin kanssa, jonka johdosta typpidioksidi hajoaa typpioksidiksi sekä atomaarikseksi hapeksi, joka reagoi ilmassa olevan hapen kanssa muodostaen otsonia. Ihmisen toiminnasta aiheutuen tulee otsonia ilmaan muun muassa liikenteen päästöistä, maakaasun talteenotosta sekä kaatopaikkojen ja kotitalouksien kemikaaleista. [5, 11]

Merkittävä osa Suomen ulkoilmassa esiintyvistä otsonista kulkeutuu muualta Euroopasta, jossa otsonia muodostuu eniten kesäkuukausina. Suomessa otsonia muodostuu eniten keväällä. Ulkoilman otsoni kulkeutuu sisäilmaan ilmanvaihdon mukana. Sisäilmaan otsonia voivat tuottaa myös sähköstaattiset laitteet, kuten kopiokoneet, tulostimet ja ilmanpuhdistimet. [5, 13]

Otsoni on voimakkaasti hapettava kaasu, joka ärsyttää silmiä sekä hengitysteitä heikentäen keuhkojen toimintaa. Se vaikuttaa erityisesti ihmisiin, jotka kärsivät hengityselin-, sydän- tai vesisuonisairauksista. Otsonin aiheuttamat haitat riippuvat henkilön terveyden-tilan lisäksi pitoisuudesta, altistuksen kestosta sekä fyysisen rasituksen vaikutuksesta altistuksen aikana. Suuremmissa pitoisuuksissa otsonin voi tunnistaa hajusta. Otsonipitoisuus voidaan ilmoittaa massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja miljoonasosan (ppm, parts per million) tai miljardisosan (ppb, parts per billion) suhdeyksikkönä. [11]

### 2.2.3 VOC-yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (volatile organic compounds) ovat kemiallisia epäpuhtauksia, joiden kiehumispiste on WHO:n määritelmän mukaan välillä 50–260°C [15]. Sisäilmassa VOC-yhdisteet ovat kaasumaisessa muodossa. Osa haihtuvista yhdisteistä voi olla myös hiukkasmuodossa tai hiukkasiin adsorboituneina [16].

VOC-yhdisteet luokitellaan erittäin haihtuviin (very volatile organic compounds, VVOC), haihtuviin (volatile organic compounds, VOC), puolihaihtuviin (semi-volatile organic compounds, SVOC) ja hiukkasiin sidottuihin (particulate organic matter, POM) orgaanisiin yhdisteisiin [15]. TVOC-nimitystä (total volatile organic compounds) käytetään ilmaisemaan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuutta sisäilmassa. Ilman VOC-pitoisuus voidaan ilmoittaa massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja miljoonasosan (ppm, parts per million) tai miljardisosan (ppb, parts per billion) suhdeyksikkönä. [13]

VOC-yhdisteitä syntyy ulkoilmaan liikenteen päästöistä sekä epätäydellisistä palamisreaktioista muun muassa energiantuotannossa. Ulkoilman VOC-yhdisteet kulkeutuvat sisäilmaan, jossa lähteitä ovat lisäksi teollisuuden prosessit, liuottimet, liimat, maalit sekä rakennus- ja sisustusmateriaalit, kuten lattiapäällysteet. Materiaalien kemikaaliemissiot lisääntyvät kosteuden lisääntyessä. VOC-yhdisteiden esiintymistä sisäilmassa pidetäänkin yhtenä indikaattorina kosteusvauriosta. [5, 16]

VOC-yhdisteitä ovat muun muassa alkaanit, terpeenit, aromaattiset hiilivedyt, halogeenoidut yhdisteet, aldehydit, ketonit, alkoholit ja esterit. Yleisesti tunnettuja VOC-yhdisteitä ovat esimerkiksi tolueeni, formaldehydi, bentseeni, trikloorietyleeni ja 2-etyyliheksanoli. Puolihaihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli SVOC-yhdisteitä ovat muun muassa jotkin muovien pehmittimet, palonestoaineet, torjunta-aineet sekä palamisessa syntyvät aineet (PAH-yhdisteet). VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa viihtyvyyttä alentavia hajuhaittoja. Silmien, ihon ja limakalvojen ärsytysoireet ovat myös mahdollisia VOC-yhdisteiden haittavaikutuksia, kuten esimerkiksi formaldehydillä. [16]



### 2.2.4 Formaldehydi

Formaldehydi (HCHO) on alifaattinen aldehydi ja kuuluu VOC-yhdisteisiin. Sitä tarkastellaan kuitenkin usein erillisenä arvona. Formaldehydiä voi vapautua ilmaan muun muassa rakennusmateriaaleista, kuten lastulevyissä käytetystä ureaformaldehydistä, huonekaluissa käytetyistä liimoista, lattia- ja seinämateriaaleista, sekä tekstiileistä. Myös tupakointi tuottaa ilmaan formaldehydiä. Formaldehydipitoisuus voidaan ilmoittaa massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja miljoonasosan (ppm, parts per million) tai miljardisosan (ppb, parts per billion) suhdeyksikkönä. [13]

Formaldehydin haju on pistävän tukahduttava. Aine on väritöntä ja se liukenee hyvin veteen. Terveysvaikutuksiltaan formaldehydi on luokiteltu syöpävaaraa aiheuttavaksi. Aine ärsyttää silmiä ja ylähengitysteitä aiheuttaen silmien kirvelyä, nenän tukkoisuutta ja pitkäaikaisessa altistuksessa jopa astman kaltaisia oireita. [17]

### 2.2.5 Typen oksidit

Typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) kulkeutuvat sisäilmaan ulkoa, johon niitä muodostuu palamisreaktioista liikenteestä, sähköntuotannossa kaasua- ja hiilivoimaloista sekä teollisuusprosesseista. Typen oksideilla tarkoitetaan typpimonoksidia (NO) sekä typpidioksidia ( $\text{NO}_2$ ). Pitoisuus ilmoitetaan typpidioksidin massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ja miljoonasosan (ppm, parts per million) tai miljardisosan (ppb, parts per billion) suhdeyksikkönä. Typpidioksidipitoisuus kohoaa liian suureksi erityisesti kaupungeissa liikenteen ruuhka-aikoina. Typen oksidit ärsyttävät hengitysteitä vaurioittaen limakalvoja ja alentaen keuhkofunktiota. Ne lisäävät myös otsonin syntymistä alailmakehään. [5, 10]

### 2.2.6 Rikin oksidit

Rikin oksideja ( $\text{SO}_x$ ), kuten rikkidioksidia ( $\text{SO}_2$ ), muodostuu ilmaan poltettaessa rikkiä sisältäviä fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiiltä energiantuotannossa sekä teollisuusprosesseissa. Myös liikenteestä aiheutuu jonkin verran päästöjä. Rikin oksidit ilmoitetaan massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Rikkioksidit ovat haitallisia ihmisen terveydelle aiheuttaen muun muassa päänsärkyä ja levottomuutta sekä ärsyttäen hengitysteitä. [10, 11]

### 2.2.7 PAH-yhdisteet

Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä syntyy polttoaineiden epätäydellisestä palamisesta muun muassa rakennusten lämmityksessä sekä liikenteessä. Yhdisteitä voi kulkeutua sisäilmaan ilmanvaihdon kautta. Lähteinä voivat toimia myös rakennusmateriaalit. PAH-yhdisteet kiinnittyvät ilmassa oleviin hiukkasiin. Niiden pitoisuus ilmoite-

taan massapitoisuutena kuutiossa ( $\text{ng/m}^3$ ). PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisia ja aiheuttavat syöpää. Tunnetuimpia PAH-yhdisteitä ovat bentso(a)pyreeni (BaP) sekä naftaleeni. [8, 11]

### 2.2.8 Ammoniakki

Ammoniakki ( $\text{NH}_3$ ) on epäorgaaninen aine, jota muodostuu sisäilmaan muun muassa kaseiinipitoisen tasoitteen kostuessa ja hajotessa. Sitä pidetäänkin yhtenä indikaattorina kosteusvauriolle. Ammoniakkipitoisuus ilmoitetaan massapitoisuutena kuutiossa ( $\mu\text{g/m}^3$ ). [6]

### 2.2.9 Hiilidioksidi

Sisäilmaan tulee hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) ulkoilmasta sekä ihmisen hengitysilmosta. Keski-vertoihmisen hengitys tuottaa noin 0,005 l/s (18 l/h) hiilidioksidia. Hiilidioksidipitoisuus ilmoitetaan massapitoisuutena kuutiossa ( $\text{mg/m}^3$ ) tai miljoonasosan (ppm, parts per million) suhdeyksikkönä. Ihmisten määrän lisääntyessä tilassa sisäilman hiilidioksidipitoisuus nousee, mikä tulee huomioida riittävän ilmanvaihdon avulla. Liian suuri hiilidioksidipitoisuus alentaa ihmisen toimintakykyä ja aiheuttaa päänsärkyä. Hiilidioksidin määrää käytetään indikaattorina sisäilman riittävän vaihtuvuuden tarkkailussa, koska sen määrää ilmassa on säädelty toistaiseksi ainoastaan ilmanvaihdon avulla. [13]

## 2.3 Sisäilman laadun ohjeistus

Sisäilman laadulle on olemassa ohjeita ja vaatimuksia useammassa asetuksessa, ohjeessa ja luokituksessa, kuten Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohje, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017), sekä sisäilmastoluokitus 2008 (RT 07-10946).

Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksessa annetaan toimenpiderajat sisäilmassa esiintyvillä kemiallisilla ja hiukkasmaisilla epäpuhtauksilla, mikrobeilla ja ilmanvaihdon yleisillä arviointiperusteilla hiilidioksidipitoisuuden ja ulkoilmavirran perusteella. Kemiallisilla epäpuhtauksilla toimenpiderajat on annettu haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä eli VOC-yhdisteillä (kokonaispitoisuus, 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli diisobutyraatti (TXIB), 2-etyyli-1-heksanoli (2EH), naftaleeni ja styreeni), formaldehydille, hiilimonoksidille ja tupakansavulle, sekä hiukkasmaisilla epäpuhtauksilla ( $\text{PM}_{10}$  ja  $\text{PM}_{2,5}$ ), teollisilla mineraalikuuduille ja asbestikuuduille. Lisäksi annetaan ohjeita liittyen lämpötilaan, kosteuteen, vetoisuuteen ja meluun. [18]

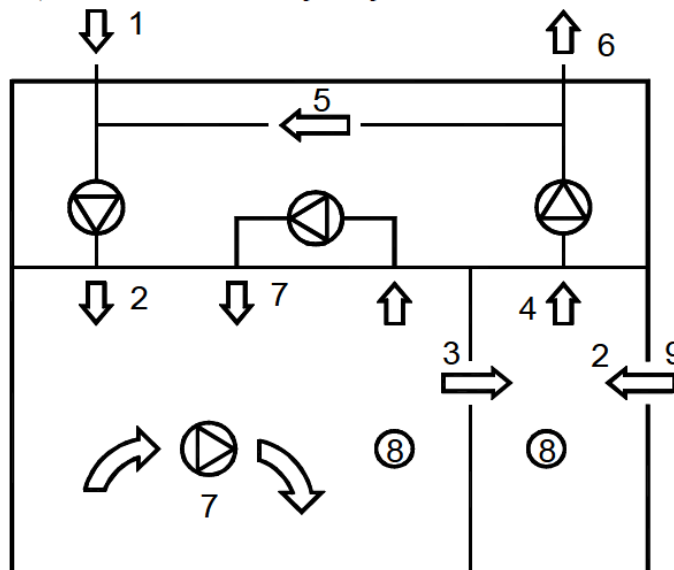
Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) annetaan ohjeet sisäilman laadulle hiilidioksidipitoisuuden ja hiilimonoksidin pitoisuuksista. [19]

Sisäilmastoluokitus 2008 (RT 07-10946) on Sisäilmayhdistys ry:n laatima asiakirja, jonka tarkoitus on auttaa rakentamaan entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Sisäilmastoluokkia on kolme: S1, S2 ja S3. Sisäilmastoluokka S1 on paras. Sisäilmastoluokituksessa annetaan ilman laadun tavoitepitoisuusarvot hiilidioksidille sekä radonille. Lisäksi sisäilmastoluokituksessa on annettu ulkoilmavirtojen mitoituksen suositusarvoja sekä tuloilmasuodatuksen ja ilmanvaihdon puhtausluokat. [20]

Rakennusmateriaalien päästöluokitus M1 on osa sisäilmastoluokitusta. Sen tarkoitus on lisätä vähäpäästöisten materiaalien käyttöä rakennuksissa. Luokitus antaa vaatimuksia materiaaleista sisäilmaan kulkeutuville kemiallisille päästöille, kuten haihtuvat orgaaniset yhdisteet (TVOC), formaldehydi, ammoniakki, karsinogeeniset aineet ja haju. [20]

## 2.4 Rakennusten ilmanvaihto

Suomen rakentamismääräysasetusten mukaan rakennuksiin tulevan ulkoilmavirran määrä mitoitetaan ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan ulkoilmavirran tulee kuitenkin olla pinta-alaperusteisen mitoituksen mukaisesti vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ , joka vastaa ilman vaihtuvuutta vähintään 0,5 kertaa tunnissa huoneessa, jonka vapaa korkeus on 2,5 m. Henkilöperusteinen mitoitus on vähintään  $6 \text{ dm}^3\text{/s}$  henkilöä kohti. Ilman liikkuminen rakennuksessa on esitetty kuvassa Kuva 3. [18, 21]



**Kuva 3.** Rakennuksen ilmajärjestelmä: 1. ulkoilma, 2. tuloilma, 3. siirtoilma, 4. poistoilma, 5. palautusilma, 6. jäteilma, 7. kierrätysilma, 8. sisäilma, 9. ulkoilma (korvausilma) [21].

Asuinrakennusten ilmanvaihto voidaan toteuttaa painovoimaisella ilmanvaihdolla, koneellisella poistoilmanvaihdolla sekä koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilman vaihtuminen perustuu ulko- ja sisäilman lämpötilaeroista aiheutuviin tiheyseroihin sekä tuulen vaikutukseen. Mitä kylmempi ja tuulisempi ilma on, sitä suurempi on rakennuksen läpi virtaava ilmamäärä. Painovoimaiselle ilmanvaihdolle tyypillinen ongelma onkin ilmanvaihdon riittämättömyys. Sisäilman laadun kannalta keskeisessä osassa ovat tuloilman reitit ja suodatus. Ilma voi tulla sisään suunnittelemattomasti rakennuksen vuotokohdista, ikkunoiden raoista, kerrostalon porrashuoneen oven postiluukusta tai kontrolloidusti korvausilmaventtiilien kautta. Painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä rakennettiin asuinkerrostaloihin 1960-luvulle saakka. [6, 22]

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilma (ulkoilma) tulee rakennuksen vaippaan sijoitettujen korvausilmaventtiilien kautta. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa tuloilma tuodaan tiloihin kontrolloidusti ilmanvaihtokanavistoa pitkin, jolloin rakennuksen vaippa voidaan tehdä tiiviiksi. Tulo- ja poistoilmanvaihdossa tuloilma tulisi suodattaa Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetuksessa PM<sub>10</sub>- ja PM<sub>2,5</sub>-hiukkaspitoisuuksille annettujen toimenpidearvojen mukaisesti, jolloin ulkoilman epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan saadaan vähennettyä. Kaasumaisten epäpuhtauksien suodatusta käytetään koneellisessa ilmanvaihdossa kuitenkin melko harvoin. [6, 18]

### 3. ILMANPUHDISTIMISSA KÄYTETYT PUHDISTUSTEKNIIKAT

Sisäilman laatua voidaan parantaa siirrettävillä, huonekohtaisilla ilmanpuhdistimilla. Ilmanpuhdistimissa voidaan käyttää erilaisia ilmanpuhdistustekniikoita (Taulukko 1), joilla voidaan vaikuttaa hiukkasmaisiin tai kaasumaisiin epäpuhtauksiin sekä bioaerosoleihin.

*Taulukko 1. Ilmanpuhdistustekniikat [23].*

<b>Tekniikka</b>	<b>Epäpuhtaus</b>
Mekaaninen suodatus (kuitusuodatus)	hiukkaset
Sähköinen suodatus	hiukkaset
Adsorptio (esim. aktiivihiili)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut
Ultraviolettiäteily (UV-lamppu)	bioaerosolit
Fotokatalyyttinen oksidaatio (UV-lamppu ja fotokatalyytti)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut
Plasma (sähköinen varaus)	orgaaniset kaasut
Otsonointi (UV- tai koronavarauSGenerointi)	orgaaniset kaasut
Kasvillisuusjärjestelmät (esim. kasvit ja aktiivihiili)	orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut

Epäpuhtaudet voidaan joko poistaa ilmasta (hiukkaset, kaasut) tai vaikuttaa niihin hajotavasti (kaasut) tai tappavasti (bioaerosolit). Käytettäessä epäpuhtauksia poistavia suodattustekniikoita tulisi saavuttaa korkea erotusaste eli pieni läpäisyaste, pieni virtausvastus eli painehäviö ja iso kuormituskyky eli pitkä käyttöikä, jotta puhdistimesta saatava hyöty olisi puhdistusteknisesti, energiankäytöllisesti ja taloudellisesti mahdollisimman hyvä.

#### 3.1 Mekaaninen suodatus

Ilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien mekaaninen suodatus perustuu yleisimmin kuitupohjaiseen suodattimeen. Suodattimen läpi kulkevassa ilmavirrassa olevat hiukkaset jäävät kiinni suodattimeen kosketuksen, törmäyksen, diffuusion tai sähköisen voiman vaikutuksesta. Kuitusuodattimet voivat olla tasomaisia, pussisuodattimia tai vekattuja laaja-pintasuodattimia [9, 24].

Ilmansuodattimet luokitellaan hiukkaserotusasteeseen perustuen standardien SFS-EN ISO 16890 ja SFS-EN 1822 mukaan. Luokittelun avulla voidaan valita tarpeeseen soveltuva suodatin. Standardissa SFS-EN ISO 16890 suodattimet luokitellaan neljän

luokan avulla:  $ePM_1$ ,  $ePM_{2,5}$ ,  $ePM_{10}$  sekä ISO Coarse. Luokittelu perustuu hiukkaserotusasteeseen  $ePM_x$  eri hiukkaskokoalueilla (Taulukko 2) ja testipölyllä määritettyyn punnituserotusasteen alkuarvoon ISO Coarse -luokassa. [25]

**Taulukko 2.** Optiset hiukkaskokoalueet hiukkaserotusasteille  $ePM_x$  [25].

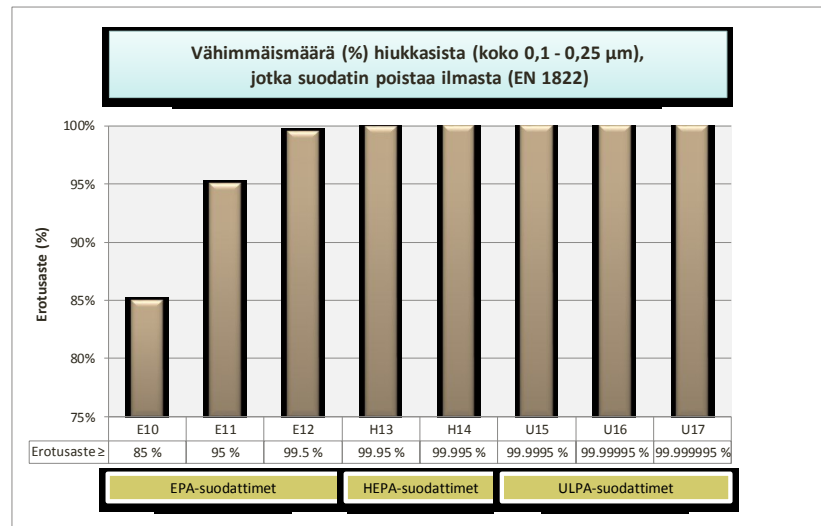
<i>Hiukkaserotusaste</i>	<i>Hiukkaskokoalue [<math>\mu m</math>]</i>
$ePM_{10}$	$0,3 \leq x \leq 10$
$ePM_{2,5}$	$0,3 \leq x \leq 2,5$
$ePM_1$	$0,3 \leq x \leq 1$

Standardi SFS-EN ISO 16890 korvasi vanhan suodatinstandardin SFS-EN 779 vuoden 2018 alussa. Taulukko 3 esittää suuntaa-antavan vertailun uuden ja vanhan standardin suodatinluokkien keskinäisestä vastaavuudesta [26].

**Taulukko 3.** Standardien suodatinluokkien suunta-antava vertailu [26].

SFS-EN 779 Luokka	SFS-EN ISO 16890			
	ISO $ePM_1$	ISO $ePM_{2,5}$	ISO $ePM_{10}$	ISO Course
G3	-	-	-	> 80 %
G4	-	-	-	> 90 %
M5	-	-	> 50 %	-
M6	-	50 - 60 %	> 60 %	-
F7	50 - 60 %	65 - 80 %	> 85 %	-
F8	65 - 80 %	> 80 %	> 90 %	-
F9	> 80 %	> 95 %	> 95 %	-

Standardissa SFS-EN 1822 on määritelty korkeamman hiukkaserotusasteen suodattimet, EPA (Efficient Particulate Air filter), HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) ja ULPA (Ultra Low Penetration Air filter) [27]. Kuvassa Kuva 4 on esitetty prosentuaalinen vähimmäismäärä koon 0,1 - 0,25  $\mu m$  hiukkasista, jonka standardin eri luokkien mukaiset suodattimet poistavat ilmasta. [24]



*Kuva 4. Standardin SFS-EN 1822 mukainen suodatinluokittelu [24].*

Suodattimeen kertyvät hiukkaset kasvattavat virtausvastusta, jolloin suodattimen läpi pääsee kulkemaan vähemmän ilmaa ja suodattimen painehäviö kasvaa. Karkeampia suodattimia käytetään usein korkean erotusasteen suodattimien edessä pidentämään suodattimen käyttöikä. Mekaanista suodatinta käytettäessä tulee varmistaa asennuksen tiiviys reunavuotojen estämiseksi. [24, 25]

Kuitusuodatin voidaan varata sähköisellä varauksella, mikä parantaa suodattimen hiukkaserotusastetta. Määritettäessä suodatinluokkaa standardin SFS-EN ISO 16890 mukaan tulee hiukkaserotusaste mitata sekä alkuperäisestä että käsitellystä suodattimesta, jolloin sähköinen varaus on poistettu suodattimesta standardinmukaisella käsittelyllä. Suodatinmateriaalin sähköinen varaus vähenee käytössä suodattimen likaantuessa. Mekaaninen suodatin tulee vaihtaa säännöllisesti. [25]

### 3.2 Sähköinen suodatus

Sähköinen suodatus perustuu hiukkasten varautumiseen sähköisesti ja varautuneiden hiukkasten keräämiseen joko suodattimeen tai huoneen pinnoille. [28]

Sähköinen presipitaattori varaa sen läpi kulkevassa ilmassa olevat hiukkaset ja saattaa ne alttiiksi sähkökentälle, jolloin sähköiset voimat pakottavat hiukkaset keräyspinnalle. Keräyspinnat tulee puhdistaa säännöllisesti esimerkiksi vesipesulla sähkösuodattimen toimivuuden takaamiseksi. Sähkösuodattimien painehäviö on hyvin pieni ja keräyskapasiteetti saadaan suureksi, joten niitä voidaan käyttää hyvinkin korkeissa pölypitoisuuksissa. Hiukkaserotusaste on korkea kaikille niille hiukkasille, joihin saadaan aiheutettua sähköinen varaus. Nanopartikkelit ovat vaikeampia varattavia pienen kokonsa tähden, ja sähkösuodattimien nanohiukkasten erotusasteen onkin todettu olevan alhaisempi [29]. Sähköinen presipitaattori varaa hiukkaset kenttävarauksella tai diffuusiovarauksella. [9]

Ionisaatioon perustuvassa ilmanpuhdistuksessa ilmassa olevat hiukkaset varataan koronavaraajan tai UV-valon avulla. Hiukkasia ei kerätä hallitusti, vaan varatut hiukkaset hakeutuvat sähköisen voiman ajamana tilan pinnoille tai muodostavat isompia hiukkasia, jotka laskeutuvat ilmasta pinnoille nopeammin kuin pienhiukkaset. [28]

Sähkösuodattimet voivat tuottaa pieniä määriä otsonia tai muita sivutuotteita käytetystä suurjännitteestä johtuen. [28]

### 3.3 Adsorptio

Adsorptiossa kaasumaiset yhdisteet eli adsorbaatit kerääntyvät kiinteän aineen eli adsorbenttiin pintaan. Adsorptio on fysikaalinen (fysisorptio), kun sen aikaansaavat molekyylien väliset voimat (van der Waalsin voimat). Kemiallisessa adsorptiossa (kemisorptio) adsorbaatin ja adsorbenttien välille muodostuu kemiallinen sidos. Adsorbaatit jaetaan kemialliseen koostumukseen perustuen orgaanisiin ja epäorgaanisiin kaasuihin. Koostumus vaikuttaa kaasujen adsorptioon. Useimpia epäorgaanisia kaasuja ei voida suodattaa fysikaalisella adsorptiolla, jolloin parhaan ilmansuodatustuloksen saamiseksi tarvitaan myös kemiallista adsorptiota. [30]

Adsorbenttien tehokkuus riippuu sen kemiallisesta koostumuksesta, ominaispinta-alan suuruudesta painoyksikköä kohti, ulkoisesta paineesta sekä lämpötilasta. Adsorptionopeuteen vaikuttavat myös suodatettavan kaasun ominaisuudet ja ilman virtausnopeus adsorbenttien läpi. Adsorbenttien tehokkuus vähenee käytön myötä sen adsorptiokapasiteetin täytyessä, jolloin adsorbentti tulee vaihtaa uuteen. [30]

Adsorbenttina käytetään muun muassa aktiivihiihtä, zeoliittia, silikageeliä ja aktivoitua alumiinia. Ilman kaasumaisten epäpuhtauksien poistamisessa yleisesti käytetty adsorbentti on aktiivihiihi. Ensimmäinen havainto aktiivihiihten kyvystä adsorboida kaasuja kirjattiin ylös vuonna 1777, mutta vasta ensimmäisen maailmansodan aikana aktiivihiihtä alettiin käyttää ilman suodattamiseen suojautumisessa kemiallisilta aseilta. Ensimmäinen aktiivihiihtä sisältävä kaasusuojaimen suodatin valmistettiin vuonna 1915. Suodattimen rakenne ei ole merkittävästi muuttunut ajan kuluessa, mutta ymmärrys tehokkuuteen ja kapasiteettiin vaikuttavista asioista, kuten rakenne ja huokoskoko, on tutkimusten myötä lisääntynyt merkittävästi. [30]

Puhdas adsorbentti ei ole riittävän tehokas poistamaan ilmasta myös epäorgaanisia kaasuja. Tehokkuutta voidaan parantaa impregnoimalla adsorbenttia eli lisäämällä adsorbenttien pintaan jotain kemikaalia. Impregnointiaineet reagoivat ilmassa olevien kaasujen kanssa muodostaen kemiallisella sidoksella pysyviä yhdisteitä. Muodostuvat yhdisteet joko jäävät adsorbenttien pintaan tai vapautuvat ilmaan. Nämä yhdisteet voivat olla joko haitattomia, kuten hiilidioksidia ja vesihöyryä, tai haitallisia. Impregnointiaineita käytettäessä tulee varmistaa, että syntyvät yhdisteet eivät aiheuta haittaa tai ne poistetaan toisella adsorbentilla. [30]



### 3.4 Ultraviolettisäteily (UVGI/UVC)

UV-lampuilla aikaan saatavaa ultraviolettisäteilyä (UV) käytetään tuhoamaan pinnoilla ja ilmassa olevia biologisia epäpuhtauksia, kuten bakteereita, sieniä ja viruksia. Käytetty UV-valon aallonpituusalue on 200-320 nm, jolloin UV-valon on todettu aiheuttavan fotokemiallisia vaikutuksia mikro-organismeihin vahingoittaen niiden DNA:ta ja tuhoten niiden toimintakyvyn. UV-säteilytyksestä käytetään kahta eri termiä, UVGI (ultraviolet germicidal irradiation) ja UVC (ultraviolet C). Käytetty aallonpituus UVGI-säteilytyksessä on 200-320 nm ja UVC-säteilytyksessä 200-280 nm. UV-säteilytys ei kuitenkaan tehoa kaikkiin eläviin hiukkasiin. [28, 31]

Huonekohtaisissa ilmanpuhdistimissa UV-säteilytystä tulee käyttää yhdessä muun suodatusjärjestelmän kanssa. Säteilytyksellä voidaan huolehtia jäähdytyslaitteiden ja ilman-suodattimien pintojen desinfioinnista ja mikrobikasvun ehkäisystä. UV-säteilytysaltistumisajan tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta mikrobit ehtivät tuhoutua. Lisäksi tulee varmistua käytetyn UV-säteilytyksen riittävästä tehosta. [28]

### 3.5 Fotokatalyyttinen oksidaatio

Fotokatalyyttinen oksidaatio perustuu katalyyttiin, joka aktivoidaan UV-valolla tai muulla valolla. Katalyyttinä käytetään yleisimmin titaanidioksidia ( $\text{TiO}_2$ ) sen erityisen hyvien ominaisuuksien takia. Muita käytettyjä katalyyttimateriaaleja ovat muun muassa sinkkioksidi ( $\text{ZnO}$ ) ja kadmiumsulfidi ( $\text{CdS}$ ). Reaktiossa syntyy hapettavia hydroksyyli-radikaaleja ( $\text{OH}$ ), jotka hajottavat ilmassa olevia kaasumaisia epäpuhtauksia reagoimalla niiden kanssa synnyttäen hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) ja vettä ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Fotokatalyyttisen oksidation sivutuotteena voi kuitenkin syntyä myös otsonia ja muita epäpuhtauksia. [32]

### 3.6 Plasma

Plasman avulla voidaan tuhota ilmasta mikrobeja ja VOC-yhdisteitä. Plasma eli ionisoitu kaasu muodostuu elektroneista, positiivisista ioneista ja neutraaleista partikkeleista, kuten atomit tai molekyylit. Ilmanpuhdistuksessa voidaan käyttää kylmää plasmaa, jota voidaan kutsua myös ei-termiseksi plasmaksi tai plasmaksi, joka ei ole termodynaamisessa tasapainossa. Kylmää plasmaa voidaan tuottaa useammalla eri menetelmällä, mutta yleisimmin käytetään tasavirralla aikaansaattua koronapurkausta, koska se tuottaa vähemmän otsonia. Otsonin ja muiden mahdollisten sivutuotteiden takia tätä tekniikkaa käytetäänkin usein yhdistettynä toiseen tekniikkaan, esimerkiksi aktiivihiilisuodatukseen. [33]

### 3.7 Otsonointi

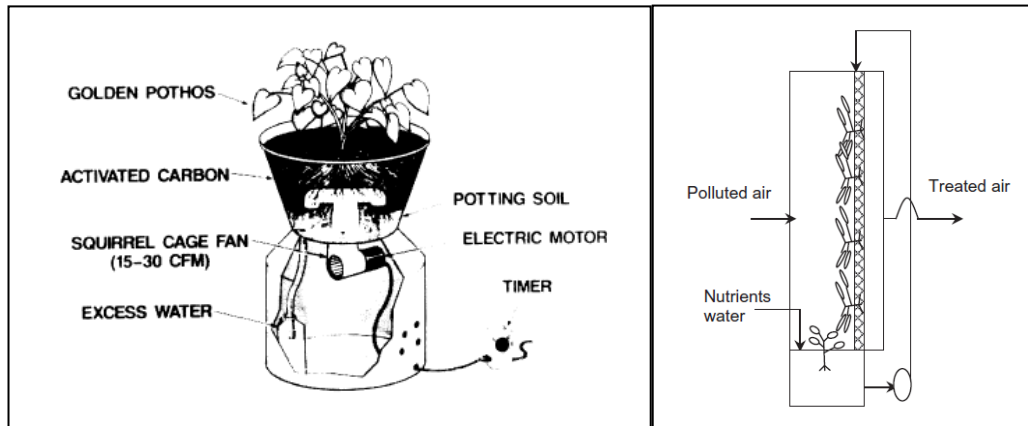
Otsoni ( $O_3$ ) on reaktiivinen yhdiste, jonka tunnistaa pistävästä hajusta. Se reagoi joko suoraan molekylaarisena otsonina tai hajoamistuotteena syntyvien radikaalien avulla. Otsonia voidaan tuottaa pulssitetulla koronapurkausmenetelmällä, UV-valolla ja kylmäplasmamenetelmällä. Otsonointia käytetään lähinnä pintojen puhdistamiseen biologisista, kemiallisista ja hiukkasmaisista epäpuhtauksista. Sisäilmassa olevien hiukkasten poistoon otsonoinnilla ei ole todettu olevan juurikaan vaikutusta. Otsonoinnin sivutuotteena voi syntyä uusia yhdisteitä, kuten aldehydejä ja pienhiukkasia. [34]

Jotta otsonointi vaikuttaisi mikrobiologisiin epäpuhtauksiin tuhoavasti tai kasvua hidastavasti tulee pitoisuuden olla niin suuri, että se ylittää annetut terveydelliset ohjearvo. Menetelmää ei siis voida käyttää tiloissa, joissa on paikalla ihmisiä tai eläimiä. Otsoni on ärsyttävä kaasu ja aiheuttaa sekä välittömiä että kroonisia vaikutuksia, kuten astmakoh-  
tauksia, yskää, nenän, kurkun ja henkitorven ärsytystä sekä silmäoireita. [28, 34]

### 3.8 Kasvillisuusjärjestelmät

Kasvillisuusjärjestelmiä käytetään poistamaan ilmasta lähinnä kaasumaisia epäpuhtauksia. Järjestelmän toiminta perustuu juuripedin suodatusominaisuuksiin. Kasvin lehtien kemiallisia yhdisteitä hajottavan adsorption on todettu olevan liian hidasta järjestelmän riittävän tehokkuuden takaamiseksi. Juuripeti muodostuu kasvin juurista, aktiivihielestä sekä muista ainesosista. Ilma johdetaan juuripedin läpi, joka toimii suodattimena. Kasvillisuusjärjestelmän toiminnan perustana ovat kasvien juurien mikro-organismien epäpuhtauksia hajottava toiminta sekä juuripedin muiden ainesosien, kuten aktiivihieilen, adsorptio. Lisäksi systeemissä on vaikuttavana tekijänä juuripedin kostutusjärjestelmä. [35]

Kuvassa Kuva 5 on esitetty muutaman kasvillisuusjärjestelmän toimintaperiaate. Vasemmanpuoleinen kuva on NASA:n (National Aeronautics and Space Administration) 1980-luvulla julkaisemasta tutkimuksesta, jota voidaan pitää ensimmäisenä kasvillisuusjärjestelmille tehtynä laajempuna tutkimuksena [36]. Oikeanpuoleinen kuva on tutkimuksesta, jossa kasvillisuusjärjestelmän juuripeti on muodostettu viherseinämäisesti monesta kasvista sekä muista ainesosista, joiden läpi ilma suodattuu ja johdatetaan takaisin huoneilmaan [37].



*Kuva 5. Kasvillisuusjärjestelmän toimintaperiaatekuvia [36, 37].*

## 4. KATSAUS OLEMASSA OLEVIIN MITTAUSMENETELMIIN

Olemassa olevat standardoidut tai muuten alueellisesti käytetyt mittausten menetelmät karotettiin kirjallisuuskatsauksen avulla. Tarkoituksena oli tarkastella menetelmiä maailmanlaajuisesti sopivalla otoksella eri puolilta maailmaa. Lähteinä toimivat standardit sekä muut huonekohtaisiin ilmanpuhdistimiin liittyvät dokumentit, kuten artikkelit ja konferenssi-esitykset. Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskykyä tarkasteltiin ilmamäärän tuoton, hiukkasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien, sekä puhdistimien tuottamien sivutuotteiden suhteen. Puhtaan ilman tuoton lisäksi ilmanpuhdistimien merkittäviin, mitattaviin ominaisuuksiin kuuluvat niiden tuottama äänitehotaso sekä ottama sähköteho. Näiden ominaisuuksien mittausten menetelmät sisältyivät joihinkin tässä työssä käsiteltyihin standardeihin, mutta niiden lähempi tarkastelu rajattiin tästä työstä pois.

Kansainvälinen standardisoimisjärjestö International Organization for Standardization (ISO) on aloittanut uuden, huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämiseen tarkoitettun standardin ISO/WD 17970-1 (Measurement of performance of portable room air cleaners -- Part 1: Performance against non-viable particulate matter) kehittämistyön. Menetelmästä ei ollut saatavilla tämän työn valmistuessa mitään julkaistua tietoa. Standardi tulee olemaan kansainvälinen, joten sen merkitys huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämisessä tulee olemaan merkittävä.

Toistaiseksi laajimmin käytetty standardin mukainen menetelmä tutkia huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskykyä on yhdysvaltalainen ANSI/AHAM AC-1 (Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners). Laitteen laskennallinen käyttöikä voidaan määrittää standardimenetelmällä AHAM AC-3 (Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners Following Accelerated Particulate Loading). Näiden standardien lisäksi Yhdysvalloissa ja Kanadassa on käytössä standardi UL 867:2011 (Standard for Electrostatic Air Cleaners).

Euroopassa on kehitetty muutama menetelmä, joista uusin Ranskassa, NF B44-200 (Independent Air Purification Devices for Tertiary Sector and Residential Applications - Test Methods - Intrinsic Performances), ja toinen jo useampi kymmenen vuotta sitten Pohjoismaissa NT CONS 009:1985 (Room Air Cleaners). Pohjoismainen Nordtest on julkaissut myös standardin NT VVS 106:1995 (Room air cleaners; portable: Performance), jossa ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuottoa tutkitaan tupakansavun avulla 50 m<sup>3</sup> testikammiossa. Saksassa on vuonna 2002 julkaistu standardiehdotus DIN 44973-100 (Air cleaner and air humidifier - Part 100: Electrical air-conditioner for household and similar use; Methods for measuring the performance), jota ei ole vielä vahvistettu viralliseksi standardiksi.

Kiinassa huonekohtaisille ilmanpuhdistimille on olemassa useampi standardi, joista GB/T 18801-2015 (Air Cleaner) on kansallinen, muttei velvoittava. Siitä vastaavat organisaatiot General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (GAQSIQ) ja Standardization Administration (SAC) of the People's Republic China. Muita standardeja ovat APIAC/LM 01-2015 (Indoor air purifier's purification performance evaluation requirements), josta vastaa organisaatio Air Purifier Industry Alliance of China (APIAC), ja JG/T 294-2010 (Test Pollutant Cleaning Performance of Air Cleaner), jonka takana on Kiinan koneteollisuussektori. Standardeissa tarkastellaan ilmanpuhdistimen suorituskykyä hiukkasmaisille ja kaasumaisille epäpuhtauksille eri kokoisissa testikammioissa. Hiukkasmaisia epäpuhtauksia tuotetaan muun muassa tupakansavulla tai käyttämällä natriumkloridia (NaCl), kaliumkloridia (KCl), DEHS-yhdistettä (di-ethyl-hexyl-sebacate) ja DOP-yhdistettä (di-octyl-phthalate). Kaasumaisina epäpuhtauksina käytetään tolueenia ja formaldehydiä. [38, 39]

Japanissa on olemassa useampi standardi huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn arvioimiseen: JEM 1467 (1995) Air Cleaners of Household and Similar, JIS C 9615 (2007) Air Cleaners, JACA No. 50(E) Guideline for performance evaluation of air cleaners, ja JACA No.36 (2000) Guidelines for test method of tobacco smoke removing apparatus. JEM-standardista vastaa organisaatio Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), JIS-standardista organisaatio Japanese Industrial Standards Committee (JISC) ja JACA-standardista organisaatio Japan Air Cleaning Association (JACA). Standardeissa keskitytään tarkastelemaan ilmanpuhdistimen poistotehokkuutta hiukkasmaisille ja kaasumaisille epäpuhtauksille eri kokoisissa testikammioissa. Hiukkasmaisina epäpuhtauksina käytetään muun muassa tupakansavua ja NaCl-hiukkasia sekä kaasumaisissa tupakansavun lisäksi tolueenia, formaldehydiä, asetaldehydiä sekä ammoniakkia. [40, 41]

Aasian maista myös Korealla on oma standardinsa SPS-KACA002-132 (2006) Room air cleaner standard. Siitä vastaa korealainen organisaatio Korea Air Cleaning Association (KACA). Tässä standardissa määritetään ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto (clean air delivery rate, CADR) tuottamalla testihiukkasia kaliumkloridista (KCl) ja käyttämällä testikaasuna muun muassa ammoniakkia, etikkahappoa tai asetaldehydiä. Testi tehdään 4 m<sup>3</sup> testikammiossa. [42]

Huonekohtaisille ilmanpuhdistimille on olemassa myös kansainvälinen esistandardi IEC/PAS 62587:2008 (Method for measuring performance of portable household electric room air cleaners), jonka on julkaissut sähköalan standardisoimisorganisaatio International Electrotechnical Commission (IEC). Esistandardin käytön laajuudesta ei ole tiedossa muuta kuin se, että sitä myydään monen kansallisen standardisointijärjestön sivuilla esimerkiksi Euroopassa, sekä myös Persianlahden arabimaiden yhteistyöneuvoston (Gulf Cooperation Council, GCC) ja Jemenin yhteisen standardisointijärjestö GCC Standardization Organization (GSO) sivuilla. Lisäksi myös kiinalaisessa standardissa GB/T 18801 on viittaus tähän esistandardiin.

Huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskykyä tutkitaan myös HVAC-järjestelmään kiinnitettäville suodattimille ja laitteille tarkoitettuja standardeja soveltamalla. Tällaisia ovat muun muassa eurooppalainen standardi EN 1822 (High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA)) hiukkasmaisille epäpuhtauksille, ja kansainvälinen standardi ISO 10121-2 (Test methods for assessing the performance of gas-phase air cleaning media and devices for general ventilation) sekä yhdysvaltalainen standardi ASHRAE 145.2 (Laboratory Test Method for Assessing the Performance of Gas-Phase Air Cleaning Systems: Air Cleaning Devices) kaasumaisille epäpuhtauksille.

Näissä standardeissa käytetään läpivirtausmenetelmää, jossa laite kiinnitetään tiiviisti kahden kammion väliin siten, että laitteen erotusaste saadaan määritettyä laitetta edeltävästä kontaminoituneesta ilmavirrasta sekä laitteen läpi tulleesta ilmavirrasta. Hiukkasmaisia epäpuhtauksia tuotetaan ilmaan käyttämällä aineita DEHS (di-ethyl-hexyl-sebacate), PAO (polyalphaolefin), PSL (Poly-Styrol Latex) tai parafiiniöljy. Testikaasuina käytetään muun muassa tolueenia ( $C_7H_8$ ), formaldehydiä ( $CH_2O$ ), ammoniakkia ( $NH_3$ ), rikkidioksidia ( $SO_2$ ), typpidioksidia ( $NO_2$ ) ja otsonia ( $O_3$ ).

Lisäksi käytetään standardia ISO 5167-1 (Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full) ilmanpuhdistimen tuottaman ilmavirran määrittämiseen. Laite asennetaan tiiviisti kahden kammion väliin läpivirtausmenetelmän mukaisesti siten, että kaikki sen läpi kulkeva ilmavirta saadaan mitattua standardinmukaisen venturiputken avulla.

Seuraavaksi tarkastellaan standardeissa ANSI/AHAM AC-1, AHAM AC-3, GB/T 18801, JEM 1467 ja NF B44-200, menetelmissä NT CONS 009 ja NT VVS 106, sekä esistandardissa IEC/PAS 62587 kuvattuja huonekohtaisten ilmanpuhdistimien mitausmenetelmiä. Liitteessä A on lueteltu kaikki kirjallisuuskatsauksen yhteydessä löytyneet standardit ja menetelmät, joita hyödynnetään ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämisessä. Luetteloon eivät sisälly ilmanpuhdistimien äänitehotason ja sähkötehon mitausmenetelmät tämän työn rajauksen mukaisesti.

#### **4.1 ANSI/AHAM AC-1-2015 (Yhdysvallat)**

ANSI/AHAM AC-1-2015 (Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners) on yhdysvaltalainen standardi, jonka The Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) -järjestö on kehittänyt, ja jonka The American National Standards Institute (ANSI) -järjestö on myös hyväksynyt standardikseen.

Standardi sisältää menetelmän, jolla mitataan ilmanpuhdistimen vaikutusta testikammion hiukkaspitoisuuteen. Tämän perusteella voidaan määrittää ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto hiukkasmaisille epäpuhtauksille. Lisäksi standardi sisältää menetelmän ilmanpuhdistimen ottaman sähkötehon määrittämiseksi valmiustilassa sekä käytön aikana. [43]

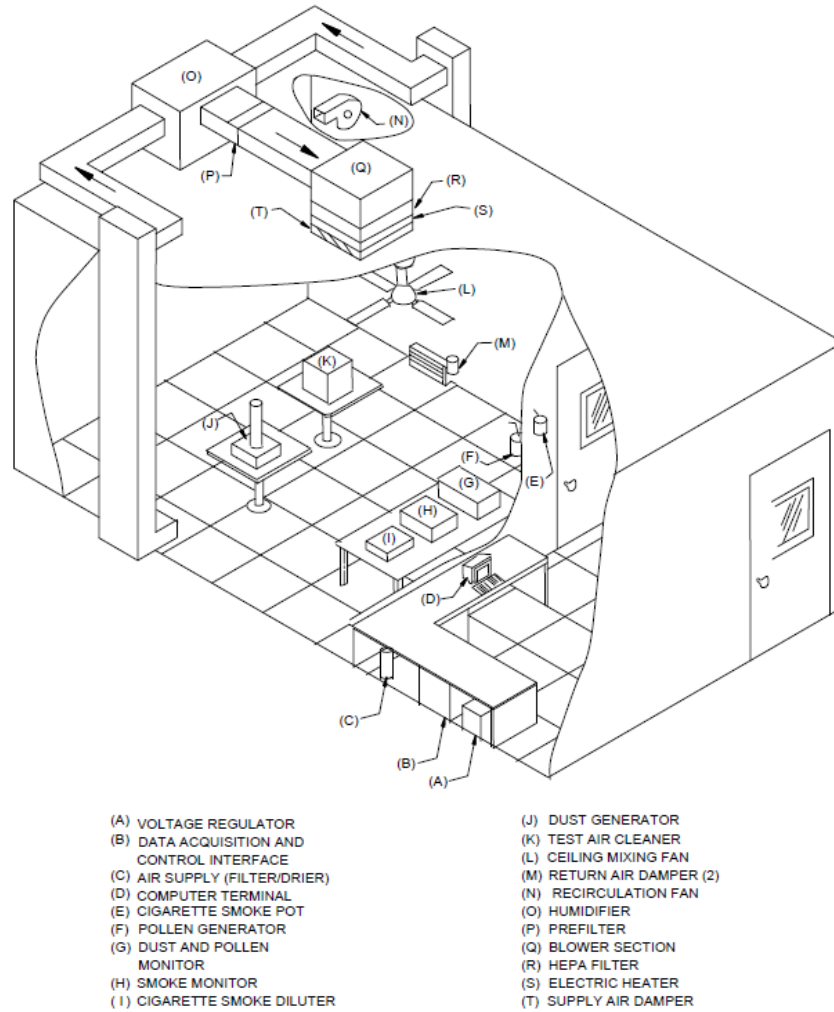
Mittausmenetelmä on tarkoitettu liikuteltaville, huonekohtaisille ilmanpuhdistimille, joiden toimintaperiaate perustuu mekaaniseen tai sähköiseen suodattimeen tai ionisaatioon. Ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto tulee olla välillä minimissään 17 m<sup>3</sup>/h ja maksimissaan 765 m<sup>3</sup>/h.

#### **4.1.1 Puhtaan ilman tuotto - hiukkaset**

Ilmanpuhdistimen vaikutusta ilmassa olevien hiukkasten vähenemiseen voidaan mitata tässä standardimenetelmässä kolmella testiaineella: tupakansavu (partikkelikokoalue 0,1 µm - 1,0 µm), testipöly (partikkelikokoalue 0,5 µm - 3,0 µm) ja siitepöly (paperimulperi, partikkelikokoalue 5 µm - 11 µm). Hiukkaskokoluokittainen pitoisuuden alenema määritetään testikammiossa (Kuva 6), joka on kooltaan 28,5 m<sup>3</sup> (3,2 m x 3,7 m x 2,4 m). Lämpötilan tulisi olla (21 ± 3) °C ja suhteellisen kosteuden (40 ± 5) % RH.

Testikammiossa käytetään kahta sekoituspuhallinta. Toinen puhallin on katossa, jolla kammioon tuotettavat hiukkaset sekoitetaan tasaisesti huoneen ilmaan testin alussa, ja joka sammutetaan ennen ilmanpuhdistimen käynnistämistä. Toinen puhallin sijaitsee huoneen nurkassa, ja se on päällä koko testin ajan, jotta hiukkaspitoisuus pysyy testin aikana kammiossa mahdollisimman tasaisena.

Testikammioon otettava ilma tuodaan HEPA-suodattimen kautta, jolloin ilmassa olevat partikkelit ovat peräisin lähes yksinomaan käytetystä testiaineesta. Testiaine tuotetaan ilmaan erillisellä generaattorilla. Ennen testin aloittamista kammion ilmanvaihto pysäytetään ja kammio suljetaan tiiviiksi. Kammion hiukkaskokoluokittainen pitoisuus mitataan hiukkaslaskurilla käytettävän testiaineen mukaiselta partikkelikokoalueelta.



**Kuva 6.** ANSI/AHAM AC-1 -menetelmän havainnekuva testikammioista [43].

Testikammion hiukkaspitoisuuden aleneman vakio  $k$  lasketaan kaavasta (1):

$$C_{t_i} = C_i \cdot e^{-kt_i} \quad (1)$$

jossa  $C_{t_i}$  on hiukkaspitoisuus testikammion ilmassa ajan hetkellä  $t$  ( $\text{kp}/\text{cm}^3$ )  
 $C_i$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa kokeen alussa ( $t=0$ ) ( $\text{kp}/\text{cm}^3$ )  
 $k$  on pitoisuuden aleneman vakio ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $t_i$  on mittaukseen kulunut aika ( $t=i$ ) (min).

Hiukkaspitoisuuden aleneman vakion  $k$  ja tilavuuden  $V$  perusteella saadaan laskettua ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto (clean air delivery rate, CADR) kaavasta (2):

$$CADR = V(k_t - k_n) \quad (2)$$

jossa CADR on puhtaan ilman tuotto ( $\text{m}^3/\text{min}$ )  
 $V$  on testikammion tilavuus ( $\text{m}^3$ )  
 $k_t$  on testipitoisuuden aleneman vakio ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $k_n$  on tyhjän kammion aiheuttaman pitoisuuden aleneman vakio ( $\text{min}^{-1}$ ).



### 4.1.2 Huonekoko

Puhtaan ilman tuoton perusteella voidaan laskea ilmanpuhdistimelle suurin suositeltu huonekoko  $A$  kaavasta (3), kun testiaineena on käytetty tupakansavua:

$$A = \frac{CADR}{32(k_v + k_{dep})} \quad (3)$$

jossa  $A$  on ilmanpuhdistimelle suositeltu huoneen maksimipinta-ala ( $m^2$ )  
 CADR on puhtaan ilman tuotto tupakansavulla ( $m^3/min$ )  
 $k_v = 0,01667 \text{ min}^{-1}$  on standardissa ilmoitettu laskennallinen kerroin, kun tilan ilmanvaihtuvuus on 1/h.  
 $k_{dep} = 0,0034 \text{ min}^{-1}$  on standardissa ilmoitettu laskennallinen tupakansavun laskeutumiskerroin.

Kaavassa oletettu huonekorkeus on 2,44 m (8 jalkaa). Huonekoko määritetään tasapainomenetelmän matemaattisen mallin mukaisesti perustuen puhtaan ilman tuoton (CADR) vaatimukseen poistaa 80% tupakansavusta hiukkaskokoalueelta 0,1 - 1,0  $\mu m$ .

## 4.2 AHAM AC-3-2009 (Yhdysvallat)

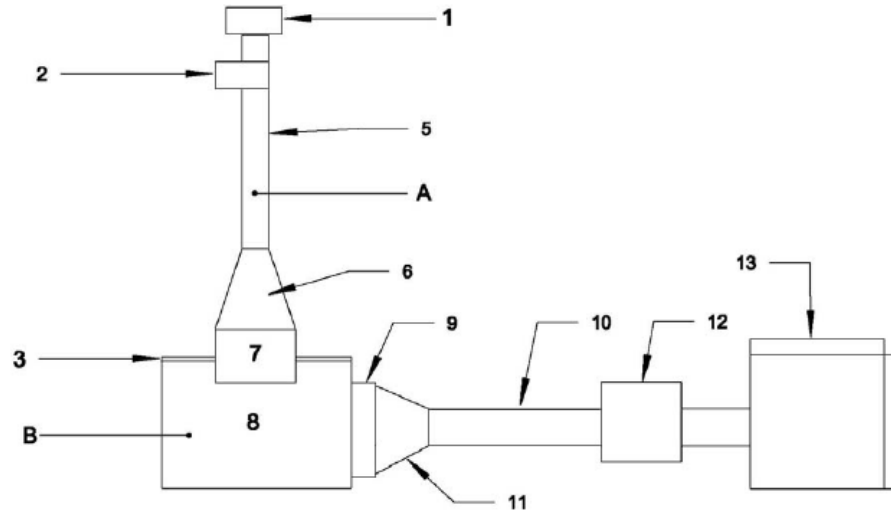
AHAM AC-3-2009 (Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners Following Accelerated Particulate Loading) on yhdysvaltalainen standardi, jonka The Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) -järjestö on kehittänyt.

Standardin sisältämää ilmanpuhdistimien kuormitusmenetelmää on tarkoitus käyttää yhdessä standardin ANSI/AHAM AC-1 mittausmenetelmän kanssa. Näin voidaan määrittää ilmanpuhdistimen käytön aiheuttaman kuormittumisen prosentuaalinen vaikutus puhtaan ilman tuottoon. Menetelmässä kuormitetaan ilmanpuhdistinta nopeutetulla prosessilla läpivirtausmenetelmällä käyttäen hiukkasmäärää, jolle laite altistuisi halutussa ajassa, esimerkiksi kolmen kuukauden eli 90 päivän aikana. Testiaineena käytetään samoja kolmea ainetta kuin standardissa ANSI/AHAM AC-1, tupakansavu, testipöly ja siitepöly. Ennen ja jälkeen kuormittamisen suorittamista tulee määrittää ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto hiukkasmaisille epäpuhtauksille standardin ANSI/AHAM AC-1 mukaisesti. [44]

Mittausmenetelmä on tarkoitettu liikuteltaville, huonekohtaisille ilmanpuhdistimille, joiden toimintaperiaate perustuu mekaaniseen tai sähköiseen suodattimeen tai ionisaatioon. Puhdistimen tulee kuitenkin olla asennettavissa mittausmenetelmän edellyttämään järjestelmään, ja sen tuottaman ilmavirran tulee olla minimissään 17  $m^3/h$  ja maksimissaan 1019  $m^3/h$ .

Kuormitusprosessissa tulee käyttää sekä testipölyä että tupakansavua. Kuormitusaika on kuusi tuntia. Lämpötilan tulee olla  $(21 \pm 6) \text{ }^\circ\text{C}$  ja suhteellisen kosteuden  $(40 \pm 15) \% \text{ RH}$ .

Kuormitus toteutetaan standardinmukaisessa mittausjärjestelmässä (Kuva 7). Testihiukaset tuotetaan ilmaan erillisillä generaattoreilla. Ilman taustapitoisuuden vaikutus kuormituksessa on niin vähäinen, että sitä ei tarvitse ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.



**Key**

- |   |  |
|---|--|
| 1 Make-up air                                 | 8 Discharge chamber                    |
| 2 Cigarette smoke generator<br>Dust generator | 9 HEPA filter                          |
| 3 Exhaust transition plenum                   | 10 Discharge duct                      |
| 4 Intake assist fan                           | 11 Discharge transition exhaust plenum |
| 5 Intake plenum – 4", 6", 8" or 10"           | 12 Exhaust assist fan                  |
| 6 Intake transition plenum                    | 13 Exhaust HEPA box (4-sides)          |
| 7 Air cleaner                                 |  |

**Kuva 7.** ANSI/AHAM AC-3 -menetelmän havainnekuva mittausjärjestelmästä [44].

Jotta voidaan määrittää tarvittava kokonaismäärä kuormituksessa käytettävälle testipölylle, tulee suurin ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta mitata. Standardissa suositellaan käyttämään ilmavirran mittaamiseen jotain tunnettua menetelmää, kuten mittauslaippaa tai suutinta. Ilmavirta tulee määrittää kolmesta eri suodatinerästä. Ilmanpuhdistin asennetaan mittausjärjestelmään ja kuormituksessa käytettävä ilmavirta säädetään mittauksen alussa alkuperäisen, mitatun ilmavirran mukaiseksi. Ilmavirran määrää ei säädetä kuormituksen aikana. Kuormituksessa käytettävä pölyn kokonaismassa (g) lasketaan seuraavasti:

$$\text{Pölyn kokonaismassa} = 60 \mu\text{g}/\text{m}^3 (\text{tuotettu pitoisuus}) \times \text{ilmavirta} (\text{m}^3/\text{min}) \times 1440 \text{ min}/\text{päivä} \times \text{simuloitavien päivien lukumäärä}$$

Halutulle ajanjaksolle soveltuva tupakkamäärä määritetään laskennallisesti. Laitteille, joiden tuottama ilmavirta on suurempi tai yhtä suuri kuin 50 cfm (85 m<sup>3</sup>/h), kokonaistupakkamäärä määritetään seuraavasti:

*Kokonaistupakkamäärä = [1/2 tupakka × suurin ilmavirta (cfm) /50] × simuloitavien päivien lukumäärä.*

Kun laitteen tuottama ilmavirta on pienempi kuin 85 m<sup>3</sup>/h, kokonaistupakkamäärä määritetään seuraavasti:

*Kokonaistupakkamäärä = 1/2 tupakka × simuloitavien päivien lukumäärä.*

Kuormituksen aikana kokonaispölymäärä syötetään ilmanpuhdistimelle siten, että määrä jakautuu tasaisesti kuuden tunnin testiajalle. Esimerkiksi jos halutaan tarkastella kolmen kuukauden aikaista kuormitusta, tälle ajalle laskettu testipölyn kokonaismassa syötetään ilmanpuhdistimelle tasaisesti kuuden tunnin aikana. Myös laskennallisesti saatu tupakkamäärä poltetaan tasaisin väliajoin kuuden tunnin aikana. Mikäli laitteelle tulisi tehdä huoltotoimenpiteitä tarkasteltavan käyttöajan aikana, voidaan ne tehdä soveltuvasti kuormituksen välissä.

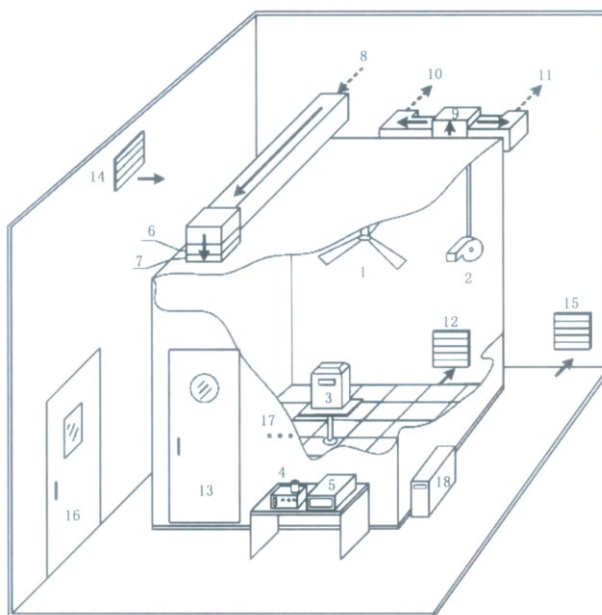
Kuormituksen jälkeen ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto määritetään uudelleen standardin ANSI/AHAM AC-1 mukaisesti. Alkuperäisen ja kuormituksen jälkeisen puhtaan ilman tuoton ero ilmoitetaan positiivisena tai negatiivisena prosentuaalisena muutoksena.

### **4.3 GB/T 18801-2015 (Kiina)**

Kiinan virallisin, kansallinen standardi huonekohtaisille ilmanpuhdistimille on GB/T 18801-2015 (Air Cleaner). Se on tarkoitettu kotitalouskäyttöön tai muuhun vastaavaan käyttöön tehdyille sähkölaitteille, jotka poistavat hiukkasmaisia, kaasumaisia tai eläviä epäpuhtauksia ilmasta. Standardi soveltuu muun muassa puhdistimille, joiden puhdistustekniikka perustuu suodattimiin, adsorptioon, kemialliseen katalyysiin, fotokatalyysiin, sähköiseen suodatukseen, plasmaan tai useamman tekniikan yhdistelmään. Standardissa annetaan vaatimus, että puhdistin ei saa tuottaa ihmisen terveydelle vaarallisia aineita, vaan niiden tulee täyttää kiinalaisissa standardeissa GB 4706.45 ja GB 21551.3 annetut vaatimukset muun muassa säteilyn, myrkyllisyyden ja muiden saman kaltaisten terveysvaarojen suhteen. [39]

Standardissa on kuvattu mittausmenetelmät, joiden avulla voidaan määrittää ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto (CADR) sekä kumulatiivinen puhdistusteho (CCM cumulative clean mass) hiukkasille ja kaasuille. Testiaineina käytetään hiukkasille tupakansavua. Kaasuille ei ole määritetty mitään tiettyä testikaasua, mutta esimerkikaasuna käytetään formaldehydiä (metanaali) lähtöpitoisuudella 1 mg/m<sup>3</sup> (0,81 ppm) ja tolueenia lähtöpitoisuudella 2 mg/m<sup>3</sup> (0,53 ppm). Puhtaan ilman tuotto määritetään testikammiossa, joka on kooltaan 30 m<sup>3</sup> (3,5 m × 3,4 m × 2,5 m) (Kuva 8) tai 3 m<sup>3</sup> (1,4 m × 1,4 m × 1,5 m). Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti määritetään 3 m<sup>3</sup>:n testikammiossa. Testin aikana lämpötilan tulee olla (23 ± 2) °C ja suhteellisen kosteuden (50 ± 10) % RH. Puhdistimen

tuottaman ilmavirran tulee olla välillä 30 m<sup>3</sup>/h - 800 m<sup>3</sup>/h käytettäessä 30 m<sup>3</sup>:n testikammiota ja välillä 10 m<sup>3</sup>/h - 30 m<sup>3</sup>/h käytettäessä 3 m<sup>3</sup>:n testikammiota.



**Kuva 8.** GB/T 18801 -menetelmän havainnekuva 30 m<sup>3</sup>:n testikammioista [39].

Ilmanpuhdistimen puhdistustehon mikrobeille tulee vastata standardin GB 21551.3-2010 (Antibacterial and cleaning function for household and similar electrical appliances — Particular requirements of air cleaner) vaatimuksia.

#### 4.3.1 Puhtaan ilman tuotto (CADR) – hiukkaset ja kaasut

Hiukkas- ja kaasupitoisuuden alenema mitataan testikammiossa, jonka ilma puhdistetaan ennen testiä muista kuin testihiukkasista HEPA-suodattimen avulla. Testikammiossa käytetään kahta puhallinta. Toinen sekoituspuhallin on katossa, jolla kammioon tuotettava tupakansavu tai testikaasu sekoitetaan tasaisesti huoneen ilmaan testin alussa, ja joka sammutetaan ennen ilmanpuhdistimen käynnistämistä. Toinen puhallin sijaitsee huoneen nurkassa, ja se on päällä koko testin ajan, jotta kammion hiukkas- tai kaasupitoisuus pysyy mahdollisimman tasaisena.

Hiukasmaisten epäpuhtauksien testiaineena toimiva tupakansavu tuotetaan ilmaan joko standardissa kuvatulla generaattorilla tai muulla vastaavalla laitteella. Kammiossa olevien hiukkasten kokonaislukumäärää seurataan optisella hiukkaslaskurilla kokoalueella (0,3 -10) µm ja testikaasun pitoisuutta sopivalla mittausmenetelmällä, esim. kemialliseen adsorptioon perustuvalla menetelmällä tai kaasukromatografilla. Pitoisuutta mitataan testin alusta siihen asti, kunnes kammion testiainepitoisuus on saavuttanut tasapainopitoisuuden ilmanpuhdistimen ollessa päällä.

Testikammion testiainepitoisuuden aleneman vakio  $k$  lasketaan kaavasta (4):

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (4)$$

jossa  $C_t$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa ajan hetkellä  $t$   
(kpl/dm<sup>3</sup> tai mg/m<sup>3</sup>)  
 $C_0$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa kokeen alussa ( $t=0$ )  
(kpl/dm<sup>3</sup> tai mg/m<sup>3</sup>)  
 $k$  on pitoisuuden aleneman vakio (min<sup>-1</sup>)  
 $t$  on mittaukseen kulunut aika (min).

Testiainepitoisuuden aleneman vakion  $k$  ja tilavuuden  $V$  perusteella saadaan laskettua ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto  $Q$  (m<sup>3</sup>/h) kaavasta (5):

$$Q = V \cdot (k_e - k_n) \cdot 60 \quad (5)$$

jossa  $V$  on testikammion tilavuus (m<sup>3</sup>)  
 $k_e$  on testiainepitoisuuden aleneman vakio (min<sup>-1</sup>)  
 $k_n$  on tyhjän kammion aiheuttaman pitoisuuden aleneman vakio (min<sup>-1</sup>).

### 4.3.2 Huonekoko

Puhtaan ilman tuoton  $Q$  sekä huoneen ilmanvaihtokerroimen  $k_v$  avulla voidaan laskea ilmanpuhdistimelle suositeltu huoneen pinta-ala  $S$  kaavasta (6):

$$S \leq \frac{35 \cdot Q - E'}{[P_p \cdot k_v \cdot c_{out} - 35 \cdot (k_0 + k_v)] \cdot h} \quad (6)$$

jossa  $S$  on ilmanpuhdistimelle suositeltu huoneen maksimipinta-ala (m<sup>2</sup>)  
 $Q$  on ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto (m<sup>3</sup>/h)  
 $E'$  (= 0 mg/h) on sisäilman epäpuhtauslähteen tuotto  
 $P_p$  (= 0,8) on kerroin rakennuksen vaipan vuodolle  
 $k_v$  (= 0,6 h<sup>-1</sup> ~ 1,0 h<sup>-1</sup>) on tilan ilmanvaihtokerroin  
 $k_0$  (= 0,2 h<sup>-1</sup>) on hiukkasten luonnollinen laskeutumiskerroin  
 $c_{out}$  (= 300 µg/m<sup>3</sup>) on ulkoilman pitoisuus  
 $h$  (= 2,4 m) on huonekorkeus.

Suluissa olevat lukuarvot on annettu standardissa huonekoon määrittämiseksi ulkoilman ollessa voimakkaasti saastunut.

### 4.3.3 Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti (CCM)

Kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin (CCM cumulative clean mass) mittaamenetelmä perustuu tupakansavun ja kaasumaisten epäpuhtauksien avulla toteutettuun kumulatiiviseen, nopeutetun kuormittumisen testiin. Puhdistuskapasiteetin suuruuden avulla ilmanpuhdistin voidaan luokitella luokkiin P1-P4 (hiukkasmaiset epäpuhtaudet) tai F1-F4 (kaasumaiset epäpuhtaudet).

Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti voidaan määrittää, jos ilmanpuhdistimen hiukkasmaisilla epäpuhtauksilla määritetty puhtaan ilman tuotto on suurempi kuin  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ , ja kaasumaisilla epäpuhtauksilla määritetty puhtaan ilman tuotto on suurempi kuin  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 4.3.3.1 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Hiukkasten kumulatiivista puhdistuskapasiteettia määritettäessä poltetaan pienemmässä testikammiossa ( $3 \text{ m}^3$ ) ensin yksi tupakka, jonka aiheuttama hiukkasmassa ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) mitataan. Sen jälkeen ilmanpuhdistin laitetaan testikammioon ja käynnistetään. Kammiossa poltetaan jatkuvatoimisesti 50 tupakkaa, jonka jälkeen ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto määritetään uudestaan isommassa testikammiossa ( $30 \text{ m}^3$ ). Tämä toistetaan siten, että saadaan määritettyä puhtaan ilman tuotto 50, 100, 150, 200 ja 250 tupakan jälkeen. Testi keskeytetään, jos puhtaan ilman tuotto putoaa 50 %:iin tai sitä pienemmäksi alussa (nolla tupakkaa) saatuun arvoon verrattuna. Ilmanpuhdistimen kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti  $M_{\text{particulates}}$  (mg) on niin monen tupakan tuottaman hiukkasmassan yhteissumma, jolloin puhtaan ilman tuotto on pudonnut 50 %:iin tai sitä pienemmäksi alusta.

#### 4.3.3.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet

Kaasujen kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti määritetään siten, että ilmanpuhdistin laitetaan pienempään testikammioon ( $3 \text{ m}^3$ ), käynnistetään, ja syötetään jatkuvatoimisesti kaasua tunnin jaksoissa. Mikäli käytetään esimerkiksi formaldehydiä, syöttöpitoisuus tulee olla  $20 \text{ mg}/\text{h}$ . Tunnin syötön jälkeen määritetään testikammion pitoisuus, josta voidaan laskea ilmanpuhdistimen ilmasta poistama määrä. Puhdistimen puhtaan ilman tuotto määritetään 16 tunnin jälkeen kuormituksesta. Tämä toistetaan siten, että saadaan määritettyä ilmanpuhdistimen puhdistuskapasiteetti 300 mg, 600 mg, 1000 mg ja 1500 mg testikaasun syötön jälkeen. Kumulatiivinen puhdistuskapasiteetti  $M_{\text{gas}}$  (mg) saadaan lasketua arvosta, jolloin puhtaan ilman tuotto on pudonnut 50 %:iin tai sitä pienemmäksi alkuperäisestä puhtaan ilman tuoton arvosta.

### 4.3.4 Laskennallinen käyttöikä

Standardissa kuvataan huonekohtaisen ilmanpuhdistimen käyttöiän määrittäminen vähimmäismassan  $m_{AC}$  avulla erilaisissa olosuhteissa.

Vähimmäishiukkasmassa  $m_{AC}$ , jonka ilmanpuhdistin pystyy päivän ( $t = 12$  h) aikana puhdistamaan ollessaan käytössä tietyssä vakio-olosuhteessa  $th$ , voidaan laskea massan säilymlakiin perustuen kaavasta (7):

$$m_{AC} \geq [k_v P_p c_{out} - (k_0 + k_v) c_t] S \times h \times t \quad (7)$$

jossa  $k_v = 0,6$  on huoneen ilmanvaihtokerroin ( $h^{-1}$ )  
 $k_0 = 0,2$  on pitoisuuden aleneman vakio ( $h^{-1}$ )  
 $P_p = 0,8$  on rakennuksen vaipan vuoto  
 $c_{out}$  on ulkoilman hiukkaspitoisuus ( $\mu g/m^3$ )  
 $c_t = 35$  on sisäilman hiukkaspitoisuus ( $\mu g/m^3$ )  
 $S$  on ilmanpuhdistimelle suositeltu laskennallinen huoneen pinta-ala ( $m^2$ )  
 $h = 2,4$  on huonekorkeus (m)  
 $t = 12$  on aika, jonka ilmanpuhdistin on päällä (h).

Vähimmäismassa  $m_{AC}$  kaasuille määritetään standardin mukaan käyttäen testiaineena formaldehydiä. Vähimmäismassa  $m_{AC}$  kaasuille, jonka ilmanpuhdistin pystyy päivän ( $t = 12$  h) aikana puhdistamaan ollessaan käytössä tietyssä vakio-olosuhteessa  $th$ , voidaan laskea massan säilymlakiin perustuen kaavasta (8):

$$m_{AC} \geq k_v (c_0 - 0,1) S \times h \times t \quad (8)$$

jossa  $k_v = 0,6$  on huoneen ilmanvaihtokerroin ( $h^{-1}$ )  
 $c_0$  on sisäilman kaasupitoisuus ( $mg/m^3$ )  
 $S$  on ilmanpuhdistimelle suositeltu laskennallinen huoneen pinta-ala ( $m^2$ )  
 $h = 2,4$  on huonekorkeus (m)  
 $t = 12$  on mittaukseen kulunut aika (h).

Suhteuttamalla päivässä puhdistettavan vähimmäismassan määrä ilmanpuhdistimen kumulatiivisen puhdistuskapasiteetin (CCM) mukaisen luokan raja-arvoihin, saadaan arvioidua huonekohtaisen ilmanpuhdistimen laskennallinen käyttöikä.

## 4.4 JEM 1467-2013 (Japani)

JEM 1467 (2013) (Air Cleaners of Household and Similar Use) on japanilainen standardi, jonka on kehittänyt Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA) -järjestö.

Mittausmenetelmä on tarkoitettu huonekohtaisille ilmanpuhdistimille, joita käytetään kotona ja toimistoissa poistamaan ilmasta hajuja ja hiukkasia. Standardissa määritellään

kaksi menetelmää, joista ensimmäisessä määritetään ilmanpuhdistimen puhdistustehokkuus sekä -kapasiteetti ilman kaasumaisille epäpuhtauksille (ammoniakki, asetaldehydi ja etikkahappo) testiaineena tupakansavu. Toinen menetelmä määrittää ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton hiukkasmaisille epäpuhtauksille testiaineena tupakansavu. Myös ilmanpuhdistimen ilmavirta tulee mitata. [40]

Ilmanpuhdistimen vaikutus ilmassa olevien kaasumaisten epäpuhtauksien vähenemiseen määritetään 1 m<sup>3</sup> kokoisessa tiiviissä testikammiossa. Testikammion ilmaan tuotetaan kaasumaisia epäpuhtauksia polttamalla tupakoita tarvittava määrä. Ilmanpuhdistimen oltua käynnissä 30 minuuttia kolmen kaasumaisen epäpuhtauden, ammoniakki, asetaldehydi ja etikkahappo, pitoisuus ilmassa mitataan. Edellä mainittu prosessi toistetaan niin usein, että ilmanpuhdistimen puhdistustehokkuus  $\eta$  on suurempi kuin 50 % kullekin epäpuhtaudelle. Poltettujen tupakoiden määrä otetaan ylös ja siihen perustuen lasketaan ilmanpuhdistimelle todellinen keräyskapasiteetti  $M$ . [40]

Toisessa menetelmässä ilmanpuhdistin asetetaan testikammioon, jonka koko voi vaihdella 20 m<sup>3</sup> ja 30 m<sup>3</sup> välillä. Testikammion ilmaan tuotetaan hiukkasia tupakansavulla 1-5 mg/m<sup>3</sup>. Ilmanpuhdistimen vaikutusta hiukkaspitoisuuteen mitataan optisella hiukkaslaskurilla. Pitoisuuden tulee laskea kolmasosaan lähtöpitoisuudesta, jonka jälkeen ilmanpuhdistimelle voidaan laskea puhtaan ilman tuotto  $P$  kaavasta (9):

$$P = \frac{V}{t} \left( \ln \frac{C_2}{C_{02}} - \ln \frac{C_1}{C_{01}} \right) \quad (9)$$

jossa

- V on testikammion tilavuus
- t on mittaukseen kulunut aika
- C<sub>2</sub> on testikammion testiainepitoisuus ajan hetkellä t
- C<sub>02</sub> on testikammion testiainepitoisuus kokeen alussa (t=0)
- C<sub>1</sub> on tyhjän testikammion testiainepitoisuus ajan hetkellä t
- C<sub>01</sub> on tyhjän testikammion testiainepitoisuus kokeen alussa (t=0).

Jos ilmanpuhdistimen ilmavirta on määritetty erillisen standardin mukaisella mittausmenetelmällä, voidaan ilmanpuhdistimen puhdistustehokkuus  $\eta$  hiukkasmaisille epäpuhtauksille laskea kaavasta (10):

$$\eta = 100 \frac{1}{Q} P \quad (10)$$

jossa

- Q on ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta
- P on ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto.

Menetelmän mukaan ilmanpuhdistimen käyttöikä (ilmaistuna päivissä) voidaan laskea testissä käytettyjen tupakoiden määrästä suhteutettuna määrään, joka voidaan olettaa tupakoitavan yhden päivän aikana. [40]



## 4.5 NF B44-200-2016 (Ranska)

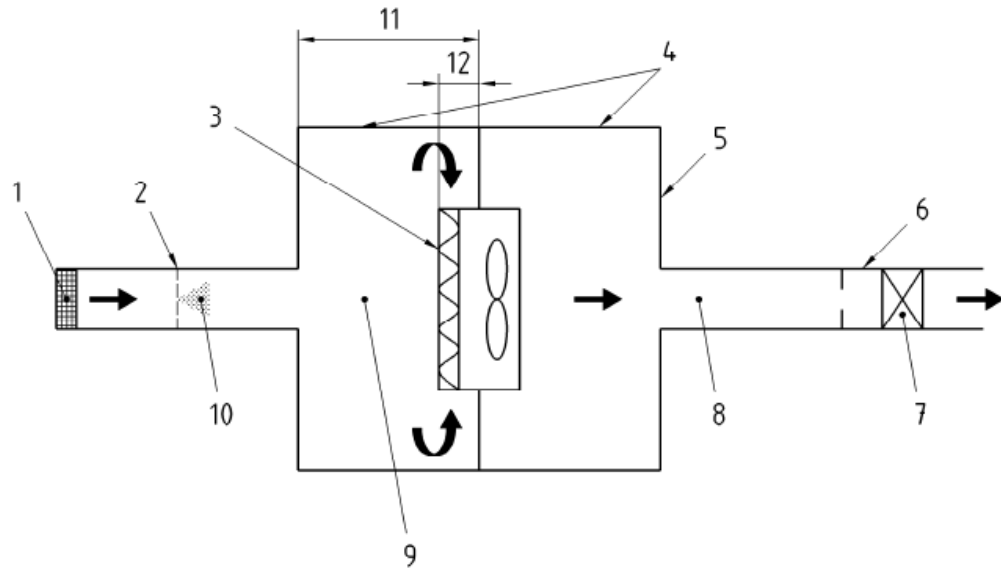
Ranskalaisesta standardista NF B44-200-2016 (Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances) vastaa standardisoimisjärjestö Association Française de Normalisation (AFNOR). Menetelmä soveltuu huonekohtaiselle, liikuteltavalle ilmanpuhdistimille, jonka sisältämän ilmanpuhdistustekniikan on tarkoitus poistaa ilman epäpuhtauksia tai tuhota niitä. [45]

Standardi sisältää menetelmän mitata ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta, mahdolliset sivutuotteena ilmanpuhdistimesta itsestään tai reaktioista ilman epäpuhtauksien kanssa syntyvät epäpuhtaudet, ja puhtaan ilman tuotto suodatustehokkuudesta kaasuille, mikrobeille, kissa-allergeeneille sekä hiukkasille. Suodatustehokkuus määritetään myös pelkälle mittausjärjestelmälle ilman ilmanpuhdistinta, jotta voidaan todeta järjestelmän toimivan standardin antamissa rajoissa.

Mittauksessa käytetään niin kutsuttua läpivirtausmenetelmää, jossa ilmanpuhdistin asennetaan tiiviisti kahtia jaettuun testikammioon siten, että puhdistimen sisäänvirtaus- ja ulospuhallusaukot ovat erillisissä kammioissa (Kuva 9). Toiseen kammioon yhdistetään tuloilmakanava ja toiseen poistokanava. Kammioiden välinen paine-ero säädetään nolnaan erillistä puhallinta käyttämällä, jotta testitilanne vastaa puhdistimen normaalia toimintaolosuhdetta. Testiaine syötetään tasaisena pitoisuutena tuloilmaan. Eri testiaineet mitataan erillisinä sarjoina. Testi-ilman lämpötilan tulee olla  $(22 \pm 2)$  °C, suhteellisen kosteuden  $(50 \pm 5)$  % RH ja ilmanpaineen 1,013 hPa.

### 4.5.1 Ilmavirta

Kammioiden välisen paine-eron ollessa nolla määritetään ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta tarkoituksenmukaista mittalaitetta käyttäen, kuten esimerkiksi standardin ISO 5167 mukaisella venturiputkella tai mittauslaipalla. Ilmavirran määrä ilmaistaan yksikössä  $\text{m}^3/\text{h}$ .



#### Key

- 1 HEPA filter
- 2 Mesh screen
- 3 Air purification device under test
- 4 Pressure differential upstream to downstream of the air purification device set at zero ( $\Delta P = 0$ )
- 5 Test chamber
- 6 Air flow rate measurement
- 7 Fan
- 8 Downstream sampling
- 9 Upstream sampling
- 10 Injection of pollutants
- 11 Dimension of the upstream section of the test chamber
- 12 Dimension of the air purification device that overruns into the upstream section of the test chamber

*Kuva 9. NF B44-200 -menetelmän havainnekuva mittausjärjestelmästä [45].*

### 4.5.2 Puhtaan ilman tuotto – hiukkaset

Hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodatustehokkuus määritetään käyttämällä testiaerosolina DEHS (di-ethyl-hexyl-sebacate) -hiukkasia. Hiukkasia tuotetaan tuloilmaan tasainen pitoisuus jatkuvalla syötöllä käyttäen tarkoituksenmukaista menetelmää. Tulo- ja poistoilman hiukkaspitoisuus määritetään optisella hiukkaslaskurilla siten, että pitoisuusmittaus toistuu tulopuolelta yhdeksän kertaa (kolme kertaa kolmen jaksossa) ja poistopuolelta kuusi kertaa (kaksi kertaa kolmen jaksossa). Mittausjakson pituus tulee valita väliltä 30-60 sekuntia, ja sen tulee olla sama jokaisessa mittauksessa. Hiukkasia mitataan kokojakaumalla (0,3 - 5)  $\mu\text{m}$ . Tulo- ja poistoilman hiukkaspitoisuuksien keskiarvot lasketaan kaavalla (11):

$$\overline{C_{up,t,\alpha}} = \frac{1}{9} \sum_{\alpha=1}^9 N_i \quad \text{ja} \quad \overline{C_{down,t,\alpha}} = \frac{1}{6} \sum_{\alpha=1}^6 n_i \quad (11)$$

jossa  $C_{up,i,\alpha}$  on tuloilman hiukkaspitoisuus (kpl)  
 $C_{down,i,\alpha}$  on poistoilman hiukkaspitoisuus (kpl)  
 $N_i$  on hiukkasten lukumäärä tuloilmassa (kpl)  
 $n_i$  on hiukkasten lukumäärä poistoilmassa (kpl).

Hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodatustehokkuus saadaan kaavasta (12):

$$E_{i,\alpha} = 100 \left( \frac{\overline{C_{up,t,\alpha}} - \overline{C_{down,t,\alpha}}}{\overline{C_{up,t,\alpha}}} \right) \quad (12)$$

jossa  $E_{i,\alpha}$  on suodatustehokkuus hiukkasille (%)  
 $C_{up,i,\alpha}$  on tuloilman hiukkaspitoisuus (kpl)  
 $C_{down,i,\alpha}$  on poistoilman hiukkaspitoisuus (kpl).

Puhtaan ilman tuotto  $QAP$  saadaan laskettua kaavasta (13):

$$QAP = Q \times E \quad (13)$$

jossa  $Q$  on laitteen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $E$  on suodatustehokkuus (%).

### 4.5.3 Puhtaan ilman tuotto – kaasut

Kaasumaisten epäpuhtauksien suodatustehokkuus tulee määrittää viiden yhdisteen seoksena. Yhdisteiden tulee vastata tyypillisiä sisäilmasta löytyviä epäpuhtauksia. Esimerkkinä mainitaan yhdisteet asetoni ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ), asetaldehydi ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ), formaldehydi ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), heptaani ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ) ja tolueni ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ). Testikaasut generoidaan ilmaan jatkuvatoimisesti ja yhtäaikaaisesti sopivia menetelmiä käyttäen. Testikaasujen pitoisuus mitataan tulo- ja poistoilmasta käyttäen tarkoituksenmukaisia menetelmiä, joiden havaitsemisraja on vähintään 10 % tuloilman pitoisuusarvosta. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa massaspektrometrinen detektio ja korkean erotuskyvyn nestekromatografia (HPLC). Näytteen keräys voidaan toteuttaa esimerkiksi Tenax-absorbentilla. Rinnakkaisimittauksia tehdään kolme ja tulos ilmoitetaan keskiarvona. Kaasujen puhdistustehokkuus saadaan kaavasta (14):

$$E = \frac{1}{3} \sum_{\alpha=1}^3 \left( 100 \left( \frac{C_{up,j,\alpha} - C_{down,j,\alpha}}{C_{up,j,\alpha}} \right) \right) \quad (14)$$

jossa  $E$  on puhdistustehokkuus mikrobeille (%)  
 $C_{up,j,\alpha}$  on tuloilman kaasupitoisuus (ppbV)  
 $C_{down,j,\alpha}$  on poistoilman kaasupitoisuus (ppbV).

Puhtaan ilman tuotto  $QAP$  saadaan laskettua kaavasta (15):

$$QAP = Q \times E \quad (15)$$

jossa  $Q$  on laitteen ilmavirta ( $m^3/h$ )  
 $E$  on puhdistustehokkuus (%).

#### 4.5.4 Puhtaan ilman tuotto – mikrobit

Mikrobiologisten epäpuhtauksien puhdistustehokkuutta tutkitaan *Staphylococcus epidermidis* -bakteerilla ja *Aspergillus niger* -sienellä. Testit toteutetaan eriaikaisesti. Kummallakin mikrobilla tehtävät testit toistetaan viisi kertaa. Tulo- ja poistoilman mikrobipitoisuus määritetään käyttäen esimerkiksi ilmanäytteenottomenetelmää. Tulos ilmoitetaan rinnakkaismittausten keskiarvona. Mikrobin puhdistustehokkuus saadaan kaavasta (16):

$$E = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 \left( 100 \left( \frac{C_{up,k} - C_{down,k}}{C_{up,k}} \right) \right) \quad (16)$$

jossa  $E$  on puhdistustehokkuus mikrobeille (%)  
 $C_{up,k}$  on tuloilman mikrobipitoisuus ( $CFU/m^3$ )  
 $C_{down,k}$  on poistoilman mikrobipitoisuus ( $CFU/m^3$ ).

Puhtaan ilman tuotto  $QAP$  saadaan laskettua kaavasta (17):

$$QAP = Q \times E \quad (17)$$

jossa  $Q$  on laitteen ilmavirta ( $m^3/h$ )  
 $E$  on puhdistustehokkuus (%).

#### 4.5.5 Puhtaan ilman tuotto – allergeenit

Allergeenien suodatustehokkuus määritetään käyttämällä kissa-allergeenia. Allergeeni generoidaan tuloilmaan jatkuvatoimisesti sopivaa menetelmää käyttäen. Allergeenipitoisuus mitataan tulo- ja poistoilmasta ohjaamalla ilma lasikuitusuodattimille, joista allergeenit uutetaan PBP BSA 1% (bovine serum albumin in phosphate buffer saline) -liuokseen. Liuoksen allergeenipitoisuus määritetään ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) -menetelmällä. Rinnakkaismittauksia tehdään kolme ja tulos ilmoitetaan keskiarvona. Allergeenien puhdistustehokkuus saadaan kaavasta (18):

$$E = \frac{1}{3} \sum_{l=1}^3 \left( 100 \left( \frac{C_{up,l} - C_{down,l}}{C_{up,l}} \right) \right) \quad (18)$$

jossa  $E$  on puhdistustehokkuus allergeeneille (%)  
 $C_{up,1}$  on tuloilman allergeenipitoisuus ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )  
 $C_{down,1}$  on poistoilman allergeenipitoisuus ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

Puhtaan ilman tuotto  $QAP$  saadaan laskettua kaavasta (19):

$$QAP = Q \times E \quad (19)$$

jossa  $Q$  on laitteen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $E$  on puhdistustehokkuus (%).

#### 4.5.6 Sivutuotteet

Ilmanpuhdistimen tuottamasta ilmavirrasta tutkitaan sen mahdollisesti tuottamat sivutuotteet, joita ovat otsoni ( $\text{O}_3$ ), hiilimonoksidi ( $\text{CO}$ ), typpimonoksidi ( $\text{NO}$ ) ja typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ ). Näiden sivutuotteiden esiintyminen tutkitaan myös kaasumaisten epäpuhtauksien suodatuskyvyn mittauksen aikana. Sivutuotteiden määrittämiseen käytetään sopivia olemassa olevia menetelmiä.

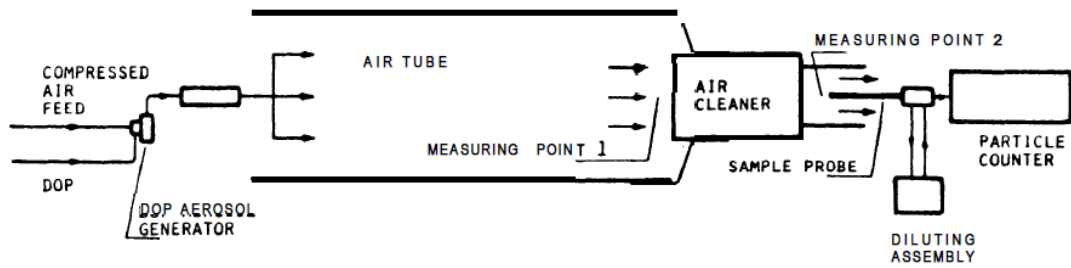
### 4.6 Nordtest Method NT CONS 009-1985 (Pohjoismaat)

Menetelmän Nordtest Method NT CONS 009 - 1985 (Room Air Cleaners) on kehittänyt pohjoismaainen järjestö Nordtest, jonka on perustanut vuonna 1973 Pohjoismaiden Ministerineuvosto.

Mittausmenetelmä on tarkoitettu huonekohtaisille ilmanpuhdistimille, joiden toimintaperiaate perustuu mekaaniseen kuitusuodattimeen tai sähköiseen suodattimeen. Menetelmässä määritellään suorituskvyn mittausmenetelmät hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodatustehokkuudelle, laitteen tuottamalle tilavuusvirralle, puhtaan ilman tuotolle, puhallusilman heittopituudelle sekä otsonin tuotolle. [46]

#### 4.6.1 Suodatustehokkuus

Ilmanpuhdistimen suodatustehokkuus määritetään käyttämällä testiaineena DOP (di-octyl-phthalate) -hiukkasia. Ilmanpuhdistin kiinnitetään mittausjärjestelmään (Kuva 10), jossa läpivirtausmenetelmä käyttäen testihiukkasia syötetään laitteen läpi jatkuvatoimisesti.



**Kuva 10.** Menetelmän NT CONS 009 mittausjärjestelmän periaatekuva [46].

Hiukkaspitoisuus mitataan ilmasta ennen ja jälkeen ilmanpuhdistimen, josta saadaan määritettyä laitteen suodatustehokkuus  $E$  kaavasta (20):

$$E = 100 \times \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (20)$$

jossa  $E$  on suodatustehokkuus (%)  
 $n_1$  on testiainepitoisuus testikammion tuloilmassa ( $\text{kpl}/\text{m}^3$ )  
 $n_2$  on testiainepitoisuus testikammion poistoilmassa ( $\text{kpl}/\text{m}^3$ ).

Mittauksessa käytetään optista hiukkaslaskuria. Suodatustehokkuus määritetään laitteen suurimmalla teholla.

#### 4.6.2 Tilavuusvirta

Laitteen tuottama ilmavirta määritetään pussimenetelmällä, mikäli pussin aiheuttama painehäviö on merkityksetön verrattuna laitteen suodattimien aiheuttamaan painehäviöön. Mittauksen alussa pussi on rullattuna ja sen tilavuus tulee olla nolla. Ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta johdetaan pussiin ja pussin täyttymisaika määritetään. Pussin täyttymistä tarkkaillaan seuraamalla paineen kasvua mikromanometrillä. Tilavuusvirta  $F$  lasketaan kaavasta (21):

$$F = 100 \times \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (21)$$

jossa  $F$  on tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{s}$  tai  $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $V$  on pussin tilavuus ( $\text{m}^3$ )  
 $t$  on pussin täyttymisaika (s).

Mikäli pussin aiheuttama painehäviö on merkityksellinen tutkittavan ilmanpuhdistimen suodattimien painehäviöön nähden, voidaan tilavuusvirta määrittää käyttämällä apupuhallinta tai mittaamalla tilavuusvirta laitteen ilmavirrasta virtausnopeusmittalaitteella.

### 4.6.3 Puhtaan ilman tuotto

Puhtaan ilman tuotto voidaan määrittää suodatustehokkuuden ja tilavuusvirran määrittämisen sijaan myös alenemamenetelmällä testikammiossa. Menetelmässä ei anneta mitään tilavuutta testikammionle. Testiaineena käytettäviä DOP (di-octyl-phthalate) -hiukkasia tuotetaan kammioon haluttu pitoisuus, jonka jälkeen ilmanpuhdistin käynnistetään. Kammion ilmaa tulee sekoittaa testin aikana apupuhaltimeen avulla, jotta hiukkaspitoisuus pysyy tasaisena. Kammion hiukkaspitoisuuden muutosta seurataan optisella hiukkaslaskurilla.

Testikammion testiainepitoisuuden alenema saadaan määritettyä kaavasta (22):

$$C_t = C_0 \cdot e^{-E\left(\frac{F}{V}\right)t} \quad (22)$$

jossa  $C_t$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa ajan hetkellä  $t$  (kpl/m<sup>3</sup>)  
 $C_0$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa kokeen alussa ( $t=0$ ) (kpl/m<sup>3</sup>)  
 $E$  on suodatustehokkuus (%)  
 $F$  on tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s tai m<sup>3</sup>/h)  
 $V$  on testikammion tilavuus (m<sup>3</sup>)

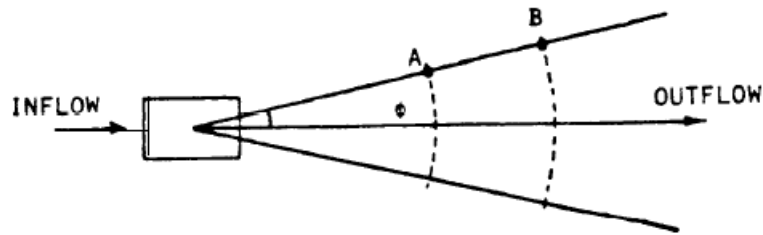
Määrittämällä testikammion hiukkaspitoisuus kahtena eri ajankohtana ( $t_1$ ,  $t_2$ ), saadaan laskettua ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto  $EF$  (m<sup>3</sup>/h) kaavasta (23):

$$EF = \frac{V}{t_2 - t_1} \ln\left(\frac{c_{t_1}}{c_{t_2}}\right) \quad (23)$$

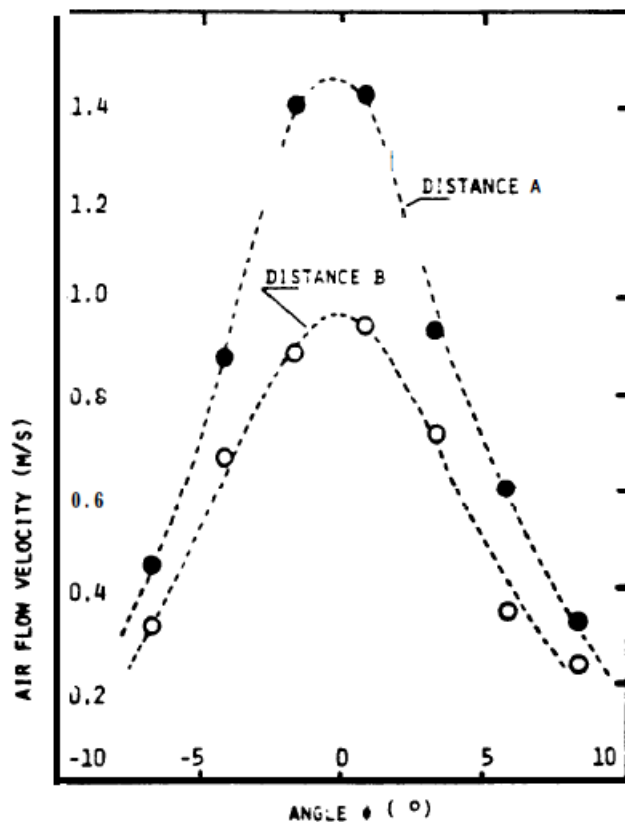
jossa  $c_{t_1}$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa ajan hetkellä  $t$  (kpl/m<sup>3</sup>)  
 $c_{t_2}$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa kokeen alussa ( $t=0$ ) (kpl/m<sup>3</sup>)  
 $E$  on suodatustehokkuus (%)  
 $F$  on tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s tai m<sup>3</sup>/h)  
 $V$  on testikammion tilavuus (m<sup>3</sup>).

### 4.6.4 Ulospuhallusilman heittopituus ja hajotuskuvio

Kriittiseksi, vedon tunnetta aiheuttavaksi virtausnopeudeksi mainitaan menetelmässä NT CONS 009 nopeus 0,2 m/s. Ilmanpuhdistimen ulospuhallusilman virtausnopeutta voidaan tutkia määrittämällä heittopituus eli etsimällä se etäisyys laitteesta, jossa virtausnopeus saavuttaa kriittisen nopeuden (Kuva 11). Toinen mahdollinen tapa tutkia ilmanpuhdistimen ulospuhallusilman virtausnopeutta on määrittää laitteelle hajotuskuvio mitaamalla laitteen tuottama suurin virtausnopeus tietyllä, esimerkiksi 3-5 metrin, etäisyydellä (Kuva 12). Virtausnopeus mitataan menetelmän mukaan termooanemometrillä siitä kohtaa ilmanpuhdistimen ulospuhallusta, joka on ulospuhalluksen pääsuunta.



*Kuva 11. Ulospuhallusilman heittopituuden määrittämisen periaatekuva [46].*



*Kuva 12. Esimerkki hajotuskuvion määrittämisestä kahdella eri etäisyydellä A ja B [46].*

#### 4.6.5 Epäpuhtauksien tuotto

Menetelmässä mainitaan ilmanpuhdistimen mahdollisesti tuottamiksi epäpuhtauksiksi otsoni sekä dityppioksidi eli ilokaasu. Jälkimmäisen sanotaan olevan mahdollinen sivutuote sähkösuodattimen koronavarauksen aikana, mikäli suodatin on likainen. Tämä on mahdollista estää huolehtimalla suodattimen puhdistuksesta valmistajan antamien ohjeiden mukaan.



Otsonin tuotto voidaan määrittää otsonimittalaitteen avulla testikammiossa. Kammioon säädetään haluttu ilmanvaihto, jota ei ole tarkemmin määritelty. Testikammion otsonipitoisuus tulee olla samalla tasolla kuin ympäröivän ilman, ja hiukkaset tulee poistaa ilmasta mekaanisella suodattimella. Ilmanpuhdistimen otsonin tuotto  $g$  saadaan kaavasta (24):

$$g = F \times \Delta c \quad (24)$$

jossa  $g$  on otsonin tuotto ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )  
 $F$  on tilavuusvirta ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )  
 $\Delta c = c_{out} - c_{in}$  on ilmanpuhdistimen vaikuttama otsonipitoisuuden muutos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tai ppb)  
 $c_{out}$  on huoneen poistoilman otsonipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tai ppb)  
 $c_{in}$  on huoneen tuloilman otsonipitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  tai ppb).

Testi tulee tehdä ilman ilmanpuhdistimessa mahdollisesti olevaa kaasusuodatinta sekä kaasusuodattimen kanssa lämpötilan ollessa välillä (18 - 24) °C ja suhteellisen kosteuden (10 - 50) % RH.

## 4.7 Nordtest Method NT VVS 106-1995 (Pohjoismaat)

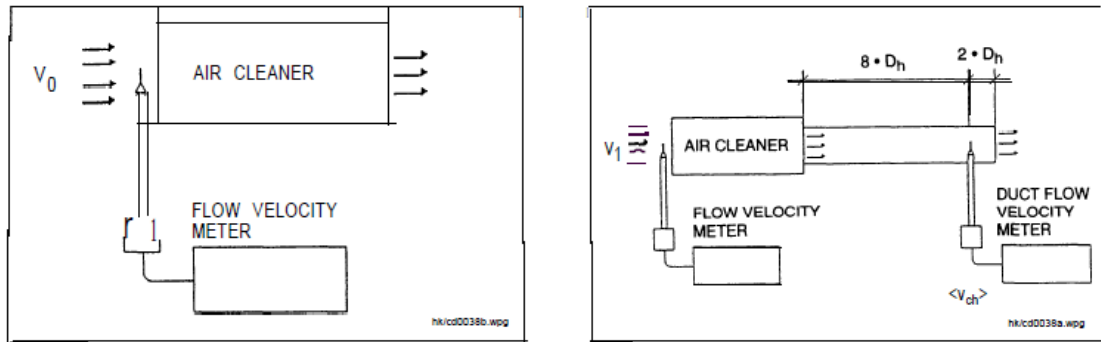
Nordtest Method NT VVS 106:1995 (Room air cleaners; portable: Performance) on toinen pohjoismaisen Nordtest-järjestön tekemä menetelmä huonekohtaisille ilmanpuhdistimille. Mittausmenetelmä on tarkoitettu millä tahansa puhdistustekniikalla toimiville ilmanpuhdistimille, jotka puhdistavat ilmasta hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Menetelmässä määritetään suorituskyvyn mittausmenetelmät laitteen tuottamalle tilavuusvirralle, puhtaan ilman tuotolle käyttäen testihiukkasina tupakansavua, ja otsonin tuotolle. [47]

### 4.7.1 Tilavuusvirta

Ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta määritetään laitteen kaikilla nopeuksilla käyttäen virtausnopeusmittalaitetta. Ilmavirta mitataan useasta eri kohdasta ilmanpuhdistimen sisäänvirtausilmasta sekä siten, että laite on vapaasti tilassa, että ulospuhalluksen ympärille asetetun mittauskanavan asennuksen jälkeen (Kuva 13). Ilmanpuhdistimen ulospuhalluksen keskinopeus määritetään mittauskanavasta. Tilavuusvirta  $Q$  lasketaan kaavasta (25):

$$Q = \frac{v_0}{v_1} \cdot \langle v_{ch} \rangle \cdot Area_{ch} \cdot 3600 \quad (25)$$

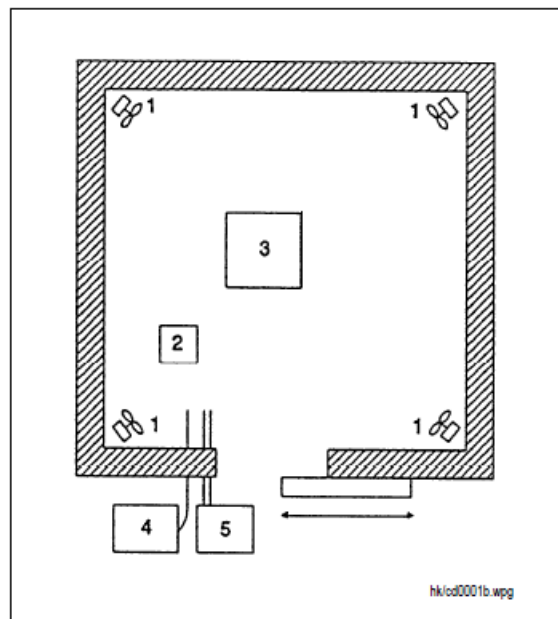
jossa  $Q$  on tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $v_0$  on nopeus alussa ( $t=0$ ) (m/s)  
 $v_1$  on nopeus ajan hetkellä  $t=1$  (m/s)  
 $v_{ch}$  on ulospuhalluksen keskinopeus (m/s)  
 $Area_{ch}$  on mittauskanavan poikkipinta-ala ( $\text{m}^2$ ).



**Kuva 13.** Tilavuusvirran mittausjärjestely [47].

#### 4.7.2 Puhtaan ilman tuotto – hiukkaset

Puhtaan ilman tuotto määritetään testikammiossa, joka on kooltaan  $(50 \pm 10) \text{ m}^3$  (menetelmässä annetut mitat testikammionle ovat  $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ ) (Kuva 14). Määrittys voidaan tehdä ilmanpuhdistimille, joiden puhtaan ilman tuotto on  $(10 - 500) \text{ m}^3/\text{h}$ . Testin aikana lämpötilan tulee olla  $(20 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$  ja suhteellisen kosteuden  $(40 \pm 10) \% \text{ RH}$ .



**Kuva 14.** NT VVS 106 -menetelmän havainnekuva  $50 \text{ m}^3$ :n testikammion [47].

Hiukkaspitoisuuden alenema mitataan testikammiossa, jonka ilma puhdistetaan ennen testiä muista kuin testihiukkasista HEPA-suodattimen avulla. Testiaineena käytetään tupakkaa, jota polttamalla tuotetaan kammioon haluttu hiukkaspitoisuus. Kammion ilmaa tulee sekoittaa neljän apupuhaltimen avulla tupakanpolton jälkeen viiden minuutin ajan. Sen jälkeen puhaltimet sammutetaan, odotetaan kaksi minuuttia ja käynnistetään ilmanpuhdistin. Hiukkaspitoisuutta seurataan optisella hiukkaslaskurilla. Kammion alenema määritetään myös tyhjänä.

Testikammion testiainepitoisuuden alenema saadaan määritettyä kaavasta (26):

$$C_t = C_i \cdot e^{-kt} \quad (26)$$

jossa  $C_t$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa ajan hetkellä  $t$  (hiukkasta/m<sup>3</sup>)  
 $C_i$  on testiainepitoisuus testikammion ilmassa kokeen alussa ( $t=0$ ) (hiukkasta/m<sup>3</sup>)  
 $k$  on pitoisuuden aleneman vakio (h<sup>-1</sup>)  
 $t$  on mittaukseen kulunut aika (h).

Ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuotto  $ECR$  (m<sup>3</sup>/h) lasketaan kaavasta (27):

$$ECR = V \cdot (k_e - k_n) \quad (27)$$

jossa  $V$  on testikammion tilavuus (m<sup>3</sup>)  
 $k_e$  on testiainepitoisuuden aleneman vakio (h<sup>-1</sup>)  
 $k_n$  on tyhjän kammion aiheuttaman pitoisuuden aleneman vakio (h<sup>-1</sup>).

### 4.7.3 Laitteen tehokkuus

Laitteen tehokkuus määritetään saadusta puhtaan ilman tuotosta suhteessa laitteen tuottamaan todelliseen ilmavirtaan kaavan (28) mukaisesti:

$$SE = \frac{ECR}{q_v} \cdot 100 \quad (28)$$

jossa  $SE$  on laitteen tehokkuus (%)  
 $ECR$  on puhtaan ilman tuotto (m<sup>3</sup>/h)  
 $q_v$  on laitteen tuottama todellinen ilmavirta (m<sup>3</sup>/h).

### 4.7.4 Otsonin tuotto

Otsonin tuotto määritetään testikammiossa, jonka ilma tulee puhdistaa otsonista ennen ilmanpuhdistimen käynnistämistä. Kammion ilman otsonipitoisuus mitataan esimerkiksi kahdeksan ja kuusitoista tuntia puhdistimen käynnistämisen jälkeen. Otsonipitoisuus mitataan esimerkiksi UV-spektrofotometrillä.

Otsonin tuotto  $q$  saadaan määritettyä kaavasta (29):

$$q = \frac{C \cdot n \cdot V}{1 - e^{-n\tau}} \quad (29)$$

jossa  $q$  on otsonin tuotto ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $C$  on kammion otsonipitoisuus ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) = (ppm)  
 $n$  on kammion ilmanvaihtokerroin ( $\text{h}^{-1}$ )  
 $V$  on kammion tilavuus ( $\text{m}^3$ )  
 $\tau$  on aika, jonka ilmanpuhdistin on ollut päällä (h).

#### **4.8 IEC/PAS 62587-2008 (Kansainvälinen)**

Esistandardin IEC/PAS 62587:2008 (Method for measuring performance of portable household electric room air cleaners) on julkaissut kansainvälinen sähköalan standardisoimisorganisaatio International Electrotechnical Commission (IEC). Standardin laatijana on The Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) -järjestö. Esistandardi perustuu yhdysvaltalaiseen standardiin ANSI/AHAM AC-1 ollen sen täydellinen toisinto.

## 5. MENETELMIEN VERTAILU

Tarkasteltujen standardien ANSI/AHAM AC-1, AHAM AC-3, GB/T 18801, JEM 1467 ja NF B44-200, menetelmien NT CONS 009 ja NT VVS 106, sekä esistandardin IEC/PAS 62587 sisältämiä mittausmenetelmiä voidaan tarkastella ilmanpuhdistimen ominaisuuksien suhteen (Taulukko 4).

**Taulukko 4.** Standardien sisällön vertailu ilmanpuhdistimesta tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen.

TARKASTELTAVA OMINAISUUS			STANDARDI / MENETELMÄ								
			ANSI/AHAM AC-1 (Yhdysvallat)	ANSI/AHAM AC-3 (Yhdysvallat)	GB/T 18801 (Kiina)	JEM 1467 (Japani)	NF B 44-200 (Ranska)	NT CONS 009 (Pohjoismaat)	NT VVS 106 (Pohjoismaat)	IEC/PAS 62587 (Kansainvälinen)	
PUHTAAN ILMAN TUOTTO	HUONEEN ALENEMA	Testikammion koko [m3]	28,5	-	3 / 30	1 / 20-30	-	-	50	28,5	
		Hiukkaset	Tupakansavu	x		x	x			x	x
			Testipöly (0,5-3,0 µm)	x							x
			Allergeeni (siitepöly)	x							x
			DOP (di-octyl-phthalate)						x		
		Kaasut	Formaldehydi (CH <sub>2</sub> O)			x					
			Tolueeni (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )			x					
			Asetaldehydi (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)				x				
			Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )				x				
		LÄPIVIRTAUSMENETELMÄ	Hiukkaset	Tupakansavu		x					
	DEHS (di-ethyl-hexyl-sebacate)							x			
	DOP (di-octyl-phthalate)								x		
	Allergeeni (kissa)							x			
	Bakteeri (Staphylococcus epidermidis)							x			
	Home (Aspergillus niger)							x			
	Kaasut		Formaldehydi (CH <sub>2</sub> O)					x			
			Tolueeni (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )					x			
			Asetaldehydi (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)					x			
			Heptaani (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )					x			
			Asetoni (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O)					x			
			Otsoni (O <sub>3</sub> )					x	x	x	
			Hiilimonoksidi (CO)					x			
	SIVUTUOTTEIDEN MÄÄRITYS	Typpioksidiksi (NO)					x	x			
Typpidioksidiksi (NO <sub>2</sub> )						x					
ILMAVIRTA			x		x	x	x	x			
LASKENNALLINEN KÄYTTÖIKÄ (KUORMITUS)				x	x						
ILMANPUHDISTIMELLE SUOSITELTU HUONEKOKO	x		x					x			
PUHDISTUSKAPASITEETTI			x	x							
PUHALLUSILMAN HEITTOPITUUS						x					

Kaikki tarkastellut menetelmät sisälsivät puhtaan ilman tuoton (CADR) määrittämisen hiukkasmaisilla epäpuhtauksilla hieman eri tapoja käyttäen. Kiinalainen, japanilainen ja ranskalainen menetelmä sisälsivät määrittämisen myös kaasumaisilla epäpuhtauksilla. Puhtaan ilman tuottoa tutkittiin sekä testikammiossa alenemamenetelmällä että läpivirtausmenetelmällä. Läpivirtausmenetelmää käytetään tyypillisesti suodatinmittauksissa, ja se oli otettu käyttöön vuonna 2016 julkaistussa ranskalaisessa standardimenetelmässä. Myös vanha pohjoismainen menetelmä hyödynsi läpivirtausta puhtaan ilman tuoton määrittämisessä. Muutoin puhtaan ilman tuotto määritettiin alenemamenetelmällä testikammiossa.

Testikammioiden tilavuudet vaihtelivat (28 - 50) m<sup>3</sup> välillä tutkittaessa alenemaa hiukkasilla. Puhtaan ilman tuottoa kaasulla ja puhdistuskapasiteettia tutkittiin muutamassa menetelmässä käyttäen huomattavasti pienempiä kammioita. Testikammioissa käytettiin yleisesti vain yhtä sekoituspuhallinta. Poikkeuksena tästä oli pohjoismainen menetelmä, jossa puhaltimia oli neljä.

Testihiukkasena käytettiin yleisimmin tupakansavua. Sen lisäksi käytettiin muita hiukkasmaisia epäpuhtauksia, kuten testipölyä, allergeeneja, DEHS- ja DOP-hiukkasia sekä mikrobeja. Kaasumaisia epäpuhtauksia oli mainittu huomattavasti enemmän. Niistä yleisimmin mainittuja olivat tolueeni, formaldehydi ja asetaldehydi.

Sivutuotteiden määrittäminen oli huomioitu vain ranskalaisessa sekä pohjoismaisissa menetelmissä. Kiinalaisessa standardissa oli maininta, että laitteen tulee täyttää haitallisten aineiden osalta toisen kiinalaisen standardin antamat tämän aihealueen vaatimukset. Ranskalainen standardi otti huomioon yleisesti sivutuotteena tunnetun otsonin lisäksi myös hiilimonoksidin, typpioksidin sekä typpidioksidin. Näiden ajatellaan syntyvän joko ilmanpuhdistimen käyttämästä tekniikasta tai tekniikan aiheuttamista reaktioista ilmassa olevien epäpuhtauksien kanssa.

Laitteen tuottaman ilmavirran määrittäminen oli mainittu yhdysvaltalaisessa, ranskalaisessa ja pohjoismaisessa menetelmässä. Laskennallisesta käyttöiästä sekä puhdistuskapasiteetista ovat kiinnostuneita kiinalaiset ja japanilaiset. Ilmanpuhdistimelle suositeltua huonekokoa laskettiin yhdysvaltalaisessa ja kiinalaisessa standardissa. Puhallusilman heittopituutta ei tarkastella missään muussa kuin pohjoismaisessa menetelmässä.

Menetelmien soveltuvuus erilaisille puhdistustekniikoille on mainittu kussakin standardissa. Soveltuvuutta tarkastellaan taulukossa Taulukko 5. Kaikki menetelmät soveltuvat mekaanisille suodattimille ja sähkösuodattimille, jotka poistavat hiukkasia ilmasta. Kaasumaisten epäpuhtauksien suodatuskykyä voidaan tarkastella kiinalaisella, japanilaisella ja ranskalaisella menetelmällä, jotka näin ollen soveltuvat mekaanisen suodatuksen ja sähkösuodatuksen lisäksi adsorptiota, fotokatalyyttistä oksidaatiota, plasmaa ja kasvillisuusjärjestelmiä hyödyntäville ilmanpuhdistimille. Ainoastaan ranskalaisessa standardissa on kuvailtu mittausten menetelmä mikrobeille, joten sillä voidaan tutkia myös ultraviolettiä hyödyntäviä ilmanpuhdistimia.

*Taulukko 5. Menetelmien soveltuvuus eri puhdistustekniikoille.*

ILMANPUHDISTIMEN KÄYTTÄMÄ TEKNIikka	STANDARDIN / MENETELMÄN SOVELTUVUUS							
	ANSI/AHAM AC-1 (Yhdysvallat)	ANSI/AHAM AC-3 (Yhdysvallat)	GB/T 18801 (Kiina)	JEM 1467 (Japani)	NF B 44-200 (Ranska)	NT CONS 009 (Pohjoismaat)	NT VVS 106 (Pohjoismaat)	IEC/PAS 62587 (Kansainvälinen)
Mekaaninen suodatus	x	x	x	x	x	x	x	x
Sähköinen suodatus	x	x	x	x	x	x	x	x
Adsorptio			x	x	x			
Ultraviolettisäteily					x			
Fotokatalyyttinen oksidaatio			x	x	x			
Plasma			x	x	x			
Otsonointi								
Kasvillisuusjärjestelmät			x	x	x			

Menetelmistä kattavin oli ranskalainen NF B44-200, jossa tarkasteltiin ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuottoa läpivirtausmenetelmällä hiukkasmaisten ja kaasumaisten epäpuhtauksien avulla. Lisäksi tarkasteltiin laitteen itsensä sekä kaasumaisten epäpuhtauksien yhtäaikaisen tuoton aikana mahdollisista reaktioista syntyviä sivutuotteita. Hiukkasmaisena epäpuhtautena käytettiin valtaosan käyttämästä tupakansavusta poiketen DEHS-hiukkasia. Lisäksi tarkastelussa olivat mukana myös elävät mikrobit. Standardissa ei otettu kantaa ilmanpuhdistimen laskennalliseen käyttöikään, suositeltuun huonekokoon ja puhdistuskapasiteettiin.

Mittauksiin aiheutuu epävarmuuksia muun muassa kunkin suureen mittaamiseen käytettyjen mittalaitteiden mittauserävarmuudesta, mittaussäätöjärjestelmästä aiheutuvasta ilman epäpuhtauksien alenemasta, sekä testattavana olevan ilmanpuhdistimen laitekohtaisista vaihteluista. Monessa tarkastelussa menetelmässä oli otettu huomioon ympäristön aiheuttamista vaikutuksista luonnollinen alenema sekä myös ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila asettamalla niiden vaihtelulle rajat. Virhelähteiden vaikutus mittaustuloksiin huomioitiin yhdysvaltalaisessa ja toisessa pohjoismaisessa menetelmässä laskemalla puhtaan ilman tuoton keskihajonta. Lisäksi toisessa pohjoismaisessa menetelmässä määritetään otoskeskiarvon 95 %:n luottamusväli ilmavirralla, puhtaan ilman tuotolle sekä laitteen tehokkuudelle.

## 6. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tässä työssä luotiin laaja katsaus huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskyvyn määrittämisessä käytettyihin mittausmenetelmiin. Kansallisia ja alueellisia menetelmiä löytyi useita ja kansainvälisiä vain yksi. Näistä tarkemman tarkastelun kohteeksi otettiin kahdeksan menetelmää, joita vertailtiin keskenään pohtien niiden soveltuvuutta ilmanpuhdistimen optimaalisen suorituskyvyn todentamiseksi.

Tarkasteltujen mittausmenetelmien perusteella voidaan todeta, että tällä hetkellä huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskykyä arvioidaan maailmalla eniten perustuen tupakansavun avulla määritettyyn puhtaan ilman tuottoon. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien poistoa ilmasta ollaan pidetty suurimpana ongelmana ja kaasumaisten epäpuhtauksien mittausmenetelmät ovat jääneet vähemmälle huomiolle.

Tämä alue on kuitenkin noussut pinnalle ja uusimmassa ranskalaisessa standardissa kaasumaisten epäpuhtauksien puhdistustehokkuuden tutkiminen on vahvasti esillä. Standardissa on huomioitu myös huonekohtaisissa ilmanpuhdistimissa lisääntyvässä määrin käytetyt erilaiset puhdistustekniikat, joiden myötä on tullut enenevä tarve osoittaa, ettei ilmanpuhdistin tuota sivutuotteena ilmaan ympäristölle vaarallisia epäpuhtauksia. Huolena on ollut se, miten kaasut reagoivat ilmassa keskenään, ja miten tämä vaikuttaa ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuottoon. On ajateltu, että jos tutkitaan laitteen puhtaan ilman tuottoa yksi kaasu kerrallaan, voidaan päätyä vääriin johtopäätöksiin. Tämä on huomioitu ranskalaisessa standardissa, jossa kaasumaisten epäpuhtauksien puhdistustehokkuutta tutkitaan yhtäaikaisena kaasuseoksena.

Kaasumaisten epäpuhtauksien tutkimuksessa tulee huomioida, mitä kaasua tai kaasuseosta tutkimuksessa käytetään. Vaikka ranskalaisessa standardissa mittaus tehdään viiden kaasun seoksella, tutkitaan kaasusuodatuksen tehokkuutta vielä yleisesti kiinalaisen ja japanilaisen standardimenetelmän tavoin käyttäen vain yhtä kaasua kerrallaan. Yhtä kaasua valittaessa tulee huomioida ilmanpuhdistimen käyttökohde eli se, mitä epäpuhtautta sen halutaan erityisesti poistavan. Testikaasuna käytettyä tolueenia pidetään sopivana referenssikaasuna VOC-yhdisteille. Se on myös hyvä referenssi mikrobeista vapautuville kaasumaisille yhdisteille. Formaldehydin käyttö testikaasuna perustuu siihen, että joillain alueilla maailmassa, kuten Aasiassa, sisäilmassa esiintyy formaldehydiä muun muassa käytetyistä rakennusmateriaaleista johtuen. Testikaasun valinnalla voidaan vaikuttaa ilmanpuhdistimelle saatavaan puhtaan ilman tuoton määrään esimerkiksi käytettäessä impregnoituja adsorbentteja.

Hiukkasmaisten epäpuhtauksien tuottamisessa käytetään useampaa erilaista testiainetta. Tupakansavun käyttö juontanee juurensa sen aiheuttamista ongelmista sisätiloissa ja halusta käyttää hiukkasten tuottajana mahdollisimman tunnettua ja niin sanotusti aitoa lähdettä. Hiukkasia pystytään kuitenkin generoimaan ilmaan helpommillakin tavoilla, joita



käytetäänkin ranskalaisessa ja pohjoismaisessa menetelmässä. Tulisikin selvittää, vaikuttaako erilaisten epäpuhtauksien käyttö ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton määrään merkittävässä määrin.

Mikrobien tarkastelu erillisenä osa-alueenaan on merkityksellinen, mikäli ilmanpuhdistimen käyttämän tekniikan on tarkoitus tuhota ilmassa olevat mikrobit. Tällöin ilmanpuhdistin muuttaa mikrobit elottomiksi hiukkasiksi, mutta ei poista niitä ilmasta. Tämä tarkastelu oli huomioitu ranskalaisessa menetelmässä. Tällaisen tekniikan käyttökohteita on kuitenkin vähemmän, joten mikrobiologisten epäpuhtauksien poiston erillistä tarkastelua ei tarvita jokaiselle ilmanpuhdistimelle. Mikrobiologisten epäpuhtauksien suodatuskyky tulee huomioitua määrittäessä puhdistimen puhtaan ilman tuottoa hiukkasmaisia epäpuhtauksia käyttäen.

Puhtaan ilman tuoton tutkimus voidaan tehdä testikammiossa tai läpivirtaukseen perustuvassa mittausjärjestelmässä. Läpivirtausmenetelmän käytön ehdoton edellytys on se, että tutkittava ilmanpuhdistin on rakenteeltaan tiivis, jolloin mittaustilanteessa ilmavirta kulkee ainoastaan sitä reittiä, mistä ilmanpuhdistimen ilmavirta normaalisti kulkee. Tällöin mittausjärjestelmässä käytetyistä apupuhaltimista ei aiheudu epätarkkuutta mitattavaan erotusasteeseen. Rakenteellisella tiiviydellä ei ole merkitystä testikammiossa tehtävässä mittauksessa, jossa laite pyörittää kammion ilmaa oman puhaltimen avulla. Testikammiossa epätarkkuutta voi syntyä kammion ilman epätasaisesta sekoittumisesta testin aikana, vaikka kammiossa käytetäänkin sekoituspuhallinta. Tässä mielessä läpivirtausmenetelmän käyttö on suositeltavampaa. Läpivirtausmenetelmä ei kuitenkaan paljasta laitteessa mahdollisesti olevaa oikosulkuvirtausta, jossa ilmanpuhdistimen läpi mennyt puhdas ilma siirtyy takaisin sisään otettavaan ilmavirtaan ja puhdistimen tehon heikkenee. Sen sijaan testikammiossa oikosulkuvirtaus vaikuttaa tulokseen.

Yksi merkittävimmistä tekijöistä huonekohtaisen ilmanpuhdistimen suorituskykyä arvioitaessa on puhtaan ilman tuoton riittävyys suhteessa tilaan, jossa puhdistin on. Tämän arvioiminen laskennallisesti on erittäin tärkeää, jotta huoneessa olevalla ilmanpuhdistimella olisi vaikutusta tilan ilmanpuhtauteen verrattuna tilan kokoon ja ilmanvaihtuvuuteen. Tätä tekijää ei olla otettu huomioon muuten kattavassa ranskalaisessa standardissa, mutta se on huomioitu kiinalaisessa ja yhdysvaltalaisessa standardissa.

Pohjoismaisessa menetelmässä huomioitu puhtaan ilman leviämiseen sekä vedon tunteeseen liittyvä ulospuhallusilman virtausnopeuden eli heittopituuden sekä hajotuskuvion tutkiminen on jätetty huomiotta muualla päin maailmaa. Ilmanpuhdistimen tuottaman ilmavirran suuntautumiseen sekä puhtaan ilman optimaaliseen leviämiseen tulisi jatkossa kiinnittää huomiota, jotta sen avulla voidaan varmistaa puhtaan ilman tehokas leviäminen. Puhdistimen vaikutus tilan ilmaan tulisi olla kokonaisvaltainen, eikä paikallinen.

Huonekohtaisilla ilmanpuhdistimilla voidaan vähentää sisäilmassa olevia erilaisia epäpuhtauksia, kun niiden puhtaan ilman tuotto on tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden

riittävää. Riippumatta ilmanpuhdistimessa käytetystä tekniikasta ja laitteen kyvystä poistaa ilman epäpuhtaudet kaikkien ilmanpuhdistimien vaikutus laskee ilmanvaihdon tehon kasvaessa. Näin ollen, jotta huonekohtaisen ilmanpuhdistimen suorituskyvyn arviointi olisi kattava, tulisi menetelmän sisältää puhdistimen tehokkuuden arvioinnin tilan kokoon ja ilmanvaihtoon nähden. Näin voidaan toteennäyttää, onko puhdistimella edellytyksiä vaikuttaa tilan ilmanlaatuun parantavasti. Arvioinnin tulee perustua ilmanpuhdistimen puhtaan ilman tuoton määrään, joka on määritetty hiukkasilla ja käyttökohteeseen soveltuvalla testikaasulla tai kaasuseoksella. Riittävän mitoituksen lisäksi on varmistettava, että ilmanpuhdistin ei tuota sivutuotteena haitallisia epäpuhtauksia, kuten hiukkasia, mikrobeja, otsonia tai muita käytetystä tekniikasta aiheutuvia ilman epäpuhtauksien kanssa syntyviä reaktiotuotteita. Näin kattavaa yksittäistä standardia tai menetelmää ei tässä tarkastelussa löytynyt, mutta toivottavasti kehitteillä oleva kansainvälinen ISO-standardi tulee vastaamaan tähän tarpeeseen.

Työssä toteutetusta kirjallisuuskatsauksesta tuli tavoitteiden mukaisesti maailmanlaajuisesti hyvin kattava. Ainoastaan joitain maakohtaisia menetelmiä ei ollut saatavilla kielellisistä ongelmista johtuen. Vastaavaa tutkimusta ei tullut työtä toteutettaessa vastaan, vain muutama artikkeli, joissa oli vertailtu kahta tai kolmea olemassa olevaa menetelmää keskenään.

Tavoitteiden mukaisesti mittausmenetelmiä vertaillen saatiin selville, mitä kaikkea huonekohtaisesta ilmanpuhdistimesta tulisi tutkia suorituskyvyn toteennäyttämiseksi parhaalla mahdollisella tavalla. Tulosten perusteella voidaan todeta, että vielä ei ole olemassa yhtä yhtenäistä standardoitua mittausmenetelmää, jossa olisi huomioitu kaikki tarpeellinen. Kehitteillä olevan ISO/WD 17970-1 -standardin sisältöön voi pyrkiä vaikuttamaan liittymällä ISO-organisaation teknisen komitean ISO/TC 142 alaiseen työryhmään ja osallistumalla sisäiseen valmisteluun. Työryhmään voi liittyä Suomessa SFS-standardisoinjärjestön kautta. Olemassa olevien menetelmien ja niistä tehtyjen päätelmien lisäksi tulisi miettiä vielä uusia mahdollisia menetelmiä ja tapoja tutkia huonekohtaisten ilmanpuhdistimien suorituskykyä mahdollisimman paljon todellista käyttötilannetta vastaten.

## LÄHTEET

- [1] WHO, 7 million premature deaths annually linked to air pollution, Saatavissa (viitattu 5.11.2017): <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>.
- [2] I. Mattila, J. Laamanen, A. Taipale, INKA-ILMA EAKR projektin loppuraportti, VTT, 2017, 19 p.
- [3] A. Hyvärinen, T. Marttila, P. Kero, J. Pekkanen, S. Ung-Lanki, J. Lampi, H. Leppänen, K. Jalkanen, M. Turunen, U. Haverinen-Shaughnessy, P. Annala, J. Suonketo, J. Niemi, Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) - Yhteenvetoraaportti, Valtioneuvoston kanslia, 2017, 127 p.
- [4] Jyväskylän yliopisto, Menetelmäpolkuja humanisteille, Saatavissa (viitattu 18.3.2018): <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja>.
- [5] H. Mussalo-Rauhamaa, H. Mussalo-Rauhamaa, M. Heinonen-Guzejev, Ympäristöterveys, Duodecim, Helsinki, 2007, 272 p.
- [6] O. Seppänen, M. Seppänen, Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, Sisäilmayhdistys, Helsinki, 1996, 279 p.
- [7] A. Asikainen, O. Hänninen, J. Pekkanen, Ympäristöaltisteisiin liittyvä tautitaakka Suomessa, Ympäristö ja Terveys, Iss. 5, 2013, pp. 68-74. <http://www.julkari.fi/handle/10024/110739>.
- [8] WHO Regional Office for Europe, WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants, WHO Regional Office for Europe, Europe, 2010, 484 p.
- [9] W.C. Hinds, Aerosol technology, 2. ed. ed. Wiley, New York [u.a.], 1999, 483 p.
- [10] Guidelines for estimating and reporting emission data under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), 2009, 21 p.
- [11] Ilmanlaatuportaali, Saatavissa (viitattu 25.11.2017): <http://www.ilmanlaatu.fi/ilman-saasteet/komponentit/pm10.html>.
- [12] A. Säämänen, H. Riipinen, I. Kulmala, I. Welling, Pölyntorjunta, VTT, TTL, 2004, 141 p. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/index.htm>.
- [13] H.B. Awbi, Ventilation of buildings, 2. ed. ed. Taylo & Francis, New York, 2003, 522 p.
- [14] Radon, Saatavissa (viitattu 11.11.2017), <http://www.stuk.fi/aiheet/radon>.

- [15] Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa, Työterveyslaitos, 2012, 10 p.
- [16] A. Rundt, P. Backlund, K. Paakkola, Sisäilman hajut ja orgaaniset yhdisteet, 2015, 156-163 p. Saatavissa: [http://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p\\_artikkeli=ttl00208](http://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=ttl00208).
- [17] OVA-ohje: Formaldehydi, Työterveyslaitos, 2017, pp. 11. <https://www.ttl.fi/ova/formalde.pdf>.
- [18] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2015, 12 p.
- [19] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017), Ympäristöministeriö, 2017.
- [20] RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008, Rakennustieto, 2009, 22 p.
- [21] D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriö, 2012, 34 p.
- [22] P. Neuvonen (toim.), Kerrostalot 1880-2000, Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustekniikan keskus -säätiö ja Museovirasto, 2006, 288 p.
- [23] J.A. Siegel, Primary and secondary consequences of indoor air cleaners, Indoor Air, Vol. 26, Iss. 1, 2016, pp. 88-96. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12194/abstract>.
- [24] H. Koski, I. Mattila, A. Taipale, Pölyntorjunta rakennustyömaalla, Teknisen Kaupan Liitto ry, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2013, 42 p.
- [25] SFS-EN ISO 16890 Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osat 1-4. ISO (the International Organization for Standardization), 2016.
- [26] S. Percot, ISO 16890 filter testing with TSI instrumentation, 2017, pp. 20. <https://vimeo.com/207607041>.
- [27] SFS-EN 1822, Osat 1-5, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA), Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 2009.
- [28] Residential air cleaners, 2nd ed. ed., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Indoor Environments Division, Washington, DC, 2009.
- [29] P. Karjalainen, S. Saari, H. Kuuluvainen, T. Kalliohaka, A. Taipale, T. Rönkkö, Performance of ventilation filtration technologies on characteristic traffic related aerosol down to nanocluster size, Aerosol Science and Technology, Vol. 51, Iss. 12, 2017, pp. 1398. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02786826.2017.1356904>.

- [30] VANSANT E F, DEWOLFS R, Gas Separation Technology, ELSEVIER, AMSTERDAM, 1989, 700 p.
- [31] W. Kowalski, Ultraviolet germicidal irradiation handbook, Springer, Berlin ; Heidelberg, 2009, 498 p.
- [32] J. Zhao, X. Yang, Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review, Building and Environment, Vol. 38, Iss. 5, 2003, pp. 645-654. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132302002123>.
- [33] A. Luengas, A. Barona, C. Hort, G. Gallastegui, V. Platel, A. Elias, A review of indoor air treatment technologies, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, Vol. 14, Iss. 3, 2015, pp. 499. <https://search.proquest.com/docview/1702821138>.
- [34] Otsonointi sisäympäristössä, Terveysten ja hyvinvoinnin laitos THL, Helsinki, 2017, pp. 31.
- [35] J. Zhang, Z. Wang, D. Ren, Botanical air filtration, ASHRAE Journal, Vol. 52, Iss. 12, 2010, pp. 138. <https://search.proquest.com/docview/887995063>.
- [36] B.C. Wolverton, K. Bounds, A. Johnson, Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC, 1989, 22 p.
- [37] G. Soreanu, M. Dixon, A. Darlington, Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants a A mini-review, Chemical Engineering Journal, Vol. 229, 2013, pp. 585-594.
- [38] J. Cheng, Overview on China Room Air Purifier Standards, Air Purifier Industry Alliance of China (APIAC), pp. 20.
- [39] GB/T 18801 Air Cleaner, Standardization Administration (SAC) of the People's Republic of China, 2015, 38 p.
- [40] A. Ginestet, Development and evaluation of a new test method for portable air cleaners, AIVC Air Infiltration and Ventilation Centre, Belgium, 2012, 30 p.
- [41] JACA No. 50(E) Guideline for performance evaluation of air cleaners, Japan Air Cleaning Association (JACA), 31 p.
- [42] H. Kim, B. Han, Y. Kim, Y. Yoon, T. Oda, Efficient test method for evaluating gas removal performance of room air cleaners using FTIR measurement and CADR calculation, Building and Environment, Vol. 47, 2012, pp. 385-393.
- [43] ANSI/AHAM AC-1 Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners, Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM), The American National Standards Institute (ANSI), 2015, 49 p.

[44] AHAM AC-3 Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners Following Accelerated Particulate Loading, Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM), 2009, 28 p.

[45] NF B44-200 Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances, AFNOR, 2016, 24 p.

[46] Nordtest Method NT CONS 009 - 1985 Room Air Cleaners, Nordtest, 1985, 14 p.

[47] Nordtest Method NT VVS 106:1995 Room air cleaners; portable: Performance, Nordtest, 1995, 13 p.

## LIITE A: STANDARDI- JA MENETELMÄLUETTELO

Tässä liitteessä on lueteltu kaikki kirjallisuuskatsauksen yhteydessä löytyneet standardit ja menetelmät, joita voidaan hyödyntää määrittäessä ilmanpuhdistimen suorituskykyä. Luetteloon eivät sisälly ilmanpuhdistimen äänitehotason ja sähkötehon mittausmenetelmät tämän työn rajauksen mukaisesti.

Standardit ja menetelmät:

1. ANSI/AHAM AC-1-2015 Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners
2. ANSI/AHAM AC-3-2009 Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners Following Accelerated Particulate Loading
3. APIAC/LM 01-2015 Indoor air purifier's purification performance evaluation requirements
4. NF B44-200-2016 Independent air purification devices for tertiary sector and residential applications - Test methods - Intrinsic performances
5. DIN 44973-100-2002 Air cleaner and air humidifier - Part 100: Electrical air-conditioner for household and similar use; Methods for measuring the performance
6. EN 1822 High efficiency air filters (EPA, HEPA and UHPA).
7. GB/T 18801-2015 Air Cleaner (National Standard of the People's Republic China)
8. IEC/PAS 62587-2008 Method for measuring performance of portable household electric room air cleaners
9. JACA No. 50(E) Guideline for performance evaluation of air cleaners
10. JACA No.36-2000 Guidelines for test method of tobacco smoke removing apparatus
11. JEM 1467-2013 Air Cleaners of Household and Similar Use
12. JG/T 294-2010 Test Pollutant Cleaning Performance of Air Cleaner
13. JIS C 9615-1995 Air Cleaners
14. Nordtest Method NT CONS 009-1985 Room Air Cleaners
15. Nordtest Method NT VVS 106-1995 Room air cleaners; portable: Performance
16. SPS-KACA 002-132-2006 Room air cleaner standard
17. UL 867-2011 Standard for Electrostatic Air Cleaners
18. ISO 5167-1-2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full.